



HER YÖNÜYLE SİLAJ

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Kağan KÖKTEN

Doç. Dr. Seyithan SEYDOŞOĞLU



HER YÖNÜYLE SİLAJ

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Kağan KÖKTEN

Doç. Dr. Seyithan SEYDOŞOĞLU

YAZARLAR

Prof. Dr. Kağan KÖKTEN

Prof. Dr. Mustafa KIZILŞİMŞEK

Doç. Dr. Erdal ÇAÇAN

Doç. Dr. Gülşah BENGİSU

Doç. Dr. Mehmet Arif ÖZYAZICI

Doç. Dr. Mustafa OKANT

Doç. Dr. Nizamettin TURAN

Doç. Dr. Serap KIZIL AYDEMİR

Doç. Dr. Seyithan SEYDOŞOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Erdal KARADENİZ

Dr. Öğr. Üyesi Fatma AKBAY

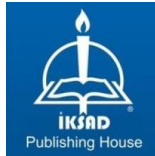
Dr. Öğr. Üyesi Rıdvan UÇAR

Dr. Öğr. Üyesi Semih AÇIKBAŞ

Öğr. Gör. Dr. Selim ÖZDEMİR

Dr. Feyza Döndü BİLGİN

Öğr. Gör. Muammer EKMEKÇİ



Copyright © 2023 by iksad publishing house
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or
transmitted in any form or by
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2023©

ISBN: 978-625-367-590-5

Cover Design: Arzu ALTUNTAŞ

December / 2023

Ankara / Türkiye

Size = 16x24 cm

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....1

BÖLÜM 1

SİLAJIN TANIMI, KABA YEM OLARAK ÖNEMİ VE TARİHÇESİ

Doç. Dr. Seyithan SEYDOŞOĞLU

Prof. Dr. Kağan KÖKTEN3

BÖLÜM 2

SİLAJ SİLO SİSTEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Doç. Dr. Nizamettin TURAN.....23

BÖLÜM 3

SİLAJ YAPIMINDA KULLANILAN BİTKİLER

Doç. Dr. Mehmet Arif ÖZYAZICI.....63

BÖLÜM 4

SİLAJ YAPIMININ TEKNİK ESASLARI: I-YETİŞTİRME, BİÇİM, PARÇALAMA VE SİLOYA DOLDURMA

Dr. Öğr. Üyesi Semih AÇIKBAŞ.....101

BÖLÜM 5

SİLAJ MİKROBİYOLOJİSİ VE FERMENTASYONU İLE FERMENTASYONA ETKİ EDEN ETMENLER

Prof. Dr. Mustafa KIZILŞİMŞEK

Dr. Öğr. Üyesi Fatma AKBAY.....121

BÖLÜM 6

SİLAJ KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Doç. Dr. Gülşah BENGİSU.....169

BÖLÜM 7

SİLAJDA FİZİKSEL VE KİMYASAL ANALİZLER

Doç. Dr. Gülşah BENGİSU.....195

BÖLÜM 8

SİLAJLARIN KARBONHİDRAT VE PROTEİN KALİTESİNİN BESİ HAYVANLARINA ETKİSİ

Doç. Dr. Mustafa OKANT.....239

BÖLÜM 9

SİLAJLARDA MOLEKÜLER TEKNİKLERLE KALİTE ANALİZLERİ

Doç. Dr. Mustafa OKANT.....263

BÖLÜM 10

SICAK VE SOĞUK İKLİM BÖLGELERİNDE SİLAJ YAPIMI

Dr. Öğr. Üyesi Erdal KARADENİZ.....291

BÖLÜM 11

SİLAJLA HAYVAN BESLEME

Doç. Dr. Serap KIZIL AYDEMİR.....315

BÖLÜM 12

SİLAJLA İLİŞKİLİ İNSAN VE HAYVAN HASTALIĞI RİSKLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Rıdvan UÇAR.....333

BÖLÜM 13

SİLAJ YAPIMINDA İŞ VE İŞÇİ GÜVENLİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Rıdvan UÇAR

Öğr. Gör. Muammer EKMEKÇİ.....373

BÖLÜM 14

SİLAJLARIN ÇEVREYE ETKİSİ

Dr. Feyza Döndü BİLGİN.....395

BÖLÜM 15

SİLAJ ÜRETİMİNDE KAYIPLAR, AVANTAJLAR VE DEZAVANTAJLAR

Öğr. Gör. Dr. Selim ÖZDEMİR

Doç. Dr. Erdal ÇAÇAN.....425

BÖLÜM 16

SİLAJ OPERASYONLARININ YÖNETİMİ

Öğr. Gör. Dr. Selim ÖZDEMİR.....443

BÖLÜM 17

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ İŞLETMELERDE SİLAJ YAPIMI

Dr. Feyza Döndü BİLGİN.....465

ÖNSÖZ

Hayvancılığın temel unsurlarından birisi olan silaj, hayvanların beslenmesinde çok önemli bir yere sahiptir. Bu kitapta, silajın tanımı, tarihsel evrimi, üretim süreçleri ve hayvancılık sektöründeki etkileri üzerinde durulmaktadır. Silaj, genellikle mısır, yonca gibi buğdaygil ve baklagil yem bitkilerinin mayalanması sonucunda elde edilen bir yem türüdür. Hayvan beslenmesinde kullanılan bu özel yöntem, özellikle kaba yemin temin edilmesinin zor olduğu kış aylarında hayvanlara yeterli ve dengeli bir yem sağlamak için oldukça önemlidir. Silajın tarihçesine bakıldığında, tarımın gelişimiyle paralel bir evrim gösterdiği görülmektedir. İlk zamanlarda sadece hayvanların kışlık kaba yem ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla kullanılan silaj, zamanla tarımın modernizasyonu ile birlikte daha çok gelişerek hayvan beslemede önemli bir yem materyali haline gelmiştir. Silajın yapım süreçleri; yem bitkilerinin istenilen olgunlukta hasat edilmesi, çok iyi sıkıştırılması ve havasız bir ortamda mayalanmasının başlatılması aşamalarını içermektedir. Bu süreçler, silajın besin değerini artırırken, aynı zamanda uzun süre depolanabilir olmasını sağlamaktadır. Bu da çiftçilere, hayvanlarını mevsimsel değişikliklere bağlı olarak yeterli ve dengeli besleme olanaklarını sunmaktadır. Hayvanların sağlıklı ve dengeli bir şekilde beslenmesini sağlayan silaj, aynı zamanda hayvan çiftliklerinin sürdürülebilirliğini de desteklemektedir. Yem bitkilerinin etkili bir şekilde değerlendirilmesi, hem tarımın verimliliğini artırmakta hem de doğal kaynakların daha etkin kullanılmasına katkı sağlamaktadır. Bu da çevresel sürdürülebilirliği destekleyen bir

faktördür. Modern tarım sistemlerinde, silajın hayvancılık işletmelerindeki rolü giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Silaj, büyük ölçüde hayvanların sağlığı, üretkenliği ve dolayısıyla çiftçilerin gelirlerine etki etmektedir. Bu kitapta, silajın tarım sistemindeki ve hayvancılık alanındaki gelişim süreçlerini anlatılmaya çalışılmaktadır. Silajın bugün ve gelecekteki önemini vurgulanarak, tarım sisteminin sürdürülebilirliği ve hayvancılık endüstrisinin gelişimi açısından önemli olan bu beslenme yöntemine odaklanılmaktadır.

EDİTÖRLER

Prof. Dr. Kağan KÖKTEN

Doç. Dr. Seyithan SEYDOŞOĞLU

BÖLÜM 1
SİLAJIN TANIMI, KABA YEM OLARAK ÖNEMİ VE
TARİHÇESİ

Doç. Dr. Seyithan SEYDOŞOĞLU¹
Prof. Dr. Kağan KÖKTEN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449166>

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt. E-mail: seyithanseydosoglu@siirt.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-3711-3733>.

² Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitkisel Üretim ve Teknolojileri Bölümü, Sivas. E-mail: kkokten@sivas.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-5403-5629>

1. GİRİŞ

Hayvancılık sektörü, özellikle gelişmekte olan ülkelerde tarım ekonomisinin en hızlı büyüyen sektörlerinden biridir. Et ve süt ürünlerine olan talep artmaya devam ederken, bu talebin nasıl ve kimler tarafından karşılanacağı soruları gündeme sık gelmektedir. Kaliteli kaba yem kaynağına erişim, çiftlik hayvanları yetiştiricileri için önemli bir ekonomik önceliktir. Yem üretimi mevsim koşullarına göre büyük ölçüde değişmektedir. Hasat sırasında yeşil yem üretimi fazladır, fakat kışın ya da kurak mevsimlerde mevcut yeşil yem miktarında azalma görülmektedir (Duniere ve ark., 2013). Yeşil yem, ürün artıkları ve yem olarak kullanılan gıda işleme yan ürünleri genellikle evcil hayvanlar tarafından taze olarak tüketilmektedir. Bununla birlikte, bu yemleri gelecekteki yem açığı dönemlerinde kullanmak üzere saklamak ve stoklamak mümkündür. Yemlerin korunmasında doğal kurutma, yapay kurutma, kimyasal kurutma veya fermentasyon yöntemleri seçenekleri mevcuttur (Mannetje, 2000). Yemleri depolamak için en yaygın iki yöntem silolama ve kurutmadır. Bir bölgedeki depolama yöntemi esas olarak o bölgedeki iklime göre değişmektedir. Örneğin, ABD ve Avustralya gibi ağırlıklı olarak kuru iklime sahip ülkeler yemlerinin çoğunu kurutarak saklamaktadırlar. Buna karşılık, çoğu Kuzey Avrupa ülkesi, sık görülen yağışlar nedeniyle kaba yemleri silaj olarak depolamaktadırlar (Hutnik ve Kobiela, 2012).

2. SİLAJ NEDİR VE KABA YEM OLARAK ÖNEMİ NELERDİR?

Silolama veya silaj, yemlerin fermente edilip depolanmasını tanımlamak için kullanılan terimlerdir. Su içeriği yüksek kaliteli kaba yemlerin anaerobik koşullar altında laktik asit bakterileri tarafından fermentasyona uğratılmasına silaj, bu yöntemle elde edilen yeme silo yemi denilmektedir (Duniere ve ark., 2013). Tipik olarak mısır, sorgum veya diğer tüm tahıllardan elde edilen tüm yeşil aksam kullanılarak hazırlanmaktadır. Diğer tarla bitkileri de silaj yapmak için kullanılabilir ve bitki türüne göre elde edilen silaj farklı isimler alabilir. Örneğin yulaf için "Oatlage" (yulaftan yapılan silaj) ifadesi kullanılmaktadır.

İyi yapılmış bir silajın bileşimi 2 yıl gibi uzun bir süre stabildir. Yem açığı dönemlerinde veya kıtlık zamanında kaliteli bir yem akışını rahatlıkla sağlayabilirler (Batra ve ark., 2016). Silaj yapma süreci 5 aşamaya ayrılır: bunlar 1) Aerobik tarla aşaması (mahsulün optimum olgunluk aşamasında hasat edilmesi), 2) Aerobik silo aşaması (siloya konması ve sıkıştırılması), 3) Anaerobik fermantasyon aşaması (silonun hava almaması için kapatılması), 4) Anaerobik depolama aşaması ve 5) Aerobik hayvan besleme aşaması şeklinde sıralanabilir (Rooke ve Hatfield, 2003; Duniere ve ark., 2013).

Silaj fermentasyon yoluyla, yemlerin besin içeriğinde önemli bir değişiklik olmadan yemleri uzun süre muhafaza etmek için kullanılan çok kontrollü bir süreçtir. Fermentasyon işleminin amacı, yemdeki

karbonhidratların arzu edilen organik asitlere, özellikle laktik aside dönüşümünü hızlı ve etkili bir şekilde kolaylaştırmaktır. Kaliteli bir fermentasyon elde etmek için çeşitli gereksinimler vardır: 1) anaerobik bir ortam (oksijen eksikliği), 2) optimum nem içeriği, 3) yeterli miktarda yapısal olmayan karbonhidratlar (suda çözünür), 4) yeterli miktarda laktik asit üreten bakteri popülasyonu, 5) düşük tamponlama kapasitesi ve 6) uygun silo tipi. Büyük emek, çaba ve zaman harcanarak üretilen silajın besin içeriğinde önemli bir değişiklik olmadan korunması ve hatta kalitesinin artırılması için fermentasyon süreçlerin bilinmesi oldukça önemlidir. Özellikle üreticiler tarafından yemlerin hasat edilmesinden siloya konulmasına kadar geçen her aşama ve hangi adımların gerekli olduğu iyi anlaşılmalıdır. Oksijenli solunum işlemi silaj materyalinde su ve ısı ürettiği için silolama aşamalarında arzu edilmez. Aşırı ısı oluşumu besinlerin, özellikle proteinlerin sindirilebilirliğini büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu işlem sırasında proteinler amino asitlere ve ardından amonyak ve aminlere parçalanabilmektedir. Toplam bitki proteininin %50'ye kadarı bu aşamada parçalanabilmektedir. İdeal koşullar altında, hasat sonrasındaki aerobik aşama yalnızca birkaç saat sürmelidir. Yem siloya konup kapatılınca silolanmış malzemedeki oksijen, anaerobik bakteriler tarafından tüketilmeye başlamaktadır. Anaerobik ortamda çözünebilir karbonhidratları fermente etmek ve asetik asit üretmek için asetik asit üreten bakteriler oluşmaktadır. Asetik asit, fermentasyon sürecini oluşturmak için pH'ı azaltmaya başlamakta, pH 5.0'ın altına düştüğünde ise asetik asit bakterilerinin artışı engellenmektedir. Bu aşama 24-72 saatten fazla sürmemelidir. pH 5.0'ın altına düştüğünde

fermentasyon aşaması başlamakta ve laktik asit üreten bakterilerin gelişimi artmaktadır. Laktik asit, fermentasyon işleminin en çok arzu edilen asididir. Silajın etkin bir şekilde muhafaza edilebilmesi için üretilen toplam silaj organik asitlerinin %60'ından fazlasını oluşturmalıdır. Laktik asit, ruminant hayvanlar tarafından bir enerji kaynağı olarak da kullanılmaktadır. Fermentasyon aşaması silolama işleminin en uzun aşamasıdır ve pH değeri tüm bakterilerin büyümesini engelleyecek seviyeye düşene kadar devam etmektedir. Düşük pH seviyesine erişen yem, "korunma" safhasındadır. Silolanmış yem bitkisinin nihai pH'ı, kullanılan kaba yem türüne ve yemlerin silolama anındaki durumuna bağlıdır. Örneğin Haylaj (kıyılmadan silajlanan yeşil ot) pH değeri 4.5'e, mısır silajı pH değeri ise 4.0'a yakın olmalıdır. Bununla birlikte, tek başına pH parametresi silaj kalitesinin veya fermantasyon sürecinin göstergesi değildir (Lemus, 2010).

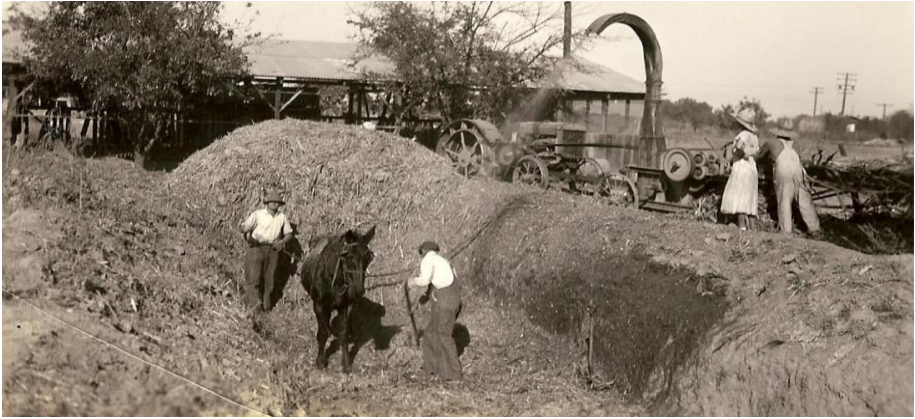
Silajın üretimine ve tüketimine hayvansal işletmelerde yer verilmesinin birçok faydaları mevcuttur: Yem üretiminin yoğunlaştırılması (hektar başına artan yem verimi); tarlada hasatta yaprak ve yüksek kaliteli diğer küçük bitki parçalarının kaybının en aza indirilmesi; tarımsal-endüstriyel yan ürünler gibi kurutulurken muhafaza edilemeyen ve kaba yem olmayan yemlerin depolanması; besin kayıplarının azaltılması, yan ürünlerin (şeker pancarı işleme vb.) optimum şekilde kullanılması gibi. Ayrıca silaj iyi bir iştah açıcıdır, doğası gereği hafif müsilaj etkisi vardır, sıcak havalarda hayvanların yem tüketimini artırır ve merada otlatma ile karşılaştırıldığında silajla beslemede daha az solucan ve parazit istilası söz konusudur (Kumari, 2017).

3. SİLAJIN TARİHÇESİ

Silaj yapımı, 3.000 yılı aşkın bir süre önce başlayan eski bir tarımsal uygulamadır (Wilkinson ve ark., 2003). Silaj üretimi, MÖ 1500-1000 yılları arasında eski Mısır'da bitki materyallerinin hayvan yemi olarak korunmasına dair bulgulara kadar uzanmaktadır. Ayrıca, Yunanlılar ve Romalılar da silaj üretimini başarmışlardır ki eski yazılarda, hava geçirmez bir şekilde kapatmanın silajın başarılı bir şekilde muhafaza edilmesi için bir ön koşul olarak görüldüğü tespit edilmiştir (Alonso ve ark., 2013). Lahana turşusu yapma işlemiyle aynı tekniği kullanarak, 19. yüzyılın başından beri Almanya'nın bazı bölgelerinde hayvanlar için yeşil yem bu yöntemle korunmaktaydı. Bu uygulama, ABD'de Orleans yakınlarında bulunan Sologne'den Fransız tarım uzmanı Auguste Goffart'ın dikkatini çekmiş ve 1877'de yeşil ürünleri silolarda koruma deneyimlerini anlatan bir kitap yayınlanmıştır. Goffart'ın tecrübeleri büyük ilgi görmüştür. Devamında, ABD'deki mandıraların çiftlik koşulları, yeşil mısır yemi silosuna uygun hale getirilmiş ve kısa süre sonra New England çiftçileri tarafından benimsenmiştir. Maryland'den Francis Morris, Amerika'da üretilen ilk silajı 1870'li yılların sonuna doğru hazırlamıştır. ABD'de elde edilen olumlu sonuçlardan sonra sistem, Thomas Kirby tarafından İngiliz mandıra sürüleri için Birleşik Krallık'ta uygulamaya alınmıştır. İlk silolar, yerin üstünde veya altında taş veya betondan yapılmıştır. ABD'de yapılar tipik olarak 1-12 m derinliğe kadar ahşap silindirlerden yapılmıştır. Mekanize tarımın ilk zamanlarında, silaj için ihtiyaç duyulan bitkilerin sapları bir bıçak ve at arabası kullanılarak elle kesilip toplanmakta ve

sapları kesip dar bir borudan bir “kule silo”nun tepesine üfleyen sabit bir makineye beslemekteydi (Kumari, 2017).

1900'lere gelindiğinde, silolama, hem Avrupa'da hem de Kuzey Amerika'da mahsulü korumanın baskın olmasa da tercih edilen bir yoluydu. Silaj üretiminin temel ilkeleri yüzyıllardır uygulansa da silajın başarı öyküsü, yoğun hayvansal ürün üretiminin talep edildiği 1950'li yıllara kadar ertelenmiştir. Bu koruma yönteminin yeniden canlanması, 1960'larda Avrupa ve Kuzey Amerika'da yem hasat makinesinin kullanılmaya başlanmasıyla da şahlanmıştır (Alonso ve ark., 2013).



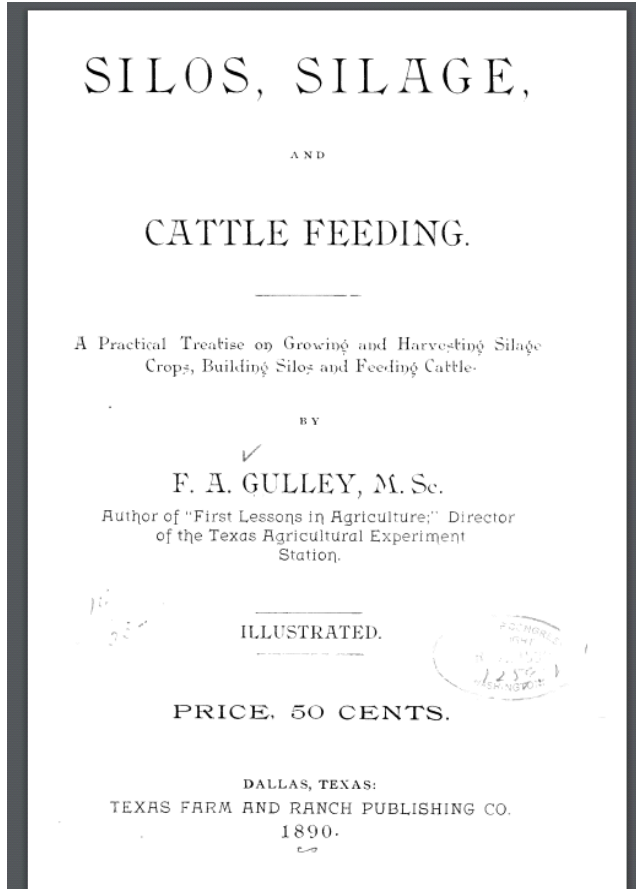
Şekil 1: Central Valley (CA, ABD)'de Bir Silaj Çukuru (1930'ların Sonu)
(Fotoğraf: Alan George) (Noelia, 2017)

Günümüz dijital akademik veri tabanlarında bulunan basılmış en eski silaj kitaplarından bazıları şunlardır:

1) "The Relative Value of Dry Fodder Corn and Silage as Food for Milch Cows" - Henry, W.A. (1882).

- 2) "Construction of Silos and the Compression of Green Crops for Silage" - Potter, T. (1886)
- 3) "Corn Silage Versus Fodder Corn for Milk and Butterfat Production" - Henry, W.A. (1887)
- 4) "Stack Silage Made from Brackens" - Aitken, A.P. (1888)
- 5) "Silos, Ensilage and Silage" - Miles, M. (1889).
- 6) "Digestibility of Corn Fodder and Silage" - Armsby, H.P., Caldwell, W.H. (1889)
- 7) "Silos, Silage, and Cattle Feeding: A Practical Treatise on Growing and Harvesting Silage Crops, Building Silos and Feeding Cattle" - Gulley, F.A. (1890).
- 8) "The Silo and Silage" - Cook, A.J. (1890)
- 9) "Corn Silage vs. Sugar Beets as Food for Milk Production" - Thorne, C.E., Hickman, J.F. (1890)
- 10) "Silos and Silage" - French, H.T. (1891)
- 11) "Roots vs. Silage for Fattening Lambs" - Harwood, P.M., Mumford, F.B. (1892)
- 12) "Corn as a Silage Crop" - Jordan, W.H. (1894)
- 13) "The Necessary Loss of Dry Matter in Corn Silage" - King, F.H. (1895)
- 14) "Sunflowers and English Horse Beans as Silage Crops" - Bartlett, J.M. (1896)
- 15) "Silage for Horses" - Nourse, D.O. (1897)
- 16) "Silo and Silage of Today" - Plumb, L.S. (1899)
- 17) "Silage, and the Construction of Modern Silos" - King, F.H. (1900)

- 18) "Preliminary Report on Steamed Silage" - Withycombe, J., Knisely, A.L. (1902)
- 19) "Soybean Silage as a Food for Dairy Cows" - Woll, F.W., Humphrey, G.C. (1904)
- 20) "Rape as Material for Silage" - Lamb, A.R., Evvard, J.M. (1905)



Şekil 2: Gulley'in Yazarı Olduğu, 1890 Yılında Texas'da Basılan Silaj Kitabı (Gulley, 1890)

4. SİLAJ YAPIMINDA TEMEL DEĞİŞKENLER

4.1. Yem Bitkisi Tipi

Silolama için çok farklı bitki materyalleri kullanılabilir. Buğdaygiller, yonca, arpa, mısır, buğday, sorgum, elma posası ve pancar küspesi gibi gıda endüstrisinin nem içeren çeşitli yan ürünlerinin silolanması yaygındır (Ajila ve ark., 2012). Silaj yapımında kullanılan en önemli materyaller buğdaygillerden mısır ve sorgumdur. Buğdaygillerin silajı Avrupa'da, mısır silajı Kuzey Amerika'da yaygındır. Hollanda, Belçika, Almanya ve Danimarka gibi ülkeler kaba yemlerinin %90'ından fazlasını silaj olarak depolamaktadırlar. Siloluk ürünler arasında baklagiller de yer almaktadır. Genellikle baklagil yem bitkileri kurutularak kullanılmaktadır. Fakat yemler kurutulduğunda yaprak, sap ve dal kayıplarına bağlı olarak protein, mineral ve suda çözünen karbonhidrat içeriğinde bir azalma meydana gelmektedir. Bununla birlikte, birçok tropik bölgede otları kurutmak oldukça zordur, çünkü yemlerin kaliteli olduğu zamanlarda, ki bu normalde yağışlı mevsimin başlarındadır, hava genelde bitkileri güneşte kurutmak için çok uygun değildir. Ayrıca yapay kurutma pahalıdır ve kurutma tesisleri de yaygın değildir. Silaj ise yüksek nem içerikli taze bitkilerin soldurulmasıyla rahatlıkla yapılabilir (Alonso ve ark., 2013). Yemlik sorgum, sudanotu, inci darı, sorgum-sudan hibritleri ve baklagil-buğdaygil yem bitkisi karışımları ve diğer sıcak mevsim tek yıllık bitkiler de silaj için kullanılmaktadır, ancak nem içeriği yüksek ise azaltmak için mutlaka soldurulmaları gerekmektedir. Bu ürünler yüksek enerji içerikli yem ve yüksek verim üretebilirler, çok lezzetlidirler ve tarlada yetişen bitkisel

aksamları istenen olgunluğa ulaştığında doğrudan kesilerek saklanabilmektedir (Lemus, 2010).

4.2. Yem Bitkisinin Olgunluk Düzeyi

Yem bitkileri doğru olgunluk ve uygun kuru madde oranına geldiğinde hasat edilmelidir. İyi bir sıkıştırma yapmak, fazla oksijeni ortadan kaldırmak, butirik asit birikimini önlemek ve bozulma kayıplarını en aza indirmek için yemler uygun büyüklükte parçalanmalıdır. Mısır silajı için danelerin süt olum-hamur olum döneminde ve yaklaşık %35 kuru madde (KM) içeriğinde hasat edilmelidir. Çimler (*Lolium spp*) süt olum döneminde ve KM içeriği %35-45 ulaştığında hasat edilmelidir. Buğday, çavdar ve yulaf gibi serin iklim tahılları ise hamur olum aşamasında %30-40 KM içerdiği dönemde hasat edilmelidir (Lemus, 2010). Silolanacak yemdeki suda çözünür karbonhidratların (SÇK) miktarı yüksek ise, anaerobik mikroorganizmalar tarafından laktik aside hızla fermente edilen hazır bir enerji kaynağı mevcut olmakta ve sonuçta pH düşüşü genellikle daha hızlı sağlanmaktadır (Kumari, 2017). Hasat edilen silolanacak yemin olgunluğu arttıkça, KM içeriği ve suda çözünür karbonhidrat konsantrasyonu artar, tamponlanma kapasitesi düşer, sonuç olarak silaj yeminin pH'ı, erken hamur döneminde hasat edilmiş silaja kıyasla daha düşük olmaktadır (Kumari, 2017).

4.3. Bitkisel Aksamın Hazırlanması Ve Nem İçeriğinin Ayarlanması

Bitkisel aksamın doğranmış parçalarının büyüklüğü, silajın sıkıştırılmasını ve dolayısıyla kalitesini etkilemektedir. Çim türleri (*Lolium* spp), mısır ve sorgumdan daha ince doğranmış olmalıdır. Soldurulmuş bitkiler, kurutulmuş bitkiler ve içi boş saplara sahip bitkiler daha ince doğranmalı, böylece hava içeren bölmelerin çoğu ortadan kaldırılarak daha iyi bir sıkıştırma sağlanmalıdır. Siloya konulacak ürünlerdeki nem içeriği %60-65 olmalıdır. Yemlerin kuru madde içeriği silaj kalitesini etkilemektedir. Yemin yüksek nem içeriği, silajda aşırı aktif fermentasyona sebep olmakta ve genellikle silodan sızma yoluyla kayıpların artışına yol açmaktadır. Ayrıca, hayvanların yüksek nemli silajları tüketimi de ideal kuru madde içeriğine sahip silaj tüketimine kıyasla daha düşüktür (Kumari, 2017). Soldurma, silolanacak yemin nemini azaltmak ve kuru maddesini kabul edilebilir bir aralığa yükseltmek için etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Güneşli bir günde 3-4 saat boyunca soldurma, çimlerin nem içeriğini %10-15 civarında azaltabilmektedir. Hava soldurmaya uygun değil ise, buğdaygil bitkilerinin nem içeriği, içerisine %5-20 kuru ot eklenerek istenen aralığa düşürülebilmektedir (Kumari, 2017).

4.4. Gerektiğinde Silaj Düzenleyicilerin Eklenmesi

Silajlara bazı katkı maddeleri ve koruyucular eklenebilmektedir. Baklagiller gibi bazı bitkilerin şeker içeriği düşüktür. Yeşil bitki

ağırlığının %3-3.5'ine melas ilavesi (sıvı veya kurutulmuş halde) laktik ve asetik asit üretimini, aynı zamanda yemin lezzetini ve besin değerini arttırmaktadır. Taze yemlere %0.5 oranında üre eklenmesi silajı azot açısından zenginleştirir, çünkü buğdaygil türündeki bitkiler çoğunlukla bu elementten yoksundur. Asit üretimini artırmak için mısır silajına %0.5-1 oranında kalker ilave edilebilir. Laktik asit bakterilerinin daha uzun süre performans göstermesini ve daha fazla arzu edilen asitleri üretmesini sağlamaktadır. Sodyum metabisülfid bir antibakteriyeldir ve karoten içeriğini geliştirmektedir. Organik asitler (propiyonik ve formik asit), yemlerin lezzetini kaybetmeden korunmasını arttırmak için kullanılmaktadır. *Lactobacillus acidophilus*, *Torulopsis* sp. gibi asit oluşturan bakteriler ve *Bacillus subtilis* türleri silajlara eklenebilmektedir. Bunların dahil edilmesinin amacı, hızlı fermentasyona yardımcı olmak için bakteri sayısını artırmaktır (Kumari, 2017).

5. SİLAJIN YAKIN TARİHİNDEKİ MİHENK TAŞI BAZI ARAŞTIRMALAR

Silajın tarihçesinde mihenk taşı araştırmalar vardır. 1932 yılında Finlandiya'dan Prof. Virtanen, asitlerin silaj muhafazasına olan etkisini ilk kez ortaya koyan kişi olup, çalışması 1945'te Nobel Kimya Ödülü ile ödüllendirilmiştir (Duniere ve ark., 2013). Bütirik asidin hayvanların silaj tüketimini azalttığı, ilk kez 1963'te Harris ve Raymond (1963) tarafından bildirilmiştir (Wilkins ve Wilkinson, 2015).



Şekil 3: ABD'de Beltsville'deki bir mandıra çiftliğinde bir bank tipi silo (McCalmonf, 1956)

Weise (1971), agar ortamına eklenen %0.3 propiyonik asidin silajlarda maya ve küf gelişimini geciktirdiğini saptamıştır (yayınlanmamış çalışma; aktaran: Britt ve ark., 1975). Henderson ve ark. (1972), formik asitle işlenmiş bitkilerdeki maya sayımlarının, işlenmemiş kontrollere göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Syrjala (1972), sukroz takviyesinin N tutumunu arttırdığını bildirmiştir. Lingvall (1972), mikrobiyal katkı maddelerinin yüksek uygulama oranının önemini gösteren ilk çalışmayı yapmıştır (aktaran: Wilkins ve Wilkinson, 2015). Ohya ve ark. (1975), bir silajda aerobik bozulma oluşumunun pH değerini ölçerek izlenebileceğini belirlemişlerdir. Woolford (1975), silajlardaki antimikrobiyal spektrumu değerlendirmek için bir mikrobiyolojik tarama prosedürü geliştirmiştir. Woolford (1976)

silajların düşük pH'ının birçok mayanın hayatta kalmasını engellemediğini, çünkü mayaların 3-8 pH aralığında büyüyebildiğini tespit etmiştir. Woolford (1978), *Bacillus* spp.'nin mısır silajında aerobik bozulmanın bir nedeni olduğunu tespit etmiştir. Dulphy ve ark. (1975), ot silajlarının fiziksel faktörlerinin (parça uzunluğu) koyunlar tarafından tüketimi üzerindeki etkisini belirlemiştir. Lindgren ve ark. (1985), silo açıldığında pH düşük ve laktik asit konsantrasyonu yüksek olmasına rağmen, ciddi şekilde bozulmuş mısır silajında yüksek sayıda enterobakteri saymışlardır. Spoelstra (1983), nitratın silajdaki karmaşık etkilerini ortaya koymuştur. Spoelstra ve ark. (1987), silajın aerobik bozulmasında asetik asit bakterilerinin rolü olduğunu saptamışlardır. Weissbach (1996), silajın aerobik bozulmasından *Penicillium roqueforti*'nin sorumlu olduğunu göstermiştir.

Son 10 yılda ortaya çıkan, silaj yapımını oldukça kolaylaştırmış birçok yenilikçi teknik ve ticari girdi sayesinde silaj yapımı, çok geniş yelpazede bitki ve gıda yan sanayi ürününü kapsayacak şekilde oldukça farklı iklim ve silo tiplerinde başarılı ve ekonomik şekilde gerçekleştirilen, işin hayvan besleme yönü, ekonomisi, işletme idaresi, çevreye etkileri, insan ve hayvan sağlığına etkileri açısından da bir seri iyileştirme geçirmiş ileri seviye bir yem koruma tekniği haline gelmiştir.

KAYNAKLAR

- Aitken, A.P. 1888. Stack silage made from brackens. Transactions of the Highland Society of Scotland (4th Series), 20: 209-213.
- Ajila, C.M., Brar, S.K., Verma, M., Tyagi, R.D., Godbout, S., Valéro, J.R. 2012. Bio-processing of agro-byproducts to animal feed. Critical Reviews in Biotechnology, 32(4): 382-400.
- Alonso, V.A., Pereyra, C.M., Keller, L.A.M., Dalcerro, A.M., Rosa, C. A.R., Chiacchiera, S.M., Cavaglieri, L.R. 2013. Fungi and mycotoxins in silage: an overview. Journal of Applied Microbiology, 115(3): 637-643.
- Armsby, H.P., Caldwell, W.H. 1889. Digestibility of corn fodder and silage. NAL-National Agricultural Library. USA.
- Bartlett, J.M. 1896. Sunflowers and English horse beans as silage crops. Me. Agr. Exp. Sta. Rpt, 32.
- Batra, M., Kant, R., Sharma, D.K., Garg, M.K. 2016. Evaluation of jumbo silo bag for silage preparation and storage. Advances in Life Sciences, 5(19): 9643-9646.
- Britt, D.G., Huber, J.T., Rogers, A.L. 1975. Fungal growth and acid production during fermentation and re-fermentation of organic acid treated corn silages. Journal of Dairy Science, 58(4): 532-539.
- Cook, A.J. 1890. The Silo and Silage. R. Smith & Company, Printers and Binders.
- Dulphy, J.P., Bechet, G., Thomson, E. 1975. Influence of the physical structure and quality of conservation of grass silages on their voluntary intake by sheep. In Annales de Zootechnie.
- Duniere, L., Sindou, J., Chaucheyras-Durand, F., Chevallier, I., Thévenot-Sergentet, D. 2013. Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. Animal Feed Science and Technology, 182(1-4): 1-15.
- French, H.T. 1891. Silos and silage. Oregon Agricultural Experiment Station. Bulletin No: 9.

- Gulley, F.A. 1890. Silos, silage, and cattle feeding: a practical treatise on growing and harvesting silage crops, building silos and feeding cattle. Texas Farm and Ranch Publishing Company.
- Harris, C.E., Raymond, W.F. 1963. The effect of ensiling on crop digestibility. *Grass and Forage Science*, 18(3): 204-212.
- Harwood, P.M., Mumford, F.B. 1892. Roots Vs. Silage for Fattening Lambs (Vol. 84). Michigan Agricultural Experiment Station, State Agricultural College.
- Henderson, A.R., McDonald, P., Woolford, M.K. 1972. Chemical changes and losses during the ensilage of wilted grass treated with formic acid. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23(9): 1079-1087.
- Henry, W.A. 1882. The relative value of dry fodder corn and silage as food for milch cows. *wis. Agr. Expt. Sta. Rpt. on Experiments in Amber Cane and the Ensilage of Fodder*, 2: 78.
- Henry, W.A. 1887. Corn silage versus fodder corn for milk and butterfat production. *Ann. Rpt., Wis. Agr. Expt. Sta*, 4: 25.
- Hutnik, E., Kobiela, S. 2012. Density of silage stored in horizontal silos. *Acta Agrophysica*, 19(3).
- Jordan, W.H. 1894. Corn as a silage crop. NAL- National Agricultural Library. USA.
- King, F.H. 1895. The necessary loss of dry matter in corn silage. 12th Annual Report, Wisconsin Agricultural Experiment Station, 273-276.
- King, F.H. 1900. Silage, and the construction of modern silos. NAL- National Agricultural Library. USA.
- Kumari, M.B. 2017. Silage: The conserved fodder. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 6(2): 2319-1473.
- Lamb, A.R., Evvard, J.M. 1905. Rape as material for silage. Unpublished data, 1904: 166-182.
- Lemus, R. 2010. Understanding silage making process and utilization. Cooperative Extension Service, Mississippi State University: Starkville, MS, USA, 3.
- Lindgren, S., Pettersson, K., Kaspersson, A., Jonsson, A., Lingvall, P. 1985. Microbial dynamics during aerobic deterioration of silages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36(9): 765-774.

- Mannetje, L. 2000. Introduction to the conference on silage making in the tropics. FAO Plant Production and Protection Papers, 1-4.
- McCalmonf, J.R. 1956. United States department of agriculture. agricultural engineering research branch, agricultural research service. Agricultural Information Bulletin No. 149.
- Miles, M. 1889. Silos, ensilage and silage. NAL- National Agricultural Library. USA.
- Noelia, S. 2017. Assessing the feeding value of your corn silage. UCCE Dairy Extension. Veterinary Medicine Teaching and Research Center. University of California.
- Nourse, D.O. 1897. Silage for horses. Virginia Agricultural Experiment Station.
- Ohyama, Y., Masaki, S., Hara, S.I. 1975. Factors influencing aerobic deterioration of silages and changes in chemical composition after opening silos. Journal of the Science of Food and Agriculture, 26(8): 1137-1147.
- Plumb, L.S. 1899. Silo and silage of today. NAL- National Agricultural Library. USA.
- Potter, T. 1886. Construction of silos and the compression of green crops for silage. NAL- National Agricultural Library. USA.
- Rooke, J.A., Hatfield, R.D. 2003. Biochemistry of ensiling. Silage science and technology, 42: 95-139.
- Spoelstra, S.F. 1983. Inhibition of clostridial growth by nitrate during the early phase of silage fermentation. Journal of the Science of Food and Agriculture, 34(2): 145-152.
- Spoelstra, S.F., Courtin, M. G., van Beers, J.A.C. 1987. The role of acetic acid bacteria in aerobic deterioration of silage. In Proceedings of the 8th Silage Conference. Hurley (pp. 33-34).
- Syrjala, L. 1972. Effect of different sucrose, starch and cellulose supplements on the utilization of grass silages by ruminants.
- Thorne, C.E., Hickman, J. F. 1890. Corn silage vs. sugar beets as food for milk production. Bulletin of Ohio Agricultural Experiment Station. Second series, Volume III, Number 5, Article XIII.

- Weissbach F. 1996. New developments in crop conservation. In Proceedings IX International Silage Conference, Aberystwyth, UK, Jones DIH, Jones R, Dewhurst R, Merry RJ (eds). IGER: Aberystwyth, UK; 11–25.
- Wilkins, R., Wilkinson, M. 2015. Major contributions in 45 years of International Silage Conferences. In Proc. XVII Intl. Silage Conf., Piracicaba, Brazil. University of São Paulo, Piracicaba, Brazil (pp. 26-51).
- Wilkinson, J.M., Bolsen, K.K., Lin, C.J. 2003. History of silage. *Silage Science and Technology*, 42: 1-30.
- Withycombe, J., Knisely, A.L. 1902. Preliminary report on steamed silage. Oregon Agricultural Experiment Station. Bulletin No: 72.
- Woll, F.W., Humphrey, G.C. 1904. Soybean silage as a food for dairy cows. *Wis. Agric. Exp. Sta., 21st Annual Reptort*, 67-74.
- Woolford, M.K. 1975. Microbiological screening of the straight chain fatty acids (C1-C12) as potential silage additives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26(2): 219-228.
- Woolford, M.K. 1976. A preliminary investigation into the role of yeasts in the ensiling process. *Journal of Applied Bacteriology*, 41(1): 29-36.
- Woolford, M.K. 1978. The aerobic deterioration of silage. *ARC Research Review*, 4(4): 8-12.

BÖLÜM 2

SİLAJ SİLO SİSTEMLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Doç. Dr. Nizamettin TURAN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449176>

¹ Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt. E-mail: nturan49@siirt.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-4026-6781

1. GİRİŞ

Silaj günümüzde hayvancılık işletmeleri için yeşil yemin temin edildiği ve özellikle yem sıkıntısının yaşandığı dönemlerde ihtiyacın karşılandığı en önemli kaba yem kaynaklarından biridir (Eliş ve Özyazıcı, 2019). Silaj kalitesini; kullanılan bitki materyalinin türü ve çeşidi (Özyazıcı ve ark., 2018a, 2018b), karışım oranları (Seydoşoğlu ve Gelir, 2019; Turan, 2019; Özyazıcı ve ark., 2022), biçim devresi gibi faktörler etki ettiği gibi, silajın yapılacağı ortamın fiziki yapısı ve/veya silonun özellikleri de önemli oranda etkilemektedir. Hayvancılık işletmelerinde çeşitli silaj depolama sistemleri (silo) kullanılmaktadır. Silo tipleri genellikle geniş getiren hayvanlar için yüksek kaliteli yemleri, minimum maliyetle korumak üzere tasarlanmıştır. Silo tipi, silajın; kuru madde oranı, ham protein içeriği, asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF), nötral deterjanda çözünmeyen lif (NDF), pH, sıcaklık ve fleig puanı gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkiler (Batra ve ark., 2016). Yeşil yem materyallerinin silolanmasında, yemin özellik ve kalitesindeki değişiklikleri en aza indirerek yemi belli bir süre bozulmadan saklamak temel esastır. Diğer bir ifadeyle başlangıçtaki kalitenin mümkün olduğunca korunması ve kalite üzerinde olumsuz etkide bulunan değişimleri en aza indirmek amacıyla silolama yapılır.

Bu bölümde; İyi planlanmış, uygun şekilde inşa edilmiş ve profesyonelce oluşturulmuş bir silo, kaliteli silajın temelini

oluşturduğunu ve bozulmayı azalttığını ve bu nedenle siloların standartlara uygun şekilde yapılması gerektiği vurgulanmaktadır.

2. SİLAJ SİLOLARINDA TASARIM HEDEFLERİ VE SİLO YERİNİN SEÇİMİ

Silolar, birçok farklı olumsuz şartlara maruz kalan özel yapılardır. Bu nedenle bazı durumlarda beklenmeyen problemlere neden olabilmektedir. Bir silonun arızalanması durumunda çeperlerin kaybına, içerdiği malzemenin bozulmasına, malzeme kaybına, temizleme ve yenileme maliyetlerine, çevresel tahribata ve olası yaralanma veya can kaybına neden olabilir (Dogangun ve ark., 2009). Bu yapılar standartlara uygun inşa edildiğinden emin olmak için profesyonel danışmanlık almak önemlidir (Visser, 2010).

Silaj depolama sistemleri tasarlanırken ve inşa edilirken yer seçimi ile birlikte yapılmalıdır. Silo çukurları için yer seçimi de son derece önemli bir faktördür. Siloların tasarımı, inşası ve yer seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı faktörler söz konusu olup (Kutlu, 2001; Nussbaum, 2013; Davis, 2021), bu faktörlerden bazıları şunlardır:

- Yağışın ve silaj atık sularının depolama alanından uzaklaşması için silo yeri en az % 1-2 eğime sahip olmalıdır. Bu amaçla eğimli araziler kullanılabilceği gibi, düz alanlarda da silo tabanında %1-2 eğim oluşturulması gereklidir.

- Silo, besi yerine ait kontrollü drenaj alanında bulunmalıdır. Silolar sağlam zemin üzerinde inşa edilmeli ve yapım yerinin taban suyu düzeyi dikkate alınarak silo derinliği ayarlanmalıdır.
- Silo, yem işleme ve yem hazırlama (rasyon) alanına yakın olmalıdır. Ayrıca yemlerin, kolay doldurulup boşaltılması için taşıma araçları trafiğine uygun boş alan bulunmalıdır.
- Yapısal olarak sağlam ve uzun ömürlü bir silo yapı tipi seçilmelidir.
- Silo, sızma olasılığı nedeniyle şerbet çukurları ve gübreliklerin yakınında yapılmamalıdır.
- Yapılacak silonun büyüklüğü hayvan sayısına, silajlık yemin miktarına ve silo yeminin yedirilme süresine bağlı olarak değişir. Küçük işletmeler için aşırı büyük bir silo yerine daha küçük kapasiteli birkaç silo yapılması, yapım ve yemlemede avantaj sağlar.
- Silonun doldurulması ve silajın hayvan barınaklarına taşınması sırasında insanlar ve makineler için tüm iklim koşullarında siloya güvenli bir erişim sağlanabilmelidir. Ancak silolar, barınak içerisine silaj kokusu sinmeyecek şekilde hakim rüzgarın ters istikametinde inşa edilmelidir.
- Silo yemine gereksinimin artması halinde, yeni siloların yapımına olanak verecek şekilde yeterli alan olmalıdır. Siloların mimari yapıları çiftliğin genel görünümünü bozmayacak şekilde planlanmalıdır.
- Biçilen silajlık materyal siloya doldurulduktan sonra mümkün olan en kısa sürede hava geçirmeyecek şekilde kapatılmalı ve hayvan besleme başlayana kadar hava almayacak şekilde kapatılmalıdır.

- Silo yapımında kolay temin edilebilir ekonomik ve ucuz malzeme kullanılmalıdır.
- Kullanılan örtü malzemesinin türü ne olursa olsun, silodaki materyali yağmur suyuna ve hava girişine karşı iyi bir şekilde korumalıdır.
- Silajlık materyal, silaj katkı maddeleri, silaj örtü malzemesi, silo yapımında kullanılan malzemeler kaliteli bir silaj için standartlara uygun olmalıdır.
- Silolar standartlara uygun bir şekilde yapıldığı takdirde, işçilik ihtiyacı ve maliyetlerin düşürülmesi açısından da avantaj sağlar.

3. SİLO NEDİR? ÖZELLİKLERİ NELERDİR?

Silaj, biçme makinesi ile biçilip parçalanmış ve su içeriği bakımından zengin silajlık yeşil yem materyalinin sıkıştırılarak depolandığı yerlere silo kabı, silaj deposu, silaj çukuru veya kısaca silo denilmektedir.

Silaj yapımı için önceleri toprak üstü geçici silolar kullanılırken, zamanla toprak üstü yatay silolar, taştan veya betondan yapılan silolar ve dikey kule tipi metal silolar kullanılmaya başlanmıştır. 1950'li yıllardan sonra silajın balya haline getirilerek balyaların tek bir silo çukurunda toplanması, 1980'li yıllardan sonrada ise silaj balya haline getirildikten sonra bireysel olarak ambalajlanması gündeme gelmiştir (Kılıç, 1986; Yalçın ve Bilgen, 2002; Yalçın ve Çakmak, 2005).

Beton, taş, tahta veya plastik malzemedeki yapılabilen siloların en önemli özelliği içerisinde bulunan silajlık materyal ile dışarıdaki nem ve hava arasında tam bir izolasyon sağlamasıdır. Bu sağlanmadığı

taktirde elde edilecek silo yemi veya silaj hayvan besleme açısından iyi bir yem özelliği taşımayacağı gibi hayvanlar için zararlı etkilere de sahip olabilir. Dolayısıyla silo kabı, içine konan yemlerin fermentasyonu hayvanların severek yiyecekleri sınırlar arasında tutacak nitelikte olmalıdır. Buna göre, silo kapları hangi malzemeden yapılırsa yapılsın, aşağıdaki teknik özelliklere sahip olmalıdır (Kutlu, 2001)

- Silo yapı malzemesi, yem suyunu emmemeli ve yem suyundan etkilenmemelidir. Kullanılan malzeme yemin kalitesinin bozulmasına neden olmamalıdır.
- Yapı elemanları hava ve suyu içeriye sızdırmayacak özellikte olmalıdır. Duvarların iç yüzeyinde hava boşluğu oluşumuna yol açacak girinti, çıkıntı ve köşeler bulunmamalıdır. Yani iç yüzey pürüzsüz olmalıdır.
- Silo duvarları ve tabanı yem kitlesinin yaptığı yatay ve dikey basıncı karşılayabilecek dirence sahip olmalıdır.

4. SİLO SEÇENEKLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Silolarda depolanan silajlık materyalin kalitesinin korunması temel hedeftir. Silajın kalitesi yem materyali ile doğrudan ilişkili olsa da, silaj depolama sistemleri de silaj kalitesi üzerinde önemli etkilere sahiptir. Silolar, yemin kıyılmış veya kıyılmamış olmasına göre iki ana grup altında incelenebilir.

4.1. Kıyılmış Kaba Yem Siloları

Kıyılmış kaba yemlerin silolanması için, bir yem kıyıcı (biçme makinesi) ve traktör, kıyılmış yemi siloya taşımak için römork, vagonlar veya kamyonlar olmak üzere özel alet-ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kaba yemi kıymak ve siloya taşımada kullanılan ekipman maliyeti oldukça yüksektir. Genellikle büyük hayvancılık işletmeleri kıyılmış kaba yem silajı kullanmaktadır ve bu alet ve ekipmanlara sahiptir. Silajlık materyalin parçalama (doğrama) işlemi, silolama veya paketleme esnasında daha iyi sıkışmasını sağlar ve aynı zamanda kütesinden havanın atılmasını da kolaylaştırır. Biçim makinesinin doğrama bıçakları ve kesme çubuğunun keskin olması ve istenen doğrama uzunluğunu tutarlı bir şekilde elde etmek için uygun şekilde ayarlanması gerekir. Biçilen kaba yemlerin aşırı doğranması durumunda, silajı tüketen hayvanların tükürük üretimini azaltabilir ve daha küçük yem partiküllerinin daha az çiğnenmesi nedeniyle süt yağını azaltabilir (Adesogan ve Newman, 2010).

Dikey veya yatay olabilen kalıcı veya geçici yapılarla birlikte, çelikten veya plastikten yapılmış variller, 2 m çapında ve yüksekliğinde beton su boruları, 2 mm kalınlığında plastik ambalaj poşetleri dahil olmak üzere birçok farklı silo tipleri vardır. Oldukça mekanize olan büyük çiftliklerde, 100 m³ veya daha fazla kapasiteli silolar kullanılmaktadır. Bu, verimliliği artırır ve işçilik maliyetini azaltır. Bununla birlikte, sadece birkaç hayvanın bulunduğu küçük aile çiftliklerinde, elle doldurulan 150-200 kg kapasiteye sahip kaplar da silo amaçlı kullanılmaktadır. Her durumda, malzeme sıkıca paketlenmeli ve

anaerobik koşullar altında tutulmalıdır. Çanta tipi paketler üstten bağlanmalı ve daha sonra bir piramit oluşturacak şekilde bir örtünün altına yığılmalıdır. Kalıcı silo alanlarının sert, geçilmez zeminlere sahip olmaları önerilir (García, 2000).



Şekil 1: Toprak Duvarlı Silo
(Anonymous, 2023a)



Şekil 2: Beton Duvarlı Silo
(Anonim, 2023b)



Şekil 3: Hafif Eğimli Bir Alana
Açılan Yamaç Çukuru
(Davis, 2021)

Kıyılmış silaj yapımında topraksız ve temiz yem biçir ve toplanır, doğranır, gerekirse yüksek su içeriğine sahip yemler için ön terbiye gibi ek teknikler uygulanır ve korumayı iyileştirmek için koruyucu maddeler (şekerli ürünler, formik asit, küf önleyiciler vb.) kullanılır ve silolama yapılır (TECA, 2020). Kıyılmış yem siloları geçici ve kalıcı olmak üzere iki grup altında toplanır.

4.1.1. Geçici silolar

Geçici silolar, silajlık materyalin toprak üzerinde yaklaşık 2-3 m yüksekliğinde bir yığın şeklinde ya da toprak içine hendek şeklinde yaklaşık 1-1,5 m kazılan bir yerde depolanmasıyla oluşturulan oldukça eski ve basit silolardır (Şekil 4 ve 5). Geçici silolar, geçici toprak üstü yığınları, geçici yamaç çukurları (hendek) ve geçici toprak üstü torba silolar, vakum sosis silolar ve plastik sosis silolar olmak üzere 5 gruba ayrılır.

a) Geçici toprak üstü yığımları

Yığın şeklinde silaj depolama, kısa süreli depolama amacıyla yapılmaktadır. Bu sistemde silaj toprak üzerine serilir ve iyice sıkıştırılır. Yığının üzeri plastik örtü ile tamamen kapatılır ve örtünün üzerine de kum torbaları veya eski araç lastikleri konularak silo içerisine hava girişi engellenir. Bu silolar hava girişine oldukça müsait oldukları için plastik örtü (PVC ve polietilen) ile kapatma sırasında çok dikkatli olunmalıdır. Ayrıca plastik örtünün yer ile temas ettiği kenar bölümler, hava girişi için en uygun yerlerdir. Bu nedenle kenar bölümlerin çok iyi kapatılması ve üzerine ağırlık konulmasına büyük özen gösterilmelidir. Aksi halde bu tip silolarda yapılan silajlarda çok fazla oksidasyon kayıpları görülmesi kaçınılmaz olacaktır. Geçici toprak üstü silolar ülkemizde en yaygın silo tipleridir. Bu tür silolarda fermentasyon kayıpları daha fazladır. Maliyeti düşük olduğundan dolayı üreticiler tarafından daha çok tercih edilmektedir. Sonuçta bu tür silolar ülkemizdeki kötü fermente olmuş silaj oluşumunda çok önemli rol oynamaktadır (Kutlu, 2001; Turan ve Seydoşoğlu, 2020).



Şekil 4: Yığın Silo (Anonymous, 2023c)



Şekil 5: Yığın Silo (Anonim, 2023d)

Toprak üstü geçici silolamada yan duvarlar olmadığı için yığının yüksekliği sınırlıdır ve yüzey alanının hacme oranı diğer sistemlere kıyasla daha yüksektir. Büyük yüzey alanı potansiyel olarak bozulmayı artırır. Yığınlar, düşen dalların ve kuşların neden olabileceği olası zararları en aza indirmek ve drenaj sağlamak amacıyla hafif eğimli bir alana ve ağaçlardan uzağa konumlanmalıdır. Yığın genişliği, kullanılacak plastik örtünün boyutuna uygun olmalıdır. Örneğin, 13x33 m'lik plastik bir örtü, 9-10 m'lik bir yığın genişliğinin örtü kenarlarının gömülmesi veya üst üste bindirilmesi yoluyla kapatılması uygundur (Davis, 2021).

b) Geçici yamaç çukurları (hendek silolar)

Hendek silolar, gerek yapılaşlarının basitliği, gerekse doldurma ve boşaltmanın kolay olması nedeniyle yaygın kullanılan bir silo tipidir. Sadece işçilik masrafı ile yapılabilen hendek silolar, duvar yüzeyleri kaplanmadan 1-2 yıl kullanılabilir. Hendek silolar, yağmur sularının sızmasına olanak vermeyecek şekilde bir yamaç eteğine yerleştirilerek, yağış sularından korunması sağlanır. Ayrıca silo tabanında biriken silaj suyunun drenajı için de %1-2 düzeyinde meyil bırakılmalıdır. Hendek siloların yan duvarlarına da 1/3 oranında bir eğim verilmelidir. Aynı zamanda yüzey sularının silo içine akışını önlemek için de silo yanlarında oluk şeklinde su arklarının oluşturulması gerekir. Silaj, silonun bir ucundan çıkarılabileceği gibi, her iki ucundan da çıkarılabilir. Ancak, hava teması nedeniyle bozulmayı engellemek için açılan uçtan her gün ortalama olarak sadece 10 cm kalınlığında bir yem kitlesi çıkarıldıktan hemen sonra kapatılmalıdır. En çok uygulanan

taban genişliği 2-3 m kadardır. Kazı toprağının taşınmasında, silo yeminin boşaltılmasında ve sıkıştırılmasında kolaylık sağlamak için, eğimli arazide bir uç, düz arazide ise her iki uç rampalı olarak kazılmalıdır. Sürekli hendek siloların duvar yüzeylerinin taş, tuğla, beton, briket, demirli beton, katranlanmış ahşap gibi malzemelerle döşenmesi gerekir. Tabanın döşenmesinde de beton, taş ve çakıl gibi malzemeler kullanılabilir. Sürekli hendek siloların doldurulması sırasında traktör ve benzeri ağır vasıtalar kullanılmıyorsa, tabanın döşenmesine gerek yoktur. Silo tabanı döşenmişse veya su geçirmez killi topraktan oluşmuşsa, tabanın duvarlara yakın kısmında drenaj olukları yapılmalıdır. Taban kumlu veya suyu sızdıran bir topraktan oluşmuşsa, drenajla ilgili herhangi bir önlem almaya gerek yoktur. Özellikle kurak bölgeler için küçük boyutlu sürekli yada geçici kuyu veya hendek siloların uygun olduğunu söylemek mümkündür (Kutlu, 2001).



Şekil 6. Hendek silo (Anonymous, 2023e)



Şekil 7. Hendek silo (Anonymous, 2023f)

Bu silolama sistemlerinin avantajları şunlardır;

1) Malzeme maliyeti çok düşüktür, 2) Silaj materyalinin üzeri, bir greyder bıçağı veya ön yükleyici kepçe kovası kullanılarak kolayca kapatılabilir, 3) Silajın ön yüzden alınması sayesinde gevşek silaj miktarı en aza indirgenir ve böylelikle yığının içine hava girişi azalır, 4) Hayvan beslemede kullanılan ihtiyaca göre, istenen yığın boyutu ve kapasitesi kolaylıkla ayarlanabilir, 5) Birden fazla ayrı yığın yapılması, kaliteyi ve stok kontrolünü kolaylaştırır (Davis, 2021; Turan, 2020).

Bu silolama sistemlerinin dezavantajları şunlardır:

1) Yüzey alanı/hacim oranı fazla olması nedeniyle diğer sistemlere kıyasla bozulma olasılığı daha yüksektir, 2) Silaj materyalinin hendeklere doldurulması ve sıkıştırma esnasında traktör operatörleri için bir iş güvenliği oluşabilir, 3) Güneş ışığına (UV bozunması) maruz kalan örtü malzemesi, silaj materyalini uzun süre saklamayabilir (Davis, 2021).

Kalıcı inşaat gerektirmedikleri için duvarsız silolar basit yapılar olup, ancak gerekli anaerobik koşulları sağlayan hava geçirmeyen örtü malzemelerinin zarar görmesine en yatkın olanlarıdır.

Küba'da 500 ton ve üzeri hacimli ve herhangi bir polietilen örtüyle kaplanmamış büyük silolamalarda, en üstteki yem bozulduğu için hava geçirmezlik sadece merkezde sağlanmış ve bu da %25'in üzerinde ağır kayıplara yol açtığı tespit edilmiştir (García, 2000).

c) Geçici toprak üstü torba silolar

Bu silolar "torba silo", "tüp silo" veya "sosis silo" olarak da adlandırılmaktadır. Bir ucu kapalı ve diğer ucu dairesel bir çelik bantla donatılmış bir polietilen borudan oluşur. Yemi plastik tüpün içine itmek için bir pres kullanılır ve yaklaşık 2 m çapında bir "sosis" ve konulan yem hacmiyle orantılı olarak uzun silolar oluşturulabilir. Aynı konsept, özel makinelerle yüksek yoğunluklu yuvarlak, silindirik veya dikdörtgen balyalar hazırlanırken de kullanılabilir (García, 2000).



Şekil 8: Tüp (sosis, torba) Silo (Bolsen ve Bolsen, 2006)

Polietilenle sarılı torba siloların ortak bir sorunu vardır bu da; polietilen örtü hayvanlar tarafından parçalanırsa havanın girmesine olanak sağlar ve silajın bozulmasına neden olur. Sarılacak yem, hacim azaltmanın tüm avantajlarından yararlanmak, besin madde kaybını önlemek ve ayrıca optimum fermantasyonu desteklemek için en az %25 kuru madde içermelidir (García, 2000).

Torbalı tüp siloların avantajları şunlardır;

1) Düşük sermaye gereksinimi olan bir silolama sistemidir, 2) Dolum için daha düşük işçilik gereksinimleri vardır, 3) Esnek bir depolama sistemi olan tüp siloların kapasitesi, yetiştirilen bitkiden elde edilen verime göre ayarlanabilir, 4) Torba silo sistemi için önerilen yemin kuru madde gereksinimi, "iyi silaj kalitesi" aralığındadır, 5) Torbalar işaretlenerek yem kolayca envanterlenebilir, 6) Bank tipi ve yığın silolara kıyasla doldurma sırasında hava koşullarından kaynaklanan zararlar daha düşüktür, 7) Küçük bir yem boşaltma yüzeyi özellikle sıcak havalarda bir avantajdır, 8) Yem boşaltmak için özel ekipmanlara gerek yoktur, 9) Düzgün yönetilirse kuru madde kaybı (<%10) düşük olur, 10) Kule, bank tipi ve yığma silolara kıyasla daha az güvenlik riski bulunur (Bolsen ve Bolsen, 2006).

Torbalı tüp siloların dezavantajları ise şunlardır;

1) Her yıl tekrarlanan maliyete sahiptir, 2) Kule veya bank tipi silolara kıyasla daha büyük alan kaplar, 3) Yemleme işçilerinin çoğu torbalardan besleme yapmak istemezler, 4) Plastik örtü artıklarının bertaraf edilmesi sorun olabilir, 5) Bank tipi ve yığma siloya kıyasla silaj/ton başına daha düşük yoğunluğa sahiptir ve daha çok plastik gerektirir, 6) Torbalanmış silajda plastik yüzey diğer silolardan fazla olduğundan, delinmelerden kaynaklanan bozulma kayıplarına karşı daha savunmasızdır, 7) Pürüzsüz, yoğun bir torba yapmak deneyim gerektirir (özellikle saman içeren yemlerde), 8) Torbalar, dolundan beslemeye kadarki süreçte düzgün yönetilmezse kuru madde kaybı

%25'i geçebilir, **9)** Delikler ve yırtıklar tespit edilmezse ve tamir edilmezse, torbalarda oldukça fazla kayıplar söz konusu olabilir, **10)** Zemin döşeme ve "pedler" önemli bir ek masraf olabilir, **11)** Çamur içinde kalmış torbalar ciddi bir sıkıntı oluşturabilir, **12)** Torbalı mısır silajında kemirgenler büyük sorun olabilir, özellikle düşük yem yoğunluğu ve plastiğe daha fazla bağımlılık nedeniyle bank ve yığın tipi silolardan bu açıdan daha kötüdür (Bolsen ve Bolsen, 2006).

Preslenen tüp silolarda silaj yapma, kıyılmış silajı uzun plastik tüplere sıkıştıran torbalama ekipmanı ile yapılır. Bu sistem, iyi bir kalite elde etmek için soldurma gerektiren yemlere çok uygundur. Çok çeşitli yemleri depolamak veya farklı tarlalardan gelen küçük miktarlardaki yem partilerini depolamak için oldukça kullanışlıdır (Adesogan ve Newman, 2010).

Büyük çiftlikler için geliştirilmiş, iki plastik katmanla kaplanmış vakumlu tüp silolar da mevcuttur. Bu sistemlerde yem, her iki plastik katmanın kenarlarının birleşmesine izin verecek yükseklikte, biri yere serilen örtü üzerine bırakılır ve diğeri üzerine kapatılır. Siloya sızdırmazlık kauçuk bir boru sistemi ile sağlanır. Paketin bir ucundan tüm hava çıkarıldıktan sonra pakete vakum uygulanır. Bu işlem, ilk fermantasyon sırasında oluşan gazların yanı sıra solunum ve olası atık sular tarafından üretilen nemin bir kısmının çıkarılması için silo kapatıldıktan sonraki üçüncü günde de tekrarlanabilir (García, 2000).

d) Vakum silolar (sosis silolar)

Vakum silolarda, silolanacak ürün önce plastik bir örtü üzerine yığılır. Ürünün üzeri yine plastik bir örtü ile kapatıldıktan sonra alttaki örtü ve üstteki örtülerin uçları birbirine yapıştırılır. Bu aşamadan sonra silo içerisindeki hava vakum pompası ile alınır. Vakum pompası ile havanın alınması sırasında silolanan ürünün oturarak yerleşmesi de sağlanmış olur. Bu yöntem, silonun hava almayacak bir şekilde kapatılması halinde başarılı olmaktadır. Ancak plastik çok kolay tahrip olabilen bir materyal olduğu için silo içerisine herhangi bir şekilde hava girişi olursa ortaya çıkacak fermantasyon kayıpları çok yüksek boyutlara ulaşabilir.



Şekil 9: Vakum Silo (Sosis silo)
(Anonymous, 2023g)



Şekil 10: Vakum Silo (Sosis) Silonun
Doldurulması (Anonymous, 2023h)

Toruk ve Kayışoğlu (2008) tarafından, silaj paketleme makinasında farklı vakum seviyelerinin silaj kalitesine olan etkisinin araştırıldığı çalışmada, depolama süresine bağlı olarak silaj kalite sınıfları belirlenmiştir. Farklı vakum seviyelerinde (kontrol, 3C (3 atm), 5C (5 atm)) vakumlanmış örneklerin kalitesini belirlemek için farklı depolama sürelerinde fiziksel ve mikrobiyolojik olarak incelenmiştir. Vakum uygulaması yapılmayan kontrol grubu (NC) silaj paketleri de

hazırlanmıştır. Ham protein, kuru madde, pH ve organik asit analizleri her örnek için kalite faktörleri belirlenmiştir. Kaliteyi etkileyen aerobik bozulmada belirlenmiştir. Deneme sonucunda, vakum seviyesinin silaj kalitesini istatistiksel olarak önemli şekilde etkilediği tespit edilmiştir. Ayrıca depolama periyoduyla besin maddesi 11 değerlerinin de değiştiği belirlenmiştir. 5C ile gösterilen vakum seviyesine ilişkin paketlerin 80 gün sonunda da mükemmel değere sahip olduğu görülmüştür.

e) Plastik sosis silolar

Almanya'da geliştirilen bu silo tipinde, parçalanmış materyal özel bir makine ile tünel şeklindeki siloya püskürtülerek veya bir paletli merdane ile sıkıştırılarak doldurulur. Doldurulduktan sonra plastik sosis silonun çapı yaklaşık olarak 2.4-3.0 m, boyu ise 30-70 m arasında olmaktadır. Ancak günümüzde çok çeşitli boyutlarda sosis silolar da kullanılmaktadır. Bu tür silolar özellikle son yıllarda hem Avrupa hem de ABD'de büyük bir popülerite kazanmış olup, gerek büyük gerekse küçük işletmeler tarafından tercih edilmektedir.

Plastik sosis silolar ülkemiz için de oldukça uygun sayılabilecek silolardır. Özellikle hala yığın şeklindeki siloları kullanan ve bank tipi silolara geçmemiş olan işletmeler için bu tür silolar çok uygun bir alternatif olabilir. Ancak her üreticinin bu makinelerden satın alması mümkün değildir. Makinesi olanlardan kiralama yolu ile temin edilebilir. Ambalaj materyali de ithal gelmekte olup, yerli plastik

ambalaj üretimi gerçekleşirse çok ekonomik ve cazip bir silaj yapım tekniği olabilecektir.



Şekil 11: Plastik Sosis Silonun Doldurulması (Anonim, 2023j)



Şekil 12: Plastik Sosis Silolar (Anonim, 2023k)

4.1.2. Kalıcı silolar

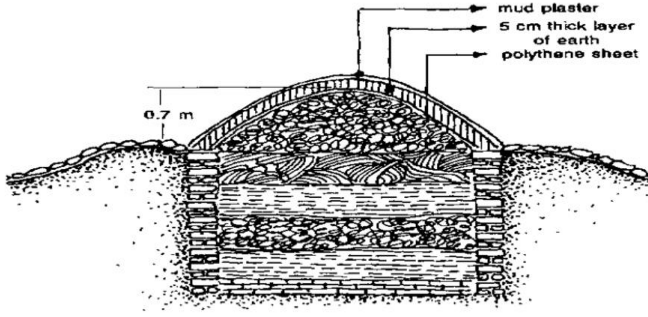
A) Kalıcı yatay silolar

Kalıcı yatay silolar yaygın olarak kullanılan silolar olup, hendek içerisinde veya toprak yüzeyinde yapılabilir. Toprak üzerinde yapılan yatay silolar duvarlı veya duvarsız olabilir. Birçok çiftliğin özel koşullarına kolayca uyarlanabilir ancak, yatay silolarda yeterli hava sızdırmazlığını sağlamak zordur (García, 2000). Yatay silolamada optimal olarak 1 ton silajlık materyal 1 ila 4 dakikalık bir sürede istiflenmelidir (McAllister ve Hristov, 2000). Bir ton yem için 1 dakikadan daha düşük istifleme süresi, yemin yatay siloya çok hızlı konulduğunu gösterebilir. Silaj yığını yoğunluğu, birim yüzey başına en büyük ağırlığı uygulayacak lastiklere sahip bir traktör kullanılarak sağlanmalıdır. Silaj yoğunluğu, daha yaş mahsul kullanıldığında azalır (Hutnik ve Kobiak, 2012).

Yatay silolarda yüksek yoğunluk sağlanması durumu kayıpları en aza indirir ve depolama maliyetlerini düşürür. Yüksek yoğunluk, mahsulün gözenekliğini azaltır ve silonun depolama kapasitesini artırır. Yatay silolarda yukarıdan aşağıya doğru artan yoğunluk yığın boyunca önemli farklılıklar kaydedilmiştir. Silo duvarları boyunca daha düşük yoğunluklar sürekli olarak mevcuttur, bu nedenle silo duvarları boyunca yapılan sıkıştırmada ekstra dikkat gösterilmelidir. Dar lastikli ağır bir traktör kullanmak, yem kayıplarını azaltmanın bir yolu olarak tercih edilebilir. Ağır bir traktörle duvar boyunca sıkıştırma yapmak için deneyimli bir operatör çalıştırılmalıdır. İstifleme, traktörün devrilme olasılığını artırabileceğinden dolayı silajlık materyal çok yüksek veya çok dik olarak istiflenmemelidir. Yatay silodaki silaj yoğunluğu, en çok silolama tabakası kalınlığı, traktör ağırlığı, beslenen ton başına silolama süresi ve kuru madde içeriğinden (DM) etkilenir. Silaj yoğunluğu ayrıca yem sevkiyat hızı, nem içeriği, yatay silonun boyutları ve yem parça uzunluğundan etkilenir (Hutnik ve Kobiela, 2012).

1) Kalıcı yatay toprak altı hendek siloları

Bu tür silolar genellikle silaj yapımı ve yemleme sırasında römorkların giriş çıkışını kolaylaştırmak için zeminde kama şeklinde yapılan kazılardır. Ancak kapasiteleri 2 m³'ten az olduğunda dikdörtgen olabilir. Hendek siloların ana dezavantajı, toprak kirlenmesini önlemek için iç duvarların kaplanması ve siloya yüzeyden sıvı akışının girmesini önlemek için de daha fazla dikkat edilmesi gerekir (García, 2000).



Şekil 1: Geleneksel Bir Toprakaltı Dikdörtgen Hendek Silo ve Siloda Sızdırmazlık Sağlama Uygulaması (silaj materyali polietilen plastik örtü ile örtülmüş, üstü 5 cm toprakla kaplanmış ve en üst katman olarak çamurla macunlanmış) (IIRR, 1996)

Toprakaltı hendek silolarda, geleneksel sızdırmazlık sağlama uygulamalarına alternatif olarak;

- 1) Çift katman oksijen geçirimsiz örtü kullanımı,
- 2) 200 µm kalınlığında çift taraflı polietilen ile sızdırmazlık sağlama uygulamaları kaliteyi koruma açısından önemlidir. Bu iki uygulama;
- 1) Silajın kimyasal bileşiminde,
- 2) Kuru maddenin rumende sindirilebilirliğinde,
- 3) Fermantasyon profilinde,
- 4) Silo yüzeyindeki silajdan fiziksel kayıpların azaltılmasında iyileştirme sağlamaktadır.

Yemin sıkıştırılması ve sızdırmaz hale getirilmesinin zorluğu nedeniyle hendek silolarının üst yüzeyi, silajın muhafazası açısından en problemli ortamdır. Bu amaçla kullanılan sızdırmazlık sağlama tipinin fermantasyon sürecinin kalitesini ve sonuç olarak silaj materyalinin rumen sindirilebilirliğini etkileyen önemli bir faktördür (Neumann ve ark., 2021).

2) Kalıcı yatay toprak üstü duvarsız silolar (yamaç çukurları)

Yamaç çukurları genellikle tepelerin kenarlarına veya üstlerine veya yüksekte bulunan bentlere açılır. Bu siloların ön tarafının açık oluşu silaja erişimi kolaylaştırır ve aynı zamanda drenajı sağlar. Çukuru çevreleyen toprak, deponun yan duvarlarını oluşturur. Toprak duvarlar, göçmeyi önlemek ve yüksek miktarda materyal silolamak için eğimli olmalıdır. Toprağın gevşek olduğu yerlerde, toprak duvarların beton veya işlenmemiş kereste ile kaplanması gerekir. Traktör ve ön yükleyici ile boşaltma için uygun genişlik 7 m (küçük besi yeri) ile 15 m (büyük besi yeri) arasında olmalıdır (Davis, 2021).

Bu silolama sistemlerinin avantajları şunlardır;

1) Hem uzun hem kısa süreli depolamaya uygundur, 2) Toprak altı çukurlarına kıyasla içeriye su girişi riski daha düşüktür, 3) Duvarsız geçici toprak üstü yığınlarına kıyasla, kaplanarak örtülecek yüzey alanı daha azdır, 4) Her iki tarafta ortak bir duvar paylaşılarak çoğaltılabilir.

Bu silolama sistemlerinin dezavantajları ise şunlardır;

1) Kaya parçaları veya gevşek toprak içermesi durumunda toprak duvarlar bozulabilir,
2) Su akışı ile ilgili muhtemel sorunları önlemek için konum iyi planlanmalıdır,
3) Toprakla doğrudan temas nedeniyle clostridia ve mikotoksin riskleri söz konusu olabilir,

4) Silodan yem boşaltma sırasında yeme taş, kaya parçaları gibi sert maddelerin karışması durumunda yem karıştırma ekipmanları zarar görebilir (Davis, 2021).

3) Kalıcı yatay toprak üstü duvarlı silolar (bank tipi)

Bank tipi silolar, toprak zemin üstünde inşa edilen ve genellikle düz alanlarda yapılır. Duvarlar beton, çelik veya ahşaptan yapılabilir. Bank tipi silolar genellikle dikdörtgen şeklinde olup, bir veya iki ucu açık olabilir ve yeterli drenaja sahip olmalıdır. Çoğu toprak zemine sahiptir ancak, beton zemin her türlü hava şartlarında silaja erişimi kolaylaştırır. Silaj asitleri zamanla betonu veya çeliği aşındırabilir. Duvarlar eğer ahşaptan yapılacaksa beton payandalarla desteklenmelidir. Silajla temas eden kereste, koruyucularla işlem görmemiş olmalıdır. Bank tipi silo duvarları olarak plastik astarlı yuvarlak balyalar da kullanılır, ancak bu genellikle geçici bir çözümdür. Yapının yüksekliği ve genişliği, silaj yüzeyinden günlük gerekli miktarda silaj alım hedefine bağlı olarak planlanmalıdır. Genel olarak, her seferinde yaklaşık 0.3-0.5 m derinliğindeki silajın yüzeyden alınması gerekir ve açık yüzeydeki bozulmayı en aza indirmek için çukurun tüm yüzü bir veya iki günde bir alınmalıdır (Davis, 2021).



Şekil 13: Bir Bank Tipi Siloya Silaj Sıkıştırma (Adesogan ve Newman, 2010)



Şekil 14: Bir Bank Tipi Siloya Silaj Doldurulması (Anonim, 20231)

En çok kullanılan bank tipi silolar 2, 3 veya 4 duvarlıdır. 4 duvar olması durumunda, biri hareketli olmalıdır. İdeal olarak polietilen ile kaplanmalı ve bir çatı altına yerleştirilmelidir. En ucuz yöntem, mevcut bir duvara dik açılarda iki yan duvar inşa etmektir. Genel olarak, duvarlı silolar, yem kuru madde içeriği açısından daha az sıkıntılıdır, çünkü atık su için hafif eğimli bir zemin de dahil olmak üzere drenaj sistemleri adapte edilebilir (García, 2000).

Silajın bank tipi silolarda muhafazası, yem bitkilerinin depolanması ve fermente edilmesi için yaygın bir yöntemdir, çünkü nispeten düşük maliyetlidir ve bu silolar büyük miktarda yem depolayabilmektedirler. Fakat bank tipi silolarda, serilen ilk yem tabakası kalınlığının fazla olması, sıkıştırıcı traktör ağırlığının düşük olması nedeniyle yeterince sıkıştırma gerçekleşmeyebilir (Muck ve Holmes, 2000; Randby ve ark., 2020). Nitekim Savoie ve Jofriet (2003), bank tipi silolardaki kayıplar esas olarak doldurma, depolama ve besleme sırasındaki aerobik koşullardan, bir miktar da anaerobik fermantasyon ve atık sudan kaynaklandığını ifade etmektedirler.

Bank tipi siloların avantajları şunlardır;

- 1) Toprak yapısının kayalık veya yüksek taban suyuna sahip alanlarda inşa edilebilir,
- 2) Toprak zeminli bank tipi siloların maliyeti düşüktür,
- 3) Sağlı-sollu ortak duvar paylaşılarak çoğaltılabilir,

Bank tipi siloların dezavantajları şunlardır;

- 1) Beton zeminli bank tipi siloların yapımı pahalıdır,
- 2) Zayıf sıkıştırma veya düzgün olmayan bir üst yüzey, üst örtünün yan duvarlarla birleştiği yerde su birikmesine neden olabilir.
- 3) Toprak duvarlar sabit eğimlere sahip olmalıdır,
- 4) Düzenli bakım gerektirir (duvarların temizlenmesi, yabancı ot kontrolü ve zeminin yeniden kaplanması gibi).
- 5) Silajdan kaynaklanan kayıplar veya atıklar duvarlara yapışabilir (Davis, 2021).

Adesogan ve Newman (2010), Bank tipi yatay silolar da yaygın olarak kullanıldığı ve depolanan silaj daha az yatırımla daha fazla miktarlarda kıyılmış silaj depolanabildiği, fakat bu silolar genellikle depolama ve besleme sırasında dikey silolara göre daha yüksek kuru madde (DM) kayıplarına sahip olduğu, bu kayıpların %15-25'e kadar olabildiği gibi, %30'un üzerinde de olabileceği bildirilmiştir. Fakat kuru madde kayıplarının azaltılmasında ince doğrama, iyi paketleme, siloyu hızlı bir şekilde doldurma ve sıkıştırma, yem bitkilerini optimum nemde hasat etme, derin silaj yığınları yapma, yüzeyi plastik bir örtü ile kaplama, üst örtüyü yan duvarlara değecek şekilde kaplama ve havayla temas eden yüzeyden en az 20-30 cm katmanla günlük hayvan besleme yapmanın kuru madde kayıplarının azaltılmasında etkili olduğu ifade edilmiştir.

Dikey duvar yerine eğimli bank tipi duvarlar, yemlerin kenarlarının daha verimli bir şekilde sıkıştırılmasını sağlar ve sıkıştırma derinlikle birlikte artar. Toprak duvarlar, tüm inşaat ve işletme şartlarına uygun

sağlamlıkta olmalıdır. Toprak duvarlar, bazı doğal şevler, kazı veya bitki örtüsünün kaldırılması gibi nispeten küçük çalışmalardan bile hasar alabilir. Toprak duvarların üst ve uç kısımları, erozyonu en aza indirmek için yaklaşık 150 mm'ye kadar çakılla kapatılmalıdır. Seçilen eğim oranı aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

1) Zemin türü ve mukavemet parametreleri, 2) Toprak tabakası-sahanın jeolojisindeki değişiklikler (yumuşak tabakalar), 3) Dış yollar, 4) İnşaat tekniği, programı ve herhangi bir güvenlik sorunu, 5) Erozyon kontrolü, özellikle kum, plastik olmayan silt ve dağılıbilir killerin set dolgu malzemelerinden etkilenebilir (Davis, 2021).

Eğim çok dik ise toprak duvarlar çökebilir veya alçalabilir. Bu nedenle toprak duvarlar, uygun tipte topraklarla ve sıkıştırılmış toprak setten kesilen duvar eğiminden faydalanılarak sıkıştırılmalıdır. Hazır kalıp betondan yapılmış bank tipi duvarların çoğu, mukavemet için alt kısmı üst kısımdan daha geniş olacak şekilde inceltir. Duvarlar her iki yöne doğru drene olmalıdır (Davis, 2021).

B) Kalıcı dikey silolar (kule silolar)

Dikey silolar ahşap, beton, çinko, çelik veya plastikten yapılabilir ve sıkıştırmayı kolaylaştırmak için silindirik olarak imal edilebilir. Yem doldurulurken içeride oluşan yüksek basınç nedeniyle dikey silolar silaj koruma açısından idealdir. Bu durum, silaj kalitesinin muhafazası ve hayvan besleme dönemlerinde havaya maruz kalmasını önler. Ancak bu şekilde silolanacak olan yemler, sıvı atık akıntısı oluşumunu önlemek

ve aynı zamanda maksimum kapasitesinden yararlanmak için en az %30 kuru maddeye sahip olmalıdır (García, 2000).

Üstten veya alttan boşaltma yapılabilen dikey silolarda silaj yüzeyinin havaya maruz kalma oranı azdır ve birkaç yüz tona kadar silaj depolamak için uygundur. İlk sermaye maliyetleri yüksek olan kule tipi silolardaki silajın kuru madde kayıpları düşüktür. Dikey siloların kullanıldığı bazı çalışmalarda, hasat edilen kuru maddenin %10'unun altında depolama kayıpları olduğu bildirilmiştir (Adesogan ve Newman, 2010).



Şekil 15: Bir Kule Silo (Şekil: M. Martin) (Mickan ve ark., 2003)

Kule silolarda silaj depolamak için kullanılan yapılar iki çeşittir. Bunlar;

- 1) Konvansiyonel kule silolar,
- 2) Oksijen sınırlayıcı kule silolar.

Her ikisinin de beton veya metal versiyonları vardır. Genel olarak en pahalı yapılar olan oksijen sınırlayıcı silolar, kaba yemlerin miktarını ve kalitesini en iyi şekilde korumaktadır (Fisher ve ark., 1985).

Kule siloların beton duvarları yem içine doğru hava akımı sağlayacak şekilde gözeneklidir. Fakat silo kapılarının içindeki ve etrafındaki çatlaklar ve betondaki çatlaklar hava hareketi açısından çok daha geçirendir. Duvarların ve kapıların etrafındaki bozulma miktarı yıldan yıla sürekli bir şekilde artıyorsa, bu durum, çatlaklar görünmese bile bakım ihtiyacı olduğunu gösterir. Hava değişimi ve kayıpların en aza indirilmesi isteniyorsa, çatlakların sayısını ve boyutunu sınırlamak için duvarların ve kapıların düzenli olarak bakımı yapılmalıdır.

Bir kule silonun çatısı yağışı engelleme fonksiyonuna sahiptir. Silo çatısını periyodik olarak kontrol edip onarmak ve silodan uygun şekilde su tahliyesini sağlamak için açıklıkların kapatılması önemlidir. Bank tipi silolarda ve silaj yığınlarında olduğu gibi, doldurulduktan sonra kule siloların üst yüzeyini kaplamak için plastik örtü kullanılmalıdır (Holmes ve Muck, 2000).

1) Konvansiyonel kule silolar

Konvansiyonel veya geleneksel kule silolar çeşitli yemleri depolamak amacıyla kullanılabilir. En yaygın kule tipi silo, üstten boşaltmalı kule silolardır. Üstten boşaltmalı kule silolar genellikle hazır dökülmüş beton bloklardan yapılır. Alttan boşaltmalı silolar ise fermente edilmiş yemin bozulmasını en aza indirmek için hava girişini sınırlanacak

şekilde yerinde dökülen betondan veya çelikten yapılıdır (Savoie ve Jofriet, 2003).

Geleneksel kule silolarda depolanan yemler genellikle boşaltıcılar tarafından üstten boşaltılır. Şiddetli buzlanmanın olduğu zamanlarda donmuş silajı boşaltmak için, boşaltma sisteminde ufalama tekerlekleri ve tesviye mekanizması bulunmalıdır. Alttan boşaltıcıların kullanıldığı sistemlerde, silo doldurulurken besleme devam edebilir. Bu boşaltıcıların onarımları pahalıdır ve silaj kuru madde %30'un altındaysa düzgün çalışmazlar. Alttan boşaltmaya sahip kule yapılar, istikrarlı bir silaj kaynağı sağlayabilir ancak, her kesme veya doldurma dönemi arasında düşük kaliteli bir yem tabakası oluşabilir. (Fisher ve ark., 1985).



Şekil 16: Koni Tabanlı Geri Kazanım Sistemli Alttan Silo Boşaltıcı (Laidig, 2023)

2) Oksijen sınırlayıcı kule silolar

Geleneksel tipteki kule silolar ahşap veya beton döküm, hazır parçalardan veya yerinde dökülmüş betondan yapılabilmektedir.

Oksijen sınırlayıcı kule silolar ise cam kaplı olabilmekte ya da alüminize çelik ya da betondan yapılabilir ve alttan ya da üstten boşaltıcılarla donatılabilir. Üstten boşaltıcılı geleneksel kule silolarda, yüzeydeki silaj sürekli olarak havaya maruz kalmaktadır. En iyi sonuç, silolanan yem %30-40 kuru madde içerdiğinde ve her gün en az 5-10 cm silaj alındığında elde edilmektedir. Oksijen sınırlayıcı silolar ise, silajla hava temasını azaltır ve alttan boşaltıldıkları için sürekli yem akışına izin vermektedir. Geleneksel silolara göre daha düşük kayıplara sahiptirler, ancak inşa edilmesi ve işletilmesi daha pahalıdır. Oksijen sınırlayıcı silolara yem materyali konmadan önce genellikle daha uzun süre soldurulması önerilmektedir (Fisher ve ark., 1985).

Silonun kullanımı sırasında basınç değişiklikleri meydana gelebilir ve bu nedenle basınç dengeleme sistemine ihtiyaç duyulur. Basınç değişiklikleri özellikle silajın silonun altından alınması (silaj kütlelerinin üzerinde bir vakum oluşturarak) ve silo içindeki gazların genleşmesine veya büzülmesine neden olan gece-gündüz hava sıcaklığı ve radyasyon değişikliklerinden (basınç veya vakum oluşturarak) kaynaklanmaktadır. Kayda değer ölçüdeki herhangi bir vakum oluşumu, ince yan duvarları bükebilir. Ayrıca yapıda oluşabilecek herhangi bir sızıntı siloya hava girmesine ve yemin bozulmasına neden olabilir. Silo tipine ve yapımına bağlı olarak basıncı eşitlemek için çeşitli yöntemler kullanılır. Bir veya iki istisna dışında, tüm oksijen sınırlayıcı silolar iki yönlü bir basınç tahliye vanası ile donatılmıştır. Bu, basınç oluşursa gazın salınmasına ve bir vakum oluşursa havanın girmesine izin veren bir güvenlik cihazı görevi görür. Bu valf, silodan

önemli miktarda silaj çıkarıldığında da vakumu tahliye eder. Bu siloları hava geçirmez olarak adlandırmak biraz yanıltıcı olabilir; "oksijen kontrollü" veya "oksijen sınırlayıcıdır" demek daha doğru olur (Bellman, 1982).

5. KIYILMAMIŞ SİLAJ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

5.1. Streç Balya Silajı

Balyalama; parçalanmamış, sıkıştırılmış ve inokulant aşılanmış yemi polipropilen plastiğe sarma işlemine denilmektedir. Balyalar tipik olarak sarma sırasında ince (25 µm) polietilen plastik örtülerle esnetilerek kaplanmaktadır. Balyalama, iki tam dönüş ve sarılan katmanlar arasında 0,5'lik bir örtüşme ile dört film kalınlığında bir kaplamayla sonuçlanmaktadır (Savoie ve Jofriet, 2003). Esnetilebilir balya depolama sistemleri geçicidir ve kuru ot (daha yüksek kuru maddede depolanan solmuş yem) yapmak için kullanılmaktadır. Yem daha sonra, fermantasyon sürecine yardımcı olmak amacıyla oksijeni dışarıda bırakmak üzere plastik bir örtü, torba, sargı veya tüp içine sıkıştırılır. Bu ağır plastik torbalar, çeşitli çap ve uzunluklarda mevcuttur ve çeşitli depolama kapasiteleri sunmaktadır (Davis, 2021).



Şekil 17: Balya Silajı Üzerindeki Yem Bilgisini Tespit Etmek İçin Bir Çiftlikte Akıllı Gözlükle Yapılan Tarama Testi (90 ve 200 cm yüksekliğe yerleştirilen 28×28 cm ebadındaki QR kodu) (Caria ve ark., 2019)



Şekil 18: Balya Silajı Makinesi (Anonymous, 2023m)

Yuvarlak streç balya silajı, geleneksel kuru ot hasadı ve depolamasına alternatif bir yöntemdir. Geleneksel kuru ot toplama sistemlerinde biçme, kurutma ve balyalama için uygun hava koşulları gerekmektedir. Yuvarlak balya silajının kullanımı, kuru ot üretimindeki birçok zorluğun üstesinden gelmekte ve geleneksel kuru ot toplama sistemlerine bir alternatif veya tamamlayıcı özellik katmaktadır. Bu sistemler yem hasadının yapılabileceği zaman periyodu açısından esnekliği artırmakta ve kuru ot kadar kuruma süresi gerektirmediğinden hazırlama sırasında daha az bitki materyali kaybedilmektedir. Yem açık havada korunabildiğinden, kalite kayıplarını engellemek için stoklama yapıları gerektirmez (Hersom ve ark., 2011). Diğer avantajları; düşük işçilik gerektirmesi, balyalar birden çok kez sarılabildiğinden silajı daha sıkı sarma imkanının olması ve düşük aerobik bozulma olmasıdır (Davis, 2021).



Şekil 19: Balya Silajı Yapım Tekniği (Anonymous, 2023n)

Dezavantajları;

1) Özel paketlenme makinesi gerektirmesi, 2) Paketleme işlemi ve saklama sırasında yeterince oksijensiz ortam sağlanamazsa büyük oranlarda bozulmanın olması, 3) Uzun süre güneş ışığına maruz kalan plastiğin bozulması ve yırtıcı hayvanların hasarına karşı uzun süreli saklamanın uygun olmaması, 4) Kullanılmış plastiğin bertarafının sorun olması, 5) Yemi kaplamak için gereken plastik maliyetinin yüksek olması (Davis, 2021) gibi dezavantajları bulunmaktadır.

Yuvarlak streç balya silajı, kaba yemi koruma amacıyla kullanılan yeni bir yöntemdir. Kuru ot ve silaj yapımının bir kombinasyonudur. Bu yöntemle hem buğdaygil yem bitkileri ve hem de baklagil yem bitkileri silaj haline getirilerek korunması mümkündür (TECA, 2020). Plastiğin hasar görmesi havanın girmesine ve bozulmasına neden olabilir, bu nedenle kaliteli plastik seçmek çok önemlidir. Düşen ağaç dallarından, vahşi yaşamdan, sığırlardan, kemirgenlerden ve ekipmanlardan kaynaklanan plastik delikleri bozulmaya neden olabilir. Bu sorunlardan

bazıları, depolama alanlarının uygun şekilde kullanılması ve seçilmesiyle önlenebilir (Adesogan ve Newman, 2010).

B) Uzun tüp balya silajı

Balyalar esnek plastikle ayrı ayrı sarılabildiği gibi alternatif olarak birkaç balya tüpler içinde de streçle sarılabilir. Streçe sarılı depolama sistemleri arasında uzun tüpler daha hızlı balyalamaya olanak sağlar ve daha az işçilik ve daha az plastik malzeme harcadığından dolayı tekli balyalara göre daha çok tercih edilmektedir (Adesogan ve Newman, 2010).



Şekil 21: Tüp balya sisteminde kıyılmamış silaj yapımı ve mekanizasyonu (Vermeer, 2023)



Şekil 22: Tüp balya silajı (Anonymous, 2023o)

Ancak, tekli balyalar kolayca yerinden hareket ettirilebildikleri için daha fazla kullanım olanağına sahiptirler. Yuvarlak balya silaj depolama sistemleri, özellikle hâlihazırda kuru ot toplama ekipmanına sahip üreticiler için kıyılmış silaj sistemlerinden daha az sermaye yatırımı gerektirir (Adesogan ve Newman, 2010).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Silo yapımında çevre ile ilgili yapısal gerekliliklere uyulmalıdır ve siloların kurulmasında standart özellikler dikkate alınmalıdır. Bu nedenle üreticiler, tedarikçi firmalardan kalite (beton, hazır dökülmüş beton, asfalt, derz malzemesi vb.) ve sızdırmazlık konusunda bilgi almalı ve silo inşa etme konusunda teknik danışmanlardan faydalanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2023a. <https://thefarmingforum.co.uk/index.php?threads/silage-clamp.318879/> (9.10.2023).
- Anonim, 2023b. https://www.tarimkutuphanesi.com/yem_bitkileri_ve_silaj_hazirlanmasi_00144.html (11.10.2023).
- Anonim, 2023c. https://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/research-and-development/program-areas/feeding-finishing-and-nutrition/feedlot-design-manual/032-silage-2016_04_01.pdf (9.10.2023).
- Anonim, 2023d. <https://www.mirzatarim.com/silaj-ortusu-2> (15.10.2023).
- Anonim, 2023e, 2023f. https://www.mla.com.au/globalassets/mla-corporate/research-and-development/program-areas/feeding-finishing-and-nutrition/feedlot-design-manual/032-silage-2016_04_01.pdf (9.10.2023).
- Anonim, 2023g, 2023h. <https://turkish.alibaba.com/product-detail/Sausage-Style-300-Tons-Silage-Bag-1600652863184.html> (15.10.2023).
- Anonim, 2023j, 2023k. <https://docplayer.biz.tr/203639763-Bu-dosya-dan-indirilmistir.html>
- Anonim, 2023l. <https://www.tarimbilgisi.com/haber/hayvanlar/hayvancilikta-onemli-bir-yeri-olan-silaj-nedir-nasil-yapilir/>
- Anonim, 2023m. <https://www.goeweil.com/en/round-bale-wrapper-g1015/>
- Anonim, 2023n. <https://www.agrotec.com.tr/tr/urunler/yuvarlak-balya-sarmalayicilar/g5010>
- Anonim, 2023o. <https://agri-flex.com/en/our-products/agricultural/round-bale-tubes/>
- Adesogan, A.T., Newman, Y.C. 2010. Silage harvesting, storing, and feeding. University of Florida IFAS Extension SSAGR-177.
- Batra, M., Kant, R., Sharma, D.K., Garg, M.K. 2016. Evaluation of jumbo silo bag for silage preparation and storage. *Advances in Life Sciences*, 5(19): 9643-9646.
- Bellman, H.E. 1982. Selection and use of oxygen-limiting silos. Publication-Agriculture Canada.

- Bolsen, K.K., Bolsen, R. 2006. Better bagged silage: What's important? Penn state dairy nutrition workshop. Mycogen Seeds. Pre-conference Symposium. October 31, Grantville, PA.
- Caria, M., Sara, G., Todde, G., Polese, M., Pazzona, A. 2019. Exploring smart glasses for augmented reality: A valuable and integrative tool in precision livestock farming. *Animals*, 9(11): 903.
- Davis, R. 2021. "Feedlot Design and Construction". "32. Silage storage". Meat and Livestock Australia.
- Dogangun, A., Karaca, Z., Durmus, A., Sezen, H. 2009. Cause of damage and failures in silo structures. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 23(2): 65-71.
- Eliş, S., Özyazıcı, M.A. 2019. Determination of the silage quality characteristics of different switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivars. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(6): 15755-15773.
- Fisher, L.J., Robertson, J.A., Savoie, P. 1985. Grass, legume and cereal silages for ruminants. Agriculture Canada.
- García, F.O. 2000. Harvesting and ensiling techniques. *Fao Plant Production and Protection Papers*, 133-140.
- Hersom, M., Thrift, T., Yelich, J. 2011. Comparison of Hay or Round Bale Silage as a Means to Conserve Forage. EDIS doc. AN266, Florida Coop. Ext. Service, University of Florida, Gainesville. Accessed April, 9: 2012.
- Holmes, B.J. Muck, R.E. 2000. Preventing Silage Storage Losses. USDA, Agricultural Research Service. US Dairy Forage Research Center Madison, Wisconsin.
- Hutnik, E., Kobiela, S. 2012. Density of silage stored in horizontal silos. *Acta Agrophysica*, 19(3).
- IIRR, 1996. International Federation for Women in Agriculture, and International Institute of Rural Reconstruction. Environmentally Sound Technologies for Women in Agriculture. Women Ink.
- Kılıç, A., 1986. Silo Yemi (Öğretim, Öğrenim ve Uygulama Önerileri). Bilgehan Basımevi.

- Kutlu, H.R. 2001. Yemler Bilgisi ve Yem Teknolojisi. Yayınlanmamış Ders Notu. Ç.Ü. Ziraat Fak. Zootečni Böl. Adana
- Laidig, 2023. Cone Bottom Reclaim System Silo Unloader. Erişim Tarihi: 01.05.2023: <https://www.laidig.com/storage-handling/equipment/cone-bottom>
- McAllister, T.A., Hristov, A.N. 2000. The fundamentals of making good quality silage. Adv. Dairy Technol, 12: 381-399.
- Mickan, F.J., Martin, M.D., Piltz, J.W. 2003. Silage storage. Successful Silage, 2: 217-252.
- Muck, R.E., Holmes, B.J. 2000. Factors affecting bunker silo densities. Applied Engineering in Agriculture, 16(6): 613-619.
- Neumann, M., Cristo, F.B., Pontarolo, G.B., Silva, M., Heker Junior, J.C., Sidor, F. Machado, M.P. 2021. Effects of the types of sealing on chemical-fermentation characteristics of corn silage from the feed out face of trench silos. Semina Ci. agr., 1891-1908.
- Nussbaum, H. 2013. Silage, silo and silo coverage: Current legal and consultancy. 19. Alpenländisches Expertenforum Raumberg-Gumpenstein 2014. Futterkonservierung-Aktuelle Entwicklungen in der Silage-und Heuproduktion, 03. April 2014, 15-20.
- Özyazıcı, M.A., Eliş, S., Özyazıcı, G., Açıkbaz, S., Turan, N. 2018a. Farklı dallı darı (*Panicum virgatum* L.) çeşitlerinden elde edilen silajların bazı makro besin maddesi kapsamı. 1. Uluslararası Battalgazi Multi Disipliner Çalışmalar Kongresi, Kongre Tam Metin Kitabı, Cilt III, 7-9 Aralık, Malatya-TÜRKİYE, s. 2398-2407.
- Özyazıcı, M.A., Turan, N., Açıkbaz, S. 2018b. İkinci ürün olarak yetiştirilen bazı sorgum, sudanotu, sorgum x sudanotu melezi ve mısır çeşitlerinin silaj kalitelerinin belirlenmesi. UMTEB III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi, 21-22 Haziran, Tam Metin Kitabı, Cilt-6, Gaziantep, Türkiye, s. 3898-3907.

- Özyazıcı, M.A., Seydoşoğlu, S., Açıkbaş, S. 2022. Determination of silage quality of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) with oat (*Avena sativa* L.) and Rye (*Secale cereale* L.) mixtures. Turkish Journal of Nature and Science, 11(3): 102-109.
- Randby, Å.T., Halvorsen, H.N., Bakken, A.K. 2020. Losses and grass silage quality in bunker silos compacted by tractor versus wheel loader. Animal Feed Science and Technology, 266: 114523.
- Savoie, P., Jofriet, J.C. 2003. Silage storage. Silage Science and Technology, 42: 405-467.
- Seydoşoğlu, S., Gelir, G. 2019. Farklı oranlarda karıştırılan mürdümük (*Lathrus sativus* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) hâsıllarının silaj özellikleri üzerinde bir araştırma. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(1): 397-406.
- TECA, 2020. Fodder management: hay and silage making. Technologies and Practices for Small Agricultural Producers. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Id number: 3579.
- Toruk, F., Kayışoğlu, B. 2008. Effect of applied vacuum of silage package machine on silage quality. Tarım Makinaları Dergisi, 4(4): 355-360.
- Turan, N. 2019. Macar fiği ile arpa yaş otunun farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen silajın kimyasal kompozisyonu ve kalite parametrelerinin belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17): 787-793.
- Turan, 2020. Determination of quality and chemical composition of silages obtained from Narbonne vetch (*Vicia narbonensis*) and Barley. Legume Research-An International Journal, 43(5): 688-692.
- Turan, N., Seydoşoğlu, S. 2020. Farklı oranlarda karıştırılan yonca, korunga ve İtalyan çimi hasıllarının silaj ve yem kalitesine etkisinin araştırılması. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 7(3): 536–543, 2020
- Vermeer, 2023. Bale tube line silage. https://www.vermeer.com/na_2023
- Visser, R. 2010. The basics of bunker design: from the parlour: technology. The Dairy Mail, 17(6): 78-83.

- Yalçın, H., Bilgen, H. 2002. Ticari Silaj Üretim Teknikleri. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, TAYEK/TYUAP 2002 Yılı Hayvancılık Grubu Bilgi Alışveriş Toplantısı Bildirileri, Yayın No: 106. İzmir.
- Yalçın, H., Çakmak, B. 2005. Bazı kaba yemlerin sıkıştırılabilirlik özellikleri. Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, Proje No:01-ZRF-42, İzmir.

BÖLÜM 3

SİLAJ YAPIMINDA KULLANILAN BİTKİLER

Doç. Dr. Mehmet Arif ÖZYAZICI¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449193>

¹Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt. E-mail: arifozyazici@siirt.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-8709-4633>

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusu ile birlikte gıda ihtiyacı da doğal olarak hızla artmaktadır. Bu durum tarımsal üretim sistemlerinin gelişmesini zorunlu hale getirmektedir. Tarımının gelişmesiyle birlikte, rekabet gücünü artırmak ve sürdürülebilirliği sağlamak için daha verimli üretim sistemlerini hayata geçirmek kaçınılmazdır. Bu üretim sistemlerinin önemli bir ögesi de hayvancılık ve hayvansal üretimdir. Hayvansal üretimin artırılması, genetik potansiyeli yüksek hayvan ırklarının kullanılmasının yanı sıra; besin değeri yüksek kaba yemlere ve dengeli beslenmeyi gerektiren hayvancılık işletmesi yatırımlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu bağlamda, daha yüksek verimliliği hedefleyen tüm üretim sistemlerinde, yem bitkilerinin yıl boyunca yeterli miktar ve kalitede üretilmesi (Araújo ve ark., 2012) ve muhafazası bir zorunluluk haline gelmektedir. Yem muhafazasının iki temel yolu, kuru ot ve silajdır (Moran, 2005). Silaj, hem hayvan performansı hem de daha fazla üretkenlik açısından, yem sıkıntısının çekildiği özellikle kurak dönemlerde yem muhafazasında alternatif bir kaynaktır. Bu bölümde, silaj yapımında kullanılan başlıca yem bitkileri hakkında bilgiler derlenmiştir.

2. MISIR (*Zea mays* L.)

Mısır (*Zea mays* L.) yalnızca milyonlarca insan için önemli bir temel ürün değil, aynı zamanda yüksek enerjili bir silaj bitkisidir (Karnatam ve ark., 2023). Bu anlamda mısır silajı, yoğun süt üretim sistemlerinde süt ineği yemi rasyonunun önemli bir bileşeni olup (Wales ve Kolver,

2017); özellikle, meraya dayalı süt hayvancılığı sistemlerinin karlılık düzeyini arttırabilen (van der Poel, 1996; Macdonald, 1999) önemli bir kaba yem kaynağıdır. Bir başka ifade ile beslenme açısından bakıldığında, mısır silajı meralardan yararlanan hayvanlara iyi bir şekilde yem takviyesi yapmak suretiyle nispeten ucuz bir enerji kaynağı sağlar (Kolver ve ark., 2001; Wales ve Kolver, 2017). İyi bir silajda genel olarak yüksek düzeyde metabolize edilebilir enerji, protein ve nişasta, daha düşük düzeyde lif arzu edilir (Mahanna, 2000). Bu anlamda, düşük pH ve amonyak azot içeriğine ve yüksek laktik asit içeriğine sahip mısır silajı hayvan besleme açısından ideal bir yemdir (Kolver ve ark., 2001).

Bununla birlikte, mısır silajının besleyici özelliği büyük ölçüde koçan-yaprak-sap oranıyla da ilişkilidir. Ayrıca, silaj için hasat sırasındaki bitki olgunluğu, mısır silajının besin özelliklerini belirlemede en önemli faktördür. Bitkinin kuru madde (KM) içeriği olgunluğa göre değişkenlik gösterir; ileri olgunluk devrelerinde bitkiler, daha yüksek KM içeriğine sahiptir. Süt ineklerine farklı olgunluklardaki mısır silajı toplam karma rasyon olarak verildiğinde, süt verimi % 35 KM içeriğine sahip silajda en yüksek olmuştur (Bal ve ark., 1997). Besin içeriğindeki asit deterjanda çözünmeyen lif (ADF, acid detergent fiber), nişasta, protein, enerji verimi gibi değişkenler de dikkate alınarak mısırın % 30 ila % 35 KM arasında hasat yapılması tavsiye edilmektedir (Kolver ve ark., 2001; Khan ve ark., 2015). Bu aralıktaki KM içeriğine sahip mısır silajıyla birlikte beslenen süt ineklerinde daha yüksek süt verimi sağlanır (Khan ve ark., 2015).

Silajlık mısır (*Z. mays* L.) dünyanın birçok yerinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Pek çok ülkede süt sığırlarının beslenmesinde ana kaba yem kaynağı-enerji kaynağı olarak mısır silajı kullanılmaktadır (Leonhart ve Beneitez, 2019; Brask-Pedersen ve ark., 2023; Wang ve ark., 2023). Örneğin, Kuzey Amerika (Karnatam ve ark., 2023), Brezilya (Araújo ve ark., 2012), Macaristan (Tóthné Zsubori ve ark., 2013), Yeni Zelanda (Kolver ve ark., 2001), Çin (Mu ve ark., 2023), İtalya (Po Ovası) (Colombini ve ark., 2012) gibi ülkelerde silaj yapımında en yaygın olarak kullanılan ve geniş getiren hayvanların beslenmesi için en önemli yıllık yemlerden biridir. Silaj yapımında mısırın bu kadar geniş kullanımının, mısır silajı kaba yeminin kaliteli bir şekilde korunmasının ve dolayısıyla mısır silajının süt üretim sistemlerindeki yem rasyonlarının önemli bir bileşeni olmasının nedenleri aşağıdaki sayılan özelliklerinden kaynaklanmaktadır:

- ✓ Çok çeşitli çevresel ve tarımsal koşullar altında nispeten istikrarlı bir verime sahip olması (Khan ve ark., 2015),
- ✓ Alternatif yemlere göre birim arazi alanı başına daha fazla biyokütle verimi / yüksek KM üretim kapasitesi (Restle ve ark., 2006; Erdman, 2011; Hidalgo ve ark., 2018; García-Chávez ve ark., 2022),
- ✓ Kimyasal bileşimi (Nussio ve ark., 2001),
- ✓ Yüksek üretkenliği (Nussio ve ark., 2001),
- ✓ Yüksek çözünür şeker içeriği (Ali ve ark., 2019; García-Chávez ve ark., 2022),
- ✓ Düşük tamponlama gücü (Nussio ve ark., 2001),

- ✓ İyi sindirilebilirlik (Tóthné Zsubori ve ark., 2013),
- ✓ Yüksek enerji içeriği (Erdman, 2011; Khan ve ark., 2015; Ojeda ve ark., 2023),
- ✓ Yüksek yaprak oranı,
- ✓ Yüksek tane verimi ve su kullanım verimliliği (Ojeda ve ark., 2023),
- ✓ Yeterli düzeyde çözünür karbonhidratlara sahip olması (Nussio ve ark., 2001),
- ✓ Lezzetliliği (Hidalgo ve ark., 2018; García-Chávez ve ark., 2022),
- ✓ İyi silolama özelliklerine sahip olması (Khan ve ark., 2015; García-Chávez ve ark., 2022),
- ✓ Depolama sırasında yüksek fermente edilebilirliği (Restle ve ark., 2006; Sharma ve ark., 2023),
- ✓ Hasat kolaylığı (Erdman, 2011),
- ✓ Silaj kolaylığı (Ali ve ark., 2019),
- ✓ Nispeten uzun süreli depolama fırsatı (Borreani ve ark., 2018),
- ✓ Uygun şekilde silolandığında besin değeri kaybının çok az olması (Borreani ve ark., 2018),
- ✓ Ayrıca süt ineklerinin ot veya ot silajına dayalı diyetlerine mısır silajının dahil edilmesi yem alımını, süt verimini ve süt protein içeriğini artırması (Phipps ve ark., 2000; Keady ve ark., 2008; Khan ve ark., 2012).

Diğer taraftan, mısırın silaj olarak kullanılabilmesi için ruminant tercihinine ilişkin aşağıdaki kriterleri karşılaması gerekir (Karnatam ve ark., 2023):

- ✓ Mantar veya küf oluşumu yok
- ✓ Altın kahverengi renk
- ✓ Hoş meyvemsi koku/kabul edilebilir aroma. Amonyak bitkilere lezzet ve aroma verdiği için amonyak azot seviyeleri toplam azotun % 9-15'ini geçmemelidir.
- ✓ Yapışkan olmayan doku
- ✓ Optimum pH'sı 4.0-4.5 civarında olan hafif asidik tat. Diğer asitlerle karşılaştırıldığında daha fazla laktik asit mevcut olmalı ve bütirik asit seviyeleri % 0.2-% 0.5 civarında çok düşük olmalıdır.

Yüksek kaliteli bir mısır silajı, taze mahsulle karşılaştırıldığında yüksek oranda KM, enerji ve sindirilebilir besin maddelerinin geri kazanımına sahip bir yem bileşeniyle sonuçlanabilir (Kung ve ark., 2018). Bunun yanı sıra, nişasta içeriği ve dolayısıyla tane verimi, silaj yem kalitesini arttırabilir (Nazli ve ark., 2019). Tüm bitki aksamı ile yapılan bir mısır silajının KM içeriği ve kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir. Silaj sırasındaki bitkinin KM içeriği silaj kalitesi açısından önemli bir parametredir. % 50 süt olum devresinde biçilerek yapılan mısır silajının KM oranı % 30-35 arasındadır (Tablo 1). Kuru maddesi % 25'in altında olan mısırın silolanması daha düşük süt verimi ve protein içeriğiyle sonuçlanır (Karnatam ve ark., 2023). Yemlik mısırın besleme değeri büyük ölçüde nişastanın bozunma özelliklerine bağlıdır (Canizares ve ark., 2011). Olgunluk aşaması ve silolama periyodunun uzunluğuna bağlı olarak değişen nişasta içeriğinin (Karnatam ve ark., 2023) ve sindirilebilirliğinin arttırılması, mısır silajı ile beslenen süt ineklerinin

performansını artırır (Oba ve Allen, 1999). Yem kalitesinin bir göstergesi olarak kabul edilen ham protein (HP), silajın sindirilebilirliğinde rol oynar; fermantasyona neden olan bakteriler, eğer uygun oranda HP yoksa silajı veya yemi metabolize edemez (Karnatam ve ark., 2023).

Tablo 1. Mısır silajının kimyasal kompozisyonu

Kompozisyon	Değer	Kaynak
KM oranı, %	30-35	Karnatam ve ark. (2023)
pH	3.5-4.2	Karnatam ve ark. (2023)
Nişasta, %	25-30	NRC (2001)
HP oranı, %	8-9	Karnatam ve ark. (2023)
Kül, %	5-9	Karnatam ve ark. (2023)
ADF, %	30-35	Karnatam ve ark. (2023)
NDF, %	55-60	Karnatam ve ark. (2023)
Yağ asitleri, %	2-3	Karnatam ve ark. (2023)
In vitro KM sindirilebilirliği, %	55-65	Karnatam ve ark. (2023)

NDF: Neutral Detergent Fiber (Nötral deterjanda çözünmeyen lif)

Bununla birlikte mısır silajının besin kalitesi, genotip, bitki yoğunluğu, büyüme koşulları, hasat zamanı ve hasat sırasında ürünün nemi gibi birçok faktöre bağlı olduğu (Mandić ve ark., 2018) da unutulmamalıdır. Mısır tanesinin silaj için en iyi fizyolojik olgunluk aşaması, optimum nem oranının % 30-35 olduğu yarım süt aşamasıdır (Karnatam ve ark., 2023). Bu aşamada, tanenin yarısı fermantasyon sürecini oldukça artıran sütlü endosperm ile doludur; geri kalan kısmı ise geniş getiren hayvanlar tarafından sindirilen sert nişastadır (Ma ve Dwyer, 2012). Dolayısıyla buğdaygiller açısından silaj için bitkiler tane olgunlaşmasından önce hasat edilir. Bu durum dikkate alındığında, tane

için yetiştirilen genotiplerden biraz daha geç olgunlaşan genotiplerin silaj amacıyla kullanılması ve/veya yetiştirilmesi önerilmektedir (Karnatam ve ark., 2023).

Sonuç olarak, silajlık mısır ekimi son yıllarda dünyanın birçok yerinde önemli ölçüde artmıştır. Başta süt ineklerinin rasyonunda diğer buğdaygillerin yanı sıra mısır silajı da ana yem bileşeni haline gelmiştir.

3. SORGUM [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

Sorgum (*Sorghum bicolor*), üretim ve ekim alanı bakımından dünyadaki ilk beş tahıl bitkisinden biri olup; mükemmel stres direnci nedeniyle, kuraklık ve tuzlu-alkali topraklar gibi ciddi abiyotik streslerin olduğu bölgelerde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Sorgumlar genel olarak yem türleri ve dane türleri olarak iki geniş türe ayrılır. Yem sorgumları ise; 1) Hibrit yem sorgumu, 2) Sudan otu, 3) Sorgum x sudan otu melezleri, 4) Tatlı sorgum şeklinde dört türe ayrılır (Getachew ve ark., 2016). Ek olarak, Zheng ve ark. (2023), çok amaçlı bir ürün olan sorgumları; tane sorgumu, enerji sorgumu ve silajlık sorgum olarak sınıflandırmaktadır.

Sorgum silajı, süt inekleri için alternatif bir potansiyel yem kaynağıdır (Harper ve ark., 2017). Yem sorgumlarından elde edilen silajlar, süt ineği diyetlerinde mısır silajlarının yerini alma potansiyeline sahip olabilirler (Cattani ve ark., 2017). Nitekim Lv ve ark. (2023), mısır silajının yerine sorgum silajının verilmesi, süt verimini ve yağ miktarını artırabileceğini, işkembe mikroplarının büyümesini teşvik

edebileceğini ve vücut ve mikrobiyal kullanım için daha fazla işkembe sıvısı amino asitleri sağlayabildiğini, süt inekleri için sorgum silajının uygun olduğunu ve mısır silajının % 75 oranında sorgum silajı ile değiştirilmesinin mantıklı olduğunu ifade etmişlerdir. Bir başka araştırma sonucuna göre (Sobral ve ark., 2023), keçilerin diyetine sorgum silajının % 45'e kadar dahil edilmesi, süt ve peynir yağını artırdığı; bunun da, yumuşaklık ve kabul özellikleri açısından yüksek puanlar alınmasını sağladığı rapor edilmiştir.

Sorgum cinsinin önemli bir üyesi olan tatlı sorgum [*S. bicolor* var. *saccharatum* (L.) Mohlenbr.], geleneksel sorgumdan daha yüksek büyüme hızı, biyokütle verimi ve suda çözünür karbonhidrat içeriği nedeniyle kurak, yarı kurak ve yüksek tuzluluk alanlarında yetişen umut verici bir yem bitkisidir (Morris ve McCormick, 1994; Wu ve ark., 2010; Amer ve ark., 2012; Qu ve ark., 2014). Özellikle yetiştirme koşullarının kötü olduğu dönem ya da yerlerde ve aynı zamanda mısır silajının uygun fiyatlarla bulunmadığı durumlarda, yüksek şeker içeriği ve çok çeşitli çevre koşullarına adapte olabilen tatlı sorgum, mısır silajına alternatif olarak son yıllarda değerlendirilmeye alınmaktadır (Li ve ark., 2020). Ruminantların işkembe mikroorganizmalarını etkileyerek proteinlerin, yapısal karbonhidratların ve nişastanın daha az kullanılmasına yol açan fenol ve yoğunlaştırılmış tanen bileşiklerini mısır silajına nazaran daha fazla içermesi (Tabacco ve ark., 2006; Oliveira ve ark., 2007), tatlı sorgum silajlarının önemli avantajları içerisinde yer almaktadır. Bu anlamda, yem kaynağı olarak tatlı sorgum silajının mısır silajı yerine

kullanılabileceğini ve hayvan performansı üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığını gösteren bazı araştırmalar (Ran ve ark., 2021; Wang ve ark., 2021; Gao ve ark., 2023) da mevcuttur. Wu ve ark. (2021), tatlı sorgum silajı diyetiyle beslenen kuzuların et kalitesinin, mısır silajı diyetiyle beslenen kuzulara göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Sorgum türleri (*S. bicolor*, *S. sudanense*, *S. bicolor x S. sudanense*) ve mısır (*Z. mays*) silajının karşılaştırıldığı bir çalışmada, silajların fiziksel özellikleri ve laktik asit oranı yönünden *S. bicolor* ve sorgum x sudanotu melezi çeşitleri ile mısır çeşitleri arasında farklılığın bulunmadığı tespit edilmiştir (Özyazıcı ve ark., 2018).

Silajlık sorgum, silajlık bir ürün olarak mısırla karşılaştırıldığında çok sayıda tarımsal avantaja sahiptir. Ancak, silajlık sorgumun mısır silajına göre dezavantajları daha çok besinseldir (Bolsen ve ark., 2003). Örneğin, tatlı sorgum silajındaki HP içeriği, çoğu geviş getiren hayvansal üretim sisteminde büyüme verimliliğini en üst düzeye çıkarmak için yetersizdir (NRC, 2007). Buna ek olarak mısırla karşılaştırıldığında sorgum silajının en büyük besin sınırlaması, sorgumun daha yüksek lif içeriğidir (Bolsen ve ark., 2003).

4. YULAF (*Avena sativa* L.)

Yulaf (*Avena sativa* L.), yüksek verimi, kaliteli ve lezzetli olması nedeniyle tanınan bir gıda ve yem bitkisidir. Hayvancılık için önemli bir tahıl yemi ürünü olan yulaf, dünya çapında yaygın olarak

yetiştirilmekte ve yüksek besin değeri, lezzetli ve yüksek ot verimi ile önemli avantajlara sahiptir (Zhou ve ark., 1999). Yulafın protein içeriği, proteinin sindirilebilirliği ve yeşil yem verimi diğer tahıl yem bitkilerine göre daha yüksektir (Fraser ve McCartney, 2004). Hayvancılık işletmeleri için genellikle doğrudan kaba yem veya silajda kullanılır. Yulafın silolanmasının samana göre nispeten daha kaliteli yem üretimine katkı sağlayabileceği rapor edilmiştir (Yang ve ark., 2021). Yulaf silajları, emziren süt inekleri için alternatif yem olarak potansiyel gösteren bir materyaldir (Harper ve ark., 2017). Yulaf silajı, mısır silajı kadar yüksek kalitede olmamakla beraber; sonbaharda yetiştirilen yulaf hızlı bir şekilde büyür ve yaklaşık % 18 oranındaki yüksek HP içeriği ile oldukça sindirilebilir bir durumda hasat edilebilir (Contreras-Govea ve Albrecht, 2006).

Ancak, suda çözünebilen karbonhidrat içeriğinin düşük olması (Shaoa ve ark., 2005; Li, 2008), özellikle tüm bitkinin silajında bütirik asit oranının fermantasyon sırasında yükselme ihtimali (Kuter ve ark., 2023), silajını zorlaştırır ve/veya düşük kaliteli silaj elde edilmesine neden olur. Bu durum, yulaf silajlarında değişik katkı maddelerinin kullanılmasıyla veya baklagillerle karışım halinde silajının yapılması ile aşılır.

5. ARPA (*Hordeum vulgare* L.)

Türkiye ve diğer birçok ülkelerde silolan yem bitkileri arasında arpa (*Hordeum vulgare* L.) da yer almaktadır. Düşük tamponlama

kapasitesine, yüksek oranda fermente edilebilir karbonhidratlara sahip olan arpanın silolanması nispeten kolaydır (Acosta ve ark., 1991).

Bununla birlikte, arpa silajı sırasında, laktik asit üreten bakterilerle aşılama, silaj fermantasyonunu (Hristov ve McAllister, 2002) ve arpa silajının sindirilebilirliğini, besin alımını ve hayvan performansını (McAllister ve ark., 1995) iyileştirir. Aynı şekilde bazı fermantasyon yan ürünlerinin de arpa silajına eklenmesinin fermantasyonunu ve rumen sindirilebilirliğini iyileştirmektedir (Wuisman ve ark., 2006). Bunun yanı sıra, önceden kurutulmuş veya soldurulmuş arpa silajından da kaliteli silaj elde edilebilmektedir (Horst ve ark., 2018). Silaj yapımı için arpanın süt olum veya hamur olum aşamasında hasat edilmesi tavsiye edilir. Kaliteli arpa silajı elde etmek için yulafta olduğu gibi katkı maddelerinin kullanılması ve baklagillerle karışım silajının yapılması daha uygundur.

6. TRİTİKALE (*xTriticosecale* Wittmack)

Tritikale; yüksek verimli, soğuğa, kuraklığa ve farklı ekolojilere adaptasyonu iyi olan “buğday x çavdar” melezi amfidiploid bir tahıl türüdür (Kün, 1988). Dünyada, tritikale üretiminin büyük bir kısmı hayvan yemi olarak kullanılmakta; süt olum devresinde yapılan biçimler ile silaj üretimi de yapılabilmekte; bu anlamda, silaj verimi bazı durumlarda buğday, çavdar ve arpadan yüksek olabilmektedir (Geren ve Ünsal, 2008). Delogu ve ark. (2002) tritikalenin hem tanesinden hem de yüksek ve kaliteli yeşil ot verimine bağlı olarak

silajlık olarak da yararlanılabileceğine dikkat çekmişlerdir. Kavut ve ark. (2012) tarafından da silajlık hasıl üretimi için tritikale tarımının yapılabileceği ve silolama kurallarına uyulması durumunda kaliteli silajların elde edilebileceği vurgulanmıştır. Tritikale, yüksek kaliteli besleyici bir tem bitkisi olarak gösterilmiş ve muhafaza sonrasında da bu özelliklerini koruduğu rapor edilmiştir (Horst ve ark., 2018).

7. DALLI DARI (*Panicum virgatum* L.)

Dallı darı (*Panicum virgatum* L.), Amerika Birleşik Devletleri'ne özgü, yüksek biyokütleyle sahip olması nedeniyle daha çok bir biyoyakıt ürünü olarak tanımlanan, çok yıllık sıcak mevsim bir C4 bitkisidir (Hivrale ve ark., 2015; Yuan ve ark., 2015; Aurangzaib ve ark., 2018). Son yıllarda alternatif yem bitkisi olarak üzerinde yoğunlaşılın dallı darının silaj amacıyla değerlendirilebileceği (Burns ve ark., 1993; Zhao ve ark., 2017; Eliş ve Özyazıcı, 2019; Guled, 2020; Kesen ve Geren, 2020; Açıkbaş, 2022) rapor edilmiştir. Silaj pH'sı ve KM oranı yönünden kaliteli silaj elde edilebilmesi için uygun çeşit seçimi yanında, vejetasyonun erken devresinde (çiçeklenme öncesinde) biçiminin yapılması gerekmektedir (Açıkbaş, 2022).

8. FİL OTU (*Pennisetum purpureum* Schum.)

Napier otu, fil otu veya Uganda otu diye de bilinen bu bitki; birim alan başına yüksek biyokütle verimi, yüksek düzeyde suda çözünür karbonhidratlar, sık biçime dayanma yeteneği, hızlı yenilenme gücü, kuraklığa toleransı ve lezzetliliği iyi olması nedeniyle silaj üretimi için popüler bir tropikal bitkidir (Kozloski ve ark., 2005; Yin ve ark., 2021).

Pennisetum purpureum'un yulaf ile kombinasyon halinde silajlarının besin değeri ve fermantasyon özellikleri dikkate değer bulunmuş; 45 gün boyunca %50 *Avena sativa* + %50 *P. purpureum* + %3 melas karışımlarının, türün tek silajına kıyasla daha yüksek silajla sonuçlandığı rapor edilmiştir (Wodebo ve ark., 2023). Fil otu, silaj üretiminde sıklıkla kullanılan yıllık bitkilere alternatif olarak kullanılabilir mükemmel kuru madde potansiyeline sahip bir yem bitkisidir (Silva ve ark., 2020).

9. DEV KRALOTU (*Pennisetum hybridum*)

Dev kralotu (*Pennisetum hybridum*); mısır bitkisinin yetiştiği bölgelerde yetişebilmesi, mısır için kullanılan alet-ekipmana tam uyum sağlayabilmesi, mısır kadar ve hatta daha yüksek silolanabilir ot verimine sahip olması ve çok yıllık olması gibi önemli tarımsal özellikleri bulunmaktadır (Geren, 2013). Bitki, mısır gibi tek başına kolaylıkla silolanabilmekte (Mannetje, 1992) ve mısırdan çok daha fazla yeşil aksam oluşturabilmektedir (Geren ve ark., 2013). Dev kralotu silajının yem kalitesi mısırdan bir miktar düşük olsa da (Geren, 2014; Geren ve ark., 2014), silaj üretiminde ümitvar seçenekler arasında yer almakta; silajının metabolik enerji ve nispi yem değerini arttırmak için silajına % 50 oranında yemlik bakla, tüylü fiğ veya fiğ kuru otlarından birinin eklenebileceği vurgulanmaktadır (Geren, 2014). Yanı sıra, Geren ve ark. (2014), dev kralotu yaş otunun sorunsuz bir şekilde silolanabileceğini, metabolik enerji açısından mısırdan ~% 25 kadar geri kaldığını, ancak çok yıllık olmasına bağlı olarak uzun vadede üretim maliyetlerinin yıllık bitkilere göre daha ekonomik olduğunu

rapor etmişlerdir. Dev kralotu Türkiye'de artan kaba yem ihtiyacını karşılamak için silajlık kaba yem üretme potansiyeline sahiptir (Geren ve ark., 2020).

10. ÇİN KILIÇOTU (*Miscanthus sinensis*)

Miscanthus sinensis, Gramineae familyasına ait otsu çok yıllık bir C4 bitkisidir (Huang ve ark., 2023). *Miscanthus*, tarım topraklarından tuzlu ve kirlenmiş kenar arazilere kadar çok çeşitli marjinal alanlara uyum sağlamıştır (Heaton ve ark., 2008; Hodkinson ve ark., 2014; Açıkbaş ve ark., 2017). Bitki, yüksek verime ve olağanüstü performansa sahip bir enerji bitkisi olarak gelişme potansiyeline sahiptir (Huang ve ark., 2023). Çin kılıçotunun yaş otları sorunsuz bir şekilde silolanabilmektedir. Ancak, yem kalitesi mısır kadar kaliteli değildir. Buna karşılık çok yıllık olması nedeniyle uzun vadede mısır gibi tek yıllık buğdaygillere göre daha ekonomik olabilmektedir (Geren ve ark., 2014).

11. YONCA (*Medicago sativa* L.)

Yonca (*Medicago sativa*), protein açısından zengin bir baklagil yem bitkisidir. Besin maddelerini korumak ve lezzeti arttırmak amacıyla, geviş getiren hayvanların beslenmesi için yonca silajı yapmak dünya çapında giderek daha popüler bir uygulama haline gelmiştir (Wang ve ark., 2021). Bununla birlikte, katkı maddeleri kullanmadan veya diğer yemlerle karıştırmadan yonca silajı yapmak, düşük suda çözünür karbonhidrat içeriği, yüksek tamponlama kapasitesi (Plaizier, 2004) ve silolama sırasındaki kapsamlı proteoliz (McDonald ve ark., 1991)

nedeniyle zorlu bir iştir (Wang ve ark., 2021). Bu nedenle pratikte yoncanın buğdaygillerle silajını yapmak ve/veya karbonhidrat kaynağı çeşitli katkı maddeleri kullanmak daha doğru bir yaklaşımdır. Bu amaçla, örneğin yoncanın; mısır ve sorgum (Öten ve ark., 2016), tatlı sorgum (Wang ve ark., 2021), yem şalgamı ve yulaf (Mut ve ark., 2020a) ile karışıma girdiği silajlar nispeten daha iyi besin dengesine ve dolayısıyla yüksek kaliteli bir silaj yapma potansiyeline sahiptir. Bunun yanı sıra, elma (Çiftçi ve ark., 2005), üzüm posası (Canbolat ve ark., 2010), gladiçya meyvesi (Canbolat ve ark., 2013) melaslı kuru şeker pancarı posası (Yakışır ve Aksu, 2019) gibi karbonhidrat kaynağı çeşitli katkı maddeleri kullanarak yoncanın silaj kalitesini arttırmak mümkündür.

12. TEK YILLIK BAZI BAKLAGİL YEM BİTKİLERİ İLE KARIŞIM SİLAJLARI

Kuru madde ve suda çözünür karbonhidrat içeriklerinin düşük, buna karşılık tamponlanma kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle (McDonald ve ark., 1991), yoncada olduğu gibi birçok tek yıllık baklagil yem bitkilerinin silolanması da oldukça zordur. Fermantasyon sürecini kolaylaştırmak, enerji içeriği yüksek, ruminantlar için daha dengeli ve besleyici değeri yüksek kaliteli yem elde etmek için baklagillerin buğdaygillerle ve/veya bazı tahıllarla silajının yapılması daha önerilen bir uygulamadır. Farklı ekolojilerde yetiştirilerek silajı yapılan baklagil-buğdaygil karışımları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Bazı baklagil-buğdaygil bitkilerine ait silaj karışımları ve tavsiye edilen karışım oranları

Karışım tipi	Yer	Önerilen karışım oranı	Kaynak
Tüylü fiğ + İtalyan çimi Adi fiğ + İtalyan çimi	İzmir	% 60 + % 40	Kavut ve Geren (2017)
Mürdümük + Arpa	Yozgat	% 60 + % 40	Başaran ve ark. (2018)
Orman üçgülü + Yulaf	Samsun	% 90 + % 10	Can ve ark. (2019)
Yem bezelyesi + Arpa	Diyarbakır	% 75 + % 25	Seydoşoğlu (2019)
Mürdümük + Arpa	Diyarbakır	% 75 + % 25	Seydoşoğlu ve Gelir (2019)
Macar fiği + Arpa	Muş	% 70 + % 30	Turan (2019a)
Macar fiği + Buğday	Muş	% 70 + % 30	Turan (2019b)
Mürdümük + Triticale	Mardin-Kızıltepe	% 80 + % 20	Karadeniz ve ark. (2020)
Koca fiğ + İtalyan çimi	Bilecik	% 60 + % 40	Mut ve ark. (2020b)
Koca fiğ + Arpa	Muş	% 80 + % 20	Turan (2020)
Yaygın fiğ + Arpa Yaygın fiğ + Çavdar Yaygın fiğ + Yulaf Yaygın fiğ + Triticale	Siirt	% 75 + % 25	Görü ve Seydoşoğlu (2021)
Yem bezelyesi + yulaf	Bilecik	% 80 + % 20 % 60 + % 40	Gülümser ve ark. (2021)
Yem bezelyesi + Yulaf Yem bezelyesi + Çavdar	Siirt	% 75 + % 25	Gümüştaş ve Turan (2022)
Çemen + Yulaf	Siirt	% 75 + % 25	Özyazıcı ve ark. (2022)
Yem bezelyesi + Buğday	Kahramanmaraş	% 75 + % 25	Arıkan ve ark. (2023)
İskenderiye üçgülü + İtalyan çimi	İzmir	% 40 + % 60	Demiroğlu Topçu ve Kahya (2023)

13. SİLAJI YAPILABİLEN DİĞER BAZI BİTKİLER

13.1. Şerbetçi Otu (*Humulus lupulus L.*)

İçerdikleri bazı sekonder metabolitler (polifenoller) ve HP oranı ile sindirilebilirliği yüksek olan, hayvan sağlığına, verime ve kalitesine katkı sağlayan, fenolik bileşikler sayesinde silajda fermantasyonu teşvik eden ve silaja aromatik bir tat vererek silajın lezzetliliğini arttıran şerbetçi otu bitkisinden elde edilen silajlarının kaba yem olarak değerlendirilebilme potansiyeli bulunmaktadır (Kaymaz ve Gülümser, 2023). Şerbetçi otu ile yapılan ve silaj yapımında bitkinin koza hasadı sonrasında kalan kısımlarının kullanıldığı bir çalışmada, şerbetçi otu ile

yemlik soyanın % 25+% 75 karışım oranı ile yapılan silajdan yüksek kalitede silaj elde edilmiştir (Öztürk ve ark., 2020). Al-Mamun ve ark. (2011), şerbetçi otu kalıntılarının kısmen koyun yetiştiriciliğinde geleneksel olarak kullanılan yuvarlak balya silajına alternatif olarak kullanılabilceğini bildirmişlerdir.

13.2. Soya (*Glycine max L.*)

Birçok ülkede hayvan besleme için soya fasulyesi silajına artan bir ilgi vardır. Soya fasulyesi silajının kullanımı, diyetin protein içeriğini arttırmak, daha fazla miktarda kalsiyum ve fosfor sağlamak ve böylece protein konsantresi takviyesi ihtiyacını azaltarak üretim maliyetlerini düşürmek için bir alternatif temsil etmektedir (Marchezan ve ark., 2002). Bununla birlikte; kuru madde konsantrasyonunun düşük olması ve hasat zamanındaki yüksek protein, yağ ve mineral madde içeriği, yüksek tamponlama kapasitesi soya fasulyesinin silaj olarak korunmasını engelleyen faktörlerdir (Rigueira ve ark., 2015). Tek yıllık, ılık mevsim baklagil bitkisi olan soya; küflü olmadığı sürece lezzetli olması, sadece dane veya küspesi için değil aynı zamanda kaba yem olarak da ruminantlar için kullanılan önemli bir yem hammaddesi olması, laktasyondaki süt inekleri ile büyüme dönemindeki düvelere soya kuru otu veya yonca verildiğinde benzer performans göstermesi, gibi bazı tarımsal avantajları ile yem bitkisi olarak da değerlendirilebilme potansiyeli bulunmaktadır (Ayaşan, 2011). Soya silajı ortalama % 18.3 HP, % 35 KM, % 43.3 NDF ve % 32.3 ADF içermekte; tek başına verildiğinde inekler için çok lezzetli olmamakta;

mısır, sorgum veya sudan otu ile karışık ekilerek de silajı yapılabilir (Ayaşan, 2011).

13.3. Hindiba (*Cichorium intybus* L.)

Asteraceae familyasına ait olan hindiba kısa ömürlü-çok yıllık bir bitkidir. Türkiye’de çok fazla bilinmemekle birlikte, hindiba ile yapılan bir silaj çalışmasında, hindibanın ak üçgül ile % 40+% 60 ve % 20+% 80 karışımlarından elde edilen silajlardan iyi sonuç alındığı rapor edilmiştir (Can ve ark., 2020a). Yine hindiba bitkisi ile yapılan bir diğer silaj çalışmasında da, % 50 hindiba+% 50 ak üçgül, % 50 hindiba+% 50 gazal boynuzu ve % 40 hindiba+% 30 çok yıllık çim+% 30 ak üçgül karışımlarından iyi kalitede silaj elde edilmiştir (Can ve ark., 2020b). Kälber ve ark. (2012), hindiba içeren silajların, İtalyan çimi (*Lolium multiflorum*) silajından daha düşük bir yem değerine sahip olmasına rağmen, süt ineklerinin diyetlerinin yem kısmının bileşenleri olarak kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

13.4. Meryemana Dikeni [*Silybum marianum* (L.) Gaertner]

Meryemana dikeni tarla, mera ve organik maddece zengin yerlerde yayılma gösteren ve yüksek boyu ile başka bitkilerle kolay rekabet eden bir yabancı ottur. Dikenli yapısı sebebiyle hayvanlar tarafından zor otlanmaktadır. Silajında % 11.50 KM, % 8.30 HP, % 15.06 ham kül, % 58.29 NDF, % 43.63 ADF ve % 16.43 ADL belirlenmiştir. Duyusal silaj özellikleri bakımından düşük değerlere sahip olup; meryemana

dikeninin silaj yapılarak hayvanlar için kaba yem kaynağı olarak kullanılabilmesi ve silaj kalitesini yükseltmek için katkı maddelerinin eklenmesi gerektiği bildirilmiştir (Özınan ve ark., 2017).

13.5. Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench)

Tahıllarla hiçbir akrabalık bağlantısı bulunmayan ancak kullanım alanları benzer olan karabuğday (Özyazıcı, 2020), farklı çevre koşullarına karşı yüksek dirence sahip bir bitki olup (Ozyazıcı ve Turan, 2021), dünyada yaygın olarak üretimi yapılmaktadır (Biçer ve Özyazıcı, 2021). Bitki, Akdeniz ikliminin hüküm sürdüğü erken ilkbahar ve sonbahar aylarında önemli miktarda yem üretimi sunabilir (Keles ve ark., 2018). Kälber ve ark. (2012), karabuğday silajının, İtalyan çimi (*Lolium multiflorum*) silajından daha düşük bir yem değerine sahip olmasına rağmen, süt ineklerinin diyetlerinde kullanılabilmesini, Keleş ve ark. (2012) karabuğdayın kolay silolanabilen önemli bir alternatif kaba yem olduğunu bildirmişlerdir. Keles ve ark. (2018), karabuğday silajının lezzetli olduğunu ve performans, karkas ve et kalitesi üzerinde herhangi bir olumsuz etki olmaksızın büyüyen kuzuların toplam karma rasyonlarının önemli bir bileşeni olabileceğini rapor etmişlerdir. Yamaner ve ark. (2021), % 30 KM içeren karabuğday silajının yüksek laktik asit bakteri çeşitliliğine sahip kaliteli bir silaj ve alternatif kaba yem olabileceğini ifade etmişlerdir.

14. SONUÇ

Silaj, yem kıtlığı sırasında önemli bir besin takviyesidir. Bu anlamda silaj, yeşil yem eksikliğini gidermek için bir seçenek olup, yem miktarının yıl boyunca kullanılabilirliğine katkı sağlar. Silaj yapımında kullanılacak bitki materyali açısından oldukça fazla sayıda türlerin olduğunu söylemek mümkündür. Bu yönüyle ilk akla gelen silaj bitkisi mısırdır; ancak, mısırdan elde edilen silaj üretiminin mevcut seviyesi, hayvancılık için artan yem talebini karşılamaya her zaman yeterli olmayabilir. Bu nedenle silaj amacıyla alternatif bitki türlerinin yetiştirilmesi ve kaliteli silaja yönelik olarak uygun tekniklerle silajlarının yapılması önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Acosta, Y.M., Stalings, C.C., Polan, C.E., Miller, C. N. 1991. Evaluation of barley silage harvested at boot and soft dough stages. *Journal of Dairy Science*, 74: 167-176.
- Açıkbaş, S. 2022. Dallı darı (*Panicum virgatum* L.) Çeşitlerinin Farklı Biçim Devrelerinde Ot ve Silaj Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Siirt, 170s.
- Açıkbaş, S., Özyazıcı, M.A., Yıldız, A., Özyazıcı, G., Turan, N. 2017. An alternative plant for forage crop: *Miscanthus*. I. International Conference on Multidisciplinary, Engineering, Science, Education and Technology (IMESET'17 BAKU), Book of Abstracts, F. Mirzayev, M. Agayeva and J. Rahebi (Eds.), Publishing Coordinator Ş. Parlakyıldız, Hosted by Azerbaijan Technical University, July 12-14, Baku, Azerbaijan, p. 69.
- Ali, W., Nadeem, M., Ashiq, W., Zaeem, M., Thomas, R., Kavanagh, V., Cheema, M. 2019. Forage yield and quality indices of silage-corn following organic and inorganic phosphorus amendments in podzol soil under boreal climate. *Agronomy*, 9(9): 489-509.
- Al-Mamun, M., Saito, A., Sano, H. 2011. Effect of ensiled hop (*Humulus lupulus* L.) residues on plasma acetate turnover rate in sheep. *Animal Science Journal*, 82(3): 451-455.
- Amer, S., Seguin, P., Mustafa, A.F. 2012. Short communication: Effects of feeding sweet sorghum silage on milk production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95: 859-863.
- Araújo, K.G., Vilella, S.D.J., de Paula Leonel, F., Costa, P.M., de Oliveira Fernandes, L., Tamy, W.P., Andrade, V.R. 2012. Yield and quality of silage of maize hybrids. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(6): 1539-1544.
- Arıkan, S., Akbay, F., Korkmaz, Z., Günaydın, T., Kızılyar, E.N., Kızılışimşek, M. 2023. Yem bezelyesinin farklı oranlarda arpa ve buğday ile birlikte yetiştirilmesinin silaj kalitesine etkisi. *ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(3): 461-471.

- Aurangzaib, M., Moore, J.K., Lenssen, A.W., Archontoulis, S.V., Heaton, E.A., Fei, S. 2018. Developmental morphology and biomass yield of upland and lowland switchgrass ecotypes grown in Iowa. *Agronomy*, 8(5): 61.
- Ayaşan, T. 2011. Soya silajı ve hayvan beslemede kullanımı. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 8(3): 187-192.
- Bal, M.A., Coors, J.G., Shaver, R.D. 1997. Impact of the maturity of corn for use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. *Journal of Dairy Science*, 80: 2497-2503.
- Başaran, U., Gülümser, E., Mut, H., Doğrusöz, M.Ç. 2018. Mürdümük+tahıl karışımlarının silaj verimi ve kalitesinin belirlenmesi. *Türk Tarım -Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(9): 1237-1242.
- Biçer, A., Özyazıcı, G. 2020. İkinci ürün olarak yetiştirilen karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench.)’da vermikompost dozlarının verim ve bazı kalite özelliklerine etkisi. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences International Indexed & Refereed*, 7(9): 273-287.
- Bolsen, K.K., Moore, K.J., Coblenz, W.K., Siefers, M.K., White, J.S. 2003. Sorghum silage. In: D.R. Buxton, R.E. Muck, J.H. Harrison (Eds.), *Silage Science and Technology*, Agronomy Monographs, 42: 609-632.
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R.J., Holmes, B.J., Muck, R.E. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 3952-3979.
- Brask-Pedersen, D.N., Lamminen, M., Mogensen, L., Hellwing, A.L.F., Johansen, M., Lund, P., Larsen, M., Weisbjerg, M.R., Børsting, C.F. 2023. Effect of substituting grass-clover silage with maize silage for dairy cows on nutrient digestibility, rumen metabolism, enteric methane emission and total carbon footprint. *Livestock Science*, 274: 105273.
- Burns, J.C., Fisher, D.S., Pond, K.R. 1993. Ensiling characteristics and utilization of switchgrass preserved as silage. *Postharvest Biology and Technology*, 3(4): 349-359.

- Can, M., Acar, Z., Ayan, İ., Gülümser, E., Mut, H. 2020a. Hindiba ile ak üçgül veya domuz ayrığı karışımlarının silaj kalitesinin belirlenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(4): 3076-3083.
- Can, M., Ayan, İ., Gülümser, E., Acar, Z., Öztürk, E. 2020b. Hindiba (*Cichorium intybus* L.) ile farklı arkadaş bitkilerin silaj kalitesinin belirlenmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 7(3): 296-304.
- Can, M., Kaymak, G., Gülümser, E., Acar, Z., Ayan, İ. (2019). Orman üçgülü yulaf karışımlarının silaj kalitesinin belirlenmesi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 34(3): 371-376.
- Canbolat, Ö., Kalkan, H., Filya, İ. 2013. Yonca silajlarında katkı maddesi olarak gladiçya meyvelerinin (*Gleditsia triacanthos*) kullanılma olanakları. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 19(2): 291-297.
- Canbolat, Ö., Kalkan, H., Karaman, Ş., Filya, İ. 2010. Üzüm posasının yonca silajlarında karbonhidrat kaynağı olarak kullanılma olanakları. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 16(2): 269-276.
- Canizares, G.I.L., Goncalves, H.C., Costa, C., Rodrigues, L., de Menezes, J.J.L., Gomes, H.F.B., Marques, R.O., Branco, R.H. 2011. Use of high moisture corn silage replacing dry corn on intake, apparent digestibility, production and composition of milk of dairy goats. Revista Brasileira de Zootecnia, 40(4): 860-865.
- Cattani, M., Guzzo, N., Mantovani, R., Bailoni, L. 2017. Effects of total replacement of corn silage with sorghum silage on milk yield, composition, and quality. Journal of Animal Science and Biotechnology, 8: 15.
- Colombini, S., Galassi, G., Crovetto, G. M., Rapetti, L. 2012. Milk production, nitrogen balance, and fiber digestibility prediction of corn, whole plant grain sorghum, and forage sorghum silages in the dairy cow. Journal of Dairy Science, 95(8): 4457-4467.
- Contreras-Govea, F.E., Albrecht, K.A. 2006. Forage production and nutritive value of oat in autumn and early summer. Crop Science, 46: 2382-2386.

- Çiftçi, M., Çerçi, İ.H., Dalkılıç, B., Güler, T., Ertaş, O.N. 2005. Elmanın karbonhidrat kaynağı olarak yonca silajına katılma olanağının araştırılması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 16(2): 93-98.
- Delogu, G., Faccini, N., Faccioli, P., Reggiani, F., Lendini, M., Berardo, N., Odoardi, M. 2002. Dry matter yield and quality evaluation at two phenological stages of forage triticale grown in the Po Valley and Sardinia, Italy. Field Crops Research, 74: 207-215.
- Demiroğlu Topçu, G., Kahya, M.E. 2023. İskenderiye üçgülü (*Trifolium alexandrinum* L.) ile İtalyan çimi (*Lolium multiflorum* Lam.) karışımlarının bazı silaj özelliklerinin belirlenmesi. Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi, 16(1): 8-15.
- Eliş, S., Özyazıcı, M.A. 2019. Determination of the silage quality characteristics of different switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivars. Applied Ecology and Environmental Research, 17: 15755-15773.
- Erdman, R.A. 2011. Monitoring feed efficiency in dairy cows using fat-corrected milk per unit dry matter intake. In Proc. Mid-Atlantic Nutrition Conference, University of Maryland, College Park. Mid-Atlantic Feed Industry Council, College Park, MD, pp. 69-79.
- Fraser, J., McCartney, D. 2004. Fodder oats in North America. In: J.M. Suttie and S.G. Reynolds (Eds.), *Fodder Oats: A World Overview*, FAO Plant Production and Protection Series N°33, FAO, Rome, Italy.
- Gao, X., Hou, M.J., Fu, X.Y., Wang, H.C., Shang, Z H., Zhu, H.D. 2023. Effect of replacing corn straw by sweet sorghum silage or whole plant corn silage in sheep diets on rumen fermentation and bacterial flora. Animal, 17(8): 100906.
- García-Chávez, I., Meraz-Romero, E., Castelán-Ortega, O., Zaragoza-Esparza, O., Osorio Avalos, J., Robles Jiménez, L.E., GonzálezRonquillo, M. 2022. Corn silage, a systematic review of the quality and yield in different regions around the world. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 23(3): e2547.
- Geren, H. 2013. Yem bitkileri üretimi. Tarım Gündem Dergisi, 12: 70-72.

- Geren, H. 2014. Farklı oranlarda baklagil yembitkileri ile silolan dev kralotu (*Pennisetum hybridum*)'nun bazı kalite özellikleri üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 51(2): 209-217.
- Geren, H., Avcıoğlu, R., Kavut, Y.T., Tan, K., Sargın, S. 2013. *Miscanthus* sp. ve *Sorghum* sp.'in Bornova koşullarına adaptasyonu üzerinde araştırmalar. Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 2010-ZRF-033, İzmir.
- Geren, H., Avcıoğlu, R., Kavut, Y.T., Tan, K., Sargın, S.(2014. Akdeniz iklimi koşullarında yetiştirilen bazı çokyıllık sıcak mevsim buğdaygil cinslerinin yıllık sıcak mevsim buğdaygilleri ile silolanabilir verim, yem kalitesi ve biyoetanol verimi yönünden karşılaştırılması üzerine bir araştırma. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 51(3): 243-251.
- Geren, H., Kavut, Y.T., Unlu, H.B. 2020. Effect of different cutting intervals on the forage yield and some silage quality characteristics of giant king grass (*Pennisetum hybridum*) under Mediterranean climatic conditions. Turkish Journal of Field Crops, 25(1): 1-8.
- Geren, H., Ünsal, R. 2008. Tritikale tarımı. Tarım Türk, Ocak-Şubat, 9: 63-64.
- Getachew, G., Putnam, D.H., De Ben, C.M., De Peters, E.J. 2016. Potential of sorghum as an alternative to corn forage. American Journal of Plant Sciences, 7(7): 1106-1121.
- Görü, N., Seydoşoğlu, S. 2021. Bazı serin iklim tahıllarının (yulaf, arpa, çavdar ve tritikale) yaygın fiğ ile farklı oranlarda karışımlarında silaj kalite özelliklerinin belirlenmesi. Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(1): 26-33.
- Guled, I.T. 2020. Farklı Olgunlaşma Dönemlerinde Hasat Edilen Kurutulmuş ve Silolanmış Dalli Darı (*Panicum virgatum* L.) Otunun Yem Değeri. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 44s.
- Gülümser, E., Mut, H., Başaran, U., Çopur Doğrusöz, M. 2021. Yem Bezelyesi İle Yulafın Farklı Oranlarda Karıştırılması İle Elde Edilen Silajların Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(1): 763-770.

- Gümüştaş, M., Turan, N. 2022. Bazı tahılların farklı oranlarda yem bezelyesi (*Pisum sativum* L.) ile karıştırılarak silaj kalitesine etkisinin araştırılması. ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi, 6(1): 118-130.
- Harper, M.T., Oh, J., Giallongo, F., Lopes, J.C., Roth, G.W., Hristov, A.N. 2017. Using brown midrib 6 dwarf forage sorghum silage and fall-grown oat silage in lactating dairy cow rations. Journal of Dairy Science, 100: 5250-5265.
- Heaton, E.A., Dohleman, F.G., Long, S.P. 2008. Meeting US biofuel goals with less land: The potential of Miscanthus. Global Change Biology, 14: 2000-2014.
- Hidalgo, E.M., Bustamante, M.B., Pincay, C.M., Ubilla, L.D., Cedeño, C.C. 2018. Evaluación de la calidad nutricional de los ensilajes en bolsa de los híbridos de maíz Somma y Trueno aplicando dos aditivos en la zona de Colimes. Espirales Revista Multidisciplinaria de Investigación, 2(15): 137-153.
- Hivrale, V., Zheng, Y., Puli, C O.R., Jagadeeswaran, G., Gowdu, K., Kakani, V.G., Barakat, A., Sunkar, R. 2015. Characterization of drought- and heat-responsive microRNAs in switchgrass. Plant Science, 242: 214-223.
- Hodkinson, T.R., Klaas, M., Jones, M.B., Prickett, R., Barth, S. 2014. Miscanthus: A case study for the utilization of natural genetic variation. Plant Genetic Resources, 13: 219-237.
- Horst, E.H., Neumann, M., Mareze, J., Leão, G.F.M., Bumbieris Júnior, V.H., Mendes, M.C. 2018. Nutritional composition of pre-dried silage of different winter cereals. Acta Scientiarum. Animal Sciences, 40: e42500.
- Hristov, A.N., McAllister, T.A. 2002. Effect of inoculants on whole-crop barley silage fermentation and dry matter disappearance in situ. Journal of Animal Science, 80: 510-516.
- Huang, X., Ye, M., Yuan, L., Liu, Y. 2023. Enhanced silage pretreatment improving the biochemical methane potential of *Miscanthus sinensis*. Environmental Science and Pollution Research, 30(12): 34698-34708.
- Kälber, T., Kreuzer, M., Leiber, F. 2012. Silages containing buckwheat and chicory: quality, digestibility and nitrogen utilisation by lactating cows. Archives of Animal Nutrition, 66(1): 50-65.

- Karadeniz, E., Eren, A., Saruhan, V. 2020. Mürdümük (*Lathyrus sativus* L.) ve tritikale (*xTriticosecale* Wittmack) karışımlarının silaj kalitesinin belirlenmesi. ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi, 4(2): 249-259.
- Karnatam, K.S., Mythri, B., Un Nisa, W., Sharma, H., Meena, T.K., Rana, P., Vikal, Y., Gowda, M., Dhillon, B.S., Sandhu, S. 2023. Silage maize as a potent candidate for sustainable animal husbandry development-perspectives and strategies for genetic enhancement. *Frontiers in Genetics*, 14: 1150132.
- Kavut, Y.T., Geren, H. 2017. Farklı hasat zamanlarının ve karışım oranlarının italyan çimi (*Lolium multiflorum* L.)+ baklagil yembitkisi karışımlarının verim ve bazı silaj kalite özelliklerine etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 54(2): 115-124.
- Kavut, Y.T., Soya, H., Geren, H., Ünşal, R., Sevim, İ., Avcıoğlu, R. 2012. Menemen koşullarında yetiştirilen bazı tritikale çeşitlerinin silajlık hasıl verimi ve silaj kalite özellikleri üzerinde araştırmalar. ANADOLU Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 22(1): 33-44.
- Kaymaz, Z., Gülümser, E. 2023. Şerbetçi otu (*Humulus lupulus* L.) silajlarının fitorapik özelliği. MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi, 8(3): 421-429.
- Keady, T.W.J., Kilpatrick, D.J., Mayne, C.S., Gordon, F.J.(2008. Effects of replacing grass silage with maize silages, differing in maturity, on performance and potential concentrate sparing effect of dairy cows offered two feed value grass silages. *Livest Science*, 119: 1-11.
- Keles, G., Kocaman, V., Ustundag, A.O., Zungur, A., Ozdogan, M. 2018. Growth rate, carcass characteristics and meat quality of growing lambs fed buckwheat or maize silage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(4): 522-528.
- Keleş, G., Ateş, S., Güneş, A., Halıcı, İ. 2012. Kimyasal ve biyolojik silaj katkıları ile silolanmış karabuğday silajının besin değeri ve fermantasyon özellikleri. Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 26(4): 33-36.
- Kesen, Z., Geren, H. 2020. Dallı darı (*Panicum virgatum*)’da farklı biçim sıklıklarının yem verimi ve bazı silaj kalite özelliklerine etkisi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(1): 658-668.

- Khan, N.A., Tewoldebrhan, T.A., Zom, R.L.G., Cone, J.W., Hendriks, W.H. 2012. Effect of corn silage harvest maturity and concentrate type on milk fatty acid composition of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95: 1472-1483.
- Khan, N.A., Yu, P., Ali, M., Cone, J.W., Hendriks, W.H. 2015. Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(2): 238-252.
- Kolver, E.S., Roche, J.R., Miller, D., Densley, R. 2001. Maize silage for dairy cows. In *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 63: 195-201.
- Kozloski, G.V., Perotoni, J., Sanchez, L.M.B. 2005. Influence of regrowth age on the nutritive value of dwarf elephant grass hay (*Pennisetum purpureum* Schum. Cv. Mott) consumed by lambs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 119: 1-11.
- Kung, L., Shaver, R.D., Grant, R.J., Schmidt, R.J. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4020-4033.
- Kuter, E., Ahsan, U., Tosun, B., Karagöz, D.M., Gümüş, H., Raza, I., Güvenç, M., Akkaş, Ö. 2023. Biomass yield, quality, nutrient composition, and feeding value of oat (*Avena sativa*) silage subjected to different wilting durations and/or inoculant application. *Tropical Animal Health and Production*, 55(5): 299.
- Kün, E. 1988. Serin iklim Tahılları. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Ders Kitabı, Yayın No: 1032, Ders Kitabı: 299, Ankara.
- Leonhart, D., Beneitez, A. 2019. Maíz. In: F. Kent (Ed.), *Forrajeras cultivadas anuales y perennes más difundidas en la provincia de La Pampa*, Ediciones INTA Anguil, pp. 27-32.
- Li, R. 2008. Production technology of oat silage forage. *Prataculture & Animal Husbandry*, 29: 55.
- Li, S.S., Zhang, J.J., Bai, Y.F., Degen, A.A., Long, R.J. 2020. Sorghum silage substituted for corn silage in diets for dairy cows: Effects on feed intake, milk yield and quality, and serum metabolites. *Applied Animal Science*, 36: 228-236.

- Lv, X., Chen, L., Zhou, C., Zhang, G., Xie, J., Kang, J., Tan, Z., Tang, S., Kong, Z., Liu, Z., Du, Z. 2023. Application of different proportions of sweet sorghum silage as a substitute for corn silage in dairy cows. *Food Science & Nutrition*, 11: 3575-3587.
- Ma, B.L., Dwyer, L.M. 2012. Changes in kernel characteristics during grain filling in silage-specific and dual-purpose corn hybrids. *Canadian Journal of Plant Science*, 92: 427-439.
- Macdonald, K.A. 1999. Determining how to make inputs increase your economic farm surplus. *Proceedings of the Ruakura Farmers' Conference*, 51: 78-87.
- Mahanna, B. 2000. Corn silage: Managing and feeding the "TMR Plant". In: *Crop Management Research and Technology*, Pioneer Hi-Bred International, Inc.
- Mandić, V., Bijelić, Z., Krnjaja, V., Simić, A., Petričević, M., Mičić, N., Caro, P.V. 2018. Effect of harvesting time on forage yield and quality of maize. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 34(3): 345-353.
- Marchezan, E., Vizzotto, V.R., Rocha, M.G., Moojen, E.L., Silva, J.H.S. 2002. Produção animal em várzea sistematizada cultivada com forrageiras de estação fria submetidas a diferentes níveis de adubação. *Ciencia Rural*, 32(2): 303-308.
- McAllister, T.A., Selinger, L.B., McMhon, L.R., Bae, H.D., Lysyk, T.J., Oosting, S.J., Cheng, K.J. 1995. Intake, digestibility and aerobic stability of barley silage inoculated with mixtures of *Lactobacillus plantarum* and *Enterococcus faecium*. *Canadian Journal of Animal Science*, 75: 525-532.
- McDonald, P., Henderson, A. R., Heron, S.J.E. 1991. *The Biochemistry of Silage*. Chalcombe Publications, Marlow, UK.
- Moran, B.J. 2005. Making Quality Silage. In *Tropical Dairy Farming: Feeding Management for Small Holder Dairy Farmers in the Humid Tropics*; Landlinks Press: Collingwood, Australia.
- Morris, D.R., McCormick, M.E. 1994. Ensiling properties of sweet sorghum. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25: 2583-2595.
- Mu, X., Li, H., Wang, Z., Wang, Q., Geng, D., Zhu, J. 2023. Comparison of crushing effect of differently shaped crushing rollers on whole-plant silage maize. *Agriculture*, 13: 1276.

- Mut, H., Gülümser, E., Çopur Doğrusöz, M., Başaran, U. 2020a. Değişik arkadaş bitkilerin yonca silaj kalitesine etkisi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 23(4): 975-980.
- Mut, H., Gülümser, E., Çopur Doğrusöz, M., Başaran, U. 2020b. Koca fiğ (*Vicia narbonensis* L.) ile İtalyan çimi (*Lolium multiflorum* L.) karışımlarının silaj kalitesinin belirlenmesi. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 8(2): 391-396.
- Nazli, M.H., Halim, R.A., Abdullah, A.M., Hussin, G., Samsudin, A.A. 2019. Potential of four corn varieties at different harvest stages for silage production in Malaysia. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 32(2): 224.
- NRC, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. National Research Council, 519.
- NRC, 2007. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids and new world camelids. National Academies Press, National Research Council, Washington, DC, USA.
- Nussio, L.G., Campos, F.P., Dias, F.N. 2001. Importância da qualidade da porção vegetativa no valor alimentício da silagem de milho. In: Simpósio Sobre Produção e Utilização de Forragens Conservadas, Maringá, Anais, Maringá, p.127-145.
- Oba, M., Allen, M.S. 1999. Effects of Brown midrib 3 mutation in corn silage on dry matter intake and productivity of high yielding dairy cows. Journal of Dairy Science, 82: 135-142.
- Ojeda, J.J., Islam, M.R., Correa-Luna, M., Gargiulo, J.I., Clark, C.E.F., Rotili, D.H., Garcia, S.C. 2023. Field and in-silico analysis of harvest index variability in maize silage. Frontiers in Plant Science, 14: 1206535.
- Oliveira, S.G., Berchielli, T.T., Pedreira, M.D., Primavesi, O., Frighetto, R., Lima, M.A. 2007. Effect of tannin levels in sorghum silage and concentrate supplementation on apparent digestibility and methane emission in beef cattle. Animal Feed Science and Technology, 135: 236-248.
- Ozyazici, G., Turan, N. 2021. Effect of vermicompost application on mineral nutrient composition of grains of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.). Sustainability, 13: 6004.

- Öten, M., Kiremitçi, S., Çınar, O. 2016. Bazı yem bitkileri ve karışımlarıyla hazırlanan silajların silaj kalitelerinin farklı yöntemlerle belirlenmesi. Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 26(2): 33-43.
- Özınan, L., Alatürk, F., Gökkuş, A. 2017. Meryemana dikenini [*Silybum marianum* (L.) Gaertner]'nin silaj olarak kullanım olanakları. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 4(1): 88-94.
- Öztürk, Y.E., Gülümser, E., Mut, H., Başaran, U., Çopur Doğrusöz, M. 2020. Şerbetçi otunun mısır ve yemlik soya ile karışımlarının silaj kalitesinin belirlenmesi. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 24(4): 440-446.
- Özyazıcı, G. 2020. Azotlu gübre dozlarının karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench.) bitkisinin tohum verimi ve bazı tarımsal özelliklerine etkisi. ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi, 4(3): 635-648.
- Özyazıcı, M.A., Seydoşoğlu, S., Açıkbaz, S. 2022. Determination of silage quality of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) with oat (*Avena sativa* L.) and rye (*Secale cereale* L.) mixtures. Turkish Journal of Nature and Science, 11(3): 102-109.
- Özyazıcı, M.A., Turan, N., Açıkbaz, S. 2018. İkinci ürün olarak yetiştirilen bazı sorgum, sudanotu, sorgum x sudanotu melezi ve mısır çeşitlerinin silaj kalitelerinin belirlenmesi. UMTEB III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi, 21-22 Haziran, Tam Metin Kitabı, Cilt-6, Gaziantep, Türkiye, s. 3898-3907.
- Phipps, R.H., Sutton, J.D., Beever, D.E., Jones, A.K. 2000. The effect of crop maturity on the nutritional value of maize silage for lactating dairy cows. 3. Food intake and milk production. Animal Science Journal, 71: 401-409.
- Plaizier, J.C. 2004. Replacing chopped alfalfa hay with alfalfa silage in barley grain and alfalfa-based total mixed rations for lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 87: 2495-2505.
- Qu, H., Liu, X.B., Dong, C.F., Lu, X.Y., Shen, Y.X. 2014. Field performance and nutritive value of sweet sorghum in eastern China. Field Crops Research, 157: 84-88.

- Ran, T., Tang, S.X., Yu, X., Hou, Z.P., Hou, F.J., Beauchemin, K.A., Yang, W.Z., Wu, D Q. 2021. Diets varying in ratio of sweet sorghum silage to corn silage for lactating dairy cows: Feed intake, milk production, blood biochemistry, ruminal fermentation, and ruminal microbial community. *Journal of Dairy Science*, 104: 12600-12615.
- Restle, J., Pacheco, P.S., Alves Filho, D.C., de Freitas, A. K., Neumann, M., Brondani, I. L., Pádua, J.T., Arboitte, M.Z. 2006. Silagem de diferentes híbridos de milho para produção de novilhos superjovens. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(5): 2066-2076.
- Rigueira, J.P.S., Pereira, O.G., Filho, S.C.V., Ribeiro, K.G., Garcia, R., Cezário, A.S. 2015. Soybean silage in the diet for beef cattle. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 37: 61-65.
- Seydoşoğlu, S. 2019. Farklı oranlarda karıştırılan yem bezelyesi (*Pisum sativum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) hâsıllarının silaj ve yem kalitesine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 56(3): 297-302.
- Seydoşoğlu, S., Gelir, G. 2019. Farklı oranlarda karıştırılan mürdümük (*Lathrus sativus* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) hâsıllarının silaj özellikleri üzerinde bir araştırma. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1): 397-406.
- Shaoa, T., Shimojo, M., Wang, T., Masuda, Y. 2005. Effect of additives on the fermentation quality and residual mono- and disaccharides compositions of forage oats (*Avena sativa* L.) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) silages. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 18(11): 1582-1587.
- Sharma, J., Sharma, S., Karnatam, K.S., Raigar, O.P., Lahkar, C., Saini, D.K., Kumar, S., Singh, A., Das, A.K., Sharma, P., Kumar, R. 2023. Surveying the genomic landscape of silage-quality traits in maize (*Zea mays* L.). *The Crop Journal*, 11(6): 1893-1901.
- Silva, A.R.P.D., Dias, F.J., Rufino, J.P.F., Tanaka, E.D.S., Lopes, M.M. 2020. Effect of using inoculant on elephant grass silage with additives. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 42: e50533.

- Sobral, G.D.C., de Oliveira, J.S., Saraiva, C.A.S., Santos, E.M., Vieira, D.D.S., da Cruz, A.F., Junior, P.D.C.T., de Albuquerque, I.R.R., de Araújo, A.O., Ribeiro, N.L. 2023. Sensory analysis of goat cheese feed with sorghum silage levels in forage cactus based diets. *Food Science and Technology*, 43: e90022.
- Tabacco, E., Borreani, G., Crovetto, G.M., Galassi, G., Colombo, D., Cavallarin, L. 2006. Effect of chestnut tannin on fermentation quality, proteolysis, and protein rumen degradability of alfalfa silage. *Journal of Dairy Science*, 89: 4736-4746.
- 'tMannetje, L. 1992. *Pennisetum purpureum* Schumach. In: L. 't Mannetje and R.M. Jones (Eds.), *Plant Resources of South-East Asia*, No. 4, Forages, Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, the Netherlands, pp. 191-192.
- Tóthné Zsbori, Z., Pinter, J., Spitko, T., Hegyi, Z., Marton, C.L. 2013. Yield and chemical composition of plant parts of silage maize (*Zea mays* L) hybrids and their interest for biogas production. *Maydica*, 58(1): 34-41.
- Turan, N. 2019a. Macar fiği ile arpa yaş otunun farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen silajın kimyasal kompozisyonu ve kalite parametrelerinin belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 17: 787-793.
- Turan, N. 2019b. Doğu Anadolu Bölgesinin ekolojik koşullarında yetiştirilen Macar fiği ve buğdayın farklı karışım oranlarının silaj kalitesine etkisinin belirlenmesi. *EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 12: 99-107.
- Turan, N. 2020. Determination of quality and chemical composition of silages obtained from narbonne vetch (*Vicia narbonensis*) and barley (*Hordeum vulgare*) composition. *Legume Research*, 43(5): 688-692.
- Van der Poel, J. 1996. Going for high production. *Proceedings of the Ruakura Farmers' Conference*, 48: 5-10.
- Wales, W.J., Kolver, E.S. 2017. Challenges of feeding dairy cows in Australia and new Zealand. *Animal Production Science*, 57(7): 1366-1383.
- Wang, E., Cha, M., Wang, S., Wang, Q., Wang, Y., Li, S., Wang, W. 2023. Feeding corn silage or grass hay as sole dietary forage sources: Overall mechanism of

- forages regulating health-promoting fatty acid status in milk of dairy cows. *Foods*, 12: 303.
- Wang, J., Yang, B.Y., Zhang, S.J., Amar, A., Chaudhry, A.S., Cheng, L., Abbasi, I. H.R., AlMamun, M., Guo, X.F., Shan, A.S. 2021. Using mixed silages of sweet sorghum and alfalfa in total mixed rations to improve growth performance, nutrient digestibility, carcass traits and meat quality of sheep. *Animal*, 15: 100246.
- Wodebo, K.Y., Ejeta, T.T., Cherkos, S.D., Terefe, W.G., Wamatu, J.N.A., Equele, M.Z. 2023. Fermentation characteristics and nutritional value of *Avena sativa* genotypes ensiled with or without napier grass (*Pennisetum purpureum*). *Sustainability*, 15: 1260.
- Wu, P., Fu, X., Wang, H., Hou, M., Shang, Z. 2021. Effect of silage diet (sweet sorghum vs. whole-crop corn) and breed on growth performance, carcass traits, and meat quality of lambs. *Animals*, 11: 3120.
- Wu, X.R., Staggenborg, S., Propheter, J.L., Rooney, W.L., Yu, J.M., Wang, D.H. 2010. Features of sweet sorghum juice and their performance in ethanol fermentation. *Industrial Crops and Products*, 319: 164-170.
- Wuisman, Y., Hiraoka, H., Yahaya, M.S., Takeda, M., Kim, W., Takahashi, T., Karita, S., Horiguchi, K., Takahashi, T., Goto, M. 2006. Effects of phenylalanine fermentation byproduct and sugarcane molasses on fermentation quality and rumen degradation of whole crop barley (*Hordeum vulgare* L.) silage in situ. *Grassland Science*, 52(2): 73-79.
- Yakışır, B.Ö., Aksu, T. 2019. Farklı seviyelerde melaslı kuru şeker pancarı posası ilavesinin yonca silajı kalitesi üzerine etkisi. *Van Veterinary Journal*, 30(2): 71-76.
- Yamaner, Ç., Alkan, M., Arslan Halavurt, E., Tekin, T.H. 2021. Karabuğday (*Fagopyrum esculentum* Moench) bitkisinden hazırlanan silaj örneklerinin kalitesi üzerine etkili olan laktik asit bakterisi profilinin DNA parmak izi tekniği ile tanımlanması. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 8(1): 1-11.

- Yang, Y., Li, N., Jin, C., Li, Y., Li, W., Lin, Y., Zhao, L., Yang, X., Guo, T., Hannaway, D.B. 2021. Influence of ensiling additives on silage quality of several oat cultivars. *International Journal of Science*, 8: 23-31.
- Yin, X., Tian, J., Zhang, J. 2021. Effects of re-ensiling on the fermentation quality and microbial community of napier grass (*Pennisetum purpureum*) silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(12): 5028-5037.
- Yuan, S., Xu, B., Zhang, J., Xie, Z., Cheng, Q., Yang, Z., Cai, Q., Huang, B. 2015. Comprehensive analysis of CCCH-type zinc finger family genes facilitates functional gene discovery and reflects recent allopolyploidization event in tetraploid switchgrass. *BMC Genomics*, 16(1): 1-16.
- Zhao, X., Liu, J., Liu, J., Yang, F., Zhu, W., Yuan, X., Hua, Y., Cui, Z., Wang, X. 2017. Effect of ensiling and silage additives on biogas production and microbial community dynamics during anaerobic digestion of switchgrass. *Bioresource Technology*, 241: 349-359.
- Zheng, H., Dang, Y., Sui, N. 2023. Sorghum: A multipurpose crop. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(46): 17570-17583.
- Zhou, X., Jellen, E.N., Murphy, J.P. (1999). Progenitor germplasm of domesticated hexaploid oat. *Crop Science*, 39: 1208-1214.

BÖLÜM 4

SİLAJ YAPIMININ TEKNİK ESASLARI: I-YETİŞTİRME, BİÇİM, PARÇALAMA VE SİLOYA DOLDURMA

Dr. Öğr. Üyesi Semih AÇIKBAŞ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449197>

¹Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt E-mail: semihacikbas@siirt.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-4384-3908>

1. GİRİŞ

Özellikle geviş getiren hayvanların beslenmesinde kullanılan silaj dünyada ve Türkiye’de gün geçtikçe daha da yaygınlık göstermektedir (Basmacıoğlu ve Ergül, 2002). Yeşil yemlerin silolanmasında önemli teknik temel esaslar bulunmaktadır. Bunlar, öncelikle nem düzeyinin silaj için uygun hale getirilmesi ve fermantasyon sonucu asidik bir ortamın oluşması sayesinde elde edilecek yemi uzun sürelerde dayanıklı hale gelmesidir. Bu teknik esaslar doğrultusunda, silajlık bitkinin yetiştirilmesi, biçimi, soldurulması, parçalanması, silonun doldurulması ve kapatılmasına kadar uygulanacak işlemler iyi bir silajın elde edilmesini doğrudan etkilemektedir.

İyi bir silaj elde etmek için;

- a) bitkilerin silaj yapılmak amacıyla yetiştirilmesi,
- b) silaj yapılacak bitkilerin silaja uygun olan genotiplerinin seçilmesi,
- c) bitkilerin silaj için en uygun biçim devresi,
- d) elde edilecek silajların parça büyüklüğü,
- e) silolanacak ürünlerin sıkıştırma derecesi,
- f) silo tipi,
- g) bitki enzim aktiviteleri

önemli faktörler olup, silajın kalitesini doğrudan etkilemektedir.

Silajların ihtiva ettikleri nem durumuna bağlı olarak ön soldurmalı silaj, düşük nemli silaj ve yüksek nemli silaj yapımları farklılık göstermektedir.

Ön soldurmalı silaj yapımı: Yüksek neme sahip yem bitkilerinin hasadından sonra ön soldurmaya ihtiyaç vardır (Wright ve ark., 2000). Uygun hava koşullarında 1-4 saat arasında tarla koşullarında soldurmanın yapılmasıdır. Yem bitkisinin biçimden sonraki nem oranının % 65 düzeyine kadar düşmesi istenir (İptaş ve ark., 2009).

Düşük nemli silaj yapımı: Bitkiler hasat edildiği dönemdeki nem oranı % 40-60 arasında değişim göstermektedir. Nem oranına bağlı olarak fermantasyon sürecinde mikroorganizmaların gelişimi oldukça kısıtlı olup, bu tür düşük nemli silajlar yapılırken ortamdaki oksijenin uzaklaştırılması büyük önem taşımaktadır (İptaş ve ark., 2009).

Yüksek nemli silaj yapımı: Yem bitkilerinin hasat edildikten sonra nem düzeyi % 70 civarında olan ve herhangi bir soldurma işlemi yapmadan doğrudan siloya doldurulan silajdır. Bu tarz silajlar yüksek nem içerdiği için yeterli düzeyde fermantasyon olmamakta ve yeterli düzeyde kaliteli silaj elde edilememektedir (İptaş ve ark., 2009).

Bitkilerde genotipik özelliklerden dolayı aynı türün çeşitleri arasında da besleme değeri bakımından önemli farklılıklar olabilmekte (Öztürk ve Budak Çarpıcı, 2019) aynı zamanda farklı türlerin karışımı ve farklı oranlarda silaj kalitesine yansıtılabilmektedir (Seydoşoğlu ve ark., 2020; Turan ve Seydoşoğlu, 2020; Yıldırım ve Turan, 2020; Gümüştas ve Turan, 2022; Özyazıcı ve ark., 2022). Örneğin; farklı mısır çeşitleri ile yapılan bazı çalışmalarda da çeşitlere bağlı olarak silajların pH değerleri, kuru madde, ham protein, ADF ve NDF oranları değişim

gösterdiği ve çeşitler arasındaki farklılıkların önemli olduğu tespit edilmiştir (Geren, 2001; Geren ve ark., 2003; Özdüven ve ark., 2009; Kaya ve Polat, 2010; Koç ve Çalışkan, 2016; Başaran ve ark., 2017; Seydoşoğlu ve Saruhan, 2017; Yürekli, 2017; Altinkaya, 2019; Öztürk ve Budak Çarpıcı, 2019).

Tür ve çeşit seçimi, hasat uygulamaları, hasat zamanında bitkilerin olgunluk dönemi, tane işleme, kesim uzunluğu ve kesim yüksekliği gibi faktörler silajların fiziksel ve kimyasal özelliklerini dolayısıyla besin maddelerinin sindirilebilirliğini etkileyen teknik esaslardır (Johnson ve ark., 1999; Allen ve ark., 2003; Buxton ve O'Kiely, 2003; Ferraretto ve Shaver, 2012; Akdeniz ve Özarslan, 2018).

2. SİLAJ YAPIMININ TEKNİK ESASLARI

2.1. Yetiştirme, Hasat Zamanı ve Biçim

Silajlar özellikle besi ve süt sığırları için rasyonlarına ve koyunların beslenmesine uygun yemlerdir. Silaj yeminin elde edilmesinde yetiştirilecek yem bitkisi önemli bir faktördür. Silajlık bitki seçiminde özellikle silajı kolay yapılabilen bitkiler seçilmelidir. Bu bitki seçiminde; seçilecek bitki türünde çeşidin silaja uygun olması, ekim-hasat zamanının uygun olması ve yemin kimyasal kompozisyonu bakımından kolay eriyebilir karbonhidrat içeriği gibi dikkat edilmesi gereken önemli noktalar bulunmaktadır. Küçükersan (2013), silajlık

materyalde kolay eriyebilir karbonhidrat içeriğinin % 3'ten az olmaması gerektiğini bildirmiştir.

Seydoşoğlu ve Saruhan (2017) tarafından Diyarbakır koşullarında ikinci ürün koşullarında bazı silajlık mısır çeşitlerinde farklı ekim zamanının silaj kalitesi üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada, 15 Haziran, 30 Haziran ve 15 Temmuz tarihler arasında en uygun ekim zamanını 15 Temmuz tespit etmişlerdir. Tanrıku ve ark. (2020) Kahramanmaraş ekolojik şartlarında 2016 yılında 3 farklı ekim zamanda (1 Temmuz, 11 Temmuz, 22 Temmuz) ekilen ikinci ürün silajlık mısırdaki verim-kalite özelliklerini saptamak için yürüttükleri çalışmada; silaj pH değeri 3.85-3.91, silaj kuru madde oranı %35.09-36.70, kuru madde alım oranı %2.468-2.530, sindirilebilir kuru madde oranı %64.9-65.4, nispi yem değeri 125.46-128.85, ADF oranı %30.21-30.83, NDF oranının ise %47.77-48.81 arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

İstenilen özellik ve kalitede yem üretiminde; yem bitkisi tür ve çeşidinin etkisinin yanı sıra, biçim devresinin de yem kalitesine etkisinin olduğu bilinmektedir (Özyazıcı ve Açıkbaş, 2019). İyi bir silaj elde etmek için de bitkinin hasat edilme zamanı kritik önem taşımaktadır. Özellikle hasatta geç kalınması, silajın yapılmasını güçleştirmekte ve silaj kalitesini etkilemektedir. Geç hasatta selüloz miktarının artışına bağlı olarak hayvanların sindiriminde zorlukların yaşanmasına sebep olmaktadır. Bitkilerin erken hasat edilmesi durumunda ise kuru madde içeriğine bağlı olarak soldurma işleminin

uzamasına bu gecikmeden dolayı da silaj kalitesinin düşmesine neden olacaktır. Kötü yapılmış veya kontamine olan silaj hayvanların verim ve sağlığını olumsuz şekilde etkileyebilir (Queiroz ve ark., 2018). Silajlık bitkilerde hasat zamanı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Silajlık Olarak Kullanılan Bitkiler En Uygun Hasat Zamanı

Bitki	Dönem/Zaman	Kaynak
Mısır (<i>Zea mays</i> L.)	Hamur olum	Küçükersan, 2013; Öztürk ve Budak Çarpıcı, 2019; Paydaş ve ark., 2019
Sorgum (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench)	Süt olum	Küçükersan, 2013
	Hamur olum	Çakmakçı ve ark., 1999
Yonca (<i>Medicago sativa</i> L.)	Çiçeklenme başlangıcı	Küçükersan, 2013; Önenç ve Yayla, 2021
	Çiçeklenme	Şengül ve Aydın, 2019
Koca fiğ (<i>Vicia narbonensis</i> L.)	Alt baklaların oluştuğu	Mut ve ark., 2020
Tritikale (<i>Xtriticosecale Wittmack</i>)	Hamur olum	İptaş ve ark., 2009
Yem bezelyesi (<i>Pisum sativum</i> ssp. <i>arvense</i> L.)	Çiçeklenme	Seydoşoğlu, 2019
Yulaf (<i>Avena sativa</i> L.)	Süt olum	Başaran ve ark., 2018
İtalyan çimi (<i>Lolium multiflorum</i> L.)	Süt olum	Mut ve ark., 2020
Çemen (<i>Trigonella foenum-graecum</i> L.)	Bakla bağlama	Özyazıcı ve ark., 2022
Arpa (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	Süt olum	Başaran ve ark., 2018; Seydoşoğlu, 2019
Çavdar (<i>Secale cereale</i> L.)	Başaklanma başlangıcı	Özyazıcı ve ark., 2022
Soya fasulyesi [<i>Glycine max</i> (L.) Merrill]	Bakla bağlama	Çiftçi ve ark., 2021
Sorgum x sudanotu melezi (<i>Sorghum bicolor</i> x <i>Sorghum sudanense</i> Mtapf)	Hamur olum	İptaş ve ark., 2009
Mürdümük (<i>Lathyrus sativus</i> L.)	Tam çiçeklenme	Başaran ve ark., 2018

Hayvan besleme uzmanları, bitkilerden elde edilecek silajlarda hasat zamanına bağlı olarak besin değerinin iyi olduğu dönemde, en iyi beslenme formülasyonunda ve sindirime en uygun dönemde olması için çeşitli hasat uygulamalarının birbirleriyle nasıl etkileşimde bulunduğunu ve yeni teknolojilerin geliştirilmesiyle bu sürecin daha iyi anlaşılması gerektiği ve yem hasat zamanlarını karar vermede daha iyi sonuçların alınabileceğini vurgulamıştır (Ferraretto ve ark., 2018).

Kavut ve Geren (2017), İtalyan çiminin, 5 farklı baklagil yembitkisi (*Vicia sativa*, *Vicia villosa*, *Lathyrus sativus*, *Pisum arvense* ve *Trifolium resupinatum*) ile oluşturduğu karışımların, farklı biçim zamanlarındaki [I. Erken ilkbahar (Mart ayının son haftası), II. İlkbahar ortası (Nisan ayının ikinci haftası) ve III. Geç ilkbahar (Nisan ayının son haftası)] bazı silajlık verim ve kalite özellikleri incelenmişlerdir. İki yıllık ortalama sonuçlara göre, hasat tarihlerin geciktirilmesiyle bitki boyu, kuru madde verimi, ADF ve NDF artış göstermiş, karışımdaki buğdaygil oranı ile ham protein oranı değerleri düştüğünü, karışımlar içerisindeki baklagil oranı arttıkça, kuru madde verimi ile ham protein oranı artış gösterdiğini ve karışım türleri içinde ise İtalyan çiminin yaygın ve tüylü fiğ türleri ile oluşturduğu karışımlar, Akdeniz koşulları için en yüksek verim ve kalite özelliğine sahip olduğunu rapor etmişlerdir.

Silaj materyalinde en önemli basamaklardan birisi de soldurma işlemidir. Soldurma işleminin en kısa sürede ve yeterli düzeyde yapılması gerekir. Yeterli soldurma işlemi yapılmadığı durumda silaj

materyalinde fazla nem ihtiva ettiğinden silaj kalitesini olumsuz etkiler ve bozulmalar görülebilir. Yem bitkileri kurutulduğunda özellikle baklagillerde büyük kayıplar olmaktadır (Önal ve Acar, 2018). Yapılan çalışmalarda; kurutulan ve depolanan kaba yemlere kıyasla silolanan baklagillerde kuru madde (KM) kaybının % 30'dan % 5'e kadar, sindirilebilir protein kaybının % 35'ten % 5'e kadar ve nişasta kaybının ise % 50'den % 10'a kadar düştüğü bildirilmiştir (Bakır, 1987; Akdağ ve Garipoğlu, 2018).

Mısır bitkisinin iki farklı olgunluk dönemleri (1/4 ve 1/2 süt çizgisi) hasat edilen silajın kalitesi incelendiği çalışmada; Flieg Puanı 115.74-117.62, kuru madde oranı 31.94-33.98, pH 3.83-3.88, ham protein 7.68-7.69, NDF 37.89-43.76, ADF 24.09-27.04, Lignin % 3.36-3.39 arasında değişim gösterdiğini bildirilmiştir (Akdeniz ve Özarlan, 2018).

2.2. Parçalama

Uygun hasat zamanı gelen silajlık bitkilerin biçilerek parçalanması gerekmektedir. Silaj hasat makinaları yapılan bu işlemde, bitki materyalin kesilmesi bir takım içsel ve dışsal faktörlere bağlıdır. Weirich Neto ve ark., (2013), içsel faktörlerin hasat makinasının parçalama uzunluğu, kesme hızı, kesme yeteneği ve yapısal boyutları ayarları içerdiğini, dışsal faktörlerin ise kesilecek ürünün miktarı, bitki türü ve olgunluk durumu gibi işletme koşulları ilgilendirdiği belirtmiştir. Bitkinin çeşidi, biçimi yapılan bitkilerin parça boyutu ve mekaniksel işleme gibi faktörler silajların kalitesini doğrudan

etkilemektedir (Mertens, 1997; Kung ve ark., 2008; Ferraretto ve Shaver, 2012).

Silajların parça büyüklüğü, hayvanın yem tüketimi için son derece önemli olduğu rapor edilmiştir (Neumann ve ark., 2007; Cone ve ark., 2008; Bal ve Bal, 2010; Hara ve Tanigawa, 2010) ve kuru madde içeriği ne kadar yüksekse, parça boyutu da o kadar küçük olmalıdır. Mısır bitkisi için bütün bitki silajı için parçaların, kuru madde içeriği % 28'in altındaysa 12 ila 16 mm arasında, kuru madde % 30 ila % 37 arasındaysa 8 ila 12 mm arasında ve kuru madde % 37'nin üzerindeyse 5 ila 8 mm arasında olması gerekmektedir (Ferreira, 2001). Başka literatürlerde ise silajların parça büyüklüğünü 0.6-2.5 cm, soldurulmuş silajlarda ise 0.6-1.2 cm kadar (Açıköz, 2021), mısır silajında ise 1.5-2.5 cm arasında parçaların büyüklüğünün olması gerektiğini bildirilmiştir (Canbolat ve ark., 2016).

Silaj makinası tarafından elde edilen parça boyutunu kesici bıçakların dönme hızını artırarak parça büyüklüğü azaltılabilir ve ayrıca hasat makinasının bıçakların keskinliği ve kesici bıçakların arasındaki açılmalık boşluk ve insan müdahalesine faktörler parça boyutunu etkileyebilir (Srivastava ve ark., 2006). Mısır silajının doğranması sırasında silajın kıran silindirler (makaralar) aracılığıyla işlenmesi genellikle nişasta sindirilebilirliğini artırabilmekte (Rojas-Bourrillon ve ark., 1987; Bal ve ark., 2000; Weiss and Wyatt, 2000; Andrae ve ark., 2001; Schwab et al., 2002), silindirler arasında 8 mm boşluk bulunan mısır silajının, 2

mm boşluk bulunan mısır silajına göre nişasta sindirilebilirliğinin %12 daha düşük olduğunu belirtilmiştir (Cooke ve Bernard, 2005).

2.3. Siloya Doldurma

Silolama bakımından, yem bitkisi cins ve türlerine göre birtakım farklılıklar göstermekte (Gürsoy ve ark., 2021), protein bakımından zengin olan baklagillerle yapılan silolanma işleminde güçlüklerle karşı karşıya kalınmakta fakat buğdaygiller ise karbonhidrat bakımından zengin, buna karşılık protein içerikleri düşük olduğundan daha kolay silolanabilen türlerdir (Demirel ve ark., 2010). Silaj yapımının en önemli ve kritik aşamalarından biri ürünün hasadıdır. Çünkü kaliteli bir silaj eldesi için hasadın hızlı bir şekilde gerçekleşip, silonun en kısa bir sürede doldurulması gerekir (Evrenosoğlu, 2006).

Parçalanmış bitki materyalleri vakit kaybetmeden siloya doldurulur ve genelde traktör yardımıyla sıkıştırılır (Açıkgöz, 2021). Sıkıştırmak, yüksek bir silo yemine yoğunluğuna ulaşmada, besin madde kaybını azaltmada ve silo yemi kalitesini artırmada büyük önem taşır. Kuru madde oranı % 35 ve üzeri olan yemlerin sıkıştırılma işlemi iyi yapılması gerekir ki düzgün yapılamadığında; silo içerisinde ihtiva eden oksijen, laktik asit bakterilerinin çoğalamamasına ve istenilen pH'ya ulaşamamasına neden olur. Silo; doldurulma hızı, silolanacak yem miktarı, ekipman sayısı, silo genişliği ve iklim şartları gibi faktörler tarafından etkilenir (İptaş ve ark., 2009). Siloların doldurma hızı yapılacak silajın kalitesi ve bozulmanın engellenmesi üzerine

etkileri mevcuttur. Sıkıştırılan bitki materyali PE veya PVC plastiklerle örtülür. Örtü malzemeleri çift katta örtülebilir ve bu sayede silajın zarar görme olasılığı azaltılmış olur (Açıkgöz, 2021).

3. SONUÇ

Silaj yapımının teknik esasları; silajlık uygun çeşidin seçilmesi iyi başlayan süreç, bitkinin yetiştirilmesinden, bitkinin en uygun devresinde hasat edilmesinden, silajların uygun büyüklükte parçalanıp siloya doldurmaya kadar geçen süreyi içeren önemli kısımlardır. İyi bir silaj elde edilmesinde ve istenilen fermantasyonun sağlanabilmesi için silaj yapım tekniklerinin usulüne uygun yapılması şarttır. Silaj yapımı sırasında, silaj yapım tekniklerinden oluşacak aksamalar silajın kalitesinin olumsuz etkilenmesine ve silajın bozulmasına neden olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Açıköz, E. 2021. Yem Bitkileri. Yenilenmiş ve genişletilmiş IV. Baskı, II. Cilt, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Eğitimi ve Yayın Dairesi Başkanlığı Matbaası, Ankara. 888s.
- Akdağ, A., Garipoğlu, A.V. 2018. Yem bitkilerinin muhafazasında alternatif bir yaklaşım: mikrobiyal koruyucular. Black Sea Journal of Agriculture, 1(1): 23-26.
- Akdeniz, B., Özarslan, C. 2018. İki farklı olgunlaşma döneminde farklı parçalama boyutu ve sıkıştırma basıncının mısır silajının kalitesi üzerine etkileri. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 33(1): 30-36.
- Allen, M.S., Coors, J.G., Roth, G.W. 2003. Corn silage. In Silage Science and Technology. D. R. Buxton, R. E. Muck, and H. J. Harrison, ed. ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI. p. 547-608.
- Altınkaya, T. 2019. Kocaeli Kandıra Ekolojik Koşullarında Ana Ürün Olarak Yetiştirilebilecek Silajlık Mısır (*Zea mays* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Özelliklerinin Belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tokat.
- Andrae, J.G., Hunt, C.W., Pritchard, G.T., Kennington, L.R., Harrison, J.H., Kezar, W., Mahanna, W. 2001. Effect of hybrid, maturity, and mechanical processing of corn silage on intake and digestibility by beef cattle. Journal of Animal Science, 79: 2268-2275.
- Bakır, Ö. 1987. Çayır Mera Yönetimi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 992, Ankara.
- Bal, M.A., Bal, E.B.B. 2010. Interaction between particle sizes of alfalfa hay and corn grain on milk yield, milk composition, chewing activity, and ruminal pH of dairy cows. Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences, 34(1): 83-89.
- Bal, M.A., Shaver R.D., Shinnors K.J., Coors, J.G. Lauer, J.G Straub R.J., Koegel. R.G. 2000. Stage of maturity, processing and hybrid effects on ruminal in situ disappearance of whole plant corn silage. Animal Feed Science and Technology, 86: 83-94.

- Başaran, U., Gülümser, E., Çopur Doğrusöz, M., Mut, H., Şahin, A. 2017. Farklı silajlık mısır çeşitlerinin hamur olum döneminde silaj ve tane özelliklerinin belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 21(Özel Sayı): 1-5.
- Başaran, U., Gulumser, E., Mut, H., Doğrusöz, M.Ç. 2018. Mürdümük+tahıl karışımlarının silaj verimi ve kalitesinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6(9): 1237-1242.
- Basmacıoğlu, H., Ergül, M. 2002. Silaj mikrobiyolojisi. *Hayvansal Üretim*, 43(1): 12-24.
- Buxton, D.R., O'Kiely, P. 2003. Preharvest plant factors affecting ensiling. In *Silage Science and Technology*. D. R. Buxton, R. E. Muck, and H. J. Harrison, ed. ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI. p. 199-250.
- Çakmakçı, S., Gündüz, İ., Aydınöğlü, B., Çeçen, S., Tüsüz, M.A. 1999. Sorgum (*Sorghum bicolor* L.)'un silajlık kullanımında farklı biçim devrelerinin verim ve kalite üzerine etkileri. *Tübitak-Tr J of Agriculture and Forestry*, 23(3): 603-613.
- Canbolat, Ö., Karasu, A., Bayram, G., Filya, İ., Kamalak, A. 2016. Farklı ekim yoğunluğunun koçasız şeker mısırı silajlarının besleme değeri, silaj kalite özellikleri ve besin madde verimi üzerine etkisi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(1): 101-112.
- Çiftçi, B., Akçura, S., Doran, T., Okumuş, O., Turan, A., Kaplan, M., Kamalak, A. 2021. Vetiver ve soya karışım silajının fermantasyon kalitesi, besleme özellikler ile gaz ve metan üretiminin değerlendirilmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(2): 295-300.
- Cone, J.W., Van Gelder, A.H., Van Schooten, H.A., Groten, J.A.M. 2008. Effects of chop length and ensiling period of forage maize on *in vitro* rumen fermentation characteristics. *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences*, 55(2): 155-166.
- Cooke, K. M., Bernard. J.K. 2005. Effect of length of cut and kernel processing on use of corn silage by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88: 310-316.

- Demirel, R., Saruhan, V., Baran, M.S., Andiç, N., Şentürk, D. 2010. Farklı oranlarda ak üçgül (*Trifolium repens*) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) karışımlarının silolanma özelliklerinin belirlenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 20(1): 26-31.
- Evrenosoğlu, M., Yalçın, H. 2006. Silajlık mısır hasat mekanizasyonu sistemlerinin işletmecilik yönünden irdelenmesi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 2(1): 65-70.
- Ferraretto, L.F., Shaver, R.D. 2012. Meta-analysis: Impact of corn silage harvest practices on intake, digestion and milk production by dairy cows. The Professional Animal Scientist, 28: 141-149.
- Ferraretto, L.F., Shaver, R.D., Luck, B.D. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. Journal of Dairy Science, 101(5): 3937-3951.
- Ferreira, J.J. 2001. Efeito do processamento da planta de milho na qualidade da silagem. In: Cruz, J.C., Produção e utilização de silagem de milho e sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 18: 445-472.
- Geren, H. 2001. Bornova koşullarında ikinci ürün olarak yetiştirilen farklı mısır çeşitlerinde ekim zamanlarının silaj özelliklerine etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 38(2-3): 47-54.
- Geren, H., Avcıoğlu, R., Kır, B., Demiroğlu Topçu, G., Yılmaz, M., Cevheri, A. 2003. İkinci ürün silajlık olarak yetiştirilen bazı mısır çeşitlerinde farklı ekim zamanlarının verim ve kalite özelliklerine etkisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40: 57-64.
- Gümüştaş, M., Turan, N. 2022. Investigation of the effect of some cereals mixing with different proportions of feed pea (*Pisum sativum* L.) on silage quality. ISPEC Journal of Agricultural Sciences, 6(1): 118-130.
- Gürsoy, E., Kara, E., Sürmen, M. 2021. Farklı biçim devresinin ve arpa kırması uygulamalarının tek yıllık yem bitkileri karışımının silaj özelliklerine etkileri. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 8(3): 273-281.

- Hara, S., Tanigawa, T. 2010. Effects of length of cut and mechanical processing on utilization of corn silage harvested at the black line stage of maturity by lactating dairy cows. *Animal Science Journal*, 81: 187-193.
- İptaş, S., Geren, H., Yavuz, M. 2009. Silaj yapım tekniği. *Yem Bitkileri. Genel Bölüm.* (Avcıoğlu, R., Hatipoğlu, R., Karadağ, Y. Ed.) Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü, 1: 142-162.
- Johnson, L., Harrison, J.H., Hunt, C., Shinnors, K., Doggett, C.G., Sapienza, D. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A contemporary review. *Journal of Dairy Science*, 82: 2813-2825.
- Kavut, Y.T., Geren, H. 2017. Farklı hasat zamanlarının ve karışım oranlarının italyan çimi (*Lolium multiflorum* L.) + baklagil yembitkisi karışımlarının verim ve bazı silaj kalite özelliklerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(2): 115-124.
- Kaya, Ö., Polat, C. 2010. Tekirdağ ili koşullarında I. ve II. ürün olarak yetiştirilen bazı mısır çeşitlerinin silaj fermantasyon özellikleri ve yem değerinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7(3): 129-136.
- Koç, A., Çalışkan, M. 2016. Azotun silaj verimine ve silaj kalitesine etkisi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(Özel Sayı-2): 265-271.
- Küçükersan, M.K. 2013. Silaj yemleri. Ed. Ergün, A., Tuncer, Ş. T., Çolpan, İ., Yalçın, S., Yıldız, G., Küçükersan, M. K., Küçükersan, S., Şehu, A., Saçaklı, P., *Yemler yem hijyeni ve teknolojisi. Genişletilmiş 5. Baskı.* Ankara Kardelen Ofset Matbaacılık, 1-448.
- Kung, L., Moulder, B.M., Mulrooney, C.M., Teller, R.S., Schmidt, R.J. 2008. The effect of silage cutting height on the nutritive value of a normal corn silage hybrid compared with brown midrib corn silage fed to lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 91: 1451-1457.
- Mertens, D.R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 80: 1463-1481.
- Mut, H., Gülümser, E., Çopur Doğrusöz, M., Başaran, U. 2020. Koca fiğ ile italyan çimi karışımlarının silaj kalitesinin belirlenmesi. *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(2): 391-396.

- Neumann, M., Mühlbach, P.R.F., Nörnberg, J.L., Restle, J., Ost, P.R., Lustosa, S.B.C. 2007. Efeito do tamanho de partícula e da altura de corte de plantas de milho na dinâmica do processo fermentativo da silagem e no período de desensilagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(5): 1603-1613.
- Önal Aşçı, Ö., Acar, Z. 2018. Kaba Yemlerde Kalite. Ziraat Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Önenç, S.S., Yayla, D. 2021. Yonca silajlarında atık reçel karışımı ilavesinin silaj fermantasyonu ve in vitro sindirilebilirlik üzerine etkileri. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(2): 301-307.
- Özdüven L., Koç, F., Polat, C., Coşkuntuna, L., Başkavak, S., Şamlı, H.E. 2009. Bazı mısır çeşitlerinde vejetasyon döneminin silolamada fermantasyon özellikleri ve yem değeri üzerine etkileri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(2): 121-129.
- Öztürk, Y., Çarpıcı Budaklı, E. 2019. Bazı silajlık mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin silaj kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 33(2): 227-233.
- Özyazıcı, M. A., Seydoşoğlu, S., Açıkbaş, S. 2022. Determination of silage quality of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) with oat (*Avena sativa* L.) and rye (*Secale cereale* L.) mixtures. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 11(3): 102-109.
- Özyazıcı, M.A., Açıkbaş, S. 2019. Kaba yemlerin fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriği ve hayvan beslemedeki önemleri. *ISPEC-International Conference on Agriculture, Animal Science and Rural Development-III*, December 20-22, Van, Turkey, pp. 553-568.
- Paydaş, E., Savrunlu, Z., Savrunlu, M., Denek, N. 2019. Mısır silajına farklı oranlarda Antep fıstığı (*Pistacia vera* L.) dış kabuğu ilavesinin silaj kalitesi ve in vitro metan gazı oluşumu üzerine etkisinin araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 16(1): 16-22.

- Queiroz, O.C.M., Ogunade, I.M., Weinberg, Z., Adesogan, A.T. 2018. Silage review: Foodborne pathogens in silage and their mitigation by silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4132-4142.
- Rojas-Bourrillon, A., Russel, J.R., Trenkle, A., McGilliard, A.D. 1987. Effects of rolling on the composition and utilization by growing steers of whole plant corn silage. *Journal of Animal Science*, 64: 303-311.
- Schwab, E.C., Shaver, R.D., Shinnors, K.J., Lauer, J.G., Coors, J.G. 2002. Processing and chop length effects in brown-midrib corn silage on intake, digestion and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 85: 613-623.
- Şengül, A.Y., Aydın, R. 2019. Use of farmatan as an additive to make alfalfa silage. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(3): 579-587.
- Seydoşoğlu, S. 2019. Farklı oranlarda karıştırılan yem bezelyesi (*Pisum sativum* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) hâsıllarının silaj ve yem kalitesine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 56(3): 297-302.
- Seydoşoğlu, S., Saruhan, V. 2017. Mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) ekim zamanı ve çeşidin silaj kalitesi üzerine etkisi. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(3): 361-366.
- Seydoşoğlu, S., Turan, N., Oluk, A. 2020. Bazı baklagil yem bitkileri ile arpa karışım oranları belirlenerek yem verimi ve kalitesine etkisinin araştırılması. *Akademik Ziraat Dergisi*, 9(2): 289-296.
- Srivastava, A.K., Goering, C.E., Rohrbach, R.P., Buckmaster, D.R. 2006. Hay and forage harvesting. In *Engineering Principles of Agricultural Machines*, Second Edition (p. 325). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Tanrıkulu, A., Dokuyucu, T., Sürme, M. 2020. Mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinde farklı ekim zamanlarının silaj verimi, verim unsurları ve kalite özelliklerine etkisinin belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1): 43-52.
- Turan, N., Seydoşoğlu, S. 2020. Farklı oranlarda karıştırılan yonca, korunga ve İtalyan çimi hasıllarının silaj ve yem kalitesine etkisinin araştırılması. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 7(3): 526-532.

- Weirich Neto, P.H., Garbuio, P.W., Souza, N.M.D., Delalibera, H.C., Leitão, K. 2013. Fragment size of corn silage according to the dry matter and forage harvester adjustments. *Engenharia Agrícola*, 33: 764-771.
- Weiss, W.P., Wyatt, D.J. 2000. Effect of oil content and kernel processing of corn silage on digestibility and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83: 351-358.
- Wright, D.A., Gordon, F.J., Steen, R.W.J., Patterson, D.C. 2000. Factors influencing the response in intake of silage and animal performance after wilting of grass before ensiling: a review. *Grass and Forage Sciences*, 55: 1-13.
- Yıldırım, F., Turan, N. 2020. Determination of yield and yield components and some silage properties of some annual legume forage crops. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4(3): 477-491.
- Yürekli, S. 2017. Tokat Kazova Ekolojik Koşullarında Yetiştirilebilecek Silajlık Mısır (*Zea mays* L.) Çeşitlerinin Verim ve Verim Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, 73.

BÖLÜM 5

SİLAJ MİKROBİYOLOJİSİ VE FERMENTASYONU İLE FERMENTASYONA ETKİ EDEN ETMENLER

Prof. Dr. Mustafa KIZILŞİMŞEK¹

Dr. Öğr. Üyesi Fatma AKBAY²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449203>

¹ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Kahramanmaraş. E-mail: mkizil@ksu.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-0295-0603>

² Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Malatya. E-mail: fatma.akbay@ozal.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-0156-9974>

1. SİLAJ TANIMI VE TARİHÇESİ

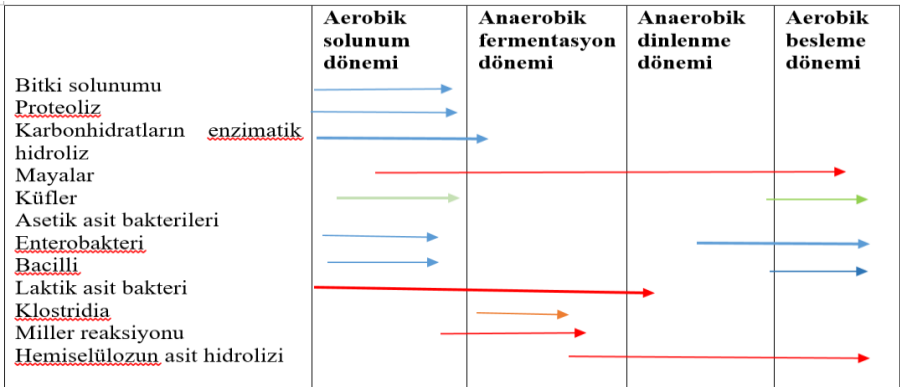
Silaj kelimesi tahıl depolamak için toprağa açılan çukur veya delik anlamına gelen Yunanca “siros” kelimesinden türemiştir. Woolford (1984) silajı, “yüksek nem içeriğine sahip, aerobik mikroorganizmalar tarafından bozulmaya yatkın olan ot veya diğer materyallerin anaerobik olarak depolanmasıyla oluşan ürün” olarak tanımlamıştır. Silaj yapımı ve kullanımı çok eski çağlara dayanmaktadır. M.Ö. 1500-1000 yılları arasında eski Mısırlı toplumların yeşil yemleri silaj yaparak muhafaza ettikleri bilinmektedir. Fransız bir çiftçi olan Goffart 1877 yılında mısır bitkisini başarı ile siloladığını açıklayan kitabı yayımlandıktan sonra İngilizceye çevrilmiş, kitabın yayılmasıyla birlikte Amerika Birleşik Devletleri’nde 100.000’e yakın silaj yapıldığı rapor edilmiştir (Kutlu ve ark., 2005). Türkiye’de 1931 yılında Ankara ili Atatürk Orman Çiftliğinde ilk kez silaj yapıldığı bilinmektedir. Sonraki yıllarda “Hayvancılığı Geliştirme Projelerinin” uygulanması çerçevesinde silaj yapım makine ve ekipmanlarının da gelişmesi sayesinde çiftçiler arasında yayılımı sağlanmıştır. Türkiye’de başlangıçta silaj yapım tekniklerinin tam olarak bilinmemesi, bazı bitkilerin zor silolanması ve silolamada yaşanan başarısızlık nedeniyle silaj yapımı istenilen seviyelerde ulaşmamıştır, ancak son 10-15 yılda silaj yapım miktarı ve silolama tekniklerinde çok büyük gelişmeler kaydedilmiştir.

Silolama, özellikle zorlu koşullar nedeniyle yemlerin mevsimsel veya bölgesel olarak dengesiz olduğu bölgelerde taze yemlerin kalitelerinden fazla kayba uğramadan korunması bakımından oldukça önemlidir.

Örneğin; Karadeniz Bölgesi gibi yörelerde sürekli yağışlar nedeniyle otların kurutulması zorlaşmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesinde ise yoncanın ilk biçimi Nisan-Mayıs ayına rastlamaktadır. Bu aylarda bol yağış nedeniyle kurutma zorlaşmakta ve besin kaybı oluşmaktadır (Kızılışımşek ve ark., 2020). Dolayısıyla böyle yörelerde silaj uygun bir depolama yöntemidir. Bununla birlikte, hayvanların suca zengin yem gereksinimlerini doğadan taze olarak karşılamak, her bölgenin kendine özgü vejetasyon koşulları nedeniyle, yılın ancak belli günlerinde mümkündür. Orta Avrupa ülkeleri için bu süre 160-180 gün iken, Akdeniz ikliminin hakim olduğu yerlerde ise 200 gün olarak değişmektedir. Silaj yapımı ile hayvanların yıl boyu suca zengin yem ihtiyaçları karşılanmış olur.

2. SİLAJ EVRELERİ

Silaj yapımı kabaca dört evreden oluşmaktadır. Evreler arasında net bir bölünme olmasa da her bir evrenin uzunluğu şartlara göre değişmekte ve silo yeminin biyokimyasal yapısında farklılıklar bulunmaktadır.



Resim 1: Silaj Evreleri ve Mikrobiyal Süreç (Muck, 1993)

Genel olarak süreç ve süreçte yer alan mikroorganizmalar Resim 1’de gösterilmiştir. Evreler arasındaki görülen farklılıklar aşağıda detaylandırılmıştır.

2.1. Aerobik Solunum Dönemi

Hasat ile başlayan bu evre genellikle 24-48 saat sürmektedir. Solunum ve proteolizin en yoğun şekilde mevcut olduğu evredir. Bu evre bitki materyalinde hücresel bazda devam eden solunum ve enzimatik süreçlerle ilişkilendirilir. Sağlıklı hücrelerde solunum devam ettikçe siloda bulunan atmosferik O₂ miktarı yavaş yavaş tükenir ve yemdeki mikrobiyal kompozisyonda, aerobik mikroorganizmalardan anaerobik mikroorganizmalara doğru bir geçiş gerçekleşir. Bu evrenin sonlanması esas olarak siloda bulunan O₂ miktarına bağlı olarak değişmektedir. Devam eden fermentasyon sürecinde istenmeyen aerobik bakterilerin aktivitesini baskılamak için bu aşama mümkün olduğu kadar kısa olmalı, bu nedenle de silo materyali hasattan sonra hızlıca siloya konulmalı ve yeteri kadar sıkıştırılmalıdır. Bu aşamada taze materyalin 6.0-6.8 arasında değişen pH seviyesi 5.8-6.1 aralığına doğru düşmeye başlamaktadır (Oude Elferink ve ark., 2000).

2.2. Anaerobik Fermentasyon Dönemi

Silaj içerisindeki atmosferik O₂ tamamen bittikten sonra, teorik olarak anaerobik fermentasyon dönemi başlamaktadır. Bu dönemin süresi silolanacak materyalin suda çözünen karbonhidrat (SÇK) içeriği, olgunlaşma dönemi, kuru madde içeriğine (KM) ve silolama şartlarına

(doğrama boyutu, silo yeri, silolama hızı, silolama yoğunluğu, katkı maddesi, ortam sıcaklığı vb.) bağlı olarak değişmektedir. Genellikle birkaç gün ile birkaç ay arasında değişim göstermektedir. Bu evrenin ana fermentasyon ürünü laktik asittir. Laktik asit üretimi, fermentasyonun erken aşamalarında laktik asit bakterilerinin (LAB) mevcut SÇK (özellikle glukoz, fruktoz ve sukroz) için enterobakteriler, maya, basil ve klostridia gibi çeşitli diğer fakültatif ve zorunlu anaerobik mikroorganizmalara üstünlük sağlamasına yardımcı olur. Laktik asit etkisinin prensibi, temelde mikroorganizmaların asitliğe karşı farklı direnç seviyelerine dayanmaktadır. Genel olarak LAB florası asitliğe karşı, diğer mikroorganizmalara kıyasla daha yüksek toleransa sahiptir ve bu nedenle düşük pH'a dayanabilirler. Silolama süreci ilerledikçe LAB popülasyonu sayısal olarak logaritmik şekilde artarak yüksek miktarlarda laktik asit üretirler ve bu durum LAB'nin sayısal olarak diğer mikrofloraya hakim olmasına neden olur. Bu evrede silaj pH'ı 3.8-5.0'e kadar düşer (Oude Elferink ve ark., 2000). Fermentasyon sırasında, organik asitlerin yanı sıra fermentasyon işlemi sırasında alkol, gazlar ve atık sular da üretilir.

2.3. Anaerobik Dinlenme Dönemi

Silaj içerisine O₂ erişimi olmadığında ve yüksek oranda laktik asit üreterek yeterince düşük bir pH'a ulaşıldığında fermentasyon oldukça yavaşlar. Anaerobik dinlenme fermentasyon sona erdikten sonra başlayan ve silajın hayvanlara yedirilmesi amacıyla açılmasına kadar geçen süre olarak ifade edilmektedir (Bolsen ve ark., 1996). Bu dönem

birkaç hafta ile bir yıl arasında değişebilir. Dinlenme süresi boyunca silajın organik asit kompozisyonunda çok küçük değişiklikler olabilir ve genellikle bu değişimler ihmal edilebilecek düzeydedir. Anaerobik fermentasyon döneminde görülen mikroflora sayıları yavaş yavaş azalır. Aside toleranslı enzimlerin aktiviteleri sonucu polisakkaritlerin asit hidrolizi ve proteolisis devam edebilir. Evre 2 ve Evre 3 boyunca yemdeki protein fraksiyonları, bitki ve mikrobiyal orjinli enzimlerle peptitlere, amino asitlere, aminlere ve amonyağa kadar indirgenebilirler. Yem değerini düşüren bu protein indirgenmesi olayı “proteolisis” olarak bilinir ve bu olaya genellikle protein oranı yüksek materyallerin silolanmasında daha sık rastlanır. Bu dönemde LAB'nin sayısal olarak azalır, bazı aside dayanıklı mikroorganizmalar inaktif döneme geçerler, clostridia ve bacilli türleri gibi bazıları da spor oluştururlar. Sadece *Lactobacillus buchneri* gibi aside dayanıklı mikroorganizmalar düşük seviyelerde aktivite gösterir. Bu koşullar altında, silolanmış ürün uzunca bir süre depolanabilir.

2.4. Aerobik Besleme Dönemi

Silajın hayvanların beslenmesinde kullanılmak üzere açıldığı ve O₂ ile temasın başladığı dönem olarak ifade edilmektedir. O₂ ile temas eden silajın yüzeyinde mayalar, küfler ve asetik asit bakterileri gibi istenmeyen mikroorganizmaların sayısı artmaya başlar. Bu mikroorganizmalar özellikle silajda mevcut olan laktik asiti besin olarak kullanırlar, ısı üretirler, silaj içerisindeki asitleri okside ederler ve silaj içinde pH yükselmeye başlar. Silaj materyalinin O₂ ile

temasından sonra, bozulmasına ve yem özelliğini kaybetmesine kadar bir süre geçmesi gerekmektedir. Silo yeminin O₂ ile temasından sonra bozulmadan stabil kaldığı süre “Aerobik Stabilite” olarak adlandırılır. Silo yeminin bu şekilde aerobik olarak bozulmasına ise “aerobik bozulma (aerobik deterioration)” adı verilmektedir. Aslında birbirinden farklı olan bu iki kavram, zaman zaman karıştırılmaktadır. Aerobik stabilite süresi çok sayıda faktör tarafından etkilenmekle birlikte, silaj içerisindeki organik asit kompozisyonu en önemli etkenlerden biridir. Örneğin, mısır gibi bitkilerden yapılan silajlar oksijenli şartlarda 8-20 saat stabil kalabilirken, yonca silajında bu süre 72 saate kadar çıkabilmektedir. Silaj içerisinde mevcut olan laktik asit, her ne kadar anaerobik korunmada etkili bir rol üstlense de aerobik koşullarda özellikle mayaların ve diğer mikroorganizmaların ana besin kaynağını oluşturduğundan, aerobik stabilite süresini önemli ölçüde kısaltmaktadır. Buna karşılık, fermentasyon süresince üretilmiş olan bir miktar asetik asit ve çok kısıtlı miktardaki propiyonik asit ise, maya ve küf gelişimini kısıtladığından, aerobik stabilite süresini artırmaktadır. Aerobik bozulma sonucunda yem tamamen bozularak yem olma özelliğini yitirmese bile, silaj kalitesinde yüksek miktarlarda kayıplara ve ilave olarak da yüksek kuru madde kayıplarına neden olmaktadır. Aslında silaj örtüsündeki yıpranmalar veya kullanılan plastik örtünün oksijen bariyer özelliğinin bulunmaması, diğer bir ifade ile hava geçirmeyen türden (air tight) olmaması gibi nedenlerle, bu evre silo açılmadan da başlayabilir.

Silaj fermentasyonunun bu evrelerine göre, uygulamada yapılan birçok hatanın giderilmesi ve tekniğine uygun bir silolama yapılması durumunda, olası kalite ve kuru madde kayıpları büyük ölçüde önlenebilecektir. Silaj üreticilerinin çeşitli aşamalarda yaptıkları yaygın hatalar ve bu konuda alınacak basit önlemler olduğu ve bu sayede daha kaliteli bir silaj elde edilebileceği gibi, kuru madde korunumunun da arttırılabileceği bir gerçektir. Bu nedenle, pratikteki silaj yapımındaki yaygın başarısızlık nedenleri ve bu konulardaki olası çözümler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Silajlarda Başarısızlık Nedenleri ve Çözümler

Silaj Evreleri	Başarısızlık Nedeni	Çözüm
Aerobik solunum	Tarlada ve silaj içerisinde O ₂ ile uzun süreli temas ve SÇK kullanımı	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Uygun hasat zamanı ➤ Hasat tekniği ➤ Hızlı ve doğru doldurma ➤ Hızlı ve doğru kapama
Anaerobik fermentasyon	Yetersiz LA fermentasyonu Yetersiz veya yavaş pH düşüşü İstenmeyen organik asit fermentasyonu	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Uygun KM'li silaj yapımı ➤ Uygun silaj katkı maddeleri ➤ Mikrobiyal inokulant kullanımı
Anaerobik dinlenme	Anaerobik bozulma	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Silaj içerisinde clostridia ve enterobakteri gelişiminin engellenmesi için yüksek KM içerikli silaj yapımı
Aerobik besleme	Hızlı aerobik bozulma	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Silajın doldurma aşamasında katkı maddelerin kullanımı ➤ Bir miktar asetik asit ve propiyonik oluşumunun sağlanması (Örneğin inokulantlar kullanımı ile) ➤ Besleme öncesinde ortaya çıkan açıklıklar hemen kapatılmalıdır ➤ Besleme için açılan silo yüzeyinde O₂ girişi minimize edilmelidir ➤ Yeterli sıklıkta besleme yapılmalıdır

3. SİLAJ BİTKİLERİ ÜZERİNDEKİ EPİFİTİK MİKROFLORA

Silolanacak bitki steril edilmemektedir. Dolayısıyla fermentasyonu başlata mikroflora, yem bitkisinin doğal mikroflorasından, eklenebilecek katkı maddelerden ve/veya aşılama kaynaklarından kaynaklanmaktadır. Yeni hasadı yapılmış veya henüz hasat edilmemiş bir yem bitkisi üzerindeki mikroflora ile silaj fermentasyonu aşamalarındaki yemde veya olgunlaşmış bir silaj üzerinde bulunan mikroflora birbirinden tamamen farklıdır. Bu farklılık hem mikrofloranın sayısal değeri bakımından, hem de bitkilerin hava ile temas eden dokularındaki taksonomik mikroorganizma kompozisyonu bakımından geçerlidir. Fermentasyon sırasında mikrofloranın türü ve yoğunluğu yem bitkisinin özelliklerine ve kullanılan silolama tekniklerine göre değişebilmektedir. Bununla birlikte, çevre koşulları değiştikçe bir dizi cins ve türle birlikte mikroflora da değişmektedir (Avilla ve Carborta, 2020). Mikroorganizmaların önemli bir yoğunluğu, bitkinin toprak seviyesine yakın yaprak ve sap dokularında bulunmaktadır (Blakeman, 1981). Taze otlar üzerindeki toplam mikrofloranın 10^5 ve 10^9 koloni oluşturan ünite “kob” (coloni forming unite “cfu”) gibi çok geniş bir aralıkta bulunduğu belirlenmiştir. Tablo 2’de silaj yapımı öncesi bitkilerin doğal epifitik florasında bulunan bakteriyel ve fungal gruplara yer verilmiştir. Aynı tablodan bitki üzerinde bulunan mikroorganizmaların yoğunluğunun değişiklik gösterdiği de anlaşılmaktadır.

Tablo 2: Silolanacak bitki üzerindeki mikroflora yoğunluğu

	Popülasyon (cfu/g bitki)
Toplam Aerobik Bakteri	>10.000.000
Laktik Asit Bakteri	10-1.000.000
Enterobakteri	1000-1.000.000
Maya	1000-100.000
Küf	1000-10.000
Klostridya	100-1.000
Basilli	100-1.000
Asetik Asit Bakteri	100-1.000
Propionik Asit Bakteri	10-1.000

Kaynak: Pahlow ve ark. (2003)

Genel olarak silaj mikroflorası istenilen mikroorganizmalar ve istenmeyen mikroorganizmalar olarak ikiye ayrılmaktadır. Silajlarda istenilen mikroorganizmalar grubunda laktik asit bakterileri yer alırken, istenilmeyen mikroorganizma grubunda enterobakteri, maya, küf, klostridia, listeria ve basilli gibi mikroorganizmalar yer almaktadır. İstenilmeyen mikroorganizma grubu silajlarda aerobik bozulmaya sebep olmaktadır. Bu mikroorganizma grubu sadece silaj kalitesini bozmakla kalmayıp aynı zamanda hayvan sağlığını da olumsuz etkilemektedir.

3.1. Laktik Asit Bakterileri (LAB)

Laktik asit bakterileri bitkinin doğal epifitik yapısında bulunur ve silaj fermentasyonunun en önemli mikroflora grubudur. LAB'nin sayısal değeri, taze yonca materyalinde ölçülebilen alt sınır olan 10^1 ile 10^5 arasında, çok yıllık çimde 10^6 , mısır ile sorgum bitkilerinde 10^7 olarak belirlenmiştir. LAB sayısını bitkinin suda çözünen şeker içeriği (SÇK),

kuru madde içeriği (KM) ve bitkinin şeker kompozisyonu etkileyebilmektedir (McDonald ve ark., 1991). Genellikle silajlarda *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Lactococcus* ve *Streptococcus* türleri ile ilişkilendirilmektedir (Tablo 2). LAB florası genellikle iki temel heksoz fermantasyonu türü ile laktik asit üretmektedir. Bunlardan birisi homofermantatif fermentasyon olup, bu fermentasyon şeklinde 1 molekül şekerden iki molekül laktik asit üretimi gerçekleşmektedir. Bir diğeri ise heterofermantatif fermentasyondur. Bu fermentasyonda ise 1 molekül laktik asit üretimi ile birlikte, etanol, asetat ve CO₂ oluşur. *Lactobasillus* türleri aldolaz ve fosfoketolaz enzimlerinin varlığına ya da yokluğuna göre üç gruba ayrılmaktadır (Kandler ve Weiss, 1986; Bernardi ve ark., 2019).

Grup 1. Zorunlu^{homo}LAB türleri %85'den daha fazla laktik asit üretebilirler. Bu grupta yer alan bakteriler heksozları (6 karbonlu) ve glukozları (6 karbonlu) fermente edebilirken pentozları (5 karbonlu) fermente edemezler.

Grup 2. Zorunlu^{hete}LAB türleri hem heksozları (6 karbonlu) hem de pentozları (5 karbonlu) kullanabilirler, fakat heksozlardan^{homo}LAB aksine eşit miktarlarda laktik asit, asetik asit, etanol ve CO₂ üretirler (Oliveira ve ark., 2017).

Grup 3. Seçici^{hete}LAB türleri heksozlardan (6 karbonlu) laktik asit üretirken, bazı pentozlardan (5 karbonlu) da laktik asit, asetik asit ve etanol üretebilirler.

Tablo 3’te laktik asit bakteri aileleri, bu aile içerisinde yer alan önemli türlere ve glukoz fermentasyona göre sınıflandırılması verilmiştir. Bitki üzerinde yaygın olarak *Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus pentosaceus* ve *Leuconostoc mesenteroides* LAB türleri bulunmaktadır (Archibald ve Fridovich, 1981).

Tablo 3: Silolama Sürecinde Laktik Asit Bakterilerinin Önemi

Gen	Tür	Glukoz fermentasyonu
<i>Lactobacillus</i>	<i>acidophilus</i> <i>casei</i> <i>cornyiformis</i> <i>curvatus</i> <i>plantarum</i> <i>salivarius</i>	Homofermantatif
	<i>brevis</i> <i>buchneri</i> <i>fermentum</i> <i>viridescens</i>	Heterofermantatif
<i>Pediococcus</i>	<i>acidilactici</i> <i>cerevisiae</i> <i>pentosaceus</i>	Homofermantatif
<i>Enterococcus</i>	<i>faecalis</i> <i>faecium</i>	Homofermantatif
<i>Lactococcus</i>	<i>lactis</i>	Homofermantatif
<i>Streptococcus</i>	<i>bovis</i>	Homofermantatif
<i>Leuconostoc</i>	<i>mesenteroides</i>	Homofermantatif

Kaynak: McDonald ve ark. (1991).

LAB’leri mezofil özellik göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, 5 ile 50 °C gibi geniş bir sıcaklık değerleri arasında büyüme gösterebilmektedir. Gelişmeleri için optimum sıcaklık değeri ise 25 ile 40 °C arasındadır (Driehuis ve Oude Elferink, 2000). Asitliğe toleransları ise oldukça yüksektir. Nitekim, LAB bitkinin tamponlanma kapasitesi, ŞÇK içeriğine ve diğer fakültatif anaerobik bakterilerinin yoğunluğuna bağlı

olarak pH'ı yaklaşık 4-5'e kadar düşürebilmektedir. Bununla birlikte hasat zamanı başarılı bir laktik asit fermentasyonu için büyük önem taşımaktadır.

3.2. Enterobakteri

Enterobakteriler gram negatif, spor oluşturmeyen, fakültatif anaerobik bakterilerdir ve aerobik stabiliteden sorumlu en önemli bakteri grubudur. Metabolizma türlerine göre farklılık gösterirler. Laktik asit, asetik asit, süksinik asitler, etanol, 2,3 bütandiol, CO₂ ve su üretilebilirler. Bu bileşikler toksik değildir. Öte yandan, enterobakteri tarafından üretilen bu bileşiklerin bazılarının silaj kalitesi üzerine olumlu etkisi vardır. Fakat enterobakteri mevcut SÇK için silolamanın başlangıcında LAB'leri ile rekabet halindedir, dolayısıyla fermentasyonun seyrini olumsuz etkileyebilirler. Bazı enterobakteri grupları ise proteinleri parçalayarak silaj içerisinde oluşması istenmeyen amonyak ve amin üretebilmektedir. Bu durum silaj kalitesi ve yem tüketimini olumsuz etkilemektedir.

3.3. Maya

Mayalar silaj kalitesini etkileyen en önemli aerobik mikroorganizma grubunda yer almaktadır. Çünkü mayalar bitki bünyesinde bulunan SÇK'yı kullanarak çoğalırlar. Mayalar çok düşük pH'larda da büyüme gösterebildiği için ilk gelişen mikroorganizma grubundadır. Muck (2010), mayaların 3.5 hatta daha da düşük pH'larda gelişebildiğini, asetik asit bakterileri ve küflerin bu tür asidik koşullar altında nadiren

gelişebileceğini ve küflerin mayalardan çok daha yavaş geliştiğini bildirmiştir. Aerobik şartlar altında gelişen mayalar laktik asidi okside ederek ortam pH'ının yükselmesine neden olurlar, bu durum silaj kalitesini olumsuz etkileyerek diğer mikroorganizmaların aktif hale geçmelerine yardımcı olur. Dolayısıyla hem aerobik hem de anaerobik şartlarda gelişimini sağlayan mayalar silaj kalitesi bakımından istenilmeyen mikroorganizmalar olarak kabul edilmektedir. Maya fermentasyonlarında yüksek miktarda kuru madde kaybı gerçekleşmekle birlikte, silajlarda kötü bir koku oluşmaktadır. Bu tür silajlarla beslenen hayvanların sütlerinde ise bu koku kendini göstermektedir (Kızılışımşek ve ark., 2016).

3.4. Küf

Küflü bir silaj genellikle birçok türün ürettiği büyük ipliksi yapılar ve renkli sporlar sayesinde kolayca tespit edilir. Silajın O₂ bulunan kısımlarında daha çok görülür ve depolama sırasında yalnızca yüzey katmanlarında oluşur, ancak aerobik bozulma arttıkça silajın tamamında da küflenme görülebilir. Küfler genellikle aerobik mikroorganizmalar olduklarından, silaj içerisindeki gelişimleri genellikle iyi kapatılmamış veya iyi sıkıştırılmamış silolarda oluşmaktadır (Kızılışımşek ve ark., 2016). Genellikle silajlarda *Penicilium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Bysochlamys*, *Mucor*, *Absidia*, *Geotrichum*, *Arthriniun*, *Monascus*, *Scopulariopsis* ve *Trichoderma* cins küfler sıklıkla görülmektedir (Elferink ve ark., 2002). Bazı küfler hayvanlar için de patojen özelliğe sahip olduklarından, hayvan

sağlığında bozulmalara, yavru kaybına ve hatta hayvan kaybına neden olabilirler.

3.5. Clostridia

Clostridium cinsine ait, gram pozitif, çubuk şeklinde ve genellikle hareketli zorunlu anaerobik olan bu mikroorganizma grubu silaj içerisinde oluşması istenilmemektedir. Clostridia bakterleri karbonhidratları, proteinleri ve organik asitleri parçalarlar. *C. tyrobutyricum*, *C. butyricum*, *C. bifermentans*, *C. sporogenes*, *C. perfringes* ve *C. sphenoides* silaj içerisinde en sık görülen clostridia türlerdir (McDonald, 1981). *C. tyrobutyricum* ve *C. butyricum* clostridia türleri zayıf proteolitik özelliği göstererek karbonhidratları fermente ederler ve bütrik asit, asetik asit, hidrojen ve karbondioksit üretirler. *C. bifermentans* ve *C. sporogenes* yüksek proteolitik özellik sayesinde proteinleri fermente ederler ve amonyak, amin ve karbondioksit üretirler. (Kızıllışımşek ve ark., 2016). Clostridial aktivite çeşitli nedenlerden dolayı istenmeyen bir durumdur. Clostridial aktivitenin fazla olduğu silajlarla beslenen hayvanlarda yem alımının azaldığı, özellikle emziren süt ineklerinin ketozise daha duyarlı olduğu söylenebilir (Muck, 2010). Clostridial aktiviteyi engellemek için yüksek kuru madde içeriğine sahip yem bitkilerini silolamak, silajın iyi sıkışmasını sağlayarak pH'ı hızlı bir şekilde düşmesini sağlamak ve silolanacak bitki materyaline asit ilavesi yapmak gibi bazı önlemler alınabilir (Kızıllışımşek ve ark., 2016). Çok düşük kuru madde (<0%26)

içeren silajlarda clostridyal fermentasyon görülme olasılığı oldukça yüksektir.

3.6. Asetik asit bakterisi

Asetik asit bakterileri, düşük pH'ta gelişebilen aerobik bakteriler grubunda yer alır. Asetik asit bakterileri etanol kullanarak büyürler ve asetik asit üretirler. Ancak etanol tükendiğinde asetik asiti kullanarak karbondioksit ve su üretebilirler. Bu durum, silaj pH'ın yükselmesine ve diğer aerobik istenmeyen mikroorganizmaların gelişmesine izin verir (Muck, 2010).

3.7. Basili

Hem aerobik hem de anaerobik olarak aktif olabilen basili türleri silaj içerisindeki şekerleri ve organik asitleri fermente edebilir. Silaj oksijenle maruz kaldığında çabucak çoğalarak, silajın bozulmasını hızlandırmaktadır (Muck, 2010). Basili içeren silajlar süt kalitesini olumsuz etkilemektedir (Kızıllı ve ark., 2016).

3.8. Listeria

Listeria bakterileri hem silajın yem değerini hem de hijyenik kalitesi üzerine olumsuz etkilerinden dolayı silaj içerisinde oluşması istenilmemektedir. Bu bakteri türleri hayvan ve insanlar için patojenik bir özellik taşıdıklarından, sağlık açısından büyük bir tehlike oluşturmaktadır. Silajlarda listeria türlerinin görülmesi aerobik

bozulma süreci ile ilgilidir. Bu nedenle hava ile temas eden silajların mümkün olduğu kadar oksijen ile teması azaltılmalıdır. Ayrıca silaj yapımı sırasında, aerobik stabilite süresini artıracak tedbirlere başvurmak gereklidir.

4. SİLAJ FERMENTASYONUNA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Bitkinin türü, hasat olgunluğu, kimyası, mikrobiyolojisi ve çevresel faktörler silaj kalitesini önemli derecede etkilemektedir. Özellikle bitkinin kuru madde içeriği, suda çözünen karbonhidrat içeriği (SÇK) ve tamponlanma kapasitesi (TK) silaj kalitesini ve fermentasyonunu büyük ölçüde etkilemektedir. Tablo 4’de siloma öncesi bazı bitkilerin kimyasal ve mikrobiyal özelliklerine yer verilmiştir.

Tablo 4: Taze yemlerin silolama öncesinde kimyasal ve mikrobiyal bileşimleri

Besin içeriği ve Mikrobiyal Bileşimi	Yonca	Kırmızı Yonca	İtalyan çimi
pH	6.21	6.02	6.07
KM (g/kg KM)	264	262	247
SÇK (g/kg KM)	79.5	73.3	122
Tamponlanma kapasitesi (mEq/kg KM)	314	311	83.8
NDF (g/kg KM)	398	396	561
ADF (g/kg KM)	227	242	344
ADL (g/kg KM)	78.5	84.1	87.3
CP (g/kg KM)	224	247	90.0
Laktik asit bakterisi (\log_{10} cfu/g taze materyal)	6.51	4.64	5.22
Aerobik bakterisi (\log_{10} cfu/g taze materyal)	7.66	7.51	7.14
Maya (\log_{10} cfu/g taze materyal)	6.57	6.54	6.41
Enterobakteri (\log_{10} cfu/g taze materyal)	7.79	6.72	8.25

Kaynak: Wang ve ark. (2022)

Tablo 4 incelendiğinde kırmızı yoncanın, diğer bitkilere nispeten düşük sayıda LAB popülasyonuna ($4.64 \log_{10}$ cfu/g taze materyal), yüksek sayıda aerobik bakteri ve maya popülasyonuna sahip olduğu görülmektedir. Aynı tablodan İtalyan çiminin diğer bitkilere kıyasla daha yüksek SÇK içeriğine (122 g/kg KM) ve daha düşük tamponlanma kapasitesine (83.8 mEq/kg KM) sahip olduğu söylenilebilir (Wang ve ark., 2022).

4.1. Tamponlanma Kapasite (Buffering Capacity)

Tamponlama kapasitesi bir yemin pH değerindeki değişime kadar direneceğini ölçer. Kısacası yemin pH düşüşüne gösterdiği direnç de denilebilir. Hem tamponlanma kapasitesi hem de SÇK içeriği bir yemin silolabilirliğinin belirlenmesi konusunda yardımcı olan değerlerdir (Buxton ve O'Kiely, 2003).

Tüm yemlerin tamponlanma kapasiteleri vardır. Bununla birlikte, her bitkinin tamponlanma kapasitesi farklıdır. Örneğin, Tablo 5'te buğdaygil ve baklagil bitkilerine ait türlerin tamponlanma kapasitesi verilmiştir. Buna göre buğdaygil bitkileri arasında en düşük tamponlanma kapasitesine çayır kelp kuyruğunun sahip olduğu belirlenmiştir. Yine ortalama değerlere bakıldığında en yüksek tamponlanma kapasitesine rodos otunun sahip olduğu görülmektedir. Öte yandan, baklagil bitkilerinin buğdaygil bitkilerine kıyasla tamponlanma kapasitesinin daha yüksek olduğu bilinmektedir. Bu

nedenle baklagil silajlarının pH'ının buğdaygil silajlarının pH'ı kadar düşmemektedir (McDonald ve ark., 1991).

Tablo 5: Farklı Bitkilerin Ortalama Tamponlanma Kapasitesi Değerleri

Tür		Tamponlanma Kapasitesi (Ortalama Değerler) (mmol/kg KM)
Buğdaygil	Çayır Kelp Kuyruğu	265
	Domuz Ayrığı	335
	İtalyan Çimi	366
	İngiliz Çimi	380
	Rodos Otu	435
Baklagil	Kırmızı Üçgül	350
	Beyaz Üçgül	512
	Yonca	472
	Stylo (<i>Stylosanthes guianensis</i>)	469
	Siratro (<i>Macroptilium atropurpureum</i>)	621

Kaynak: McDonald ve ark. (1991)

Yüksek tamponlama kapasitesine sahip taze bir yemin düşük tamponlama kapasitesine sahip yeme kıyasla pH değerini düşürmek için daha fazla asit üretimi gerekmektedir (Kung ve Shaver, 2001). Yüksek tamponlanma kapasitene sahip bitkiler fermente edilebilmeleri için daha fazla SÇK içeriğine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu tür yemlerin fermente olabilmeleri için de daha uzun süre gerekir ve yapılan silajlarda kayıp oranı daha yüksek olur (Filya, 2007). Yonca bitkisi olgunlaştıkça tamponlama kapasitesi genellikle azalır ve silaj fermentasyonu için faydalı olan kuru madde ve suda çözünebilen karbonhidrat içerikleri artar (Buxton ve ark., 2003). Örneğin Playne ve McDonald (1996), soldurulmuş kırmızı üçgülün tamponlama

kapasitesinin soldurulmamış kırmızı üçgüle kıyasla %18 daha düşük olduğunu bildirmişlerdir.

4.2. Suda Çözünen Karbonhidrat İçeriği (SÇK)

Başarılı bir fermentasyon için silolanacak materyalin kuru maddesinde en az %3 ila %5 düzeyinde fermente edilebilir karbonhidrat (SÇK) içermesi gerekir. Yeterli miktarda SÇK bulunmaması durumunda fermentasyon olumsuz etkilenmekte ve silaj kalitesi düşmektedir. SÇK içeriği bitkinin olgunlaşma zamanı ve bitkinin türüne göre değişiklik göstermektedir. Baklagil bitkileri buğdaygil bitkilerine kıyasla daha düşük oranlarda SÇK içermektedir. Tablo 4’de yonca (79.5 g/kg KM), kırmızı üçgül (73.3 g/kg KM) ve İtalyan çiminin (122 g/kg KM) SÇK içeriklerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, düşük verimli alanlarda yetişen yem bitkilerinin KM içeriği yüksek ve SÇK içeriği düşük olmaktadır (Andrieu ve ark., 1993). Hasat dönemleri ise bitkinin SÇK içeriğini etkileyen en önemli faktördür. Bitki olgunlaştıkça kuru madde miktarı ve lignin içeriği artar. Bu durum, tane dolumu sırasında nişasta birikmesi, fotosentez sırasında sentezlenen glukozu içeren SÇK’nın dönüşümünden kaynaklanmaktadır. Mısır bitkisinin 2/3 süt aşamasından 5 gün sonra hasat edilen bitkilerde KM’nin arttığı ve SÇK’nın düştüğü bilinmektedir (Marchesini ve ark., 2019). Tablo 6’da Pioneer 3167 mısır çeşidinde hasat döneminin ilerlemesiyle SÇK içeriğinin düştüğü görülmektedir. Bu durum KM’deki artışın bitkinin SÇK içeriğindeki bir azalmaya karşılık gelmesiyle ilişkilendirilir, daha önceden sentezlenen gövde ve

yapraklarda depolanan SÇK çiçeklenme aşamasında nişastayı sentezlemek için kullanılmaktadır.

4.3. Bitkinin KM İçeriği

Silolanacak bitkinin kuru madde içeriği silaj fermentasyonu, silajlarda ortaya çıkan atık su miktarı ve aerobik bozulma gibi bileşenler üzerindeki etkilerinden dolayı oldukça önemlidir. Silaj fermentasyonu taze materyalde gerçekleşir, bu nedenle bitkiler içindeki fermente edilebilir substratın, otun yüzeyindeki mikroorganizmalar tarafından erişilebilir hale gelmesi gerekir. Yüksek düzeyde KM içeriğine sahip bitkilerle yapılan silajlarda doğrama ve sıkıştırma zorluğu yaşanır. Bu tür silajların aerobik stabilitesi düşüktür ve hazmolabilirliği oldukça zordur. Optimum KM içeriğine sahip bitkiler silajın sıkıştırılmasına yardımcı olarak silonun anaerobik bir ortama geçişine yardımcı olurken, düşük KM içeriğine sahip bitkilerle yapılan silajlarda atık su, aerobik bozulma ve uzun süreli fermentasyon sorunları ortaya çıkmaktadır (Tablo 6).

Tablo 6: Farklı Kuru Madde İçerikli Mısır Silajı

<28-30 %KM	32-36% KM	>40 %KM
Niştasta (düşük)	Optimum koşullar	Niştasta hazmolabilirliği (düşük)
Enerji (düşük)		Asit üretimi (düşük)
Asitlik (yüksek)		Paketleme ve sıkıştırma zorluğu
AA (yüksek)		Kötü aerobik stabilite
Atık su kayıpları		

Dolayısıyla bitkilerin hasat edildiği dönem oldukça önemlidir. Tablo 7’de farklı olgunlaşma döneminde hasat edilen mısır bitkisinin ve Tablo

8’de farklı olgunlaşma döneminde hasat edilen buğday bitkisinin özelliklerine yer verilmiştir.

Tablo 7. Farklı Vejetasyon Dönemlerinde Hasat Edilen Mısır Bitkisinin Taze Materyaline ve Silajına Ait Özellikler

	Mısır Çeşidi	Vejetasyon Dönemi	KM (%)	pH	TK Meq NaOH/kg KM	SÇK (g/kg KM)	LAB (log ₁₀ cfu/g)
Taze materyal	Pionner 3167	Erken olum	22.11	5.44	98.25	64.85	2.30
		Süt olum	26.32	5.67	84.69	57.30	2.80
		Hamur olum	30.55	5.76	134.02	36.02	3.48
Silaj	Pionner 3167	Erken olum	21.03	3.79	-	18.67	4.41
		Süt olum	24.68	3.77	-	18.04	4.47
		Hamur olum	30.09	3.98	-	10.64	5.38

TK: Tamponlanma Kapasitesi Kaynak: Özdüven ve ark. (2009)

Silolanacak bitkinin KM içeriği olgunlaşma dönemi ile artarken, hamur olum döneminde yapılan hasat SÇK içeriğinin azalmasına ve tamponlanma kapasitesinin artmasına neden olmuştur.

Tablo 8: Buğday Bitkisinin Bazı Kimyasal ve Mikrobiyolojik Özellikleri

Özellikler	Süt Olum Dönemi	Hamur Olum Dönemi
KM (%)	34.01	37.49
pH	6.15	6.24
Tamponlanma Kapasitesi (meq NaOH/kg KM)	139.85	111.99
SÇK (g/kg KM)	87.40	56.50
HP % KM	12.28	10.34
NDF (g/kg KM)	583.80	539.70
ADF (g/kg KM)	296.00	281.20
ADL (g/kg KM)	58.30	54.50
LAB (Log ₁₀ cfu/g)	2.84	3.15

Kaynak: Başkavak (2008)

İyi kalitede bir silajın kuru madde içeriği %28-35 arasında olmalıdır (Basmacıoğlu ve Ergül, 2002). Baklagil silajlarını etkileyen en önemli faktör ise yüksek su (%76-80) içeriğidir. Bitkinin olgunlaşması ile birlikte silaj yapımı kolaylaşırken, NDF ve ADF gibi değerlerin arttığı ve HP değerinin azaldığı bilinmektedir (Buxton ve ark., 2003). Bu nedenle yonca gibi önemli baklagillerin protein değerlerinin korunması, hasat sonrası besin kayıplarını en aza indirilmesi ve başarılı bir fermentasyon için soldurularak silolanması önerilmektedir. Denen ve Malayoğlu (2022), tarafından yürütülen bir çalışmada, düşük kuru madde içerikli yem şalgamı silajının soldurularak düşük pH, NH₃-N, maya varlığının elde edildiği, buna karşılık SÇK içeriğinin, LA üretiminin ve *Lactobacilli* sayının arttığını bildirilmiştir. Tablo 9 ve Tablo 10'da artan kuru madde içeriğiyle birlikte silaj pH değerinin düştüğü, maya popülasyonunun azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, artan kuru madde içeriğinin kuru madde korunumunu ve LAB sayısını arttırdığı bilinmektedir (Denen ve Malayoğlu, 2022; Akbay ve ark., 2023).

Tablo 9: Yem Şalgamı Silajlarının Fermentasyon ve Mikrobiyolojik Özellikleri

	Kontrol	Soldurma
KM (g/kg)	201.68	267.66
pH	4.03	4.00
NH ₃ -N (g/kg TN)	130.65	81.17
SÇK (g/kg KM)	9.94	11.71
LA(g/kg KM)	40.84	47.46
AA(g/kg KM)	9.06	9.58
BA(g/kg KM)	0.15	0.02
Lactobacilli (log ₁₀ kob/g)	4.01	4.13
Maya (log ₁₀ kob/g)	4.85	4.67
Küf (log ₁₀ kob/g)	0.00	0.00
KMK (%)	1.01	1.03

Kaynak: Denen ve Malayoğlu, (2022)

Tablo 10: Soldurmanın Yonca Silajına Etkileri

	KM		
	%25 KM (soldurulmamış)	%30 KM (9 saat soldurulmuş)	%35 KM (24 saat soldurulmuş)
pH	4.73	4.64	4.55
HP (%)	18.77	19.10	20.35
KMK (%)	92.41	91.53	93.53
LAB (log ₁₀ kob/g)	5.09	5.31	5.98
Maya (log ₁₀ kob/g)	6.39	5.79	5.22

Kaynak: Akbay ve ark. (2023)

Diğer önemli bir durum, bitki enzim aktivitesi “proteolisis” olayıdır. Bitkideki proteazlar bitki proteinlerini peptitlere, serbest amino asitlere ve amidlere hidrolize eder. Biçilen baklagil ve buğdaygil bitkilerindeki N, %5 ile %25 oranında çözünür olmayan protein azotudur. Muck (1987), yoncadaki KM konsantrasyonu arttıkça proteolisis oranlarının doğrusal olarak azaldığını bildirmiştir. Aynı araştırmacı 24 saatten az bir sürede 300 g/kg KM ve daha yüksek bir KM içeriğine ulaşmak gibi hızlı kuruma koşulları altında 1 günlük soldurmadan sonra çok az proteolisisin meydana geldiğini bildirmiştir.

Bu üç alt başlık altında (4.1, 4.2 ve 4.3) yemleri silolanma özelliklerine ayırabiliriz. Yeterli düzeyde kuru madde ve SÇK (SÇK > 8 g/kg KM) içeriğine sahip olan yeşil yemler kolay silolan yemler sınıfında yer almaktadır, bu tür yemlerin tamponlanma kapasitesi de düşüktür ve silolanma sırasında herhangi bir katkı maddesine gereksinim duyulmamaktadır. Örneğin; mısır, sudan otu (süt olum dönemi KM miktarı >%25), lahana yaprakları, ayçiçeği (iyi parçalanmış), şeker ve

hayvan pancarı yaprakları ve darı hasılı bu yemler arasında yer almaktadır.

Kuru madde ve SÇK içerikleri (SÇK 4-7 g/kg KM arasında) orta düzeyde bulunan yemler orta derecede silolanabilen yemler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, silolanmaları esnasında katkı maddesi olarak %1-2 tahıl kırması, %0.5-1 şeker veya %1-2 melas tavsiye edilmektedir. Örneğin; çavdar hasılı, bakla, baklagil karışımları, lüpen türleri (çiçeklenme sonu), üçgül türleri (çiçekte veya çiçeklenmeden sonra) ve çayır otu orta derecede silolanabilen yemler arasında yer almaktadır.

Kuru madde oranı, SÇK içerikleri düşük (SÇK<4 g/kg KM) ve tamponlama kapasitesi yüksek olan yemler ise silolanmaları zor olan yeşil yemler olarak sınıflandırılmaktadır. Bunları silolamak için kuru madde ve/veya kolay eriyebilir karbonhidrat içeriğini artırıcı özelliklere sahip tahıl kırmaları (%3-4), melas (%1-2), sap-saman (%1-2), mikrobiyal inokulantlar ve enzimler gibi katkı maddelerine ihtiyaç vardır. Örneğin, yonca, lüpen, fiğ, yem bezelyesi, üçgül türleri bu grupta yer alan yemlerdir.

Weissbach ve ark. (1974), anaerobik stabiliteyi tahmin etmek için suda çözünen karbonhidrat içeriği (SÇK), tamponlama kapasitesi (TK) ve kuru madde (KM) içeriğinin etkilerini aşağıdaki denkleme göre incelemişlerdir.

$$KM=450-80SÇK/TK$$

Denklemden yer alan KM bütirik asit fermentasyonunu önlemek için gerekli olan silolanmış mahsulün minimum KM içeriği (g/kg KM), SÇK fermente edilebilir karbonhidrat içeriği (g/kg KM), TK ise tamponlama kapasitesidir. Bu denklem sayesinde belirli bir KM içeriğine yem bitkisinin clostridial büyümeyi önlemek için gereken SÇK miktarı belirlenebilmektedir (Pahlow ve ark.,2003).

Yeterli fermentasyonun elde edilmesi silolanacak materyalin suda çözünür karbonhidrat miktarına, kuru madde içeriğine ve tampon kapasitesine bağlıdır. Weissbach ve Honig (1996) bu faktörler arasındaki ilişkiyi $FK=KM(\%)+8SÇK/TK$ denklemine göre incelemiştir. Denklemden yer alan FK fermentasyon katsayısını, KM kuru madde içeriğini, SÇK suda çözünebilir karbonhidrat içeriğini ve TK tamponlanma kapasitesini ifade etmektedir. Bu denkleme göre FK değeri < 35 ise düşük fermente edilebilir karbonhidrat içeriğine veya çok düşük kuru madde içeriğine sahip yemlerdir. Bu tür yemlere SÇK içeriği yüksek melas, keçiboynuzu veya SÇK içeriğini arttıran enzimlerin eklenmesi ile fermentasyon başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilir. FK değeri 35 veya daha fazla olan yemlerde yeterli miktarda fermente edilebilir karbonhidrat mevcuttur. Bu tür yemlere laktik asit bakterilerinin eklenmesi ile fermentasyon hızlandırılabilir ve geliştirilebilir.

5. SİLAJ FERMENTASYON SON ÜRÜNLERİ ve SİLAJ KALİTESİNE ETKİSİ

Silajda tanımlanan uçucu organik asitler arasında asetik, bütirik, izobütirik, caproik, izokaproik, formik, propiyonik, suksinik, valerik ve izovalerik asit yer almaktadır. Genellikle laktik asitle birlikte asetik ve bütirik asitler silajdaki toplam organik asit konsantrasyonunun çoğunu temsil ettikleri için silajlarda rapor edilir (Cherney ve Cherney, 2003). Tablo 11’de farklı bitki silajlarına ait fermentasyon ürünlerine yer verilmiştir. Farklı bitki materyaline göre fermentasyon ürünlerinin oranlarında değişiklik görülmektedir. Yüksek kuru madde içerikli yonca silajında laktik asit %5-7 arasında, mısır silajında %3-6 ve çayır silajında %6-10 arasında değişmektedir. Yonca silajında asetik asit (%2-3) miktarı buğdaygil silajlarına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Yine yonca silajında $\text{NH}_3\text{-N}$ miktarının mısır ve çayır silajına kıyasla yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 11: Farklı Bitki Silajlarına Ait Fermentasyon Son Ürünleri

Fermentasyon Ürünleri	SonYonca Silajı (%30-35 KM)	Mısır Silajı (%35-40 KM)	Çayır Silajı (%25-35 KM)
pH	4.3-4.5	3.7-4.2	4.3-4.7
LA (%)	5-7	3-6	6-10
AA (%)	2-3	1-3	1-3
PA (%)	<0.2	<0.1	<0.1
BA (%)	<0.5	0	<0.5
Etanol*	0.5-1.0	1-3	0.5-1.0
$\text{NH}_3\text{-N}$	10-15	5-7	8-12

Kaynak: (Kung, 2010)

5.1. Laktik Asit (LA)

Silolama sırasında laktik asit bakterileri tarafından üretilen laktik asit, genellikle silajlarda en yüksek konsantrasyonda bulunan asittir ve fermentasyon sırasında pH'ı düşürmesi bakımından oldukça önemlidir. Laktik asit uçucu bir asit olmayıp, organik asitler grubundandır. Arzu edilen bir homofermentasyondan kaynaklanan birincil fermentasyon asidi olarak da tanımlanabilir (Kung ve ark., 2018). İdeal silajda genellikle uçucu yağ asitlerinden 3 kat daha fazla laktik asit bulunur. Uçucu laktona ayrışabilmesine rağmen, diğer monokarboksilik organik asitlerden çok daha az uçucudur ve normalde diğer asitlerden ayrı olarak değerlendirilir (Cherney ve Cherney, 2003). Kullanılan bitki materyaline göre %1-3 arasında değişebilir. Yaygın olarak beslemede kullanılan silajlardaki tipik LA konsantrasyonları KM'nin %2 ila 4'ü arasında değişebilmektedir. Normal besleme koşullarında silajdaki laktik asit, rumende propiyonik asite dönüştürülür. Silajın son pH'ı birçok faktörden etkilenebilir, ancak LA içeriği ve bitkinin tamponlanma kapasitesi pH değerini en çok etkileyen faktördür (Kung, 2018). Yüksek laktik asit miktarı başarılı bir fermentasyon ve daha az kuru madde kaybı ile ilişkilendirilir (Seglar, 2003). Laktik asit üretimi sonucu elde edilen düşük pH, istenmeyen mikroorganizmaların büyümesini engelleyerek veya öldürerek silaj fermantasyonunu stabilize etmektedir (Whiter ve Kung, 2001).

5.2. Asetik Asit

Asetik asit silajlarda ikinci oransal olarak en fazla bulunan organik asittir ve silajlarda KM bazında %1 ile %3 arasında değişebilir. Genellikle silajlarda %3'ün altında bulunur ve %3'ün üzerindeki herhangi bir değer ise yetersiz heterofermentatif fermentasyonun göstergesi olarak yorumlanabilir (Cherney ve Cherney, 2003). Asetik asit miktarı genellikle KM içeriğiyle ters orantılıdır. Silajlara karakteristik sirke kokusu ve tadını verir. Genellikle aerobik stabiliteyi korumak için fermentasyon sırasında üretilen baskın asittir. Orta düzeyde bulunan asetik asit miktarı antifungal özelliği ile silajlarda mayaları inhibe eder ve silaj havaya maruz kaldığında istenmeyen mikroorganizmaların oluşmasını engelleyerek aerobik stabilitenin artmasına sağlar. Düşük konsantrasyonlarda asetik asit silajlarda aerobik bozulmaya sebep olabilir. Yüksek kül içeriğine (>%15) sahip baklagil silajlarda tamponlanma kapasitesinin yüksek olması nedeniyle silaj fermentasyon süresi uzar ve bu nedenle asetik asit konsantrasyonu çok yüksek olabilir. Silajdaki asetik asit ruminant hayvan tarafından tüketildiğinde, işkembeden emilebilir, enerji için kullanılabilir, süt veya vücut yağına dahil edilebilir (Kung, 2018).

5.3. Propionik Asit

Propiyonik asit miktarı özellikle kuru madde içeriği çok yüksek silajlarda düşük konsantrasyonlarda olması nedeniyle genellikle tespit edilememektedir. İyi silajlarda %0.1 veya daha düşük konsantrasyonlarda bulunabilirler. Yüksek konsantrasyonlarda

propiyonik asit (>%0.3-0.5) clostridial fermentasyonlarda daha yaygın olarak bulunur. Keskin tatlı bir koku ve tat üretir. Bununla birlikte, aerobik stabiliteyi korumak için fermentasyon sırasında üretilmesi bakımından oldukça önemlidir. Silolama esnasında katkı maddesi olarak kullanılabilir.

5.4. Bütirik Asit

İyi fermente edilmiş silajlarda bütirik asit bulunmamalıdır. Kokmuş bir tereyağı kokusu ve tadı üretir. Kaliteli bir silaj %0.1'den daha az olmalıdır. Yüksek seviyelerde bütirik asit silajın ikincil fermentasyondan kaynaklanan bozulmasını gösterir. Bu durum, aminler ve amidler gibi hoş olmayan nitrojenli son ürünlerin varlığında, hayvanın kuru madde tüketiminde ve enerji seviyesinde önemli bir azalmaya yol açabilir (Pahlow ve ak., 2003). Bütirik asit ve nitrojenli proteoliz, silodaki clostridial aktivitenin sonucudur. Özellikle, baklagil bitkilerinin KM içeriği düştükçe clostridial aktivite daha çok gelişir ve laktik asit bütirik asite dönüşebilir.

5.5. Etanol

Etanol silajlarda en yaygın bulunan alkoldür. Alkol kokusu üretir ve öncelikle maya aktivitesinin bir göstergesidir. Maya, şekeri alkole dönüştürür ve laktik asidi metabolize edebilir, bu da pH'ı yükseltir ve silajın kötü kalitede olmasına yol açar. Silolama işleminin erken aşamalarında aktif olan anaerobik heterofermentatif bakteriler de etanol üretebilir. Etanolün varlığı yüksek nemli mısır silajında daha yaygındır.

Değerler genellikle %0.5'ten azdır. Yüksek etanol üretimi siloya konulan yem materyalinde silolama sonunda kuru madde kayıpları olduğunun önemli bir göstergesidir.

5.6. NH₃-N (Amonyak)

Yüksek amonyak zayıf veya yoğun fermentasyon ile ilişkilendirilir, bu durum proteolitik enzimatik aktiviteden kaynaklanan protein parçalanmasını gösterir. Yüksek amonyaklı yemler aynı zamanda clostridial ikincil fermentasyonundan kaynaklanan proteolitik aktivite ile de ilişkilendirilebilir. Değerler genellikle yonca ve ot silajlarında %15'ten az, mısır silajında ise %10'dan azdır. Petterson (1988), ise kaliteli bir silajda NH₃-N miktarının 80.00 g/kg TN' den daha yüksek olmaması gerektiğini bildirmektedir.

6. SİLAJ KATKI MADDELERİ

Silaj fermentasyonu çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedir. Silaj katkı maddeleri fermentasyonun yönünü iyileştirmek ve geliştirmek, beslenme kayıplarını minimuma indirmek, beslenme değerini artırarak hayvanlara kaliteli bir yem sunmak amacı ile kullanılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, silaj katkı maddeleri silajda aerobik bozulmanın kontrol altında tutulması, silajlarda istenilmeyen mikroorganizmanın oluşmasının engellenmesi, istenilen mikroorganizmaların çoğalmalarını ve fermentasyon sürecinde baskın olmasını sağlamak, silajla beslenen hayvanların yem tüketimini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır (Driehuis ve Elferink, 2000). Silaj katkı maddeleri

fermentasyona ve aerobik stabiliteye olan etkisi nedeniyle farklı spesifik etkiler oluşturmaktadır. Bu nedenle katkı maddeler arasında bir sınıflandırma yapmak mümkündür. Sınıflandırma şekline göre katkı maddeleri fermentasyon inhibitörler ve fermentasyon uyarıcıları olarak ikiye ayrılabilir. Her bir grupta yer alan katkı maddeleri Tablo 12’de detaylandırılmıştır.

6.1. Fermantasyon Uyarıcıları

Silaj katkı maddeleri içerisinde en çok kullanılan fermentasyon uyarıcıları laktik asit bakteri miktarı artıran, silo içerisinde asitleşmeyi destekleyen ve aerobik stabiliteyi arttıran LAB inokulantlarıdır.

6.1.1. LAB aşılama (İnokulasyon)

Laktik asit bakterileri (LAB), silaj fermantasyonu sırasında organik asitler, yağ asitleri, etonal hidrojen peroksit, asetoin, diasetil, siklik dipeptitler, bakteriyosinler veya bakteriyosin benzeri inhibitör alt maddeler de dahil olmak üzere zararlı mikroorganizmaları inhibe eden metabolitler ürettikleri için mikrobiyal katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Crowley ve ark., 2013). Silaj yapımında LAB’leri içeren bakteriyal inokulantların, diğer bir ifadeyle “mikrobiyal inokulantların” kullanımı son zamanlarda yaygınlaşmıştır. LAB ile aşılamanın faydaları (Kim ve ark., 2021);

1. LAB aşıluyıcıları silaj kalitesini artırır ve uzun süreli depolamada KM kayıplarını azaltır.
2. Silajda istenmeyen mikroflora gelişimini engelleyerek kontrol sağlayan en iyi organik katkı maddelerinden biridir.
3. LAB aşıluyıcıları, yem bitkilerindeki suda çözünebilen karbonhidratları ve karmaşık ikincil metabolitleri organik asitlere ve mineral asitlere dönüştürerek patojenik büyümeyi etkili bir şekilde kontrol eder ve çiftlik hayvanları için silajın besin kalitesini artırır.
4. Aerobik stabiliteyi artırır.

LAB ile aşılamanın birçok faydası sıralanmıştır. Fakat, bu etkiler LAB'nin türüne ve yoğunluğuna göre değişmektedir. Homofermentatif LAB'leri silaj yapımında kullanılan en eski ve en yaygın bakteriyel aşıluyıcılardır. Günümüzde homofermentatif LAB grubundaki bakterilerin çoğu taksonomik olarak zorunlu homofermentatif türler yerine fakültatif heterofermentatif LAB türleri olarak tanınmaktadır. Homofermentatif laktik asit bakterilerinden birisi olan *L. plantarum* silaj fermantasyonunda kullanılan en önemli ve en yaygın bakteridir (Ohmomo ve ark., 2002). Homofermentatif bakteriler silajlarda laktik asit ve laktik asit:asetik asit oranını artırarak silaj pH'ını hızlıca düşürür ve kuru madde geri kazanımı fazladır. Bununla birlikte amonyak azotu (NH₃-N), etanol konsantrasyonlarını, bütirik asit ve asetik asit miktarını azaltır.

Tablo 12: Silajlarda kullanılan katkı maddelerinin sınıflandırılması

Uyarıcılar					İnhibitörler	
Bakteriyel İnokulant	Enzim	Substrat Kaynağı	Besin Kaynağı	Asit	Diğer	
Laktik asit bakterileri	Selüloz	Glukoz	Amonyak	Formik	Üre	
	Amilaz	Melas	Kireçtaşı	Propionik	Amonyak	
	Hemiselüloz	Sukroz	Üre	Asetik	Sodyum Asetat	
	Pektinaz	Dextroz		Laktik	Sodyum Klorid	
	Ksilinaz	Peyniraltı suyu		Kaproik	Sodyum Sülfat	
	Proteaz	Tahıl		Sorbik	Sodyum Hidroksit	
		Buğday Kepeği		Benzoik	Sülfür Dioksit	
				Acrylik	Formaldehit	
				Hidroklorik Sülfirik		

Heterofermentatif LAB (zorunlu ve seçici) ise *Lactobacillaceae* familyasına aittir ve *Lactobacillus*, *Oenococcus*, *Leuconostoc* ve *Weissella* cinsleri bulunmaktadır. *Lactobacillus* dört gruba ayrılır. Bunlar *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus reuteri* ve *Lactobacillus casei*'dir. Yaygın fakültatif ^{het}LAB strainleri *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Enterococcus faecium* ve *Pediococcus*'un çeşitli türlerini içermektedir. Zorunlu heterofermentatif LAB'leri, silo depolaması sırasında laktik asidi yavaş yavaş asetik asit ve 1,2-propandiol'e dönüştürerek aerobik stabiliteyi artırır. Asetik asit, aerobik bozulmaya neden olan organizmaların bir inhibitörüdür ve dolayısıyla aerobik stabiliteyi artırır (Kung, 2010). Kristensen ve ark. (2010), *Lactobacillus buchneri* ile aşılanmış mısır silajlarında asetik asit, propionik asit, n-propanol ve propil asetat

miktarında artış yaşandığını bildirmişlerdir. Bunun yanı sıra son yıllarda yapılan çalışmalar, LAB inokulantlarının hayvanların performanslarında sağlanan artışların nedenleri üzerinde yoğunlaşmıştır. LAB inokulantların antibakteriyal özellikleri sayesinde rumen ortamında bulunan zararlı mikroorganizmaların gelişimini engellediği, bu sayede hayvanların performanslarında artış sağladığı belirlenmiştir (Gollop ve ark. 2005).

Ce ve ark. (2016)'nın yapmış olduğu bir çalışmada farklı LAB inokulantlarının fermentasyon son ürünlerine etkisi Tablo 13'de verilmiştir. Daha önceki bölümlerde fermentasyon son ürünlerinin silaj kalitesi ve yem alımı konusundaki etkileri anlatılmıştır. Nitekim, *Pediococcus pentosaceus* ile silolanmış yonca silajında en yüksek laktik asit üretimi, en düşük pH değeri ve bütirik asit içeriği elde edilmiştir.

Günaydın ve ark. (2023), homofermentatif ve heterofermentatif özellik gösteren farklı LAB inokulantları uygulanmış yonca silajında, homofermentatif LAB'lerinin düşük pH ve kuru madde korunumu konusunda daha başarılı olduğunu bildirmişlerdir.

Son yıllarda homofermentatif ve heterofermentatif aşırıyıcıların olumlu özelliklerinden dolayı combine (ikili) kullanımları giderek yaygınlaşmıştır. Örneğin, Tablo 14'de ayçiçeği bitkisine homofermentatif LAB, heterofermentatif LAB ve combine

(homo*hete) laktik asit bakterilerinin silaj kalitesine etkisi görülmektedir.

Tablo 13: Yonca Bitkisine Farklı LAB İnokulant Uygulamalarının Fermentasyon Ürünlerine Etkisi

	Kontrol	<i>Lactobacillus casei</i>	<i>Lactobacillus plantarum</i>	<i>Pediococcus pentosaceus</i>
pH	5.08	5.00	5.01	4.96
Laktik asit (g/kg KM)	44.32	46.0	10.0	46.7
Asetik asit (g/kg KM)	12.3	4.2	9.9	5.7
Propionik asit (g/kg KM)	5.91	4.14	4.72	4.54
Bütrik asit (g/kg KM)	3.01	1.0	1.1	0.94

Kaynak: Ce ve ark. (2016)

Tablo 14: Ayçiçeği Bitkisine LAB İle Aşılama (T₆₀)

	Kontrol	HomoLAB	HetoLAB	HomoLAB*HetoLAB	
KM (%)	22.14	22.16	22.49	22.88	
pH	4.41	4.38	4.30	4.36	
SÇK (g/kg KM)	14.78	11.56	13.13	12.31	
NH ₃ -N (g/kg KM TN)	113.91	78.06	91.55	91.83	
LA (%)	5.11	6.23	5.40	5.96	
AA (%)	1.71	1.57	1.90	2.00	
LAB (log ₁₀ cfu/g KM)	5.49	6.78	5.72	5.90	
Maya (log ₁₀ cfu/g KM)	3.70	2.92	2.35	2.37	
<i>In vitro</i> OM sindirilebilirliği (%KM)	44.02	46.62	45.55	46.29	
5 günlük Aerobik stabilite değerleri	pH	4.91	4.83	4.71	4.68
	CO ₂ (g/kg KM)	21.81	20.63	11.83	11.60
	Maya (log ₁₀ cfu/g KM)	6.18	5.77	4.63	4.90
	Küf (log ₁₀ cfu/g KM)	4.91	2.99	2.81	2.73

Kaynak: Özdüven ve ark. (2017)

Özdüven ve ark. (2017)'ı tarafından yapılan bu çalışma sonucunda homofermentatif LAB'leri NH₃-N oranını azaltması ve LA üretimini arttırması bakımından öne çıksa da, heterofermentatif LAB kullanımı ile hem fermentasyon kalitesinin iyileştiği hem de aerobik stabilitenin

arttığı belirlenmiştir. Combine aşırıyıcıların hem aerobik stabiliteyi hem de *in vitro* organik madde sindirilebilirliğini rakamsal olarak arttırdığı görülmektedir.

6.1.2. Enzim

Enzimler metabolik süreçlere yardımcı olan proteinlerdir ve silaj katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Tablo 15’de silajlarda kullanılan enzimler, parçaladığı substratlar ve oluşturduğu son ürünlere yer verilmiştir.

Tablo 15: Silajlarda Kullanılan Enzimler

Enzim Kompleksi	Hedef Substrat	Son Ürünler
Selülaz	Selüloz	Glikoz, maltoz, sınırlı dekstrinler
Hemiselülaz	Hemiselüloz	Ksiloz, ksilanlar, arabinoz
Amilaz	Nişasta	Glikoz, maltoz

Kaynak; Kung (1988)

Hücre duvarı parçalayıcı enzimlerin silaj katkı maddesi olarak kullanılmasının iki temel nedeni vardır. Bunlardan ilki fermente edilebilir SÇK miktarının artmasını sağlayabilirler. Daha öncede bahsedildiği gibi suda çözünür karbonhidratın (SÇK) anaerobik fermentasyonu yoluyla yemlerin korunması, uygun bir laktik asit bakterisi (LAB) popülasyonunun yeterli miktarda fermente edilebilir substrat kaynağına sahip olmasını gerektirir. Enzimler bitkide bulunan hücreleri parçalayarak ilave SÇK açığa çıkartabilirler. Böylece silaj pH’nın düşüş hızını artırarak silaj fermentasyonunu geliştirecek, LA üretimini arttırarak laktik asit:asetik asit oranını iyileştirip

fermentasyon kalitesini artıracaktır. Dolayısıyla KM kayıplarını azaltacaktır (Kung, 2018). Örneğin selüloz enzimi silolamanın ilk 48 saati boyunca yeterli fermente edilebilir karbonhidratı serbest bırakır, geniş bir kuru madde aralığında aktif olabilir, silajın sindirilebilirliğini ve besleyici değerini artırır. Bununla birlikte pH 4.0 ile 6.5 arasında aktiftir, ancak pH 4.0'ün altına düştüğünde daha az aktiviteye sahiptir (Seale,1987).

Sadece silajları homofermentatif LAB ile aşılama epifitik bakterilerinin baskınlığını arttırabilir, fakat yeterli miktarda SÇK olmaması durumunda laktik asit bakterileri daha az etkili olabilir. Bu nedenle son zamanlarda enzim*LAB kombinasyonları silaj katkı maddeleri olarak kullanımı artmıştır. Birçok ticari firmada enzim*LAB kombinasyonlu yem katkı maddesi geliştirmiştir. LAB ile birlikte aşılanan selüloz, hemiselüloz ve pektinaz enzimleri hücre duvarını parçalar ve LAB'nin silaj fermentasyonu için kullanacağı bir substrat ortaya çıkarmaktadır. Böylece silaj fermentasyon yönü iyileştirilir. Benzer şekilde, amilaz enzimi nişastayı parçalayarak LAB'nin gelişimini ve lif sindirimini arttırabilir (Filya, 2002). Artan lif sindirimi kuru madde alınımını, organik madde sindirimini ve mikrobiyal protein sentezini arttırabilir. Aynı zamanda selüloolitik enzimlerle muamele edilen ot silajına bir protein kaynağı eklendiğinde de, rumen mikrobiyal protein sentezinin ve duodenal mikrobiyal akışın (ince bağırsaktaki N akışı) etkinliği de arttırılabilir (Jacobs ve McAllan, 1992). Teorik olarak lif sindirilebilirliğindeki iyileşmeler, dekar başına KM veriminin daha fazla olduğu ancak besleme değerinin düşük olduğu evrede veya

olgunlaşmanın sonraki bir aşamasında hasada olanak tanıyabilecektir. Dolayısıyla enzimlerin bu durumda kullanılması büyük önem taşımaktadır. Tablo 16’da farklı enzim ve enzim+inokulant kombinasyonunun yonca silaj kalitesine etkisi görülmektedir. Buna göre selüloz+*L.plantarum* kombinasyonunda en yüksek ham protein içeriği ve en düşük pH, NDF, ADF içeriği görülmektedir. Özduven ve Koç (2018), farklı dozlarda uygulanan enzim+LAB uygulamalarında silajın fermentasyon özelliklerini ve yem değerini iyileştirmek amacıyla en etkili dozun 5×10^6 kob/g olduğunu ve üzerindeki dozların da uygulanabileceği bildirmişlerdir.

Tablo 16: Yonca Silajına Enzim Ve İnokulant Uygulaması

	Kontrol	selüloz + α -galactosidase	selüloz + <i>L. plantarum</i>	α -galactosidase + <i>L. plantarum</i>
KM g/100 g	33.5	35.9	35.0	36.2
pH	5.2	4.8	4.7	4.9
SÇK g/kg KM	13.0	14.9	13.5	13.8
HP	21.7	22.6	23.5	23.3
NDF	43.1	41.7	40.2	42.6
ADF	34.9	32.3	31.3	33.3

Kaynak: Hu ve ark., (2021)

6.1.3. Karbonhidrat kaynağı

Silajlara karbonhidratlarca zengin maddeler iyi bir fermentasyon sağlamak ve fermentasyon kalitesini arttırmak amacıyla katılmaktadır. Kolay eriyebilir karbonhidratlarla laktik asit bakterinin aktivitesi artar, böylece istenmeyen mikroorganizmaların aktivitesi bastırılır ve pH hızlıca düşer. Özellikle SÇK içeriği düşük baklagil yem bitkilerine

karbonhidratça zengin katkı maddeleri eklenerek silaj kalitesi arttırılabilir. Karbonhidrat kaynakları glikoz, sükroz, dextroz şekerleri başta olmak üzere melas, arpa, buğday, tahıl ve buğday kepeği, peynir suyu tozu ve pancar posasıdır. Bunlar içerisinde özellikle silajlara melasın eklenmesi hem ekonomik hem de kolay uygulanması nedeniyle geçmişten bugüne yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde Dolezal ve ark. (2005), artan dozlarda melasın ilavesinin silaj fermentasyon kalitesini arttırdığını, silajın amonyak içeriğini düşürdüğünü, Bingöl ve ark. (2009), artan dozlarda melasın silajın sindirilebilirliğini arttırdığını bildirmişlerdir. Gülümser ve ark. (2019), bürölce silajına % 10 melas, soya silajına %5 arpa kırmasının silaj kalitesini önemli ölçüde arttırdığını bildirmişlerdir.

6.2. Fermentasyon İnhibitörleri

Son yıllarda fermentasyonu engellemek, fermentasyon kayıplarını azaltmak ve hayvan performansını iyileştirmek amacıyla çeşitli katkı maddeleri kullanılmış ve farklı türdeki katkı maddelerinin silaj üzerinde farklı etkileri olduğu belirlenmiştir. Fermentasyon inhibitörleri, diğer adıyla fermentasyon engelleyiciler silaj içerisindeki mikroorganizmaların oluşmasını engelleyen katkı maddeleridir. Mineral asitler enterobakteriler ve clostridia gibi istenmeyen bakterilerin aktivitesini engeller, laktik asit bakterilerini mevcut substratı kullanmaya ve pH'ı düşürmeye teşvik ederler. Organik asitler,

özellikle formik asit, hem hidrojen iyonu konsantrasyon etkisi hem de ayrışmamış asidin seçici bakterisit etkisi nedeniyle antibakteriyel etkiye sahiptir. Silajlara formik asit, asetik asit, propiyonik asit eklenerek fermentasyon sırasında istenmeyen mikroorganizmaların gelişimi ve bitki enzim aktivitelerini etkili bir şekilde engellenebilmektedir (Wilson ve Wilkins, 1973; Woolford, 1984; Winters ve ark., 2001). Silolama sırasında protein bileşiminde büyük değişikliklerin meydana geldiği iyi bilinmektedir. Özellikle yüksek protein içerikli yemlerde pH'ı 4.5'in altına düşürmek, proteolizisin önüne geçebilmek ve protein kaybını en aza indirmek amacıyla formik asit kullanılmaktadır. Bununla birlikte protein olmayan nitrojen katkı maddeleri (amonyak, üre), silajın ham protein içeriğini arttırmak ve aerobik stabiliteyi geliştirmek için kullanılmaktadır.

Propiyonik asit silaj aerobik bozulmasının önlenmesinde çok değerli bir inhibitördür. Yüksek düzeydeki propiyonik asit (KM'nin %1 ile %2'si) silaj fermentasyonunu kontrol altında almada, aerobik stabiliteyi arttırmada ve kuru madde kaybını azaltmada etkili olmaktadır. Ancak daha yüksek asit yüzdesi genellikle fermentasyonu kısıtlamaktadır (McDonald ve ark. , 1991). Daha düşük oranlarda eklenen propiyonik asit ise fermentasyonu etkilememekle birlikte silajda ısınmanın azaltılmasında oldukça etkilidir (Kung ve ark., 1998).

KAYNAKLAR

- Akbay, F., Günaydın, T., Arıkan, S., Kızılsımsek, M. 2023. Performance of new lactic acid bacteria strains as inoculants on the microorganism composition during fermentation of alfalfa silage containing different dry matter content. *Black Sea Journal of Agriculture*, 6(4): 402-410.
- Andrieu, J., Demarquilly, C., Dardenne, P., Barrière, Y., Lila, M., Maupetit, P., Femenias, N. 1993. Bütünün bileşimi ve besin değeri koyunlara taze olarak beslenen mısır bitkileri. I. Değişim faktörleri. *Annales de Zootechnie, INRA/EDP Bilimleri*, 42: 221-249.
- Archibald, F.S., Fridovich, I.R. W. I. N. 1981. Manganese, superoxide dismutase, and oxygen tolerance in some lactic acid bacteria. *Journal of Bacteriology*, 146(3): 928-936.
- Ávila, C.L. S., Carvalho, B.F. 2020. Silage fermentation-updates focusing on the performance of micro-organisms. *Journal of Applied Microbiology*, 128(4): 966-984.
- Basmacıoğlu, H., Ergül, M. 2002. Silaj mikrobiyolojisi. *Hayvansal Üretim*, 43(1): 12-24.
- Başkavak, S. 2008. Buğday Hasılı Silajlarında Enzim+Mikrobiyal İnokulant Kullanımının Silaj Fermantasyonu Üzerindeki Etkileri. *Namık Kemal Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi*, 64 s.
- Bernardi, A., Härter, C.J., Silva, A.W., Reis, R.A., Rabelo, C.H. 2019. A meta-analysis examining lactic acid bacteria inoculants for maize silage: Effects on fermentation, aerobic stability, nutritive value and livestock production. *Grass and Forage Science*, 74(4): 596-612.
- Bingöl, N.T., Bolat, D., Karlı, M.A., Akça, İ. 2009. Arpa hasılı ve korunga karışımı silaja farklı düzeylerde melas ilavesinin silaj kalitesi ve sindirilebilirliği üzerine etkileri. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*, 4(1): 23-30.
- Blakeman, J.P. 1991. Foliar bacterial pathogens: epiphytic growth and interaction on leaves. *Journal of Applied Bacteriology, Symposium Supplement*, 70: 49-59.

- Bolsen, K.K., Ashbell, G., Weinberg, Z.G. 1996. Silage fermentation and silage additives-Review. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 9(5): 483-494.
- Buxton, D.R., O'Kiely, P. (Eds.). 2003. Preharvest plant factors affecting ensiling. Silage Science and Technology, 42: 199-250.
- Buxton, D.R., Muck, R.E., Harrison, J.H., 2003. Silage Science and Technology. ASAS, CSSA, SSSA Inc., Madison, WI.
- Ce, Liu., Lai, Y. J., Lu, X. N., Guo, P. T., Luo, H. L. 2016. Effect of lactic acid bacteria inoculants on alfalfa (*Medicago sativa* L.) silage quality: assessment of degradation (*in situ*) and gas production (*in vitro*). Journal of Integrative Agriculture, 15(12): 2834-2841.
- Cherney, J.H., Cherney, D.J.R. 2003. Assessing silage quality. Silage Science and Technology, 42: 141-198.
- Crowley, S., Mahony, J., van Sinderen, D. 2013. Current perspectives on antifungal lactic acid bacteria as natural bio-preservatives. Trends Food Sci. Technol. 33: 93-109.
- Denen, M., Malayoğlu, H.B. 2022. Ot tipi yem şalgamı (*Brassica rapa* L.) silajında soldurmanın ve farklı katkıların fermantasyon ve aerobik stabilite üzerine etkileri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 59(2): 297-312.
- Dolezal P., Rotter C., Dolezal J., Pyrochta V., Poul J. 2005. Effect of the different level of a dry feed additive on the lupin silage quality. Acta Univ. Agric. et Silv. Mendel. Brun, 53(5): 21-29.
- Driehuis, F., Elferink, S. O. 2000. The impact of the quality of silage on animal health and food safety: a review. Veterinary Quarterly, 22(4): 212-216.
- Elferink, S.O., Driehuis, F., Gottschal, J., Spoelstra, S., 2002. Manipulating silage fermentation, Feed Mix, 10(3): 20-23.
- Filya İ. 2007. Ülkemizde Silaj yapımı ve silaj kalitesinin artırılma yolları. Yem Magazin Dergisi. 15(47): 37-45.
- Filya, İ. 2002. Laktik asit bakteri ve laktik asit bakteri+enzim karışımı silaj inokulantlarının mısır silajı üzerine etkileri. Turk J Vet Anim Sci, 26: 679-687.

- Gollop, N., Zakın V., Weinberg, Z.G. 2005. Antibacterial activity of lactic acid bacteria included in inoculants for silage and in silages treated with these inoculants. *J. Appl. Microbiol.*, 98: 662-666.
- Gülümser, E., Mut, H., Başaran, U., Doğrusöz, M.Ç. 2019. Melas veya arpa kırması ilavesinin börülce ve soya silajlarının kalitesi üzerine etkisi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6: 161-167.
- Günaydın, T., Akbay, F., Arıkan, S., Kızılsımsek, M. 2023. Effects of different lactic acid bacteria inoculants on alfalfa silage fermentation and quality. *Journal of Agricultural Sciences*, 29(2): 555-560.
- Hu, Z., Ma, D., Niu, H., Chang, J., Yu, J., Tong, Q., Li, S. 2021. Enzyme additives influence bacterial communities of *Medicago sativa* silage as determined by Illumina sequencing. *AMB Express*, 11: 1-11.
- Jacobs. J.L., McAllan, A.B. 1992. Protein supplementation of formic acid and enzyme-treated silages. 2. Nitrogen and amino acid digestion. *Grass Forage Sci.*, 47: 114.
- Kandler, O., Weiss, N. 1986. Genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901. In *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, vol. 2, pp. 1209–1234. Edited by P. H. A. Sneath, N. S. Mair, M. E. Sharpe & J. G. Holt. Baltimore: Williams & Wilkins
- Kızılsımsek, M., Erol, A., Dönmez, R., Katrancı, B. 2016. Silaj mikro florasının birbirleri ile ilişkileri, silaj fermentasyonu ve kalitesi üzerine etkileri. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 19(2): 136-140.
- Kızılsımşek, M., Keklik, K., Günaydın, T. 2020. Yeni laktik asit bakteri izolatlarının farklı kuru madde içeriğine sahip yonca (*Medicago sativa* L.) silajında mikrobiyel inokulant olarak kullanılma olanakları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(5): 1331-1339.
- Kim, D. H., Lee, K. D., Choi, K. C. 2021. Role of LAB in silage fermentation: Effect on nutritional quality and organic acid production-An overview.
- Kristensen, N.B., Sloth, K.H., Højberg, O., Spliid, N.H., Jensen, C., Thøgersen, R. 2010. Effects of microbial inoculants on corn silage fermentation, microbial contents, aerobic stability, and milk production under field conditions. *Journal of Dairy Science*, 93(8): 3764-3774.

- Kung Jr.L., Shaver, R.D., Grant, R.J., Schmidt, R. J. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4020-4033.
- Kung, Jr. L., Sheperd, A.C., Smagala, A.M., Endres, K.M., Bessett C.A., Ranjit, N.K., Glancey, J.L. 1998. The effect of preservatives based on propionic acid on the fermentation and aerobic stability of maize silage and a total mixed ration. *J. Dairy Sci.*, 81: 1322-1330
- Kung, L. 1998. A review on silage additives and enzymes. In *Proceedings of the 59th Minneapolis Nutrition Conference* (pp. 121-135).
- Kung, L. 2010. Aerobic stability of silage. in *proceedings of the California Alfalfa & Forage Symposium and Corn/Cereal Silage Conference, Visalia, CA, USA, 1–2 December*.
- Kung, L., Shaver, R. 2001. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on Forage*, 3(13): 1-5.
- Kung, L.J.R. 2010. Understanding the biology of silage preservation to maximize quality and protect the environment, *California Alfalfa & Forage Symposium and Corn/Cereal Silage Conference, 1-2 December, Visalia CA*.
- Kutlu, H.R., Görgülü, M., Çelik, L. 2005. Genel Hayvan Besleme Ders Notu. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Yemler ve Hayvan Besleme Anabilim Dalı, Adana: 2005. s. 161.
- Marchesini, G., Serva, L., Chinello, M., Gazziero, M., Tenti, S., Mirisola, M., Andrighetto, I. 2019. Effect of maturity stage at harvest on the ensilability of maize hybrids in the early and late FAO classes, grown in areas differing in yield potential. *Grass and Forage Science*, 74(3): 415-426.
- McDonald, P. 1981. *The Biochemistry of Silage*. John Wiley & Sons. Chalcome Publications, 226 pp
- McDonald, P., Henderson, A.R., Heron. S.J.E. 1991. *The Biochemistry of Silage*. Chalcombe Publications, Marlow, UK.
- McDonald, P., Henderson, N., Heron, S.J.E. 1991. *The Biochemistry of Silage*. 2nd Edition. Chalcombe Publications, Bucks (UK)

- Muck, R.E. 2010. Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39: 183-191.
- Muck, R.E. 1993. Ensiling and its effect on crop quality. Silage production from seed to animal. In: *The Proceedings of the National Silage Production Conference*, New York. pp. 57-66.
- Muck, R.E. 1987. Dry matter level effects on alfalfa silage quality: I. Nitrogen transformations. *Trans.ASAE*, 30: 7-14.
- Ohmomo, S., Nitisinprasert, S., Hiranpradit, S. 2002. Silage-making and recent trend of dairy farming in Thailand. *JARQ*, 36(4): 227-234.
- Oliveira, A.S., Weinberg, Z.G., Ogunade, I.M., Cervantes, A.A., Arriola, K.G., Jiang, Y., Adesogan, A.T. 2017. Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(6): 4587-4603.
- Oude Elferink, J.W.H. Driehuis, F., Gottschal, J.C., Spoelstra Sierk F. 2000. Paper 2.0: Silage fermentation processes and their manipulation. *FAO Electronic Conference on Tropical Silage* 1-28.
- Özdüven, M.L., Koç, F., Başkavak, S., Polat, C., Şamlı, H.E., Coşkuntuna, L. 2009. Bazı mısır çeşitlerinde vejetasyon döneminin silolamada fermantasyon özellikleri ve yem değeri üzerine etkileri. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 6(2): 121-129.
- Özdüven, M.L., Tepeli, C., Okuyucu, B. 2017. The effects of lactic acid bacterial inoculants on the fermentation and aerobic stability of sunflower silages. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 14(02): 9-15.
- Pahlow, G., Muck, R.E., Driehuis, F., Elferink, S.J.O., Spoelstra, S.F. 2003. *Microbiology of ensiling*. *Silage Science and Technology*, 42: 31-93.
- Petterson, K. 1988. *Ensiling of Forages: Factors Affecting Silage Fermentation and Quality*, Sveriges Lantbruksuniversitet, 46 p, Uppsala.
- Playne, M. J., McDonald, P. 1966. The buffering constituents of herbage and of silage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 17(6): 264-268.
- Seglar, B. 2003. *Fermentation analysis and silage quality testing*.

- Wang, S., Shao, T., Li, J., Zhao, J., Dong, Z. 2022. Fermentation profiles, bacterial community compositions, and their predicted functional characteristics of grass silage in response to epiphytic microbiota on legume forages. *Frontiers in Microbiology*, 13, 830888.
- Weissbach, F., Honig, H. 1996. Über die Vorhersage und Steuerung des Gärungsverlaufs bei der Silierung von Grünfütter aus extensivem Anbau. *Landbauforschung Völkenrode*, Heft 1,10-17, Germany.
- Weissbach, F., Schmid, L., Hein, E. 1974. Method of anticipation of the run of fermentation in silage making based on chemical composition of green fodder. *Proc 12th Int. Grassland Congr., Moscow, Russia*, p. 663-673.
- Whiter, A.G., Kung Jr, L. 2001. The effect of a dry or liquid application of *Lactobacillus plantarum* MTD1 on the fermentation of alfalfa silage. *Journal of dairy science*, 84(10): 2195-2202.
- Wilson, R.F., Wilkins, R.J. 1973. Formic acid as a silage additive for wet crops of cocksfoot and lucerne. *J Agric Sci.*, 80: 225–31.
- Winters, A.I., Fycan, R., Jones, R. 2001. Effect of formic acid and a bacterial inoculant on the amino acid composition of grass silage and on animal performance. *Grass Forage Sci.*, 56: 181-192.
- Woolford, M.K. 1984. *The Silage Fermentation*. New York, USA: Marcel Dekker.

BÖLÜM 6

SİLAJ KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Doç. Dr. Gülşah BENGİSU¹

DOI: <https://dx.doi.org/>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa E-mail: gbengisu@hotmail.com, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-1214-0011>

1. GİRİŞ

Silaj, anaerobik koşullar altında laktik fermantasyonu ile korunan yeşil yemlerdir. Silaj yapmanın esas amacı, yeşil yemin eksik olduğu dönemlerde yem bitkisindeki besin maddelerini koruyarak en üst düzeyde tutmak, yem bitkilerinin mevsimsel üretiminin dışına çıkmak ve çiftlikte hektar başına hayvan sayısını arttırmaktır. Silonun içerisindeki tarımsal mini ekosistem, fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörler arasındaki etkileşimlere bağlı olarak silajlanan yemin kalitesini ve besin değerini korur (Alonso ve ark., 2013). Çiftlik hayvanlarının beslenmesinde kullanılan yem bitkilerinin silolanması, genellikle hayvanların performanslarını artırmak ve yem bitkilerinin kalitesini dengelemek ve korumak amacıyla yapılan geleneksel bir yem koruma yöntemidir (Wang ve ark., 2022). Silonun sıkıştırılması ve sızdırmazlığın sağlanması gibi faktörler yemin muhafaza edilme sürecinde silajın kalitesini ciddi ölçüde etkilemektedir (Brüning ve ark., 2018). Enerji ve protein açısından zengin, yüksek kaliteli silaj üretmek, süt ve besi sığırı üreticileri için çok önemlidir. Silajların besleme değerini etkileyen temel faktörler ürünün özellikleri, silolanan yemin hasat edildiği gelişme aşaması ve silo içinde elde edilen fermantasyonun kapsamı ve türüdür (Acosta Aragon ve ark., 2012). Silolanmış kaba yemlerin kalite ve miktarını, depolama ve besleme gibi çeşitli faktörler etkilediğinden, silolanan ürünün kalitesi sadece tarladaki yemin kalitesiyle ilişkili değildir. Bu nedenle analizlerle besin içeriği, mikrobiyal kalite, fiziksel form ve fermantasyonun kontrol edilmesi gerekmektedir.

2. SİLAJLARDA KALİTE HEDEFLERİ

Yüksek kalitede kaba yem silajı üretirken aynı zamanda kuru madde (DM) kayıplarını önlemek oldukça zordur. Bazı kayıplar kaçınılmaz olsa da iyi yönetim uygulamaları sayesinde farklı hayvan türleri ve grupları için gereken kaliteli kaba yemi sağlarken, bu kayıpları azaltmak mümkündür. Süt ineklerinin verimini üst düzeyde tutmak için hayvanları yüksek kaliteli yem ile beslemek çok önemlidir. İyi bir rumen faaliyeti için rasyonlarda yeterli kaba yemin olması gerekmektedir, ancak çok fazla kaba yem verildiği zaman ise rasyonun enerji yoğunluğu azalmaktadır. Yemin kaliteli olması hayvanın daha fazla yem tüketmesini sağlamaktadır. Yemin kalite ölçütleri olarak lif ve enerji içerikleri ön plana çıkmaktadır. Yemdeki lif içeriği arttıkça, enerji içeriği genellikle azalmaktadır, nötr deterjan lif (NDF) oranının belirlenmesi her iki kalite kriterini de yeterince yansıtmaktadır. Bu nedenle kaba yem üretiminde amaç, düşük NDF oranına sahip kaba yem ile maksimum enerji alımını sağlamaktır. Olgunlaşmamış kaba yemlerde NDF içeriğinin çok düşük olması, endişe edilecek bir durum değildir. Çünkü bu durum, yüksek kaliteli yemlerle harmanlanarak telafi edilebilmektedir. Yemin içerdiği protein oranı ve protein türü de çok önemlidir. Benzer şekilde, rasyonlara konsantre yemler eklenerek yetersiz protein seviyelerine sahip yemlerin olumsuzlukları giderilebilmektedir. Süt üreticileri için yüksek kaliteli kaba yem çok önemlidir. Çünkü erken laktasyondaki hayvanlar için yem alımını en üst düzeye çıkarmak amacıyla yüksek kalitede kaba yem gerekmektedir. Hayvanların bu kritik dönemlerinde kaliteli kaba yem

tüketimini en üst düzeye çıkarmak, hayvansal ürünlerin üretimlerini de zirveye çıkarmaları sağlanacaktır. Bu nedenle, kaliteli kaba yem bu hayvanlar için oldukça önemlidir. Fakat laktasyonlarının son dönemlerindeki inekler, kuruya erken giren inekler ve bir yaşındaki düveler dahil olmak üzere diğer hayvanlar için yem kalitesi çok kritik öneme sahip değildir. Dolayısıyla süt üreticileri, kritik dönemdeki hayvanları beslemek için kaliteli kaba yemi üretmeye veya satın almaya odaklanırken, diğer hayvanlar için daha düşük kaliteli yemlere odaklanmalıdırlar. Sonuç olarak, çiftlikte ihtiyaç duyulan toplam kaba yemin yalnızca dörtte biri veya üçte birinin çok yüksek kalitede olması gerekmektedir. Bunu göz önünde bulunduran süt üreticileri için kaliteli kaba yem üretmek, daha az stresli bir süreç olacaktır. Yüksek kaliteli kuru ot ve silaj üretimi, özellikle ılıman iklimlerde oldukça zor bir iştir. Üretim veya hasat sırasında bir miktar kayıp kaçınılmaz olsa da her hayvan grubu için gerekli olan kaliteli kaba yemi sağlamak için iyi bir yönetim planıyla bu kayıplar azaltabilmekte veya telafi edebilmektedir (Rotz, 2003).



Şekil 1: Silaj Yapım Esnasından Bir Kesit (Yadav, 2021)

Mısır silajı, merada otlayan hayvanların kışlık kaba yem ihtiyacını karşılayan, nişasta ve lif oranı yönünden zengin, düşük maliyetli ve yaygın olarak şekilde tercih edilen bir enerji kaynağı durumundadır (Kolver ve ark., 2001). Kaliteli mısır silajında hedeflenen değerler şunlardır: %28-35 kuru madde; kuru maddede 10.8 MjME/kg'dan yüksek enerji değeri; %7-8 ham protein; toplam proteinin %65-70'i oranında parçalanabilir protein; toplam proteinin %27-31'i oranında parçalanamayan protein; toplam proteinin %50'den daha az oranında çözünür protein; %23-28 ADF oranı; %38-45 NDF oranı; %38-50 çözünür karbonhidrat; %3-5 yağ; %0.2-0.3 kalsiyum; %0.2-0.3 fosfor; %0.15-0.20 magnezyum; %1.0-1.30 potasyum; %0.13-0.18 kükürt; 3.8-4.5 pH; %4-5 laktik asit ve toplam azot içerisinde %5'den daha az amonyak azotu olmasıdır (Mahanna, 2000).

3. SİLAJ KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

3.1. Silajın Yoğunluğu

Silajın yoğunluğu silaj kalitesini etkileyen en önemli faktördür. Daha sıkı paketlenmiş silajlarda gözeneklilik azdır, daha fazla miktarda hava dışarı atılmıştır, bu da bozulmayı ve kuru madde kaybını azaltmaktadır. Bu aynı zamanda, aynı hacimde daha fazla kuru maddenin depolanabilmesini sağlayarak ek depolama kapasitesi gereksiniminin maliyetini azaltmaktadır. Silaj yoğunluğu, anaerobik fermantasyon ve aerobik stabilitedeki ana faktörlerden biridir (Zaharia ve ark., 2009). Silaj yoğunlukları oldukça değişken olduğundan, depolama ve yem maliyet hesaplamaları sahadaki gerçek ölçümlere dayandırılmalıdır.

Soldurulmuş mera bitkileri ve mısırdaki rastlanan tipik yoğunluklar sırasıyla 590 kg/m^3 ve 690 kg/m^3 'tür. Bank veya yığın tipi siloların derinliği ile silaj yoğunluğu artmaktadır (Davis, 2021).

3.2. Silajın Kuru Madde (DM) İçeriği

Hayvan yemlerini muhafaza etmedeki başlıca işlemler; biçme, tarlada yapılan uygulamalar (kurutma-soldurma), balyalama veya doğrama, depolama ve hayvan besleme olarak sıralanabilir. Nihai ürünün kalitesini azaltan kuru madde kayıpları ve kalite değişiklikleri bu uygulamaların her birinde az veya çok meydana gelmektedir. İyi yönetim teknikleri ile çiftlikteki kayıpları tespit ederek, besleme sırasında silajın durumunu belirleyerek, silajın muhafaza sırasında havayla temasını önleyerek ve yemleme sırasında silajın aerobik bozulmasını azaltarak kuru madde kayıplarını ve silolama işlemi sırasındaki diğer kalite kayıplarını azaltmak mümkündür. Fakat kuru madde kayıplarını azaltmaya çalışırken, yüksek kalitede kaba yem silajı üretmek zor olabilmektedir (Borreani ve ark., 2018). Baklagil yem bitkileri oldukça düşük oranda suda çözünür karbonhidrat-tamponlama kapasitesine sahip olabilmektedirler. Sonuç olarak, üründeki fermente edilebilir karbonhidrat yoğunluğunun arttırılması, zayıf fermantasyondan kaynaklanan kuru madde kayıplarını önlemek için gereklidir. Paketlenmiş silaj yeminde bulunan oksijen, aktif fermantasyon aşaması başlamadan önce besinleri ve enerjiyi tüketen, su, karbondioksit, ısı ve serbest amonyak üreten biyolojik ve kimyasal süreçlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Kıyılmış kaba yem,

silolama sırasında metabolik olarak aktiftir ve oksijen varken solunum yapmaya devam etmektedir. Bu duruma aerobik mikroplar da katkı yapsa da silodaki oksijenin bitirilmesi ve ısı üretilmesine ana mekanizma olan bitki dokusunun solunumu neden olmaktadır (Borreani ve ark., 2018).



Şekil 2: Yoğun Bir Kuru Madde Kaynağı Olan Patates Yumrularının Bank Tipi Siloya Katman Halinde Serilmesi (Halliday, 2007)

40 °C'nin üzerindeki sıcaklıklara uzun süreli maruz kalmak proteinleri bozabilir (denatüre edebilir), bu da çoğu baklagil ve buğdaygil yem bitkilerinde mevcut olan amino asit miktarını etkilemektedir. Sıcaklık, diğer faktörlerin yanı sıra (şekerlerin mevcudiyeti, anaerobiyoz derecesi ve nem seviyesi), silolamanın ilk fermantasyonu için gerekli olan laktik asit bakterilerinin (LAB) çoğalma oranlarını etkilemektedir. Silo anaerobik hale geldiğinde çok sayıda fakültatif ve anaerobik

bakteriler çoğalmakta ve çoğunlukla ürünlerin şekerlerini ve organik asitlerini fermente etmektedirler. Baskın bakteri türleri ve fermente edilen ürünler, fermantasyon sırasında ne kadar kuru madde kaybının olacağını belirlemektedir. Fermantasyonun işleyişi onlarca yıldır bilinmektedir. Heterofermentatif laktik asit bakterileri glikozu fermente ederken 1 mol karbondioksit üretmekte ve %24 kuru madde kaybına neden olmakta iken, homofermentatif laktik asit bakterileri glikozu fermente ederken sadece laktat üretmekte ve sonuçta kuru madde kaybına neden olmamaktadırlar. Genel olarak, fermantasyon sürecine LAB dışındaki mikroplar dahil olduğunda, karbondioksit formunda önemli bir kuru madde kaybı olmaktadır. Bu durum, özellikle glikozdan etanol üreten mayalar (örn. şeker kamışı silajı), laktat veya glikozdan bütirat üreten klostridia bakterileri için geçerlidir. Klostridial aktivite ile ilişkili yüksek düzeydeki enerji kayıplarının kaynağı çoğunlukla, glikoz veya laktat fermantasyonu sırasındaki kuru madde kaybının bir kısmının kaynağı da olan, hidrojen gazı oluşumudur. Fermantasyon işlemi, silajlama sırasında epifitik bakterilerin ürün üzerindeki etkisinin bir sonucu olarak, silaj katkı maddeleri eklenmeden doğal olarak gerçekleşmektedir. Fermantasyon işlemi bittikten sonra silaj stabilize olmakta ve ortam sıcaklığına ve silonun boyutuna bağlı olarak sıcaklık zamanla kademeli olarak düşmektedir. Fermantasyon kayıpları tamamen ortadan kaldırılamasa da silaj katkı maddelerinin kullanılması kayıpların azaltılmasına yardımcı olabilmektedir (Borreani ve ark., 2018).

3.3. NDF

Yemin toplam NDF içeriği, genel yem kalitesini belirlemede önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Örneğin, %40 NDF içeren bir yem, genellikle %60 NDF içeren bir yemden daha kalitelidir. Yemin toplam sindirilebilirliğini tahmin etmek için yemlerin NDF sindirilebilirliğini bilmek gerekmektedir. Yemlerin NDF sindirilebilirliği açısından değerlendirilmesinin birkaç önemli nedeni bulunmaktadır. Birincisi; örneğin, sağmal süt ineklerinin daha yüksek NDF sindirilebilirliğine sahip yemlerle beslendiklerinde daha fazla kuru madde tükettikleri ve daha fazla süt ürettikleri tespit edilmiştir. İkincisi; geçmişte NDF'nin potansiyel sindirilebilirliğini ve toplam yem sindirilebilirliğini tahmin etmek için lignin ve asit deterjan lif (ADF) oranı kullanılmış olsa da son araştırmalar ADF ve lignin oranlarının NDF veya yem sindirilebilirliğindeki tüm varyasyonları hesaba katmadığını göstermiştir. Üçüncüsü; sığırların besin ihtiyaçlarının hesaplanmasında yem sindirilebilirliği, protein, yağ, lifsiz karbonhidrat (NFC-non-fiber carbohydrate) ve NDF oranından sağlanan enerjinin toplamı kullanılmaktadır. Yemlerin net enerji içeriğinin tahmin edilmesi için NDF sindirilebilirliğinin tahmini gerekmektedir (Hoffman ve ark., 2001).

Genel olarak baklagil yem bitkileri, buğdaygil yem bitkilerine kıyasla daha fazla odunlaşma nedeniyle daha az toplam NDF oranına ve daha düşük NDF sindirilebilirliğine sahiptirler. Buğdaygil yem bitkileri silajı ve kuru otu, çok geniş bir NDF sindirilebilirliğine sahiptir, çünkü buğdaygil yem bitkisi türleri çok çeşitlidir ve çeşitli olgunluk

düzeylerinde kullanılmaktadırlar (vejetatif dönemdeki bitkilerden kuru ota kadar geniş bir yelpazede). Mısır silajı da geniş bir NDF sindirilebilirliği aralığına sahiptir, ancak mısır silajı nispeten dar bir olgunluk aralığında hasat edildiğinden ve depolandığından uç noktaların görülmesi çok nadir olmaktadır. Mısır silajının NDF sindirilebilirliğindeki yüksek değerler, mısır silajı aşırı olgun bir dönemde iken hasat edildiğinde (bu aşamada NDF sindirilebilirliği düşüktür) veya "kahverengi orta damara" sahip mısır çeşitleri (brown midrib) kullanıldığında (NDF sindirilebilirliği yüksektir) ortaya çıkabilmektedir (Hoffman ve ark., 2001).



Şekil 3: Tarlada büyüyen bir kahverengi orta damarlı (Bmr) mısır (sağ fotoğraf) normal orta damarlı mısır (Btx623) ile Bmr mısır arasındaki orta damar karşılaştırması (sol iki fotoğraf)

NDF sindirilebilirliğini etkileyen birincil faktör bitkilerin olgunluk durumudur. Baklagillerde, büyümenin ilk aşamalarından (sap uzama aşaması) sonra NDF sindirilebilirliği yavaş yavaş azalmaktadır. Bununla birlikte, hücre ve gövde çapları arttığı ve aşırı derecede

odunlaşmış ksilem dokusu geliştiği dönemde, NDF sindirilebilirliği hızla azalmaktadır. Baklagillerdeki NDF sindirilebilirliğini azaltan olgunluk mekanizmaları, buğdaygiller ve mısır bitkisi silajlarında benzerdir. Ayrıca bitki genetiği de NDF sindirilebilirliğini etkileyebilmektedir. Mısırdaki brown midrib genetiğine sahip çeşitlerin daha sindirilebilir NDF'ye sahip olduğu bilinmektedir. Ayrıca sorgum ve sudan otu türleri mısıra göre daha sindirilebilir olma eğilimindedir. Bitkilerin büyüme ortamları da NDF sindirilebilirliğini etkileyebilmektedir. Genel olarak, daha soğuk koşullarda veya kuzey enlemlerde yetiştirilen bitkiler, daha güneyde veya daha sıcak koşullarda yetiştirilenlere göre daha yüksek NDF sindirilebilirliğine sahiptirler. Büyüme mevsimi de yemlerdeki NDF oranını değiştirebilmektedir. İlkbaharda yetişen yonca, yaz aylarında yetiştirilen yoncadan daha yüksek lif sindirilebilirliğine sahip olmaktadır. Son olarak, tarladaki bitkilerin agronomisi de lif sindirilebilirliğini etkileyebilmektedir. Örneğin, yüksek bitki yoğunluklarında yetişen mısır bitkileri daha düşük lif sindirilebilirliğine sahiptirler (Hoffman ve ark., 2001).

3.4. Oksijen Engelleyici Plastiklerin Kaliteye Etkisi

Depolama süresi boyunca kuru madde kayıplarını azaltmak için silolar ve silaj yığınları hava almayacak bir şekilde kapatılmalıdır. Etkili bir sızdırmazlıkta iki faktör önemlidir: 1) Ürün ve dış hava arasında düşük oksijen geçirgenliğine sahip bir bariyer olmalıdır ve 2) Büyük depolama yapıları için birden fazla hava engelleyici plastik örtü

tabakasının gerekli olduğu durumlarda örtünün ürüne ve silo yapısına (duvarlar, zemin vb.) iyi sabitlenmesi gerekmektedir. Polietilen (PE) film, 20. yüzyılda tüm silo tiplerinin açıkta kalan yüzeylerini kaplamak için kullanılan ana malzemeden biriydi. PE film iyi bir bariyer oluşturabilmekte ve güçlü bir sızdırmazlık sağlayabilmektedir. 21. yüzyılda ise üreticiler artık PE'den daha yüksek oksijen bariyeri özelliği sunan bir dizi plastik film alternatifine yönelmişlerdir. Plastiğin silajla sürekli temas halinde kalması için plastik üst tabakalarının eşit ağırlıkta olması gerekmektedir. Kullanılan ağırlık malzemeleri arasında otomobil lastikleri, otomobil lastik yanakları, çakıl dolu torbalar, gevşek toprak/kum/çakıl ve organik malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Çakıl torbaları gibi aralıklı yerleştirilen ağırlık malzemelerinin etkisi brandalar kullanılarak dağıtılmaktadır. Brandalar, plastik filmi fiziksel zarardan ve UV ışınlarından da korumaktadır. Plastik ile silaj arasındaki hava hareketinin azaltılması, yeknesak ağırlık yüklemeye ana amaçtır. Buna ek olarak, yeknesak ağırlık dağıtımı, plastiğin rüzgâra maruz kaldığında dalgalanmasını azaltmaktadır. Dalgalanma sonucunda plastiğin gevşek kapatılmış boşluklardan havanın plastik ile silaj arasındaki alana girmesi durumu ortaya çıkabilmektedir. Ek olarak, dalgalanma, ağırlıkların yokuş aşağı kaymasına neden olduğu için belirli bölgeleri ağırlıksız bırakabilmektedir.



Şekil 4: Plastik, güneş ışığına uzun süre maruz kaldıktan sonra deformasyona uğrayacaktır (Fotoğraf: F. Mickan) (Mickan ve ark., 2003)

Silajda dışarıdan giren oksijen, aerobik mikroorganizmaların silajda kolayca bulunabilen karbonhidratları ve asitleri tüketmesine izin vererek kuru madde kaybına neden olmaktadır. Sıklıkla oksijene maruz kalabilecek yüzeyler: 1) Siloya yem eklenmediğinde, yem doldurma yüzeyi; 2) Örtünün üst yüzeyi (geçirgen örtü, örtüde delikler, örtü birleşim yerleri vb. vasıtasıyla); 3) Bank tipi siloların duvarları, özellikle astarlı değilse ve çatlakları varsa; ve 4) Hayvan besleme sırasında silodan yem alınan yüzey (Borreani ve ark., 2018).

Çiftlik koşullarında, havayla temas nedeniyle bozulan silaj genellikle belirgin bir küf kokusuna sahiptir ve hızla ısınmaktadır. Büyük silolar genellikle kışın bile nispeten yüksek iç sıcaklıklarını koruduklarından, ısının kendisi silajdaki bozulmanın mutlak bir göstergesi değildir. Bu nedenle, silodan yem alımı sırasında silaj kütesinden gelen buhar, mutlaka aerobik bozulmanın bir işareti değildir. 90 güne kadar silajlarda iç sıcaklığın 32 °C'ye kadar ölçülmesi mümkündür. Buna

karşılık, aerobik olarak bozulmuş silaj, kısa süreler için genellikle 50-55 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklara ulaşabilmektedir. Yüksek bir pH ile birlikte küf kokusu da yemin aerobik bozulmaya uğradığının iyi bir göstergesi olabilmektedir. Aerobik bozulma daha çok sıcak havalarda görülmektedir. Silaj yığınlarındaki sıcaklıkları izlemek için nispeten ucuz sıcaklık problemleri kullanılabilir (Kung Jr, 2010).

4. ÇİFTLİK KOŞULLARINDA SİLAJLARIN KALİTESİNİN GÖSTERGELERİ

Silajın kalitesi; silajın kokusu, rengi, tadı ve dokunuşuyla değerlendirilebilir. Genel olarak soluk sarı renk iyi kaliteyi göstermektedir. Renk koyu kahverengiden koyu yeşile kadar bir tonda ise, silaj kötü fermantasyona uğramış ve kalitesiz demektir. Asidik veya "tatlı ekşi hoş koku" ise iyi kaliteyi göstermektedir. Öte yandan, olgun bir koku veya kokuşmuş bir koku varsa ve silajı burnunuza yaklaştıramayacak kadar tiksindirici ise kalite düşük demektir. Silajın tadı ekşiyse ve ağza alınmasında bir sakınca yoksa kalitesi iyidir. Öte yandan, silajın tadı acıysa ve ağza alınamıyorsa kalitesi düşüktür. Silajı tek avuçta iyice sıktıktan sonra el açıldığında silaj ikiye ayrılıyorsa o silaj kalitelidir; silaj ayrı ayrı küçük parçalara ayrılırsa silajın nem içeriği düşüktür; su damlıyorsa silajın nem içeriği çok yüksektir (Kumari, 2017).

Sadece görsel olarak yapılan inceleme, silajın besin içeriği hakkında doğru bilgi vermeyecektir. Renk, koku ve genel görünüm gibi faktörler,

silajın genel durumunun bir göstergesi olacaktır. Fakat silajın kalitesi görsel olarak incelenerek tahmin edilebilmesine rağmen, sadece kimyasal analiz ile kesin bir şekilde tespit edilebilmektedir. En önemli analizler arasında kuru madde, pH, ham protein içeriği, lif, kalsiyum ve fosfor gibi özellikler yer almaktadır. Yüksek nemli bir silajın besleyici değeri için en iyi gösterge pH'dır (Pathak ve ark., 2016). Silaj kalitesinin göstergeleri aşağıda özetlenmiştir:

Kaliteli silaj

Renk = Silolanan malzemeye bağlı olarak parlak, açık yeşil sarı veya yeşil kahverengi

Koku = Bütirik asit kokusu içermeyen laktik asit kokusu

Doku = Sert ve liften kolayca ayrılmayan yumuşak bir malzeme barındıran

Orta kaliteli silaj

Renk = Sarımsı yeşil ile kahverengi yeşil arası renge sahip

Koku = Hafif bütirik asit ve amonyak kokusuna sahip

Doku = Daha yumuşak olan malzeme elyaftan ayrılabilir

Düşük kaliteli silaj (kötü fermente edilmiş)

Renk = Çok koyu yeşil, mavi yeşil, gri veya kahverengi

Koku = Güçlü bütirik asit, amonyak, ekşi koku

Doku = Sümüksü, yumuşak dokular liflerden kolayca ayrılabilir, küflü

Kalitesiz silaj (aşırı ısınmış)

Renk = Kahverengi ile siyah arası renkte

Koku = Yanmış şeker veya tütün kokusunda

Doku = Kuru, ovulduğunda kolayca parçalanan, küflü (Pathak ve ark., 2016)

Kuru ot silajının Clostridial ve butirik asit içermesinin nedenleri: 1) Yem çok ıslak silolanmıştır ve bu yüzden clostridia'nın hâkim olduğu bir fermantasyona uğramıştır. 2) Biçme işleminden sonra tarlada yağmura maruz kalan yonca ve diğer baklagiller daha yüksek risk altındadır, çünkü yağmur, yemdeki çözünebilir şekerleri azaltır. 3) Yem gerek depolama türü ve gerekse de boyutuna uygun olmayacak nemde hasat edilmiştir (Bolsen, 2006). Bu sorunların çözümüne dönük yapılabilecekler: 1) Tüm kaba yemleri, silonun türü ve boyutu için doğru kuru madde içeriğinde doğramak ve siloya almak, 2) Yemdeki oksijeni dışarıda atacak yoğunluğa ulaşacak şekilde sıkıştırma yapmak ve bu sayede aerobik faz sırasında bitki şekerlerinin kaybını sınırlamak, 3) Bitki şekerlerinin laktik aside verimli bir şekilde dönüştürülmesini sağlamak için tüm yemlere homolaktik bakteriyel aşılama (HLAB) uygulamak, 4) Hasatta yemin toprak veya hayvan gübresi ile kirlenmesini engellemek, 5) Soldurma yoluyla kuru madde içeriğinin kontrol edilmesi mümkün değilse, çözünebilir şekerlerin eklenmesi

klostridial fermantasyon riskini ve bütirik asit silajlarıyla ilgili sorunları azaltmak (Bolsen, 2006).

Özellikle nemli mısır silajında yüksek asetik asit düzeylerinin nedenleri ve belirtileri şunlardır: 1) Tüm mısır bitkisi hasatta düşük bir kuru madde içeriğine sahip olduğunda, uzun süreli heterolaktik bir fermantasyona uğramaktadır. 2) Bu malzemedен yapılan silajın güçlü bir 'sirke' kokusu vardır ve bank tipi silonun zeminine yakın kısmında, 60-90 cm'lik parlak sarı, ekşi kokulu bir silaj tabakası olmaktadır (Bolsen, 2006). Bu sorunların çözümüne dönük şunlar yapılabilir: 1) Tüm yemleri doğru kuru madde içeriğinde ve özellikle çok ıslak olmayacak şekilde silolamak. 2) Bitki şekerinin laktik aside verimli bir şekilde dönüştürülmesini sağlamak için bir HLAB aşılama kullanmak (Bolsen, 2006).

5. SİLONUN AÇILMASI VE BESLEMENİN BAŞLAMASI AŞAMASINDA KALİTE

Hayvan besleme süresince silo yüzeyinde, aerobik bozulmanın birçok aşaması aynı anda görülebilir. Silaj yüzeyi, görünüş olarak stabil silajdan farklı görünmüyor olsa da diğer alanlara göre daha hızla bozuluyor olabilir. Küflü silaj görsel olarak kolayca tespit edilebilmektedir. Çürüyen herhangi bir silajı tespit ettikten sonra onu yem rasyonundan mutlaka uzak tutmak gerekir. Silajın tüm besleme yapılan yüzeyinin mikrobiyolojik ve kimyasal kalitesini doğru bir şekilde tespit etmek için çok sayıda örnek, pahalı işgücü ve ekipman,

kalifiye çalışanlar ve zaman alıcı laboratuvar analizleri gerekmektedir. Bu işlemler, hayvancılık işletmelerinde genelde mevcut değildir. Bu nedenle, teknisyenler ve çiftçiler tarafından silajın kalitesini ve silo yüzeyindeki aerobik bozulma derecesini ölçmek için hızlı ve kolay bir yol gerekmektedir. Bir sonda veya çubuk termometre kullanmak, silo iç yüzeyindeki sıcaklığı belirlemenin bir yöntemidir. Çağdaş ve sürdürülebilir bir hayvancılık çiftliğinde silolama işleminin etkinliğini artırmak için, silajın özellikle silo çevresinde mikrobiyolojik ve güvenlik kalitesini geliştirirken doğrudan ve dolaylı olarak kuru madde ve kalite kayıplarını azaltmaya özel dikkat gösterilmelidir. Silolama alanında son 15 yılda yapılan teknik ilerlemeler ve araştırmalar, çiftliklerde silaj üretimini daha başarılı hale getirmiş, besin kalitesini artırmış ve kuru madde kayıplarını azaltmıştır. Mükemmel bir silo kurulumu, tarlada başlar ve silolama süresince silaj yemliklere gelinceye kadar devam eder. Tarlada soldurma süresini kısaltmak ve en yüksek miktarda çözünür karbonhidrat ve sindirilebilir besin maddesini korumak için soldurulması gereken yemler geniş bir şerit şeklinde serilerek soldurulmalıdır. Kayıpları ve kaliteyi etkileyen yaygın mikrobiyolojik faaliyetlerin durumuna göre silaja katılması gereken inokulant türü değişiklik göstermektedir. Eğer klostridial aktivitenin önlenmesi ana hedefse, geleneksel homofermentatif suşların kullanılması gerekmektedir, çünkü pH'yı inokulantsız silaja göre daha hızlı ve önemli ölçüde düşürmektedirler. Aerobik bozulmanın ana sorun olduğu mısır silajı için bir kombi inokulant kullanılması, pH'da hızlı bir düşüş, depolamanın sonraki aşamalarında maya sayısını azaltma ve oksijen düştüğünde maya çoğalmasını frenlemek için asetik

asit oluşumu sağlamaktadır. Silajdaki gözenekliliği düşürmek için yem mümkün olan en kısa sürede yatay bir siloda en az 705 kg/m^3 lük yeterli bir kütle yoğunluğuna kadar sıkıştırılmalıdır. Silo dolduktan sonra, ürüne ve silo iskeletine sıkıca tutturulmuş, düşük oksijen geçirgenliğine sahip bir plastik kullanılarak mümkün olan en kısa sürede etkili bir sızdırmazlık sağlanmalıdır. Bank tipi siloların içini plastikle kaplamak, yemi plastikle kaplamak ve ardından üst katmana plastik eklemek şiddetle tavsiye edilmektedir. Tüm bu teknikler, koruma aşaması ve besleme aşaması sırasında kayıpları en aza indirme ve en yüksek kaliteyi koruma hedefine ulaşılmasına yardımcı olmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, daha etkili ve çevresel olarak sürdürülebilir sızdırmazlık örtüleri (yani biyolojik olarak parçalanabilen plastik), korumanın erken aşamasında (30 günden kısa sürede) aerobik stabiliteyi sağlayan uygun maliyetli katkı maddelerinin kullanımı, kaba yemleri daha verimli bir şekilde paketlemek için ekipman, bozulmuş üst silajı daha güvenli ve verimli bir şekilde çıkarmak için gerekli bazı yöntemler gibi kayıpları ve silaj kalitesini etkileyen sorunlara odaklanmalıdır (Borreani ve ark., 2018).

Silolamanın temel amacı, geviş getiren hayvanlar için besin değeri yüksek ana yem kaynağı olarak kullanılan kaba yemleri yıl boyunca hazır tutmak ve bu sayede hayvansal üretim sistemlerinin ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğini iyileştirmek olduğundan (Duniere ve ark., 2013), buğdaygil yem bitkisi, yonca ve mısır silajları yüksek besin değeri ve yüksek lif içeriği nedeniyle süt ineği rasyonlarının en yaygın kullanılan materyalleri arasında yer almaktadır. Dünyanın birçok

ülkesinde mısır silajı, günde yaklaşık 26 kg kuru madde tüketen ortalama bir süt ineğinin diyetinin %50-75'ini oluşturmaktadır (Driehuis ve ark., 2008; Dracley ve ark., 2006).

6. BİYOLOJİK VE KİMYASAL KATKILARIN KALİTEYE ETKİSİ

Laktik asit bakterilerinin gelişimini ve silaj kalitesini artırmak için alternatif yöntem, biyolojik ve kimyasal katkı maddelerini içeren silaj katkı maddeleridir. Esas olarak LAB veya enzim içeren biyolojik katkı maddeleri, arzu edilen LAB miktarını arttırmaya veya mevcut substratın laktik aside bozunmasına ve dönüştürülmesine yardımcı olmaktadır. Organik asitler, melas ve üre gibi kimyasal katkı maddeleri substratın artmasına ve pH değerinin düşmesine katkıda bulunmaktadır (Li ve ark., 2016).

Silolama kalitesi, suda çözünür karbonhidratların içeriği ve nem dahil olmak üzere birçok faktörden etkilenmektedir. Suda çözünür karbonhidratların içeriği, mikroorganizmalar tarafından organik asitlerin üretimi için birincil substrat olduğu için silolamada çok önemli bir faktördür. Ni ve ark. (2017), suda çözünür karbonhidratların içeriği, kuru maddenin %5'inden fazla olduğunda silaj kalitesinde bir iyileşme olduğunu bildirmişlerdir. Diğer birincil faktör olarak, %80'den fazla nem içeriği, silaj kalitesinde dikkate değer bir düşüşe neden olabilmektedir. Silo ortamı ve/veya silolamada kullanılan malzemelerin suda çözünür karbonhidratlar ve nem açısından silolama

gereksinimlerini karşılayamadığı durumlarda katkı maddeleri silaj kalitesini iyileştirmenin en yaygın yöntemlerinden birisidir. Silaj katkı maddeleri kimyasal veya biyolojik olmak üzere 2 gruba ayrılmaktadır. Biyolojik katkı maddeleri, laktik asit bakterileri (LAB) ve enzimlerin takviyesiyle yararlı bakteri sayısını doğrudan artırabilmekte veya substratın bozunmasını hızlandırabilmektedir (Wu ve ark., 2020). Kimyasal katkı maddeleri, LAB fermantasyonunu teşvik eder veya fermantatif ve fermantatif olmayan tipe ayrılabilen kimyasal madde ekleyerek zararlı mikrobiyal dönüşümü engellemektedirler. Fermantatif tipte katkı maddelerinin mekanizması, LAB'nin fermantasyonunu desteklemek, böylece istenmeyen mikroorganizmaları asitleştirmek ve bastırmak iken; fermente edici olmayan tipte katkı maddelerinin mekanizması, asetik veya bütirik asit fermantasyonunu engellemektir. Fermantatif tip katkı maddeleri, arzu edilen LAB'nin büyümesini kolaylaştırmak için karbonhidratların ve fermantatif substratların konsantrasyonunu artıran glikoz, sükroz ve melası içermektedir (Prochnow ve ark., 2009). Glikoz ve sülfürik asit, sırasıyla fermantatif ve fermente olmayan katkı maddelerinden bazılarıdır. Glikoz sadece substrat konsantrasyonunu arttırmakla kalmaz, aynı zamanda silolamanın başlangıç aşamasında istenmeyen mikrobiyal aktivite nedeniyle suda çözünür karbonhidratların kaybını da telafi etmektedir. Sülfürik asit, uzun yıllardır silaj katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Wu ve ark., 2020).

Birkaç yıl öncesine kadar sodyum benzoat ve potasyum sorbat, silaj üretiminde kullanılamayacak kadar pahalı oldukları için çoğunlukla

gıda sektöründe kullanılmaktaydı. Sodyum benzoatın fiyatı son zamanlarda birçok ülkede düşerek rekabet gücünü artırmıştır. Bu tuzlar çeşitli silaj ilaveleri olarak kullanılmakta ve propiyonatlarla karışımlarda bulunabilmektedir. Kombi aşılایıcılar da yakın zamanda kullanıma sunulmuştur. Bu aşılایıcılarda hem *Lactobacillus buchneri* hem de daha geleneksel homofermantatif suşlar bulunmaktadır. Etkili bir fermantasyon ve silaj pH'sında hızlı bir düşüşü teşvik etmek için, homofermantatif suşların erken fermantasyona hâkim olması istenmektedir. *L. buchneri*, aktif fermantasyondan sonra bir miktar laktik asidi kademeli olarak asetik aside dönüştürmektedir. Organik asitler, *L. buchneri* aşılایıcılarından daha pahalı olabilir. Ancak, silajın kısa bir depolama süresinden sonra hayvanlara verilmesi gerektiği durumlarda mevcut aşılایıcılar kötü bir seçimdir, çünkü aerobik stabilitede önemli ilerleme sağlamak için en az 45 ila 60 günlük depolamaya ihtiyaç duymaktadırlar. Aşılایıcılar, çoğunlukla ürünün epifitik popülasyonundan kaynaklanan dalgalı rekabet seviyeleri nedeniyle her zaman başarılı olamamaktadırlar. Maliyet nedeniyle, üreticiler, ürünün etkinliğini tehlikeye atarak kimyasal katkı oranlarını düşürme eğiliminde olabilmektedirler. Bu katkı maddelerinin maya aktivitesini nadiren engellediğini bilmek önemlidir. Etkili olabilmesi için bu katkı maddelerinin diğer yönetim teknikleriyle birlikte kullanılması gerekmektedir (Borreani ve ark., 2018).

KAYNAKLAR

- Acosta Aragon, Y., Jatkauskas, J., Vrotniakiene, V. 2012. The effect of a silage inoculant on silage quality, aerobic stability, and meat production on farm scale. *International Scholarly Research Notices*.
- Adesogan, A.T. 2014. Avoiding the two greatest silage problems. In *Proceedings of the 50th Florida Dairy Production Conference*, p. 9-17.
- Alonso, V.A., Pereyra, C.M., Keller, L.A.M., Dalcero, A.M., Rosa, C.A.R., Chiacchiera, S.M., Cavaglieri, L.R. 2013. Fungi and mycotoxins in silage: an overview. *Journal of Applied Microbiology*, 115(3): 637-643.
- Bolsen, K.K. 2006. Silage management: common problems and their solution. In *Tri-State Dairy Nutrition Conference*, Wayne, IN, p. 83-93.
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R.J., Holmes, B.J., Muck, R.E. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 3952-3979.
- Brüning, D., Gerlach, K., Weiß, K., Südekum, K.H. 2018. Effect of compaction, delayed sealing and aerobic exposure on maize silage quality and on formation of volatile organic compounds. *Grass and Forage Science*, 73(1): 53-66.
- Drackley, J.K., Donkin, S.S., Reynolds, C.K. 2006. Major advances in fundamental dairy cattle nutrition. *Journal of Dairy Science*, 89(4): 1324-1336.
- Driehuis, F., Elferink, S.O. 2000. The impact of the quality of silage on animal health and food safety: a review. *Veterinary Quarterly*, 22(4): 212-216.
- Driehuis, F., Elferink, S.O., Spoelstra, S.F. 1999. Anaerobic lactic acid degradation during ensilage of whole crop maize inoculated with *Lactobacillus buchneri* inhibits yeast growth and improves aerobic stability. *Journal of Applied Microbiology*, 87(4): 583-594.
- Driehuis, F., Spanjer, M.C., Scholten, J.M., Te Giffel, M.C. 2008. Occurrence of mycotoxins in maize, grass and wheat silage for dairy cattle in the Netherlands. *Food Additives and Contaminants*, 1(1): 41-50.

- Duniere, L., Sindou, J., Chaucheyras-Durand, F., Chevallier, I., Thévenot-Sergentet, D. 2013. Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, 182(1-4): 1-15.
- Halliday, L. 2007. Ensiling potatoes. Prince Edward Island, Canada, Agriculture and Fisheries. http://www.gov.pe.ca/photos/original/af_fact_ensipot.pdf
- Hoffman, P.C., Shaver, R.D., Combs, D.K., Undersander, D.J., Bauman, L.M., Seeger, T.K. 2001. Understanding NDF digestibility of forages. *Focus on Forage*, 3(10): 1-3.
- Keller, L.A.M., Keller, K.M., Monge, M.P., Pereyra, C.M., Alonso, V.A., Cavaglieri, L.R., ... & Rosa, C.A. 2012. Gliotoxin contamination in and pre-and postfermented corn, sorghum and wet brewer's grains silage in Sao Paulo and Rio de Janeiro State, Brazil. *Journal of Applied Microbiology*, 112(5): 865-873.
- Keller, L.A.M., Pereyra, M.G., Keller, K.M., Alonso, V.A., Oliveira, A.A., Almeida, T. X., ... & Rosa, C.A.R. 2013. Fungal and mycotoxins contamination in corn silage: Monitoring risk before and after fermentation. *Journal of Stored Products Research*, 52: 42-47.
- Kolver, E.S., Roche, J.R., Miller, D., Densley, R. 2001. Maize silage for dairy cows. In *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, p. 195-201.
- Kumari, M.B. 2017. Silage: The Conserved Fodder. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 6(2): 2319-1473.
- Kung Jr, L. 2010. Aerobic stability of silage. In *Proc. 2010 California Alfalfa and Forage Symposium and Crop/cereal Conference*, Visalia, CA, USA, Vol. 2.
- Li, C., Liu, G., Nges, I. A., Liu, J. 2016. Enhanced biomethane production from *Miscanthus lutarioriparius* using steam explosion pretreatment. *Fuel*, 179: 267-273.
- Mahanna, B. 2000. Corn Silage: Managing and Feeding The "TMR Plant". *Crop Management Research and Technology*, Pioneer Hi-Bred International, Inc.
- Mickan, F.J., Martin, M.D., Piltz, J.W. 2003. Silage storage. *Successful Silage*, 2: 217-252.

- Ni, K., Wang, F., Zhu, B., Yang, J., Zhou, G., Pan, Y. I., ... & Zhong, J. 2017. Effects of lactic acid bacteria and molasses additives on the microbial community and fermentation quality of soybean silage. *Bioresource Technology*, 238: 706-715.
- Pathak, P.K., Singh, S.K., Sahay, C.S., Sharma, R.K., Chaudhary, M., Maity, A. 2016. Compendium of lecture notes of summer school on “Recent approaches in crop residue management and value addition for entrepreneurship development” from July 14-August 03, 2016. ICAR-Indian Grassland and Fodder Research Institute, Jhansi, (UP), 263.
- Pereyra, M.L., Chiacchiera, S.M., Rosa, C.A., Sager, R., Dalcerro, A.M., Cavaglieri, L. 2011. Comparative analysis of the mycobiota and mycotoxins contaminating corn trench silos and silo bags. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(8): 1474-1481.
- Prochnow, A., Heiermann, M., Plöchl, M., Linke, B., Idler, C., Amon, T., Hobbs, P.J. 2009. Bioenergy from permanent grassland—A review: 1. Biogas. *Bioresource Technology*, 100(21): 4931-4944.
- Vissers, M.M.M., Driehuis, F., Te Giffel, M.C., De Jong, P., Lankveld, J.M.G. 2006. Improving farm management by modeling the contamination of farm tank milk with butyric acid bacteria. *Journal of Dairy Science*, 89(3): 850-858.
- Wang, Y.L., Wang, W.K., Wu, Q C., Zhang, F., Li, W.J., Yang, Z.M., ... & Yang, H.J. 2022. The effect of different lactic acid bacteria inoculants on silage quality, phenolic acid profiles, bacterial community and in vitro rumen fermentation characteristic of whole corn silage. *Fermentation*, 8(6): 285.
- Wu, P., Li, L., Jiang, J., Sun, Y., Yuan, Z., Feng, X., Guo, Y. 2020. Effects of fermentative and non-fermentative additives on silage quality and anaerobic digestion performance of *Pennisetum purpureum*. *Bioresource Technology*, 297: 122425.
- Yadav, S.D. 2021. Silage. *Livestock Production Management College of Veterinary Science*. NDVSU. India.

BÖLÜM 7

SİLAJDA FİZİKSEL VE KİMYASAL ANALİZLER

Doç. Dr. Gülşah BENGİSU¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449230>

¹ Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa E-mail: gbengisu@hotmail.com, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-1214-0011>

1. GİRİŞ

Besi hayvanlarının verimi, hayvanlara sunulan rasyonun besin bileşimine olduğu kadar yem içeriğinin kalitesine de bağlıdır. Besleme uzmanı çiftlik hayvanlarının üretim potansiyelini değerlendirirken, rasyon bileşiminin üretim potansiyelini sınırlayan bir faktör olup olmadığını belirlemesi gerekmektedir. Bunun için, yem kalitesinin ve dağıtımının doğru bir şekilde değerlendirilmesi gerekir. Yemler ve dağıtılan rasyon hakkında mümkün olduğunca eksiksiz bilgiye sahip olmak, beslenme uzmanının bu belirlemeyi yapmasına yardımcı olacak ve sınırlayıcı faktörlerin belirlenmesine olanak sağlayacaktır (Ward, 2011).

Silaj problemleri genellikle ideal silolama yönetimi uygulamalarından bazılarının ihmal edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durumlar, ürünlerin uygun olmayan nem, olgunluk, sıkıştırma, sızdırmazlık sağlama ve silodan yem alma durumlarını içermektedir. Aerobik olarak stabil olmayan Clostridial silajlar, silajla beslemede en yaygın karşılaşılan sorunlardandır. Silaj fermantasyonunda aerobik ve anaerobik bakteriler yer almaktadır. Silo doldurulurken ve yem alımı sırasında aerobik aktivite oluşmaktadır. İyi bir silo yönetimi ile aerobik aktiviteyi en aza indirerek kuru madde kayıpları azaltılabilmektedir. Enerji açısından zengin şekerlerin oksidasyonu, yem proteinine zarar verebilecek şekilde aşırı ısı üretmektedir. İyi bir silo yönetimi ayrıca, suda çözünür karbonhidratların silaj asitlerine anaerobik dönüşümünü en üst düzeye çıkarmaktadır, böylece pH'ı bozulmaya neden olan

organizmalar için uygun olmayan bir aralığa düşürmektedir. Bu dönüşüm, anaerobik hetero- ve homofermantasyondan kaynaklanmaktadır (Seglar, 2003).

2. ANALİZ HEDEFLERİNİ BELİRLEMEK

Besi hayvanlarına verilen yemler, sığır, koyun ve keçilerden elde edilen süt ve et bileşimini etkileyen en önemli üretim faktörlerinden birisidir (Prache, 2007). Örneğin, merada beslenen kuzuların etinin duyuşal ve besleyici özelliklerinin konsantre yemle beslenen kuzulardan farklı olduğu bilinmektedir (Priolo ve ark., 2003). Bu nedenle, hayvan beslenmesinde kullanılan yemlerin içeriğini belirlemek günümüzde bilim adamları, düzenleyici devlet kurumları, ticari kuruluşlar, çiftlikler ve tüketiciler için büyük bir zorluk haline gelmiştir (Prache, 2007). Yemlerin fiziksel, kimyasal ve DNA analizini temel alan çeşitli yöntemler önerilmektedir. Bununla birlikte, bu yöntemlerin hepsi pahalıdır, analizler için özel ekipman gerektirir ve çok sayıda numune analiz edildiğinde zaman alıcıdır. Ayrıca, bitki DNA'sı silolama ve yem işleme (örn. ısıtma) sırasında bozulabilmektedir (Flachowsky ve ark., 2007). Esasen, yemlerin besleme değerlerinin belirlenmesinde hangi analiz yöntemlerinin kullanılacağı, hangi özelliklerin incelenmesi gerektiği, analiz yöntemlerinin amaçlarını ve hedeflerini tanımlamak gerekmektedir. Analiz hedefleri aşağıdaki dört kategoride özetlenebilir (Ward, 2011):

- 1) Görsel değerlendirme
- 2) Rasyonu dengelemek için gereken besin ilavelerinin tespiti
- 3) Pazarlama
- 4) Silaj üretim sürecinin kontrolü

Tüm bu kategorilerdeki hedefleri karşılamak amacıyla geleneksel olarak, yemlerin besin içeriğinin belirlenmesine önem verilmiştir. Bu değerler doğası gereği niceldir ve nitel değerlendirmelere kıyasla daha kolay tanımlanmakta ve ölçülmektedir. Bununla birlikte, hayvan performansı ile ilgili olarak nitel değerlendirmelerin daha büyük öneme sahip olduğu bilinmektedir. Niteliksel değerlendirmeler, yemin başarılı yönetimi, hasat ve depolama hakkında, niceliksel besin ölçümlerinden daha fazla yorum yapabilmeyi sağlar (Ward, 2011).

3. SİLAJLARIN KALİTATİF VE KANTİTATİF ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Çiftçiler için silajın kalitesi (veya besleme değeri) genellikle ham protein (HP) veya toplam sindirilebilir besin maddeleri gibi basit bir indeksle ölçülebilmektedir. Ne yazık ki, bu endeksler yalnızca hasattaki büyüme aşamasını yansıtmakta ve silaj fermantasyonunu karakterize etmemektedir. Silajın besleme değeri öncelikle sindirilebilirlik olarak belirlenirken, yine de silaj fermantasyonundan etkilenmektedir. Bu nedenle, silaj kalitesinin doğru bir şekilde belirlenmesi amacıyla kapsamlı bir dizi kimyasal analiz yapılması gerekmektedir. Maliyet ve zaman, rutin olarak bu analizlerin birçoğunu engellemektedir; bununla

birlikte, karmaşık analizlere olan ihtiyacı ortadan kaldırmak ve yine de her şeyi kapsayan bir besleme değeri ölçüsü (alım potansiyeli, sindirilebilirlik, fermantasyon profili) sağlamak için yeni metodolojiler geliştirilmektedir. Bunlara "Yakın kızılötesi spektroskopi" ve "Elektromerik titrasyon" (electromeric titration) gibi yöntemler örnek olarak verilebilir. Genel olarak, üreticiler ürün olgunluğu (sindirilebilirlik) hakkında yeterli bir bilgiye sahip olurlarken, silaj fermantasyonu hakkında çok zayıf bir bilgi edinebilmektedirler (Charmley, 2001).

Bir silajın besleme değeri belirlenirken, protein veya NDF miktarı gibi önemli bazı niceliksel özelliklere bakılması çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu değerler, rasyonları dengelemek için önemli olmakla birlikte, silolama veya kaba yemin çiftlik hayvanları tarafından alımı ile ilgili olarak yem kalitesini belirlemede genellikle çok önemli faktörler değildirler. Hayvan verimi, önemli ölçüde hayvanın yemi tüketmesine ve sonuçta ortaya çıkan kuru madde alımına bağlıdır. Yüksek düzeyde kuru madde alımıyla ilgili olarak yemin kalite faktörleri, değerlendirilmesi gereken en önemli faktörler olmalıdır. Bu faktörler aynı zamanda genellikle depolama ve hayvan besleme işlemleri sırasındaki yüksek kuru madde seviyeleri ile ilişkilendirilmektedir. Tarladan hayvanların beslenme sürecine kadar kuru madde kaybı optimum koşullar altında %10-15 arasında iken, yönetimin zayıf olduğu durumlarda kuru madde kaybı %20-40 seviyesine kadar çıkmaktadır. Bu durum, hayvan performansındaki düşüşün yanı sıra yem besin maddelerinden ciddi bir ekonomik kayba

sebeptir. Dikkate alınması gereken önemli niteliksel faktörler; kuru madde oranı, fermantasyon asit seviyeleri, amonyak, lif sindirilebilirliği, ham kül ve yem partikül boyutudur. Yem laboratuvarları, üreticilere bu nitel özelliklerin belirlenmesi hizmetlerinin çoğunu geleneksel nicel özelliklerin belirlenmesi ile birlikte sunabilmelidir (Ward, 2011).

4. SİLOLARDA TEST EDİLECEK ALANLARIN BELİRLENMESİ

Hayvan besleme öncesi, besleme yapılacak silo yüzeyini görsel olarak incelemek gerekmektedir. Tüm yüzeyden her gün en az 15 cm besleme yapıp yapılmadığı ve silaj yüzeyinin temiz olup olmadığı belirlenmelidir. Ardından siloda, iyi sıkıştırılmış alanlara kıyasla zayıf sıkıştırılmış alanlar, bariz küf bulunan yerler ve belirgin renk değişiklikleri gibi problemliler yerler belirlenmelidir.



Şekil 1: Silaj Çukurunda Temsili Numune Alınacak Noktalar (Noelia, 2017)

Silajların pH ve sıcaklık testleri bu bölgelerde yapılmalı ve bir deftere kaydedilmelidir. Aerobik bozulmadan şüpheleniliyorsa, tespit için yüzeyde ve silaj kütesinin 60-90 cm derinliğinde pH ve sıcaklık ölçümleri yapılmalıdır (Seglar, 2003).

5. SİLOLARDAN ÖRNEKLEME

Silajlarda yapılacak olan örnekleme genellikle analiz sürecindeki en büyük varyasyon kaynağıdır. Tarladaki yemden numune alma işlemi, yemin türüne ve yemdeki dane varlığına göre değişmektedir. Numune alınması en zor yem, iri habituslu bitkilerden elde edilmiş yemler ve büyük oranda dane bileşenine sahip yemlerdir. Kıyılmış çok büyük bir yem kütesinden küçük bir numune alırken, tarladaki biçilmemiş yemden numune almaya kıyasla daha fazla numune alma hatası yapma ihtimali bulunmaktadır (Cherney ve Cherney, 2003).

Başarılı bir yem analizinin anahtarı, çiftlikte iyi, örnek bir yem numunesi almaktır. Laboratuvar analizi, gönderilen yem örneğinin kalitesini belirleyebilir, ancak gönderilen örnek yem hayvanlarınıza yedirdiğiniz yemi gerçekten temsil etmiyorsa, analiz sonuçları dengeli bir rasyon oluşturulmasına yardımcı olamamaktadır. Yem analizlerindeki en büyük hata, çiftliklerde yanlış örnekleme yönteminin seçilmesidir. Her silaj partisinden temsili bir yem numunesi alınmalıdır. Bu numuneler, tarlaların farklı yerlerinde ve hasat süresince meydana gelen yem kalitesindeki değişimi yansıtacaktır. Silolanan yemlerde yaprak, sap, yabancı ot ve diğer materyallerin dağılımı yeknesak

değildir. Bir silo içerisinde bulunan yemdeki tabakalaşma bilgisi, analiz için gereken örnekleme sayısı açısından kritik öneme sahiptir (Undersander ve ark., 2005).

5.1. Kule Tipi Silolardan Silaj Örneklerinin Alınması

Kule tipi silolarda fermantasyon tamamlanana kadar beklenmelidir. Önce 60-90 cm kalınlığındaki üst katmanda bulunan bozulmuş silaj sıyırılmalı ve kenara atılmalıdır. Ardından alt kısımdaki materyalden alınan numune, çalışan silo boşaltıcıdan 0,5-1 kg civarındaki silaj numunesi ve aynı günün sabah ve akşam saatlerindeki besi hayvanlarına verilen yemden alınan numuneneler birleştirilmeli ve iyice karıştırılmalıdır. Numunenin tamamını temiz bir plastik torbaya veya başka bir kaba konulmalı ve sıkıca kapatılmalıdır. Numuneler laboratuvara sevk edilene kadar bir dondurucuda veya başka soğuk bir yerde saklanmalıdır. Her numune kabına numunenin alındığı çiftliğin adı, adresi, numune numarası ve yem türü bilgisi etiketlenmelidir (Undersander ve ark., 2005).

5.2. Bank Tipi Silolardan Silaj Örneklerinin Alınması

Bank tipi siloların ön yüzeylerinden numunenin elle alınması, örnek siloyu iyi temsil etmediğinden ve güvenlik endişeleri nedeniyle önerilmemektedir. Bir yükleyici kovası veya silaj tıraş makinesi kullanarak, bank tipi silonun zemininde bir silaj yığını oluşturmak için -dikey veya yatay olarak- dikkatli bir şekilde yüzey boyunca silaj kazınmalıdır. Silonun tepesindeki bozulmuş malzemeyi, numune alınan

yığının içerisine kazımamak gerekmektedir. Hayvanlar toplam karma rasyon (TMR) ile besleme yapılıyorsa, bank tipi silolarındaki silaj TMR karıştırıcıya yüklenmeli ve iyice karıştırılmalıdır. Karıştırıcıdan dağıtıldığı şekliyle iki ila üç avuç numune alınmalıdır. Hayvanlar TMR ile beslenmiyorsa (veya alternatif olarak), bank tipi siloların yüzeyinden kazınan veya tıraşlanan yığından beş ila sekiz avuç numune alınmalı, 20 litrelik bir kovada birleştirilmeli, iyice karıştırılmalı ve analiz için temsili bir numune alınmalıdır. Temiz bir plastik torbaya veya başka bir kaba toplam 0,5-1 kg numune konulmalı ve sıkıca kapatılmalıdır. Her kaba numunenin alındığı çiftliğin adı, adresi, numune numarası ve yem türü (örn. yonca, yonca-çayır kelp kuyruğu, kırmızı üçgül vs.) ile etiketlenmelidir. Daha sonra numune analiz için laboratuvara gönderilmeli ve gerekirse, sevk tarihine kadar bir dondurucuda veya soğuk bir yerde saklanmalıdır (Undersander ve ark., 2005).

5.3. Silo Torbalarından Silaj Örneklerinin Alınması

Silo torbalarından numune alımında, numune elle alınıyorsa, numuneler doğrudan torbanın ön yüzünden güvenli bir şekilde alınabilir ve bu, temsili bir numune olmaktadır. Numune alımında kullanılan yöntemler: 1) Silaj yüzeyi boyunca farklı konumlardan birkaç avuç numune toplanmalıdır. Silaj torbadan çıkarıldıktan sonra, toplam 10 silaj örneği almak için numune lokasyonlarının sayısını artırmak amacıyla açığa çıkan yeni yüzeyden elle alınan ikinci bir numune seti oluşturulabilmektedir. 2) Tüp torba boyunca, çeşitli mesafelerde tüpün

kenarlarından 8 ila 10 karot numunesi alınmalıdır. Örneklemeden sonra plastikteki delikler bant ile kapatılmalı ve tüm örnekler 20 litrelik bir kovada birleştirilmeli, iyice karıştırılmalı ve analiz için temsili bir örnek alınmalıdır. Temiz bir plastik torbaya veya başka bir kaba toplam 0,5-1 kg numune konulmalı ve sıkıca kapatılmalıdır. Her numune kabı etiketlenmeli ve soğuk bir yerde saklanmalıdır (Undersander ve ark., 2005).

5.4. Balyalardan Silaj Örneklerinin Alınması

Küçük dikdörtgen balyalardan numune almak için en iyi yer uçlardan birinin ortasıdır. Yem partisinden verimli bir şekilde numune almak için silaj partilerinin eksiksiz bir envanteri tutulmalıdır. Farklı araştırma çalışmalarından elde edilen verilere göre, orta ve büyük kare balyaların, küçük kare balyalarda olduğu gibi uçlardaki yaprak ve gövde dağılımında değişiklik olmamaktadır. Bu nedenle, orta ve büyük kare balyalar, balya uçlarının veya yanlarının herhangi bir yerinden (yana 45 derecelik bir açıyla) örneklenebilmektedir. Yuvarlak balyalardan balya çevresine dik olarak numune alınmalıdır. Yuvarlak balyaların yüzeyinde bozulma/küf varsa ve doğrudan beslemede kullanılacaksa (örneğin, bir TMR'ye karıştırılmayacaksa), hayvanlar balyaların o kısmını muhtemelen tüketmeyeceklerinden, dıştaki bozuk tabaka atılarak numune alınmalıdır (Undersander ve ark., 2005).

Hatayı azaltmak için bir "karot örnekleyici" kullanılarak "balyanın göbeği"nden numune alınabilmektedir. Karot örnekleyicinin iç çapı en

az 3/8 inç ve uzunluğu 12 ila 24 inç olmalıdır. Karot örnekleyici, değişken hızlı 1/2 inçlik bir matkapla veya kol kuvvetiyle çalışmaktadır.



Şekil 2. Büyük Kare Balya Silajı (Sinch, 2023)

Matkap veya desteği kullanılarak, karot örnekleyiciyi 90 derecelik bir açıyla küçük kare balyaların ucunun merkezine veya yuvarlak balyaların kavisli kenarlarına yerleştirilmelidir. Orta ve büyük kare balyalar için, örnekleyiciyi uçta 90 derecelik bir açıyla veya kenar boyunca herhangi bir yerde 45 derecelik bir açıyla yerleştirilmelidir. Numunenin tamamı temiz bir plastik torbaya veya başka bir kaba konulmalı ve sıkıca kapatılmalıdır. Örnekler bölünmemeli ve her numune kabı etiketlenmelidir (Undersander ve ark., 2005).

6. SİLAJLARIN FİZİKSEL ANALİZİ

Silajların fiziksel değerlendirme ekipmanları şunlardır: 1) pH ölçer veya turnusol kâğıdı, 2) Sıcaklık ölçüm sondası, 3) Nem ölçer veya mikrodalga nem test cihazı, 4) Silaj yoğunluk probu, 5) Penn State yem parçacık ayırıcı elekleri ve 6) Tartı (Seglar, 2003).

Silajlarda yürütülen fiziksel ve kimyasal analizler şunlardır: yoğunluk ölçümü, nem ölçümü, pH ölçümü, yem parçacık boyutunun belirlenmesi, kuru madde tayini, ham protein, ADF, kül, lif sindirilebilirliği, fermentasyon analizi ve amonyak analizi.

6.1. Silaj Yoğunluk Ölçümleri

Silaj kütlelerinin yoğunluğu silaj kalitesini etkileyen en önemli faktördür. Yoğun silajlarda gözeneklilik ve hava içeriği azdır. Bu, bozulmayı ve kuru madde kaybını azaltmakta ve aynı hacimde daha fazla kuru madde depolanmasını sağlayarak depolama maliyetini azaltmaktadır. Silaj yoğunluğu, anaerobik fermantasyon ve aerobik stabilitedeki ana faktörlerden birisidir (Zaharia ve ark., 2009). Silolanmış malzemenin daha fazla sıkıştırılması, havayı dışarı atarak ve fermantasyon için anaerobik koşullar sağlayarak daha büyük özgül kütle sağlamaktadır. Silajların özgül kütlelerini değerlendirmek için doğrudan yoğunluk ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır. Çoğunlukla bir silaj hacminin yem kütlelerinin belirlenmesinde elde edilen değerler kg/m^3 doğal veya kuru madde olarak ifade edilmektedir. Ancak bu yöntem, numunenin hacminin ölçülmesini, uygun bir tesise götürülmesini ve etüvde en az

24 saat kurutulmasını gerektirmektedir. Karmaşık ekipman gerektiren daha hızlı, dolaylı bir yöntem, bu tür verilerin saha koşullarında toplanmasını kolaylaştırmayı amaçlamaktadır (De Carvalho & Moro, 2017). Hayvan besleme aşamasında yoğunluğu ölçmek için standart prosedür; besleme yüzeyinin farklı bölümlerini temsil edecek noktalardan bir sondayı besleme yüzeyine sokarak silaj numunesi almaktır. Alınan numune, probdan kuvvetli bir şekilde çıkarılmalı, ardından ağırlığı ve kuru madde içeriği belirlenmelidir. Numunenin hacmini belirlemek için probun çapı ve besleme deliğinin derinliği ölçülmelidir. Bank veya yığın tipi silolarda yoğunluğu ölçmek zor olabilmektedir. Doldurma işlemi sırasında yoğunluğu değerlendirmek için mevcut kesin yöntemler bulunmamaktadır (Borreani ve ark., 2018).



Şekil 3: Yoğunluk Ölçümünde Penetrometre Kullanımı
(De Carvalho ve Moro, 2017)



Şekil 4: Yoğunluk Ölçümünde Silindir Ve Motorlu Testere Kullanımı
(De Carvalho ve Moro, 2017)

6.2. Silajlarda Sıcaklık Ölçümü

60-90 cm uzunluğundaki sıcaklık problemleri, yüzeydeki silaj sıcaklıklarını silonun derinlikleriyle karşılaştırmak açısından kullanışlıdır. Bu okumalar, pH ölçümleriyle aynı konumlardan alınmalıdır. Genellikle, besleme yapılan silo yüzeyinde sorunlar varsa, o yüzeyin 60-90 cm arkasında düşük sıcaklıklar (ve daha düşük pH), yüzeyde ise daha yüksek sıcaklıklar (ve daha yüksek pH) mevcuttur. Bu tip bulgular, aerobik maya aktivitesinin sürdüğünü ve aerobik kararsızlığa neden olduğunu göstermektedir. Silo boyunca var olabilecek çeşitliliği ölçmek için silonun çeşitli yerlerinden ve silonun ön yüzünden sıcaklık okumaları yapılmalıdır. Temassız termometreler, birçok silo yüzeyinde sıcaklık değerlerinin toplanması için uygundur. Büyük depolama yapıları, daha küçük depolama yapılarına kıyasla ısıyı daha uzun süre

tutacaklardır. Çeşitli silo konumlarındaki sıcaklık ölçümleri daha sonra başvurmak üzere bir deftere kaydedilmelidir (Seglar, 2003).

6.3. Yem Parçacık Boyutunun Belirlenmesi

Penn State Separator sistemi, silajın parçacık uzunluğu dağılımının belirlenmesini sağlamaktadır. İdeal parçacık uzunluğu, siloda iyi bir fermantasyon sağlamak için yeterince kısa, ancak yine de besi hayvanına etkili lif sağlamak için de yeterince uzun olmalıdır. Elekler, silodaki parçacık uzunluğu dağılımını belirlemek için kullanılabilir. Hayvansal üretimde sorunlar ve özellikle hayvanlarda sağlık sorunları varsa toplam karma rasyonun (TMR) parçacık uzunluğu dağılımı incelenmelidir. Çoğunlukla, hayvansal verim ve sağlık sorunlarının silaj fermantasyon problemlerine bağlı olduğu düşünülürken, gerçekte bu durum partikül uzunluğu sorunlarından kaynaklanmış olabilir ve bunlar rasyonda istenilenden daha az etkili lif seviyelerine neden olurlar ve sağmal ineklerde subakut ruminal asidoz semptomlarına neden olabilmektedir. Silodan çıkarılan silajlarda partikül ayırma testleri yapılmalı ve bu bulgular besleme amacıyla hayvanlara verilen toplam karma rasyonlarının partikül ayırma sonuçları ile karşılaştırılmalıdır. Silaj parçacık uzunlukları yeterli ise ve TMR parçacık uzunluğu idealden küçük ise, TMR karıştırıcısında yem bileşenlerinin aşırı karıştırıldığı sonucuna varılabilmektedir. Genellikle, besleme amacıyla hayvanlara verilen günlük TMR'lerin izlenmesi, yem karıştırma operatörünün günlük tutarlı TMR partilerini hazırlama becerisini artırmaktadır. Ayırıcı

eleklerin başka bir kullanımı, taze TMR'nin ret edilen TMR'yle karşılaştırılmasını sağlamasıdır. Bu karşılaştırma, ineklerin rasyondaki konsantre yemleri tercih ederek uzun saplı yemleri ayırıp ayırmadığını belirlemeye olanak tanımaktadır. Genelde uzun parçacıkların üst elektteki kısmı dikkat çekse de, asıl hayvan sağlığını ve üretkenliğini etkileyen küçük parçacıklardaki dağılımdır. En küçük parçacıklar ya hızla fermente edilerek asidoz koşullarına katkıda bulunurlar ya da mikrobiyal verime katkıda bulunmadan işkembeden geçerek üretkenliği tehlikeye atmaktadırlar (Seglar, 2003).

Penn State yem parçacık ayırıcısı, yemlerdeki ve toplam karma rasyonlardaki yem parçacıklarının boyutunu belirlemek için mevcut bir dizi araçtan birisidir. Eşsiz olmasa da bu araç, saha veya laboratuvar personeli tarafından kolayca partikül boyutu karakterizasyonuna imkân tanımaktadır. Nemli silaj numuneleri, iki veya üç elekten oluşan bir set aracılığıyla elle çalkalandıktan sonra elde edilen fraksiyonlar tartılmakta ve toplamın yüzdesi olarak tanımlanmaktadır. Çok ince öğütülmüş yemler ineği yeterince çiğnemeye teşvik etmeyecek ve böylece işkembe için tamponlama etkisi yaratmayacak ve lifli yem malzemesini işkembede tutmak için yeterli bir işkembe örtüsünün gelişimini teşvik etmeyecektir. Çok kaba yem, yemlikteki rasyonun potansiyel olarak ayrışmasına yol açacaktır. Kaba kıyılmış malzemeler siloda iyi bir şekilde sıkıştırılmayacak ve potansiyel olarak daha az verimli fermantasyona ve zayıf bir kuru madde muhafazasına yol açacaktır (Ward, 2011).



Şekil 5: Penn State Separator (Parçacık Ayırıcısı)

6.4. Nişasta Parçacık Boyutunun Belirlenmesi (Mısır Silajı İçin)

Mısır silajının kalitesinin belirlenmesinde, kimyasal ve fiziksel özellikler açısından farklılık gösteren hem danenin hem de kabuğun değişken kısımlarını içerdiğinden, ciddi zorluklar yaşanmaktadır. Birçok mısır silajı %40 ila %50 arasında mısır tanesi içermektedir. Mısır silajı tanesindeki nişastanın varlığı değişkendir ve tanenin kimyasal bileşimi, nem, fermentasyon süresi, mısır partikül boyutu ve kırılabilirliğinden etkilenmektedir. Mısır tanesinin parçacık boyutu ve kırılabilirliğinin iştahta sindirilen mısır miktarı, iştahdaki nişasta bozunma hızı ve toplam sindirim sisteminde sindirilebilirliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Mısır silajı parçalanma indeksi (mısır silajı işleme skoru veya CSPA), mısır silajında danenin işleme düzeyini belirlemek için bir teşhis aracıdır. Bunun belirlenme aşamasında yaklaşık 600 ml kurutulmuş mısır silajı bir dizi elekten geçirilerek çalkalanır. 4.75 mm'lik elekten geçen nişasta oranı "işleme puanı" veya "fragmentasyon" indeksi olarak bilinmektedir. %10 ila %15 gibi düşük

ve >%90 gibi yüksek değerlerle anlamlı bir aralık olabilmektedir. Bu endekse göre numuneler, yeterince işlenmemiş, potansiyel olarak rumen fonksiyonunu, toplam kanal nişasta sindirilebilirliğini ve süt üretimini etkiliyor olarak değerlendirilebilir (Ward, 2011).

7. SİLAJLARIN KİMYASAL ANALİZLERİ

7.1. Kuru Madde (KM) Analizi

Silajın kuru madde oranı %20 ile %80 arasında değişebilmektedir (Charmley, 2001). Tarlada yem bitkisi kuru madde içeriğinin doğru belirlenmesi başarılı silaj yapımının temel kriteridir (Cherney ve Cherney, 2003). Yemin nem içeriği, hayvanlara yedirilen yemin ağırlığı ile yemi kurutma işleminin tamamlanmasından sonraki toplam kuru madde (KM) ağırlığı arasındaki farktan oluşmaktadır (Seglar, 2003). Kuru madde, yemin kurutularak tüm su uzaklaştırıldıktan sonraki kalan malzemelerdir. Tüm besin analizleri kuru madde içeriğine dayanmaktadır. ICARDA'nın Hayvan Besleme Laboratuvarında, hayvan yeminde nemin belirlenmesine yönelik AOAC (1995) yöntemi, laboratuvarında aşağıdaki işlemlerden oluşmaktadır (Zaklouta, 2011):

Prosedür

- Boş porselen krozeler gece boyunca 105 °C'de kurutulur
- Desikatörlerde oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur
- Fırında kurutup kroze ağırlığı belirlenir (Wt)
- Yaklaşık 2 g öğütülmüş numune eklenir; ağırlığı kaydedilir (Ws)
- 105°C'de gece boyunca kurutulur

- Desikatörlerde oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur
- Fırında kurutulmuş kroze+numune tartımı yapılır (W0)

Hesaplamalar

$$\%DM = [(W0-Wt)/Ws] \times 100$$

Ekipman

- Hassas terazi
- Hava sirkülasyonlu fırın
- Kurutucu
- Porselen krozeler (Zaklouta, 2011).

7.2. Kül Analizi

Bir yemin kül içeriği, tüm minerallerin toplam miktarının bir ölçüsüdür. Yüksek kül içeriği, toprakta oluşan mayaların ve klostridial organizmaların, silajın fermantasyonunu ve aerobik stabilitesini tehlikeye atacak şekilde silaj ürünlerine dahil edilmiş olabileceğini göstermektedir. Kül oranının yüksek olması, öncelikle toprak kontaminasyonundan kaynaklanmaktadır. Buna genellikle yüksek demir seviyeleri eşlik etmektedir. Yüksek kül içeriğinin nedenleri arasında zemine yakın ayarlanmış biçme makineleri, yağmurdan yığın sıralarına çamur sıçrama, alçak seviyede ayarlanmış dişlerle tırmıklama, ekili ürünleri su basması ve bank tipi siloları doldurma veya besleme sırasında toprak karışması yer almaktadır (Ward, 2011).

Prosedür

- Kuru madde numunelerini (bknz:kuru madde tayini) kül fırınında gece boyunca 550 °C'de yakılır
- Desikatörlerde oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur
- Isıtılan kroze + numune tartılır (Wa).

Hesaplama

$$\%Kül = [(Wa-Wt)/(W0-Wt)] \times 100$$

Ekipman

- Hassas terazi
- Kül fırını (550 °C)
- Kurutucu
- Porselen krozeler (Zaklouta, 2011).

7.3. Ham Protein Analizi

Ham protein oranı buğdaygil yem bitkilerinde ve yoncada ürünün olgunluğunun tahmininde kullanılır ve ADF ve NDF ile ilişkilidir. Genellikle daha az ham protein, fermentasyon için daha az çözünür şekerin mevcut olacağını göstermektedir. Mısır silajındaki nişasta seviyeleri genellikle terstir. Ham protein oranının yüksek olması, genellikle daneye daha az nişasta dolumu olduğunu göstermektedir. Kuraklık stresine maruz kalan mısırlar ve düşük nişastaya sahip hibritler daha yüksek ham protein değerlerine sahiptirler (Seglar, 2003).

Toplam azot (ham protein) tayini, Kjeldahl yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Numune, katalizör olarak K_2SO_4 / $CuSO_4$ / TiO_4 kullanılarak sülfürik asit içerisinde sindirilir. N, NH_3 'e dönüştürülür, sonra damıtılır, borik asit içinde hapsedilir ve H_2SO_4 ile titre edilir (Zaklouta, 2011).

Prosedür

- Sindirim tüplerine (250 ml) 1 g kuru numune eklenir
- Kör tüp belirlenir
- Bilinen azot içeriğine sahip standart örnek alınır
- Yarım tablet katalizör eklenir
- 13 ml konsantre sülfürik asit (H_2SO_4) eklenir
- 20'li rafa yerleştirir, çeker ocak altındaki parçalama bloğu ısıtıcısındaki boş ve standart numune dahil tüpler ve su aspiratörüne bağlı egzoz manifoldu takılır
- Sıvı şeffaf hale gelene kadar $420\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sindiricide tutulur
- Sindiriciden egzoz manifoldu ile rafı çıkarılır ve çeker ocak altında oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur
- Egzoz manifoldu çıkarılır ve tüpler ayrı ayrı damıtma ünitesine aktarılır
- Otomatik damıtma: 65 ml dist. su + 35 ml %40'luk sodyum hidroksit solüsyonu
- Kondense sıvı 10 ml indikatör solüsyonu ile Erlenmeyer şişelerinde toplanır
- Sıvı 0.1142 N sülfürik asit ile renk mora dönene kadar titre edilir.

Hesaplamalar

$$\%N = [1.4007 \times (V_a - V_b) \times N] / W$$

V_a: numune titrasyonu için kullanılan asidin hacmi

V_b: Şahit için kullanılan asidin hacmi

N: asidin normalliği

W: gram cinsinden numune ağırlığı

1.4007: dönüşüm faktörü milieşdeğer nitrojen ağırlığı ve yüzde N

Hesaplama: Yüzde Ham Protein (CP)

$$\%CP = \%N \times F$$

F = 6.25 tüm yemler için

0.1142 asit normalliği kullanılarak, yukarıdaki dönüştürme faktörü (F) 6.25'e eşitse, titrasyonda eklenen yukarıdaki sülfürik asidin her bir ml'sinin ham proteinin (CP) %1'ine karşılık geldiği düşünülebilir.

Reaktifler / Çözeltiler**Sindirim reaktifleri**

- Katalizör tablet bileşimi: 5 g K₂SO₄, 0.15 g TiO₂, 0.15 g CuSO₄.5H₂O, Foss, kat. A15270010
- Konsantre sülfürik asit H₂SO₄ (%96-98).

Damıtma çözeltisi

%40 sodyum hidroksit çözeltisi:

- 400 g NaOH (%99)
- 1 lt distile su.

İndikatör solüsyon

- 4 lt distile su kaynatılır

- 160 g borik asit (H_3BO_3) eklenir
- Ertesi güne kadar soğutulur
- 2.8 ml metil kırmızı eklenir
- 4 ml bromokresol yeşil eklenir.

Titrasyon solüsyonu

- 0.1142 N sülfürik asit H_2SO_4 (Merck 1.9981: 1 lt için Titrisol, H_2SO_4 , 0.5 mol/l)
- Titrisol ampulü 1 lt'lik balon jøjeye boşaltılır
- 1 lt'ye distile su ile tamamlanır
- Hacimsel sıvının toplam içeriği 10 litrelik Nalgene kabına aktarılır
- 7757 ml damıtılmış su eklenir.

Ekipman

- Hassas terazi
- Çeker ocak
- 20 sindirim tüpü için su aspiratörüne bağlı egzoz manifolduna sahip sindirim blok ısıtıcısı (Tecator 2020, Foss, Danimarka)
- Damıtma ünitesi (Vapodest 30, Gerhardt, Almanya)
- Titrasyon için otomatik büret (Eppendorf, Almanya)
- Kjeldahl sindirim tüpleri 6100, 250 ml
- Erlenmeyer şişesi, 250 ml
- Hacimli şişeler, 1 l (Zaklouta, 2011).

7.4. Fermantasyon Analizi

Yakın kızılötesi (NIR) yansıma spektroskopisi, son 30 yılda tarımsal ürünlerin ve gıdaların kalitesini test etmek için hızlı bir yöntem olarak

ortaya çıkmıştır (Deaville & Flinn, 2000). NIR spektroskopisinin avantajlarından biri, yalnızca yakın kızılötesi spektrumdaki moleküler bağların (örneğin: C-H, N-H, O-H) analizi yoluyla kimyasal yapılarını değerlendirmek değil, aynı zamanda numunenin "parmak izini" temsil eden karakteristik bir spektrum oluşturmaktır. NIR spektroskopisi, çok çeşitli silaj ürünlerinin kimyasal bileşimi ve kalite özelliklerini hızlı bir şekilde belirleyen bir araç olarak bildirilmiştir (Nousiainen ve ark., 2004; Cozzolino ve ark., 2008). Birçok fermentasyon ürünü uçucu olduğundan ve kurutma işlemi sırasında kaybolabileceğinden dolayı silaj numunelerinin kurutulması bir sorundur. Bu nedenle NIR teknolojisinin silaj fermentasyon özelliklerinin belirlenmesinde az kullanılmaktadır. Laktik asit, uçucu yağ asitleri ve amonyak-azotu gibi fermentasyon son ürünleri, silaj fermentasyonunun etkinliğinin önemli göstergeleridir ve bunlar besleme değerleri ile yakından ilişkilidir (Martínez ve ark., 2005). Fermentasyon laboratuvarı raporları, silodaki bulguları doğrulamaya veya yerinde belirleme ile çözülemeyen silo sorunlarını teşhis etmeye yardımcı olmaktadır (Seglar, 2003).

Fermentasyonun belirlenmesi, silajı daha iyi karakterize etmek ve besi hayvanlarının kuru madde alımı ve olası performans sorunları hakkında fikir vermek için karşılaştırmalı bir değerlendirme sağlamaktadır. Toplam azotun yüzdesi olarak %1.5 bütirik asit, %18 amonyak azotu içeren ve %30 kuru maddeye sahip bir silaj; bütirik asit ve %9 amonyak azotu içermeyen aynı kuru madde seviyesindeki bir silajdan farklı şekilde kullanılacaktır. Kötü bir fermentasyon; görsel ve kokusal gözlem veya basit bir pH ölçümü yerine fermentasyon analizi ile daha

iyi belirlenebilmektedir. Fermentasyon raporunun ikinci ve belki de en önemli uygulaması, silaj yapım sürecinin yönetimi hakkında bir "karne" olmasıdır. Fermentasyon son ürünleri, bitki olgunluğu, bitki nemi, şeker içeriği, epifitik (yerli) bakteri aktivitesi, katkı maddesi kullanımı, ortam sıcaklığı, paketlenme ve silaj yüzeyinin yönetimi dahil olmak üzere silaj yapım sürecini etkileyen tüm koşulların sonucudur (Kung ve Shaver, 2001). Silaj yapım sürecinin yönetimindeki önemli sorunlar, daha az arzu edilen fermentasyon özelliklerine sahip silaj ortaya çıkarmaktadır. Çiftlik danışmanı, fermentasyon analizinden elde edilen bilgileri silajın kalitesini belgelemek ve bir çiftçiyi daha iyi silaj yapmaya yönlendirmek için kullanabilmektedir. Kaliteli yem, karlı hayvansal üretimin temelini oluşturmaktadır. Fermentasyonun türü ve derecesi, silaj yapım sürecinden geri kazanılan kuru madde miktarını önemli ölçüde etkilemektedir (Ward, 2011).

Silajda yüksek düzeyde asit olması, siloda kapsamlı bir fermentasyonun meydana geldiğini göstermektedir. Birçok yem karışımında, belirgin bir sorun olmadan yüksek asit içeriğine sahip silajlar kullanılmaktadır. Yüksek laktik asit seviyelerinin genellikle silaj muhafazası için daha iyi olduğu düşünülse de laktik asidin kuru maddenin %10'undan fazla olması, silajlarda sorun yaratabilmektedir. Yüksek miktarda şeker içeren nemli buğdaygil yem bitkileri (<%30 KM), özellikle doğrudan biçilmiş olarak silolandığında, iyi bir silo fermentasyonu geçirebilmekte ve yüksek düzeyde laktik asit içerebilmektedirler. Uzun süreli bir fermentasyona maruz kalmış nemli silajlar genellikle daha yüksek seviyelerde asetik asit (>%3 KM) içermektedir.

Amonyaklanmış silajlar ayrıca daha uzun fermentasyonları nedeniyle genellikle daha yüksek asetik asit seviyelerine sahiptirler (Kung ve Shaver, 2001). Çok yüksek asetik asit düzeylerinin (>%5 KM) yem alım sorunlarına neden olduğu bildirilmiştir, ancak araştırmalar bunun doğruluğunu tutarlı bir şekilde tespit edememiştir ve asetik asidin, yemin alımını nasıl tehlikeye atabileceği anlaşılamamıştır. Asetik asidin kendisi bir sorun olmayabilir, ancak daha az arzu edilen fermantasyonun bir göstergesi olabilmektedir (Ward, 2011).

%32'den daha düşük kuru madde ile silolanan yemler, klostridial büyüme için yüksek risk taşımaktadır. Klostridia bakterileri, oksijen içermeyen silajlarda yaşayabilen en yaygın istenmeyen bakterilerden birisidir. Bütirik asit üretirler ve proteini parçalarlar. Klostridia genellikle pH'ı 5.0-5.5 arasında olan kuru ot ürünü silajları ile ilişkilidir. Klostridial fermentasyon nedeniyle silajda yüksek oranda kuru madde kayıpları, silaj lezzetinin zayıf olması ve yüksek amonyak azotu seviyesi oluşturmaktadır. Amonyak, aminler ve amidler gibi protein yıkım ürünlerinin, yemin alımını düşürdüğünden şüphelenilmektedir. Bütirik asidin kendisi yemin alımını önemli ölçüde etkilemeyebilir, ancak protein bozunma ürünleri için bir gösterge olabilmektedir (Ward, 2011).

7.5. Silaj pH Ölçümleri

pH, silaj fermantasyonunu değerlendirmek için önemli bir kriterdir. Genel olarak pH ne kadar düşük olursa, silaj o kadar iyi korunur ve daha

stabil olur. Bununla birlikte, tek başına pH, silaj fermantasyonunun doğru olduğunun bir göstergesi değildir. pH'ın düşürülmesine katkıda bulunan silaj asit seviyelerinin belirlenmesi, yem analizleri için gereklidir (Seglar, 2003).

pH ölçümü için materyali hazırlama sürecinde, çiftliklerde genelde kullanılan pratik yöntem; 25-50 g silaj 25-50 g suyla (damıtılmış su tercih edilir) tek kullanımlık bir bardağa konulur ve bir karıştırma çubuğuyla karıştırılır (Seglar, 2003). Alternatif bir yöntem ise; pH ölçümünde kullanılacak materyalden önce silaj özsuyu alma işlemidir. Bu uygulama taze veya donmuş numuneler üzerinde yapılabilmektedir. Dondurulmuş numuneler sıkı torbalarda tutulmalı ve gece boyunca oda sıcaklığında (15 ila 20°C) bırakılmalıdır. Silaj özsuyu alma işlemi presleme veya ıslatarak yumuşatma ile yapılmaktadır. Kuru madde içeriği fazla olan silajlarda presleme uygulanmadığından ıslatarak yumuşatma önerilmektedir. Islatarak yumuşatmada aşağıdaki prosedür tavsiye edilmektedir (Zaklouta, 2011):

- 200 g ıslak silaj numunesi, 1 litre deiyonize su ilave edilen 1 litrelik bir beher içinde tartılır. Dikkatlice karıştırılır ve gece boyunca 4°C'de bırakılır.
- Numune 2 dakika karıştırılır ve filtre kağıdından (20-25 µm partikül tutma) bir kaba süzülür.

Bu ekstrakt pH, amonyak, uçucu yağ asitleri (Asetik, Proprionik, Butirik ve İzo-bütirik asitler) ve laktik asidi belirlemek için kullanılmaktadır.

Daha sonra 1-2 saniye boyunca pH'sı ölçülecek sıvının içerisine bir pH turnusol kâğıdı şeridi veya pH metre probu sokulur. Ölçüm cihazı, LCD ekranda anında bir pH okuması verirken, turnusol kağıdı test şeridinin renk değişimi, uygun pH'a karşılık gelen bir renk anahtarıyla karşılaştırılır. Renk anahtarı, pH turnusol kağıdı kabının yanında bulunmaktadır. Silaj silosundaki yığının hayvan besleme yapılan yüzeyinde sorunları olan bir silonun ön yüzeyinde genellikle yüksek pH ve bu yüzün 60-90 cm arkasında normal pH değeri vardır. Çeşitli silo konumlarındaki pH ölçümleri daha sonra başvurmak üzere bir deftere kaydedilmelidir (Seglar, 2003).

7.6. Silajlarda Amonyak Ekstraksiyonu Ve Analizi

Silaj, anaerobik ortamda bulunan bitki veya mikrobiyolojik enzimler tarafından katalize edilen bazı kimyasal reaksiyonların, proteinlerin ve amino asitlerin parçalanmasına ve ardından aminler ve amonyak gibi çeşitli nitrojen bileşiklerinin üretimine neden olduğu bir yem koruma işlemidir (Kozloski ve ark., 2006). Çözünür azotlu bileşiklerin oranlarının fazla olması, genellikle ruminal mikrobiyal büyüme etkinliğini ve silaj tüketen hayvanlar tarafından amino asit emilimini azaltmaktadır (Givens ve Rulquin, 2004). Amonyak azotu (NH_3), silajın oluşumunda parçalanan azotun (protein dahil) oranını gösterir ve silaj fermantasyonunun en iyi göstergesidir. Azotun 50 g/kg'dan az olması, mükemmel bir fermantasyon, stabil bir silaj ve minimum besin kaybı anlamına gelmektedir. >150 g/kg değerler, zayıf fermantasyona

işaret etmektedir (Zaklouta, 2011). Amonyak, hücre duvarını fermente eden mikroorganizmalar için temel bir besindir, ancak kullanımı, mikrobiyal hücrede bulunan karbonhidrat miktarı ile ilgilidir. İşkembeye fazla miktarda amonyak girerse, çoğu emilmekte ve üre olarak idrarla atılmaktadır. Silajlarda amonyak ekstraksiyonu ve analizi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. En sık kullanılan yöntem, salin çözeltisi ile amonyak ekstraksiyonu, ardından mikrodifüzyon ve titrasyondur (Mahouachi ve ark., 2003). Bu yöntem çok zahmetli ve zaman alıcıdır ve numunelerin çok fazla işlenmesini gerektirdiği ve elektrot yönteminin yanı sıra uçucu aminler de içerdiği için çok doğru değildir. Amonyak, silaj numunelerinde amonyağı ölçmek için kullanılan bir fenol-hipoklorit kolorimetrik deney ile de analiz edilebilmektedir (Nsereko ve ark., 1998). Zaklouta (2011) tarafından Weatherburn (1967)'dan uyarlanmış bu analiz şöyledir:

Reaktifler/ Çözeltiler

Çözelti A

- Phenol (6 B4): 10 g/l
- FeIII (4A1) içeren sodyum nitroprusid: 0.05 g/l (susuz ise 0.05687)

Çözelti B

- NaOH: 5 g/l
- NaClO: 8.4 ml/l
- NaClO kullanılıyorsa (litre başına 40 g aktif Klor içeren ticari): 0.42 g NaClO'ya eşdeğer 10.5 ml gereklidir)

Amonyak çözeltisinin hazırlanması (100 µg N-NH₄/ml)

- (NH₄)₂SO₄ 105 °C'de bir fırında bir saat kurutulur

- 4.714 g önceki kuru reaktif 1000 ml damıtılmış suda eritilir
- Temel amonyak çözeltisi kullanılarak, 10 µg N-NH₄/ml içeren bir çözelti hazırlanır (1 ml amonyak temel çözeltisine 99 ml su eklenir)
- Önceki çözelti (10 µg (NH₄)₂SO₄/ml) kullanılarak şu şekilde standart bir set hazırlanır: 0, 1, 2, 4, 6, 8 ve 10 ml çözelti 7 test tüpüne konular, hacmi Distile su ile 10 ml. tüpler karıştırılır.

Silaj özünü şartlandırma

- Buz üzerinde soğuk tutularak bir santrifüj tüpüne 5 ml silaj ekstraktı pipetlenir
- 4 °C'de 20 dakika 4000 rpm'de santrifüjlenir
- Süpernatandan (santrifüj sonrası üstte kalan sıvı) 0.1 ml alınır ve 4.9 ml distile su eklenir. Karıştırılır ve buz üzerinde soğuk tutulur.

Prosedür

- Standart tüplerden ve bilinmeyen her tüpten 1 ml alınır
- 5 ml çözelti A eklenir ve karıştırılır
- 5 ml çözelti B eklenir ve karıştırılır
- (Bu adıma kadar numuneler buz üzerinde tutulur)
- 1 ml su, 5 ml A çözeltisi ve 5 ml B çözeltisi içeren bir kör örnek hazırlanır
- 37 °C'de 20 dakika inkübe edilir. İsteğe bağlı olarak en az 30 dakika 20 °C veya üzerinde tutulur
- 625 nm'de spektrofotometre ile okunur
- Apsis olarak µg / ml cinsinden N-NH₄ konsantrasyonları ve ordinatlar olarak optik yoğunluğu kullanılarak standart bir eğri yapılır
- Kalibrasyon eğrisinden enterpolasyon yapılarak bilinmeyen numunelerin konsantrasyonu hesaplanır.

Amonyak azotu/toplam azot oranı, fermantasyon kalitesinin göstergesi olarak kullanılır. Bu amaçla aşağıdaki ölçek önerilir:

Fermentasyon kalitesi ölçęi

"Amonyak azotu / Toplam azot (%)" oranı ile silajın muhafaza durumu ilişkilendirildiğinde řu durum söz konusudur: 0-5 (Çok iyi), 5-10 (İyi), 10-15 (Standart), 15-20 (Tatminkâr), 20-30 (Zayıf), >30 (Kötü) (Zaklouta, 2011).

7.7. Uçucu Yağ Asitlerinin Analizi

Düşük asetik asit, amonyak-N, bütirik asit ve yüksek laktik asit ve şeker içeren silajlar daha kalitelidir ve aerobik bozulmaya daha yatkındırlar. Uçucu yağ asitlerinin belirlenmesinde aşağıdaki analiz yapılmaktadır (Zaklouta, 2011):

- Toplam fermentasyon asitleri (TFA) = Fermentasyon sırasında üretilen toplam asit miktarı. Laktik, bütirik ve asetik asitleri içermekte, ayrıca propiyonik asit ve etanolü de kapsayabilmektedir.
- Uçucu yağ asitleri (VFA, volatile fatty acids) = Fermentasyon zayıf olduğunda yüksek olacaktır. İstenmeyen VFA'lar bütirik ve daha az ölçüde asetik asittir. Bunlar, yüksek düzeyde toplam VFA ile ilişkilidir ve kötü yapılmış silajlara belirgin ve kalıcı bir koku vermektedir.
- Asetik asit = Silajın normal bir bileşeni olarak kabul edilir, ancak laktik asitten daha az arzu edilmektedir. Yüksek seviyeleri yem alımını kısıtlayabilmektedir.

• Bütirik asit = Bunların üretimi, zayıf fermente edilmiş silajın göstergesidir. Bu, yüksek seviyede toprak kirliliği, yavaş fermantasyon hızı, düşük kuru madde içeriği ve ikincil fermentasyon gibi çeşitli faktörler nedeniyle anaerobik koşullar altında üretilebilmektedir. Bütirik asit içeriği genellikle toplam uçucu yağ asitleri olarak adlandırılan ve toplam fermentasyon asitlerinin (TFA) yüzdesi olarak ifade edilen asetik asit içeriğine eklenmektedir (Zaklouta, 2011).

Zaklouta (2011)'nın aşağıdaki uçucu yağ asidi metodolojisi, Jouany (1981) tarafından geliştirilen tekniğe dayanmaktadır.

Prosedür

Örnek hazırlama

Yukarıda pH kısmında silaj suyunun elde edilme şekli verilmişti. Silaj suyu hemen stabilize edilmelidir. Bu amaçla aşağıdaki adımlar önerilmektedir:

- Bir muhafaza reaktifinin hazırlanması: orto H_3PO_4 (%5 v/v) ve $HgCl_2$ (%1 w/v) eklenerek bir çözelti hazırlanır.
- 10 ml silaj suyuna 1 ml koruma reaktifi eklenir.
- -15 °C'de derin dondurucuda saklanır
- Analizden önce, taze veya dondurulmuş numuneler 2000 rpm'de 5 dakika 4 °C'de santrifüjlenir.

Kromatografi

- Ekipman: Alev iyonlaşma detektörü ile donatılmış gaz kromatografisi. Kolon 1.5 m uzunluğunda ve 2.17 mm iç çapında camdan yapılmıştır. Kolon, kromosorb W-AW-60-80 ağ ile doldurulur ve %10 (a/a) SP

1200 (Supelco) ve %1 (a/a) orto H₃PO₄ ile emprenye edilmektedir. 160 °C'de gece boyunca 30 ml/dk nitrojen akışıyla şartlandırılmaktadır.

- Analiz, %1 (w/v) 4-metil valerik asitten oluşan 0.1 ml iç standart ilave edilen 1 ml numune (koruma reaktifi dahil) enjekte edilerek gerçekleştirilmektedir.

- Çalışma şartları:

- N₂ (vektör gazı): 30 ml/dk.

- H₂ (dedektör): 40 ml/dk.

- Hava (dedektör): 400 ml/dk.

- Sıcaklık: 125 °C (fırın), 155 °C (dedektör), 165 °C (enjektör).

- Enjekte edilecek örneğin hacmi: 5 µl.

Hesaplamalar

VFA analizi, hesaplama için kullanılan "tepki faktörünü" belirlemeye yardımcı olan standart bir çözelti (çözelti A) ve dahili bir standarda dayanmaktadır.

Tepki faktörünün belirlenmesi

Tepki faktörünü (Ka) hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$Ka = (Sa/S)/(1/Ca)$$

Ka: "a" bileşenin tepki faktörü.

Sa: "a" bileşenin pik yüzeyi.

S: dahili standardın pik yüzeyi.

Ca: "A" standart çözeltisindeki "a" bileşenin konsantrasyonu.

"A" standart çözeltisinin bileşimi:

- Asetik asit (C₂) 6.00 g

- Propiyonik asit (C₃) 1.00 g

- İzobütirik asit (IC₄) 0.125 g
- Bütirik asit (C₄) 1.75 gr
- İzovalerik asit (IC₅) 0.25 g
- Valerik asit (C₅) 0.25 g

Silaj örneğinin enjekte edilmesinden sonra VFA içerikleri aşağıdaki formüle göre belirlenmektedir:

$$Ca = (Sa/S)/(1/Ka)$$

Ca: silaj numunesindeki "a" bileşenin konsantrasyonu

Sa: Silaj örneğinin "a" bileşenin pik yüzeyi

S: Silaj numunesi ile birlikte enjekte edilen dahili standardın pik yüzeyi

Ka: "a" bileşenin yanıt faktörü

7.8. Laktik Asit Tayini

Uygun şekilde silolanan yem, homo-fermentatif bakterilerin baskın olduğu yerlerde hızlı pH düşüşü sergilemektedir. Laktik asit, bu fermentasyonların önemli bir son ürünü olmalıdır. Daha fazla laktik asit veren fermentasyonlar tipik olarak en düşük kuru madde kayıplarıyla sonuçlanmaktadır. Yüksek seviyelerde asetik, propiyonik, bütirik veya izo-bütirik içeren silajlar, silaj yapım sürecinde kuru maddenin geri kazanımının zayıf olabileceğinin göstergesidir. Genel olarak iyi silolanmış bir silajda toplam asidin %60-70'i laktik asit veya %4-7 laktik asit (%KM) olacaktır. Kabul edilebilir silajlar genellikle <%3 asetik asit, <%0.1 bütirik asit ve <%0.5 propiyonik asit içermektedir. Silolama sırasında aktif olan çeşitli epifitik organizmalar için uygun

koşulları sağlamada nem seviyesi önemlidir. Fermantasyon son ürünleri, bu nem seviyelerinde tercih edilen epifitler nedeniyle nem seviyesiyle önemli ölçüde ilişkilidir (Ward, 2011).

Laktik asit, neredeyse tamamen iyi silaj fermentasyonu ve etkili korumadan sorumlu laktobasiller tarafından üretildiğinden, yem fermentasyonunun kalitesinin bir göstergesidir. Buğdaygil yem bitkileri silajları tipik olarak 60-150 g/kg laktik asit içeriğine sahiptir, daha yüksek değerler daha hızlı fermentasyon, daha iyi protein koruması ve alımı azaltan yan ürünlerin fermentasyon olasılığının daha düşük olduğunu göstermektedir. Bütirik asit gibi, laktik asit içerikleri de toplam fermentasyon asitlerinin bir oranı olarak ifade edilebilir; daha yüksek seviyeler daha iyi fermentasyonları göstermekte ve %70 TFA'nın üzerindeki değerler ideal olmaktadır. İyi bir silajda laktik asit birincil asit olmalıdır. Bu asit, silajdaki diğer asitlerden (asetik, propiyonik ve bütirik) daha güçlüdür ve bu nedenle genellikle silaj pH'ındaki düşüşün çoğundan sorumludur. İkincisi, laktik asit üreten fermentasyon, depolama sırasında düşük miktarda kuru madde ve enerji kaybına neden olmaktadır. Düşük laktik asit içeriğinin bazı yaygın nedenleri şunlardır: 1) Yüksek kuru madde içeriği nedeniyle kısıtlı fermentasyon (özellikle >%50 KM içeren baklagiller ve kuru otlar) 2) Soğuk hava nedeniyle kısıtlı fermentasyon 3) Laktik asidi bozan önemli ölçüde aerobik bozunmadan sonra alınan numune 4) Butirik asit içeriği yüksek silajlar (Klostridia silajları) genellikle laktik asit açısından zayıf olmaktadır.

Silaj özsuyunda laktik asit tayini

Önerilen yöntem, Barker ve Summerson (1941) tarafından geliştirilen ve Taylor (1996) tarafından iyileştirilen yönteme dayanan basit bir kolorimetrik deneyden oluşmaktadır. Bu yöntemde, sıcak sülfürik asitle laktik asitten asetaldehit salınmaktadır. Asetaldehit, 570 nm'de emen bir kromajen vermek üzere bakır ve p-fenilfenol (pPP) ile reaksiyona girmektedir.

Reaktifler/Çözeltiler

- Konsantre H₂SO₄ (%96)
- dd H₂O'da %4 CuSO₄ .5H₂O
- %95 etanol içinde %1.5 p-fenilfenol.

Standart eğrinin oluşturulması

Bir laktik asit standart seti oluşturmak için:

- 16×150 mm borosilikat tüplere 0 ila 30 mikrogram laktik asit eklenir. Set, 5 mikrogram veya daha az artışlarla olmalıdır
- 3 ml konsantre H₂SO₄ eklenir ve bir vorteks karıştırıcı ile karıştırılır. Bu asit miktarı burada %82 asit olarak tanımlanmıştır.
- 95–100 °C'de 10 dakika buharlı su banyosunda inkübe edilir
- Su banyosu kullanılarak oda sıcaklığında soğutulur.
- 50 µl CuSO₄ reaktifi ve ardından 100 µl pPP reaktifi eklenir; tüp oda sıcaklığında tutularak vorteks karıştırıcıda iyice karıştırılır
- Tüpler en az 30 dakika oda sıcaklığında bırakılır ve ardından 570 nm'de absorbansı okunur
- Körler, suya kıyasla 0.2-0.5 değerleri gösterecektir.

Analizde, yukarıda standart set için açıklanan reaktiflerin ve prosedürlerin uygulandığı 1 ml silaj suyu örneği kullanılmaktadır. Elde edilen absorbans, laktik asit miktarını hesaplamak için standart sete göre çizilmektedir (Zaklouta, 2011).

7.9. Lif Sindirilebilirliği (Nötr Deterjan Lifinin - NDF) Analizi

Yemin önemli fraksiyonlarından biri sindirilebilirliği etkileyen liflerdir. Protein ve fenollere, özellikle lignine bağlı selüloz, hemiselülozlar ve polisakkaritlerden oluşmaktadırlar. Deterjan lifi, protein ve nişastanın buharlaştırılması için deterjan çözeltileri kullanılarak fraksiyonlamadan sonra bitki hücrelerinin kalıntısıdır (Zaklouta, 2011). Yem lifinin sindirilebilirliği, yem kalitesinin önemli bir kriteridir. Artan lif sindirilebilirliği, artan kuru madde alımı ve artan hayvansal üretim ile güçlü bir şekilde ilişkilidir. Bir çok çalışma, yemin NDF oranı %1 oranında arttığında sağmal ineklerde kuru madde alımının 0.15 kg arttığını bildirmiştir. İşkembe dolgusu ve geçiş hızı, NDF sindirilebilirliğinden etkilenmektedir. Farklı yem gruplarında lif sindirilebilirliğinde önemli farklılıklar mevcuttur. Bu, NDF sindirilebilirliğinin kaba yemler arasında ayırım yapmak için önemli bir nitel araç olmasına yol açmaktadır (Ward, 2011).

Buğdaygil yem bitkisi ve yonca için, ADF ve NDF değerleri (ve yonca için bağıl besleme değeri), fermantasyon için ne kadar substratın mevcut olacağını göstermektedir. Anormal derecede yüksek değerler, daha az serbest şeker bulunduğunu ve silaj kalitesinin düştüğünü

göstermektedir. Aşırı olgun buğdaygil yem bitkileri ve yonca, fermentasyonu tamamlamak için yeterli substrat bulunmadığından pH'ı arzu edilen bir aralığa düşürmek için genellikle tamamen fermente olamamaktadırlar. Mısır silajında lif değerleri, substrat varlığının göstergesi değildir. ADF ve NDF değerleri, dane:sap oranında mevcut dane miktarının tahminini mümkün kılmaktadır. Mısır yemi genellikle ADF ve NDF değerlerinden bağımsız olarak fermentasyonun tamamlanması için yeterli çözünür şekere sahiptirler (Seglar, 2003).

Yemde çözünmeyen lif, nötr deterjan lifi (NDF) olarak belirlenmektedir. Nötr deterjan çözeltisi, ana bileşenleri olan selüloz, hemiselüloz ve lignini geri kazanmaktadır.

Prosedür

- Fırında kurutulmuş cam krezeler (Wt) tartılır
- 600 ml Berzelius behere 0.5-1 g numune (Ws) eklenir
- 100 ml nötr deterjan çözeltisi ve 0.5 g sodyum sülfid (Na_2SO_3) eklenir
- Geri akış aparatında bir saat kaynatılır
- Cam krezelere dökülür
- Vakumlanır
- Krezeler tüm izler giderilinceye kadar yaklaşık 50 ml sıcak suyla dört kez durulanır
- Boşaltılan sıvı temizleninceye kadar tekrar tekrar asetonla durulanır.
- Gece boyunca 105 °C'de kurutulur
- Desikatörde oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur
- Numune ve krezeler tartılır (W0)

- 550 °C'de üç saat boyunca kül edilir
- Desikatörlerde oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur
- Krozeler ve kalıntıları (W_a) tartılır.

Hesaplamalar

$$\%NDF = [(W_0 - W_t) / W_s] \times 100$$

Hücrede çözünür materyal = 100 - %NDF

Organik madde olarak ifade edilen NDF:

Nötr deterjanda çözünmeyen kül

$$\%NDF_{kül} = [(W_s - W_t) / (W_0 - W_t)] \times 100$$

Nötr deterjan solüsyonu

- 2 lt saf su.
- 60 gr sodyum lauril sülfat (C₁₂H₂₅O₄S)
- 37.22 gr disodyum dihidrojen EDTA (C₁₀H₁₄N₂Na₂O₈)
- 13.62 gr sodyum borat (dekahidrat) (Na₂B₄O₇.10H₂O)
- 9.12 g disodyum hidrojen fosfat (Na₂HPO₄)
- 20 ml 2-etoksi-etanol (C₄H₁₀O₂)
- pH'ı 6.9-7.1 olarak ayarlanır.

Ekipman

- Hassas terazi
- Geri akış aparatı
- Hatlı vakum filtreleme sistemi
- Kurutucu
- Berzelius beher (600 ml)
- Sinterlenmiş cam krozeler (kaba) gözenekliliği 1) (Goering & Van Soest, 1970; Van Soest ve ark., 1991).

7.10. Kullanılmayan Bağlı Protein (ADF-CP) Analizi

ADF-CP, yemin bir asit deterjan solüsyonunda kaynatılması ve artığına protein içeriğinin belirlenmesiyle ölçülmektedir. Bu protein fraksiyonunun süt sığırları için çok az yararlı olduğu varsayılmaktadır. Yemlerin aşırı ısınması durumu, şekerlerin amino asitlerle yoğunlaştığı ve lignin kompleksi gibi çözünmez hale geldiği Maillard reaksiyonu olarak bilinen duruma yol açmaktadır. Bu ısı hasarı süreci, bir yemdeki protein ve sindirilebilir karbonhidratın varlığını ciddi şekilde azaltabilmektedir. Baklagil silajında %2'nin üzerindeki ADF bağlı protein (%KM) değerleri, aşırı ısınma ile ilgili potansiyel bir soruna işaret etmektedir. Silolamada kuru madde oranının yüksek olması ve silaj yüzeyinin açık havaya maruz bırakılması, silajdaki ADF'ye bağlı proteini artırabilmektedir (Ward, 2011).

KAYNAKLAR

- AOAC. 1995. Ash of Animal Feed (942.05). Official methods of analysis, 16th edition.
- Barker, S. B., Summerson, W.H. 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *Journal of Biological Chemistry*, 138: 535-554.
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R.J., Holmes, B.J., Muck, R.E. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 3952-3979.
- Charmley, E. 2001. Towards improved silage quality-A review. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(2): 157-168.
- Cherney, J.H., Cherney, D.J.R. 2003. Assessing silage quality. *Silage Science and Technology*, 42: 141-198.
- Cozzolino, D., Fassio, A., Restaino, E., Fernandez, E., La Manna, A. 2008. Verification of silage type using near-infrared spectroscopy combined with multivariate analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(1): 79-83.
- De Carvalho, J., Moro, J.G. 2017. A simple method for determining maize silage density on farms. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 5(2): 94-99.
- Deaville, E.R., Flinn, P.C. 2000. Near infrared (NIR) spectroscopy: an alternative approach for the estimation of forage quality and voluntary intake. *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*, 301-320.
- Flachowsky, G., Aulrich, K., Böhme, H., Halle, I. 2007. Studies on feeds from genetically modified plants (GMP)–Contributions to nutritional and safety assessment. *Animal Feed Science and Technology*, 133(1-2): 2-30.
- Givens, D.I., Rulquin, H. 2004. Utilisation by ruminants of nitrogen compounds in silage-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 114(1-4): 1-18.
- Goering, H.K., Van Soest, P.J. 1970. Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications) (No. 379). US Agricultural Research Service.

- Jouany, J.P. 1981. Dosage des acides gras volatils et des alcools dans les ensilages par chromatographie en phase gazeuse. Bulletin Technique CRZV Theix, INRA, 46, 63-66.
- Kozloski, G.V., Senger, C.C.D., Perottoni, J., Sanchez, L.B. 2006. Evaluation of two methods for ammonia extraction and analysis in silage samples. *Animal Feed Science and Technology*, 127(3-4): 336-342.
- Kung, L., Shaver, R. 2001. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. *Focus on Forage*, 3(13): 1-5.
- Mahouachi, M., Haddad, L., Kayouli, C., Thewis, A., Beckers, Y. 2003. Effects of the nature of nitrogen supplementation on voluntary intake, rumen parameters and ruminal degradation of dry matter in sheep fed oat silage-based diets. *Small Ruminant Research*, 48(3): 181-187.
- Martínez, A., Soldado, A., Garcia, R., Sánchez, D., de la Roza-Delgado, B. 2005. Analysis of Silage Fermentation Characteristics Using Transflectance Measurements by Near Infrared Spectroscopy. The XX International Grassland Congress. Dublin, 26 June-1 July. p. 277.
- Noelia, S. 2017. Assessing the feeding value of your corn silage. UCCE Dairy Extension. Veterinary Medicine Teaching and Research Center. University of California.
- Nousiainen, J., Ahvenjärvi, S., Rinne, M., Hellämäki, M., Huhtanen, P. 2004. Prediction of indigestible cell wall fraction of grass silage by near infrared reflectance spectroscopy. *Animal Feed Science and Technology*, 115(3-4): 295-311.
- Nsereko, V.L., Rooke, J.A., Newbold, C.J., Wallace, R.J. 1998. Influence of protease inhibitors on nitrogen distribution in ensiled perennial ryegrass and the utilisation of silage nitrogen for growth by rumen bacteria in vitro. *Animal Feed Science and Technology*, 76(1-2): 51-63.
- Prache, S. 2007. Developing a diet authentication system from the composition of milk and meat in sheep: a review: *J. Agric. Sci.*, 145: 435-444.

- Priolo, A., Lanza, M., Barbagallo, D., Finocchiaro, L., Biondi, L. 2003. Can the reflectance spectrum be used to trace grass feeding in ewe milk? *Small Ruminant Research*, 48(2): 103-107.
- Seglar, B. 2003. Fermentation analysis and silage quality testing. *Proceedings of the Minnesota Dairy Health Conference*. College of Veterinary Medicine. p. 119-135.
- Sinch, 2023. Big Square Bale Silage. <https://www.sinchbalefeeders.com.au/square-bale-silage/>
- Taylor, K.A. 1996. A simple colorimetric assay for muramic acid and lactic acid. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 56: 49-58.
- Undersander, D.J., Shaver, R., Linn, J., Hoffman, P., Peterson, P. 2005. *Sampling Hay Silage and Total Mixed Rations for Analysis (Vol. 2309)*. Madison, WI, USA: University of Wisconsin Extension.
- Van Soest, P.V., Robertson, J.B., Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10): 3583-3597.
- Ward, R. 2011. Analyzing silage crops for quality: what is most important. In *Proceedings (UC Cooperative Extension, University of California), The 2011 Western Alfalfa & Forage Symposium*. Las Vegas, USA (p. 11-13).
- Weatherburn, M.W. 1967. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Analytical Chemistry*, 39(8): 971-974.
- Zaharia, R., Pop, I.M., Zaharia, N., Sava, A.C. 2009. Researches regarding the action of some influential technical factors on the maize silage, *Scientific Papers, Seria Zootehnie*, 54: 127-131.
- Zaklouta, M. 2011. *Animal nutrition and product quality laboratory manual*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). Aleppo, Syria. viii + 92 pp. ISBN: 92-9127-250-7.

BÖLÜM 8

SİLAJLARIN KARBONHİDRAT VE PROTEİN KALİTESİNİN BESİ HAYVANLARINA ETKİSİ

Doç. Dr. Mustafa OKANT¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449239>

¹Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa. E-mail: mokant63@yahoo.com, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-8159-2444>

1. GİRİŞ

Sığır rasyonlarında silaj ve yüksek nemli otların yaygın olarak kullanımının gelecekte de devam etmesi beklenmektedir, çünkü silajlar, hasattan depolamaya kadar besin kaybını en aza indirmekte ve yemin verimliliğini artırmaktadır. Silaj üreticilerinin karşılaştığı zorluklar dört grup altında toplanmaktadır: 1) Üretilen yemin kaliteli olabilmesi için ürünün zamanında hasat edilmesi ve depolaması, 2) kuru madde kaybını önlemek, 3) fermente yemlerin besi hayvanları tarafından tüketim potansiyelini korumak ve 4) silajları hem hayvansal üretimde hem de hayvanların işkembelerini dengeleyecek şekilde hayvan beslemede kullanmak. Dünyadaki hızlı gelişme ile birlikte hayvansal ürünlere olan talep her geçen gün artarken, silaj yapımı ve kullanımı da giderek önem kazanmaktadır (Wang ve ark., 2020). Yüksek kaliteli yemler, hayvancılık endüstrisi için çok önemlidir. Yemler hayvanlar için gerekli olan enerji, protein, vitaminler, mineraller ve lifleri sağlamaktadır. Yemin kalitesi sadece farklı yem bitkisi türleri arasında değil, aynı zamanda yem bitkisi türleri içerisinde de (çeşitler arasında) farklılık göstermektedir. Ayrıca, belirli bir bitki türünün yem kalitesi, toprak verimliliği düzeyi, hastalık/zararlı kontrolü, hasattaki olgunluk aşaması ve depolama koşulları gibi tarla ve uygulama koşullarına bağlı olarak da değişebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, hayvansal üretim için yem kalitesinin belirlenmesi karmaşık bir iştir. Yem kalitesinin en iyi ölçüsü, nihai hedef olan hayvan verimliliğidir (Rocateli & Zhang, 2015).

Silolama, kuru ot yapımına göre birçok avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, silaj yapımıyla ilgili önemli dezavantaj, elde edilen kaba yemin besleme değerinin orijinal ürünün besleme değerine göre azalmasıdır. Besleme değeri, yemin hayvanlar tarafından iştahla tüketilmesi olarak tanımlanır. Silolama için kullanılan bitkisel materyaller, sebze işleme yan ürünlerinden dane tahıllara, buğdaygil yem bitkilerinden baklagil yem bitkilerine kadar çok farklı materyallerden oluşmakta ve bunların hepsi, birçok farklı katkı maddeleri eklenerek ya da eklenmeden silolanabilmektedir. Fakat birçok durum (materyalin kuru madde içeriği, suda çözünebilir karbonhidrat içeriği, tamponlanma kapasitesi, vb.) silaj fermentasyonunu etkilemektedir (Akbaş ve ark., 2023).

Yem bitkilerinin kalitesi ile ilgili genel olarak şunlar söylenebilir; 1) baklagiller buğdaygillerden daha kalitelidir ve 2) yeterli toprak verimliliği, düşük hastalık/zararlı baskısı, erken hasat ve uygun depolama, herhangi bir yem bitkisi türünün kalitesini artırmaktadır (Charmley, 2001).

Silaj kalitesi, tüm kaba yemlerde olduğu gibi, hasatta ürünün olgunluğuna bağlıdır. Bununla birlikte, silodaki fermentasyon, sindirilebilir besinlerin hayvanlar tarafından alımını ve kullanımını azaltarak silajın besleyici değerini daha da etkilemektedir. Bugüne kadar yapılan silaj araştırmalarında, orijinal ürünün besleme değeri ile elde edilen silajın yem değeri arasındaki boşluğu kapatmaya odaklanılmıştır. Daha önce pH, laktik asit ve kuru madde (KM) gibi

silajın hayvanlar tarafından alımını azalttığı düşünülen birçok faktör, aslında, alım ile çok fazla yakından ilişkili değildir. Fermantasyon asitlerinin konsantrasyonları da silajın tüketilmesiyle yakından ilişkili görünmemektedir; ancak rumende üretilen uçucu yağ asitlerinin (VFA) dengesini belirlemede kritik öneme sahiptirler. Bu da glukojenik olmayan oranı etkilemekte ve çiftlik hayvanlarında süt ve vücut kompozisyonunu etkileyebilmektedir. Rumen amonyağının genellikle silajın hayvanlar tarafından alımını azalttığı düşünülürken, bu konuda proteinin çözünürlüğü amonyaktan daha fazla etkili olabilmektedir. Protein çözünürlüğü de silaj proteinlerinin kullanımının etkinliğini azaltmada önemli bir faktördür. Silaj besleme değerini iyileştirdiği gösterilen yöntemler arasında soldurma ve doğrudan asitleştirme veya inokülantların kullanımıyla hızlı asitleştirme yer almaktadır. Yaygın olarak benimsenmeleri, son yıllarda silaj kullanımı içeren hayvansal üretimdeki gelişmelere katkıda bulunmuştur (Charmley, 2001).



Şekil 1: Silolanacak Malzemenin Tarlada Soldurulması Aşaması (Anonim, 2022)

Ilıman iklim bölgelerinde, süt inekleri için yem rasyonları genellikle mısır silajından oluşmakta ve buğdaygil yem bitkileri, baklagil yem bitkileri veya buğdaygil-baklagil yem bitkisi karışımlarından yapılan silajlarla desteklenmektedir. Yüksek protein bileşenleri içeren silajın hayvansal üretimdeki verimliliği esasen, hidrolize olmaya karşı proteinin korunma derecesi ve fermantasyon sırasında suda çözünür karbonhidratların (SÇK) (WSC-water soluble carbohydrate) korunma derecesi ile belirlenmektedir (Guo ve ark., 2008). Silajdaki protein ve suda çözünür karbonhidratların bozunması, önceden soldurulmuş hammaddelerin kullanılması veya fermantasyon inhibitörlerinin eklenmesi ve fermantasyon hızının düşürülmesiyle azaltılabilmektedir (Winters ve ark., 2001). Silajı yapılacak ürünün türü, silolama işlemi sırasında suda çözünür karbonhidratların içeriğini, proteinin konsantrasyonunu ve amino asit bileşimini ve hidrolize edilebilirliği belirlemektedir. Bu faktörler bakteriyel protein sentezinin derecesini ve sonuç olarak süt proteini üretimini etkilemektedir (Hedqvist ve Uden, 2006).

2. SİLAJ PROTEİNLERİNİN BESİ HAYVANLARININ PERFORMANSINA ETKİLERİ

Geviş getiren hayvanların performansındaki değişkenlik, yemin sindirilebilirliği veya sindirilebilir enerjiyi metabolize edilebilir veya net enerjiye dönüştürme verimliliğinden çok yemin alımıyla yakından ilişkilidir. Bu nedenle, başarılı bir rasyon hazırlığı için yemin alımının doğru ve kesin bilinmesi bir ön koşuldur. Geviş getiren hayvanlarda

yem alımının düzenlenmesi, tam olarak anlaşılamayan rasyon ve hayvan faktörleriyle ilgili çok sayıda mekanizmayı içermektedir. Son 30 ila 40 yıldaki kapsamlı araştırma çabalarına rağmen, genel olarak kabul görmüş bir yem alım modeli geliştirilmemiştir. Bu alandaki sınırlı başarı, en azından kısmen, hayvan ve yem özellikleri arasındaki karmaşık etkileşimlerden ve bu faktörlerin ayırt edilmesi ve miktarının belirlenmesindeki zorluklardan kaynaklanmaktadır (Huhtanen ve ark., 2008).

Silajdaki protein kalitesi, ekonomik açıdan silajın besin değerinin belki de en önemli belirleyicisidir. Bunun nedeni çoğu üreticinin ürününü, sindirilebilirliğin yüksek olduğu erken olgunlukta siloya almasından kaynaklanmaktadır. Erken olgunluk döneminde bitkilerin ham protein içeriği ve çözünürlüğü yüksektir. Hangi hayvana verilirse verilsin çoğu zaman silaj bazlı rasyonların ek proteinle desteklenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, rumendeki silajların proteinlerinin zayıf etkinlikte olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, rasyonların bozulmamış bir protein kaynağı ile takviye edilmesi, silajın ve proteinin hayvanlar tarafından alımını artırarak hayvansal verimin yüksek olmasını sağlamaktadır. Verimliliğin yetersiz olması, sadece protein takviyesinin pahalı olmasına neden olmaz, aynı zamanda özellikle ruminant hayvan çiftliklerinde fazla azotun çevreye atılmasına neden olmaktadır. Silajlarda azotun az olmasının nedenleri; proteinlerin çözünmesi ve çözünür şekerlerin uçucu yağ asitlerine (VFA) ve laktik aside fermantasyonu sonucudur. Silaj fermantasyonu, çözünür karbonhidrat konsantrasyonunu tükettiği için sükröz takviyesi,

koyunlarda mikrobiyal protein sentezinin etkinliğini arttırmaktadır. Bu nedenle düşük kuru madde içerikli taze materyali soldurma hem asitleşmeye hem de protein çözünürlüğü üzerinde bir etkiye sahiptir; ancak, silaj kalitesine kısmen katkı sağlarlar (Charmley, 2001).

Son yıllarda, N kaybını ve çevreye atılmasını en aza indirmek için süt ineklerine verilen protein miktarını azaltma yönünde çabalar söz konusudur. Daha önce yapılan bazı araştırmalarda rasyondaki “düşük” ve “yüksek” protein miktarları karşılaştırılmış ve süt üretiminde herhangi bir değişikliğe neden olmadan proteinin %18'den (veya üzeri) %16.5'e düşürülmesinin mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır (Leonardi ve ark., 2003; Wattiaux ve Karg, 2004). Bununla birlikte, bazı araştırmalarda ise rasyon proteininin %17.4'ten %15.2'ye (Kalscheur ve ark., 1999) ve %18.4'ten %15.1'e (Broderick, 2003) düşürülmesi durumunda süt üretiminin azaldığı bildirilmiştir. Wu ve Satter (2000), rasyon proteininin süt üretimini etkilemeden üreticilerin sıklıkla kullandığı seviyelerden (~%18) bir miktar azaltılabileceğini ve protein ihtiyacında önemli bir azalma elde etmek için mikrobiyal protein üretimini en üst düzeye çıkarmak da dahil olmak üzere başka yollara ihtiyaç olduğunu bildirmişlerdir. Protein alımına ek olarak, yemin türü de önemli olmaktadır. Yonca ve mısır silajı, ABD'deki süt ineklerinin beslenmesinde kullanılan en yaygın iki kaba yemdir. İki yem silajı, rumende mikrobiyal protein sentezi için fermente edilebilir enerji ve kullanılabilir N sağlayarak birbirini tamamlamaktadırlar. Bu nedenle, rasyondaki bu kaba yem kaynaklarının oranları, N kullanımı üzerinde bir etkiye sahip olabilmektedir (Groff & Wu, 2005). Wattiaux

ve Karg (2004), yalnızca yonca silajı ve mısır silajı kullanılan rasyonlardaki mısır silajı oranının %25'ten %75'e çıkarıldığında süt veriminde artış olduğunu bildirmişlerdir.

Proteinlerin parçalanması rumende proteinlerin etkin kullanılmasına engel olmakla birlikte, azot içeriğinin bir kısmı hayvanlar tarafından etkin olarak kullanılamamakta ve açığa çıkan amonyak ise üreye dönüştürülerek idrarla atılmaktadır (Guo ve ark., 2008). Ruminantların protein kullanımının iyileştirilmesi için buğdaygil ve baklagil yem bitkilerinden silaj üretimi sırasında protein bozulmasının önlenmesi gerekmektedir. Böylece mikrobiyal protein sentezi ve rumende parçalanmayan protein seviyesi iyileştirilir (Givens ve Ruelquin, 2004). Buğdaygil yem bitkilerinin silolanması sırasındaki ham protein kayıpları, karbonhidratların aksine içeriğin azalmasını çok etkilemez; yüksek çözünürlüğe sahip protein olmayan bileşiklere ve aynı zamanda rumendeki mikrobiyal protein sentezinin etkinliğini azaltan yüksek oranda parçalanmış formlara dönüştürülürler. Bu süreçteki değişiklikler, bitkisel proteinlerin amino asit bileşimindeki değişikliklerdir ve karbonhidratlarla bir araya gelen sindirilemeyen kompleksler (ADIN) yemlerdeki proteinin bağırsakta sindirilebilirliğinde azalmaya sebep olmaktadır. Silajlarda protein bozulmasını azaltmak için silajlara asitler eklemek veya homofermentatif bakterilerin baskınlığı sayesinde asitliği artırmak gerekmektedir. Fermentasyon inhibitörleri veya sorbent kullanımının yanı sıra silajlık materyalin soldurulması uygulamasının, proteinin bozunma düzeyi ve hızı üzerindeki olumlu etkileri birçok araştırmacı

tarafından ortaya konulmuştur. Silajlarda protein azotunun miktarının artırılması ve deaminasyonun azaltılması durumu bakteri inokulantları kullanılarak da elde edilebilmektedir (Akbaş ve ark., 2023; Günaydın ve ark., 2023). Bu sayede yüksek proteinli yemlerin silolanması sırasında protein bozulması korunmuş ve mikrobiyal etkinlik artmış olur (Fijałkowska ve ark., 2015).

Hayvan vücudundan atılan azot miktarı, azot dönüşüm verimine bağlıdır. Bu oran süt üretiminde %18 ile %30 arasında değişirken, et üretiminde %10 ile %20 arasındadır. Fakat, bu değerler sığırların %40'ı aşan potansiyelinin çok altındadır (Frank ve ark., 2002). Bu azot kayıpları, rumendeki mikrobiyal protein sentezinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır ki bunun bir nedeni bitki proteinlerinin hızlı ve aşırı parçalanması, diğer nedeni ise rumendeki hücre duvarlarından enerjinin yavaş salınmasıdır (Davies ve ark., 2005). Bu sebeplerden dolayı birçok araştırmacı, buğdaygil ve baklagil yem bitkisi silajları kullanarak, süt ve et üretiminde azot dengesini iyileştirme stratejilerine odaklanmışlardır (Nadeau ve ark., 2007). Azot kullanım etkinliğini arttırmak için, rumen mikroorganizmalarının enerji ihtiyacının giderilmesi ve rumendeki protein bozulma derecesinin düşürülmesi ile sağlanabilmektedir. Azot enerji dengesini iyileştirmek amacıyla mısır silajı ve yüksek nişastalı yemler kullanılmalıdır. Ancak, subklinik rumen asidozu riskinden dolayı yüksek nişastalı yemlerin kullanım oranı sınırlıdır (Moorby ve ark., 2002). Rumende düşük parçalanabilirliğe sahip protein oranının arttırılması için protein sentezini arttıran ancak toplam azot kullanımını bozan ekstrakte edilmiş küspe takviyeleri uygulanabilir (Huhtanen ve

ark., 2005). Rumende azot kullanımının düşük olmasının nedenlerinden birisi, silolama sırasında proteinlerin aşırı hidroliz olmasıdır. Bu süreç iki aşamada gerçekleşmektedir. Silolamanın ilk aşamasında, aerobik koşullar altında proteinin, protein olmayan azot bileşiklerine (NPN-non-protein nitrogen compounds) parçalanması; ki bu esas olarak proteolitik bitki enzimlerinin etkisiyle gerçekleşmektedir. Yoncadaki proteazlar özel bir aktivite sergilemektedir. Amino asitler, deaminasyon yoluyla (amonyak ve uygun organik asitler oluşturmak için) ve dekarboksilasyon yoluyla (CO₂ ve biyojenik aminler oluşturmak için) parçalanırlar (Gasiör ve Brzóska, 2002). Rumende azot kullanımını sınırlayan bir başka faktör de rumen mikroorganizmaları için gerekli enerji substratlarının eksikliğine yol açan, silajlardaki çözünür karbonhidrat içeriğinde meydana gelen büyük düşüşlerdir. Bu kayıplar geniş getiren hayvanlarda düşük silaj azotu kullanımına yol açmakta ve ham proteinin %44 ila %87'si arasında değişebilmektedir



Şekil 2: Kendi Kendine Silajdan Beslenen Hayvanlar (günde bir kez elektrik teli yer değiştirilip ineklerin silaja erişimi kontrol altında tutulmaktadır) (Anonim, 2023)

Dewhurst ve ark. (2003), azot bileşiklerinin rumende parçalanabilirliğinin kırmızı üçgül silajında %65, ak üçgül silajında %67, buğdaygil yem bitkileri silajında %70 ve yonca silajında %72 olduğunu bildirmişlerdir.

Silajdaki amonyak azotu uzun yıllar boyunca silaj alımının azalmasıyla ilişkilendirilmiştir. Ruminal amonyak seviyelerinin silajdan kuru madde alımı üzerinde etkisinin olduğu düşünülmektedir. Yonca gibi yüksek ham protein içeriğine ve yüksek çözünürlüğe sahip silajlar, rumen amonyak konsantrasyonunun yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu koşullar, yem alımını azaltabilen hafif amonyak toksikozuna yol açabilmektedir (Charmley, 2001). Amonyanın silaj muhafazası amacıyla kullanımı; hayvan performansı üzerindeki tutarsız etkileri, fermantasyonu kısıtlama potansiyeli, tehlikeli doğası ve amonyanın yüksek fiyatı nedeniyle sınırlandırılmıştır. Yeterli nemin varlığında üre, bitkilerde üreaz enzimleri tarafından amonyağa hidrolize edilebildiği için yem koruyucu olarak kullanılabilir. Ürenin işlenmesi ve uygulanması amonyağa göre daha güvenlidir ancak toksisite sorunlarından kaçınmak için üre suda çözülmeli ve kaba yeme eşit şekilde karıştırılmalıdır. Amonyak veya üre ile işlenen silajlar yüksek çözünür N konsantrasyonlarına sahip olacaktır ve bu tür yemlerle beslenirken ineğin parçalanabilir ve parçalanamaz protein gereksinimlerinin karşılanması için özen gösterilmelidir (Adesogan, 2014).

Biyojenik aminler iyi kalite silajlarda olduğu gibi kötü kalite silajlarda da bulunur. Bu bileşiklerin miktarları silaj pH değerindeki düşüş oranı ile ters orantılıdır. Yem bitkilerinin soldurulması ve siloya formik asit eklenmesi biyojenik amin düzeyini azaltan başlıca faktörlerdir. Bakteriyolojik ve enzimatik preparatların etkisi çok daha azdır. Laktik asit bakterileri esas olarak tiramin ve histamin üretirken, *Enterobacteria* türleri putresin ve kadaverin üretmektedir. Biyojenik aminler hayvanlar tarafından kuru madde alımını etkiler, ancak etkileri ağırlıklı olarak hayvan yemlerindeki miktarlarına ve amin açısından zengin bir diyete adapte olmuş hayvanların rumenindeki bozuşmalarıyla ilişkili olan rumendeki biyojenik amin seviyelerine bağlıdır (Gasiior & Brzoska, 2002).

3. SİLAJDAKİ KARBONHİDRATLARIN BESİ HAYVANLARININ PERFORMANSINA ETKİLERİ

Mikrobiyal protein üretimi kolay sindirilebilir enerji sağlanmasıyla orantılı olarak artar. Dolayısıyla, hem azot bileşiklerinin hem de bakteriler için mevcut olan karbonhidratların (SÇK) çözünürlüğü artar. Geviş getiren hayvanlar için rasyonun enerji içeriğini artırmanın en basit yolu, silajdaki suda çözünür karbonhidrat fraksiyonunu korumaktır. Silajın suda çözünür karbonhidrat içeriği, silajlık materyalin büyüme dönemine, mevsime ve günün saatine bağlı olarak büyük ölçüde değişebilmekle birlikte öncelikle silolanmış ürüne bağlıdır (Purwin ve ark., 2010).



Şekil 3: Balyalanmış Mısır Silajları (Anonim, 2021)

Silajdaki yapısal olmayan karbonhidratların fermentasyonu, rumendeki uçucu yağ asitleri üretimi üzerinde doğrudan etkilidir. Homolaktik fermentasyona uğramış silajlar neredeyse hiç çözünür şeker içermemekte; ancak kuru maddenin en fazla %10-15'i laktik formunda bulunabilmektedir. Ek olarak, kuru maddenin %3 ila %6'sı uçucu yağ asitleri olarak bulunabilmektedir. Rumendeki uçucu yağ asitleri doğrudan emilmekte, laktik asit ise öncelikle propiyonata metabolize edilmektedir. Bu, fermentasyon son ürünlerinin dengesini lipojenikten glukojenik metabolitlere kaydırmaktadır. Etkisi, süt yağı konsantrasyonunu azaltacak kadar belirgin olabilmektedir. Geçmişte bu bir sorun olarak görülürken, bugün bu süt bileşimini değiştirmek için bir araç olarak kullanılmaktadır. Silajlamanın, yapısal karbonhidratın bitki enzimleri tarafından yapısal olmayan karbonhidrata dönüştürülmesine neden olabileceği konusuna nispeten daha az dikkat çekilmiştir. Bu durum aseptik (yani mikrobiyal popülasyonun

olmadığı) silajlarda açıkça görülmektedir. Gama radyasyonu ile ışınlanmış aseptik silajlarda, silaj yapımının başlangıcındaki suda çözünür karbonhidrat konsantrasyonu iki kattan fazla artmıştır. Ayrıca özellikle yüksek oranda fermente edilmiş silajlarda, enzimik hidroliz yapısal karbonhidratın asit hidrolizi ile artırılabilir. Bu, silaj ve muhtemelen rumen mikropları için ana substrat kaynağını oluşturmaktadır. Ayrıca, bu durum fermentasyon asitlerindeki enerjinin neden genellikle suda çözünür orijinal karbonhidrattaki enerjiyi aştığını da açıklar. Bu durum göz önüne alındığında, başlangıçtaki suda çözünür karbonhidrat seviyeleri, fermentasyonun başarısı için genellikle düşünülenenden daha az kritiktir. Doğrudan eklenen enzimlerin bu alandaki rolü nettir; bununla birlikte silodaki artan hücre duvarı bozulmasına genellikle rumendeki hücre duvarı bozulmasının azalması eşlik etmektedir (Charmley, 2001).

İnokulantlar ve enzimler, silajın besleyici değerini artırmak amacıyla çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Aşılama, silajlardan elde edilen hayvan performansını ve süt verimini artırabilmektedir. Performanstaki iyileşmenin büyük bir kısmı, yemin hayvanlar tarafından alımındaki artıştan ziyade sindirilebilirlikteki artıştan kaynaklanmaktadır. Sindirilebilirlikteki artış, silajlarda substratın laktik aside dönüşürken yoğun fermentasyona uğramasından kaynaklanmaktadır. Bu koşullar altında, yapısal karbonhidratların çözünür şekerlere asit hidrolizi gerçekleşmektedir. Yüksek oranda fermente edilmiş silajlar, daha az fermente edilmiş silajlardan veya kuru ottan daha yavaş tüketilmektedir. Yeme davranışındaki bu değişiklikler aynı zamanda

inokulant kullanımıyla sindirilebilirliğin neden arttığını da açıklayabilir. Selülaz, hemiselülaz ve amilaz enzimleri, silaj katkı maddeleri olarak geniş çapta kullanılan ürünlerdir. Bu bileşikler, yapısal karbonhidratı, silaj bakterileri tarafından fermente edilebilen çözünür şekerlere dönüştürme potansiyeline sahiptirler. Yapılan birçok çalışma, kullanımlarının silajdaki fermente edilebilir substrat seviyesini arttırdığını ve böylece kapsamlı fermantasyonu desteklediğini göstermiştir. Nispeten fazla nemli silajlarda, sindirilebilirlikte bir artış olmamaktadır ve hayvan performansındaki gelişmeler genellikle az olmaktadır. Hayvan performansı üzerindeki etkiler kaliteli fermentasyon sonuçları tutarlıdır ve LAB ile aşılınmış silaj sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Bununla birlikte, siloda yapısal karbonhidratın artan hidrolizi, rumende yapısal karbonhidratın fermantasyonunun azalmasına neden olmaktadır (Charmley, 2001).

Fermentasyonu kısıtlamanın iki yolu vardır. Bunlar; soldurma ve asit tipi katkı maddelerinin kullanımınıdır. Soldurma, gelişigüzel bir şekilde silajdaki mikrobiyal aktiviteyi azaltmakta, böylece fermantasyonun kapsamını kısıtlamaktadır. Bununla birlikte soldurma, diğer türlere göre laktik asit bakterilerinin avantajına bir durum olma eğilimindedir. Bu da silajlama işleminde daha az yararlı mikrobiyal faaliyetlerin riskini azaltmaktadır. Silajın hayvanlar tarafından alımı, soldurma ile artırılabilir, ancak birçok çalışmada, soldurulmayan silajla karşılaştırıldığında soldurmada sindirilebilirliğin ve enerji kullanım etkinliğinin azaldığı, hayvan performansının iyileşmediği bildirilmiştir. Soldurmaya karşı en iyi tepki, iyi kurutma koşullarında elde

edilmektedir. Soldurma sonrası yapılan silajlardan alınan performans, soldurma oranı ve nem kaybının miktarı ile yakından ilişkilidir. Bu, iyi soldurma koşulları altında hayvana sağlanan faydaların çok yüksek düzeyde olduğunu göstermektedir. Soldurma, silodaki bitki enzimlerinin proteolizini önemli ölçüde azaltmaktadır. Soldurma esnasında kuruma hızı ne kadar çabuk olursa, proteolizi azaltmada o kadar etkili olmaktadır. Kurutma hızını artırma yöntemleri hayvan performansı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Bu tür yöntemler arasında, yemin maksimum yüzey alanını güneş radyasyonuna maruz bırakmak amacıyla bitkileri yaymak ve karıştırmak yer almaktadır (Charmley, 2001).

4. SİLAJ SORUNLARI VE HAYVAN PERFORMANSI

Süt ineklerinin silaj tüketimi, silajda amonyak ve bütirik asit konsantrasyonları arttıkça azalmaktadır. Silajlardaki düşük pH, genellikle yetersiz alımla ilişkilendirilmektedir, çünkü rumendeki düşük pH selülitik aktiviteyi ve alımı azaltmaktadır (Charmley, 2001).

En büyük iki silaj problemi, büzüşme (kuru madde kayıpları) ve ısınmadır (aerobik bozulma). Silajdan kaynaklanan kuru madde kayıpları, iyi yönetim durumunda %10'dan, kötü yönetim durumunda ise %40'a kadar değişmektedir. Bunun mali sonuçları genellikle göz ardı edilmekte veya hafife alınmaktadır. Besleme sırasında ısınma ve bozulma, kuru madde kayıplarına en fazla katkıda bulunan sorunlardır.



Şekil 4: Yem İtme ve Karıştırma Robotu Rasyonun Tüketimini Düzenlemeye Katkı Sağlayabilir (Anonim, 2020)

Bozulma, fermentasyon sırasında uykuda olan maya ve küflerin çoğalmaya başlamasıyla ve havadaki oksijene maruz kaldıktan sonra besinleri karbondioksite ve ısıya oksitlemesiyle meydana gelmektedir. Artan kuru madde kayıplarına ek olarak, bozulma, silaj kalitesini de düşürmektedir. Bozulmuş silajla besleme, sığırlarda lif sindirilebilirliğini ve kuru madde alımını azaltmakta ve rumende lif örtüsünü tahrip etmektedir. Ayrıca bozulmuş silajdaki küfler, sığırların performansını ve sağlığını bozabilen ve üreticiler için ciddi sağlık sorunlarına neden olabilen mikotoksinler üretebilmektedir (Adesogan, 2014).

Tropikal bitkiler, yemlik mısıra kıyasla yüksek ham protein içeriği ve karakteristik olarak düşük fermente edilebilir karbonhidrat içeriğine sahiptirler (Markos ve Fulpagare, 2015), bu özellikler silaj kalitesini

düşürebilmektedir (Shahzad ve ark., 2008). Örneğin Napier otu (*Pennisetum purpureum*), düşük düzeyde fermente edilebilir suda çözünür karbonhidratlar (WSC'ler) içermektedir. Fakat silaj kalitesini artırmak ve hayvan verimini artırmak için bu yem bitkisinin silajına karbonhidrat katkı maddeleri uygulanabilmektedir (Tauqir ve ark., 2009). Esmer şeker, pekmez ve mısır küspesi gibi kolayca bulunabilen, düşük maliyetli karbonhidrat katkı maddeleri, çiftçiler tarafından üretilen bu tarz bitkilerde silajların kalitesini artırmak için kullanılabilmektedir (Rambau ve ark., 2022).

Modern silolama teknolojisi, silajların besleme değerini, orijinal silosuz kaba yem bitkilerinin besleme değerlerine yakın olacak şekilde artırmıştır. Bununla birlikte, daha düşük besleme değerine sahip silajlar hala üretilmektedir ve silaj besleme değeri için hangi faktörlerin kritik olduğu konusunda bir fikir birliği yoktur. Fermentasyon asitlerinin konsantrasyonları, silaj alımıyla yakından ilişkili görünmemektedir; ancak, rumende üretilen uçucu yağ asitleri dengesini belirlemede kritik öneme sahiptirler. Bu da glukojenik olmayan oranı etkilemekte ve çiftlik hayvanlarının süt ve vücut kompozisyonunu etkileyebilmektedir. Rumen amonyağı genellikle silaj alımını azaltmada rol oynar, ancak protein çözünürlüğü amonyaktan daha fazla etkili olabilmektedir. Protein çözünürlüğü de silaj protein kullanımının etkinliğini azaltmada önemli bir faktördür. Silaj besleme değerini iyileştirdiği gösterilen yöntemler arasında, doğrudan asitleştirme veya aşılayıcıların kullanımı yoluyla etkili soldurma ve hızlı asitleştirme yer almaktadır. Yaygın olarak benimsenmeleri şüphesiz son yıllarda silajlardan hayvansal

üretimdeki gelişmelere katkıda bulunmuştur. Gelecekte silajların orijinal ürüne göre daha üstün besleme değerine sahip olma olasılığı yüksektir. Fiziksel uygulamalar, alım engellerini ortadan kaldırabilmekte ve sindirilebilirliği artırabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Adesogan, A.T. 2014. Avoiding the two greatest silage problems. In Proceedings of the 50th Florida Dairy Production Conference, p. 9-17.
- Akbay, F., Günaydın, T., Arıkan, S., Kızılsımsek, M. 2023. Performance of new lactic acid bacteria strains as inoculants on the microorganism composition during fermentation of alfalfa silage containing different dry matter content. *Black Sea Journal of Agriculture*, 6(4): 402-410.
- Anonim, 2020. Robotic feed pusher. <https://www.agriexpo.online/prod/wasserbauer-gmbh-fuetterungssysteme/product-172731-19542.html>
- Anonim, 2021. Asian agribiz. <https://www.asian-agribiz.com/2021/09/13/uttarakhand-experiments-with-baled-corn-silage/>
- Anonim, 2022. Cut to clamp. <https://www.cuttoclamp.com/step-2-wilting>
- Anonim, 2023. Consider self-feed silage. <https://ahdb.org.uk/knowledge-library/consider-self-feed-silage-this-season>
- Broderick, G.A. 2003. Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(4): 1370-1381.
- Charmley, E. 2001. Towards improved silage quality—A review. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(2): 157-168.
- Davies, D.R., Theodorou, M.K., Kingston-Smith, A.H., Merry, R.J. 2005. Advances in silage quality in the 21st century. In *Silage production and utilisation. proceedings of the XVth International Silage Conference*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands, p. 121-133.
- Dewhurst, R.J., Evans, R.T., Scollan, N.D., Moorby, J.M., Merry, R.J., Wilkins, R.J. 2003. Comparison of grass and legume silages for milk production. 2. In vivo and in sacco evaluations of rumen function. *Journal of Dairy Science*, 86(8): 2612-2621.
- Fijałkowska, M., Pysera, B., Lipiński, K., Strusińska, D. 2015. Changes of nitrogen compounds during ensiling of high protein herbage—a review. *Ann Anim Sci*, 15(2): 289-305.

- Frank, B., Persson, M., Gustafsson, G. 2002. Feeding dairy cows for decreased ammonia emission. *Livestock Production Science*, 76(1-2): 171-179.
- Gasior, R., Brzóška, F. 2002. Biogenic Amines in Silages. *Postępy Nauk Rolniczych (Poland)*.
- Givens, D.I., Rulquin, H. 2004. Utilisation by ruminants of nitrogen compounds in silage-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 114(1-4): 1-18.
- Groff, E.B., Wu, Z. 2005. Milk production and nitrogen excretion of dairy cows fed different amounts of protein and varying proportions of alfalfa and corn silage. *Journal of Dairy Science*, 88(10): 3619-3632.
- Guo, X.S., Ding, W.R., Han, J.G., Zhou, H. 2008. Characterization of protein fractions and amino acids in ensiled alfalfa treated with different chemical additives. *Animal Feed Science and Technology*, 142(1-2): 89-98.
- Günaydın, T., Akbay, F., Arıkan, S., Kızılsımsek, M. 2023. Effects of different lactic acid bacteria inoculants on alfalfa silage fermentation and quality. *Journal of Agricultural Sciences*, 29(2): 555-560.
- Hedqvist, H., Udén, P. 2006. Measurement of soluble protein degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 126(1-2): 1-21.
- Huhtanen, P., Rinne, M., Nousiainen, J. 2008. Evaluation of concentrate factors affecting silage intake of dairy cows: a development of the relative total diet intake index. *Animal*, 2(6): 942-953.
- Huhtanen, P., Shingfield, K.J., Park, R.S. 2005. Grass silage: Factors affecting efficiency of N utilization in milk production. In *Proc. XIVth Internat. Silage Conf.*, Belfast, Northern Ireland, p. 35-51.
- Kalscheur, K.F., Vandersall, J.H., Erdman, R.A., Kohn, R.A., Russek-Cohen, E. 1999. Effects of dietary crude protein concentration and degradability on milk production responses of early, mid, and late lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 82(3): 545-554.
- Leonardi, C., Stevenson, M., Armentano, L.E. 2003. Effect of two levels of crude protein and methionine supplementation on performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 86(12): 4033-4042.

- Markos, F.D., Fulpagare, Y.G. 2015. Characteristics of silage prepared from hybrid Napier, maize and lucerne. *J. Agric. Vet. Sci*, 8: 13-16.
- Moorby, J.M., Dewhurst, R.J., Evans, R.T., Fisher, W.J. 2002. Effects of varying the energy and protein supply to dry cows on high-forage systems. *Livestock Production Science*, 76(1-2): 125-136.
- Nadeau, E., Englund, J.E., Gustafsson, A.H. 2007. Nitrogen efficiency of dairy cows as affected by diet and milk yield. *Livestock Science*, 111(1-2): 45-56.
- Purwin, C., Pysera, B., Sederevičius, A., Mokauskas, S., Traidaraitė, A., Lipiński, K. 2010. Effect of silage made from different plant raw materials with the addition of a fermentation inhibitor on the production results of dairy cows. *Veterinarija Ir Zootechnika*, 51(73): 44-54.
- Rambau, M.D., Fushai, F., Callaway, T.R., Baloyi, J.J. 2022. Dry matter and crude protein degradability of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) silage is affected by fertilization with cow-dung bio-digester slurry and fermentable carbohydrate additives at ensiling. *Translational Animal Science*, 6(2): txac075.
- Rocateli, A., Zhang, H. 2015. Forage Quality Interpretations. Oklahoma Cooperative Extension Service.
- Shahzad, M.A., Sarwar, M., Nisa, M.U., Tauqir, N.A. 2008. Influence of additives and fermentation periods on silage characteristics, chemical composition, and in situ digestion kinetics of Jambo silage and its fodder in Nili buffalo bulls. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 32(2): 67-72.
- Tauqir, N.A., Sarwar, M., Jabbar, M.A., Mahmood, S. 2009. Nutritive value of jumbo grass (*Sorghum bicolor Sorghum sudanefe*) silage in lactating Nili-Ravi buffaloes. *Pakistan Veterinary Journal*, 29(1).
- Wang, Y., Zhou, W., Wang, C., Yang, F., Chen, X., Zhang, Q. 2020. Effect on the ensilage performance and microbial community of adding *Neolamarckia cadamba* leaves to corn stalks. *Microbial Biotechnology*, 13(5): 1502-1514.
- Wattiaux, M.A., Karg, K.L. 2004. Protein level for alfalfa and corn silage-based diets: I. Lactational response and milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science*, 87(10): 3480-3491.

- Winters, A.L., Fychan, R., Jones, R. 2001. Effect of formic acid and a bacterial inoculant on the amino acid composition of grass silage and on animal performance. *Grass and Forage Science*, 56(2): 181-192.
- Wu, Z., Satter, L.D. 2000. Milk production during the complete lactation of dairy cows fed diets containing different amounts of protein. *Journal of Dairy Science*, 83(5): 1042-1051.

BÖLÜM 9

SİLAJLARDA MOLEKÜLER TEKNİKLERLE KALİTE ANALİZLERİ

Doç. Dr. Mustafa OKANT¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449245>

¹Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa. E-mail: mokant63@yahoo.com, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-8159-2444>

1. GİRİŞ

Yemin muhafazası, besi hayvanlarının tüketimi için yemin yıl boyunca uygun durumda kalmasını sağlamada kritik öneme sahiptir (Bernardes ve ark., 2018). Hasat edilen yem bitkilerini kuru ot yapma uygulaması, enzimatik ve mikrobiyal aktiviteleri bastırmak için yem bitkilerinin kurutulmasından oluşsa da kuru ot, bileşimi ve yapısı çok iyi bilinmeyen canlı bir mikroorganizma barındırmaktadır (Daniels ve ark., 2020). Silolama, pH'daki hızlı düşüşün silaj kalitesinin önemli bir belirleyicisi olduğu anaerobik koşullar altında suda çözünür karbonhidratları organik asitlere metabolize eden epifitik mikroorganizmaların, özellikle laktik asit bakterilerinin (LAB) fermentatif özelliklerine dayanmaktadır (Ávila ve Carvalho, 2020). Silajın mikroorganizması, silaj kalitesinin önemli bir belirleyicisidir (; Ouamba ve ark., 2022; Akbay ve ark., 2023). Silaj fermantasyonunu etkileyebilecek pek çok faktör mevcut olsa da bunlardan en etkili, hakim mikroorganizmaların türüdür (Ennahar ve ark., 2003). Tarladan alınıp siloya konan taze bitkiler üzerindeki mevcut yaşayan mikroorganizmaların akıbeti, yemin muhafazası sürecinde kaliteye etki etmekte, hayvan ve insan sağlığına ilişkin potansiyel bazı riskler barındırmaktadır (Driehuis ve ark., 2018). *Lactiplantibacillus*, *Lacticaseibacillus*, *Lentilactobacillus* (eski adıyla *Lactobacillus*), *Pediococcus*, *Weissella*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Streptococcus* ve *Lactococcus* cinsleri genellikle silajla ilişkili mikroorganizma türleridir (Ávila ve Carvalho, 2020). Geleneksel olarak silolama işlemi, silodaki yemin kimyasal ve mikrobiyolojik bileşimindeki değişiklikler ölçülerek

araştırılır. Fakat geleneksel, kültüre dayalı mikrobiyoloji tahlilleri, incelenen mikropların büyüme özelliklerine göre taraflı sonuçlar üretebilmekte ve yalnızca kültüre alınabilir hücreleri saptayabilmektedirler (Giraffa ve Neviani, 2001).

2. SİLAJ FERMENTASYON BAKTERİLERİ

Bitki dokularında hastalık belirtisi göstermeden yaşayan bakteriler endofit olarak tanımlanmaktadır. Rizosferden pasif difüzyon veya aktif seçim yoluyla bitki dokularına girdikleri tahmin edilmektedir. Bakteriyel endofitler, esas olarak damar sisteminde, köklerde, yumrulara, gövdede ve yapraklarda bulunan hücreler arası boşluklarda, hücre içlerinde ve sitoplazmada yaşamaktadırlar (Gray ve Smith, 2005). Endofitlerin bulunduğu aynı bitki dokularında bakteriyel bitki patojenleri de tespit edilmiştir (Berg ve ark., 2005). Bakteriyel endofitler yaygın olarak bitkilerle ilişkilendirilse de, konakçı dokulardaki varlıklarının anlamı temelde bilinmemektedir. Bakteriyel endofitlerin birçoğu, konakçıları üzerinde görülebilir bir etki göstermese de, konakçı bitkilerde büyümeyi teşvik etme (Kaul ve ark., 2008) gibi yararlı etkiler yapabildiği veya bitki patojenlerinin zararlı etkilerini önleyebildiği belirtilmiştir (Taechowisan ve Lumyong, 2003).

Gelişmiş ve doğru meta-omik teknolojileri (metagenomik, metaproteomik, metatranskriptomik, metabolomik), mikrobiyal türlerin soyağacını, etkileşimlerini ve işlevlerini çözmeye yardımcı olabilmektedirler (Vanwongerghem ve ark., 2016). Bununla birlikte, bu

metodolojiler genellikle mikrobiyal topluluğun anlık görüntülerini elde etmek için kullanılmaktadır (Prosser, 2015) ve uzun süre boyunca zamansal dinamikleri izlemek amacıyla kullanmada çok pratik değildirler, çünkü çok pahalı, zahmetli ve yoğun kaynak kullanımı gerektirmektedirler (Greninger, 2018). Bu nedenle, genellikle tüm mikrobiyal topluluğun zamansal dinamiklerini izlemek için daha ucuz ve nispeten daha kolay moleküler işaretleyici tabanlı analiz teknikleri kullanılmaktadır.

Moleküler biyolojideki ilerlemeler, kültürleme ile ilgili yanlışlıkları (bias) ortadan kaldıran DNA tabanlı topluluk profillemeye tekniklerinin geliştirilmesini ve toprak, gıda ve yem gibi ortamlarda kullanımını sağlamıştır. Topluluk düzeyinde işleyen moleküler teknikler, mikrobiyal toplulukların çeşitliliği yanında değişen ortamlara tepkilerini değerlendirmek için de karşılaştırmalı mikrobiyal ekolojide yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tekniklerden silaj ortamlarında kullanım alanı bulanlar şunlardır:

- 1) "Uzunluk heterojenliği-PCR" (Length heterogeneity-PCR) (LH-PCR) (Marzorati ve ark., 2008).
- 2) "Terminal kısıtlama fragman uzunluğu polimorfizmi" (Terminal restriction fragment length polymorphism) (T-RFLP) (Robles ve ark., 2018),
- 3) "Denatüre edici gradyan jel elektroforezi" (Denaturing gradient gel electrophoresis) (DGGE) (Robles ve ark., 2018),

- 4) "Otomatik ribozomal intergenik ayırıcı analizi" (Automated ribosomal intergenic spacer analysis) (ARISA) (Robles ve ark., 2018),
- 5) "Kantitatif gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu" (quantitative real-time polymerase chain reaction) (qRT-PCR) (Robles ve ark., 2018),

Yemlerin silolanması işlemi, "tatlı" veya "ekşi" silaj ayrımının yapılmaya başlandığı 1800'lerin sonlarında, mikrobiyal güdümlü bir süreç olarak kabul edilmeye başlanmıştır. Klasik mikrobiyolojik kültür teknikleri, taze yemle ilişkili epifitik mikrobiyal popülasyonları, silajın olgunlaşma sürecinde laktik asit üreten bakterilerin rolünü ve silajın bozulmasına neden olan clostridia, basil, maya ve küflerin katkısını tanımlamada başarılı olmuştur. Bu klasik çalışmaların çoğu, seçici besiyerde kolaylıkla izole edilebilen sınırlı sayıda mikrobiyal türün sayımına ve karakterizasyonuna odaklanmış çalışmalardır. Elde edilen kanıtlar, bu mikrobiyal popülasyonların üyelerinin birçoğunun yaşayabildiğini ancak kültüre alınamadığını ileri sürmüş ve bu da silolama ile ilişkili gerçek mikrobiyal çeşitliliği hafife alan klasik araştırmalara yol açmıştır. LH-PCR, T-RFLP, DGGE ve ARISA dahil olmak üzere polimeraz zincir reaksiyonuna dayalı teknikler, silaj mikrobiyal topluluklarını incelemek için kullanılan ilk moleküler yöntemlerdir. Tüm karşılaştırmalı genomik, metagenomik ve metatranskriptomik dizilemedeki diğer ilerlemeler, silolama sırasında mikrobiyal toplulukların klasik mikrobiyoloji kullanılarak imkânsız olan bir ayrıntı derecesi ile tanımlanmasını sağlayarak bu yöntemlerin yerini almış veya yer alma sürecindedir. Bu yöntemler, silajdaki yeni

mikrobiyal türlerin yanı sıra yem türü ve bileşimi, silolama yöntemi ve aerobik koşullara uğramaya yanıt olarak mikrobiyal topluluklardaki kaymaları karakterize etmektedir. Suşa ve türe özgü primerler, silaj aşılama maddelerinin silolama işlemine katkısını ve kalıcılığını, belirli maya ve mantar türlerinin silaj bozulmasındaki rolünü izlemek için kullanılmıştır. Moleküler analizler için genetik materyalleri izole etmede kullanılan numune alma ve izole etme yöntemlerinin sonuçlar üzerinde önemli bir etkisi olabilmektedir. PCR amplifikasyonu için primer seçimi ve inhibitörlerin varlığı da sekans verilerinin yorumlanmasında sapmalara yol açabilmektedir. Biyoinformatik analizler, yerleşik veritabanlarındaki sekans verilerinin bütünlüğüne ve varlığına bağlıdır ve düşük taksonomik çözünürlüğe evrilebilmektedir. Bu sınırlamalara rağmen, moleküler biyolojideki ilerlemeler, silajın mikrobiyal ekolojisine ilişkin mevcut anlayışta devrim yapacak düzeydedir (McAllister ve ark., 2018).

Silaj kalitesi değerlendirilirken hayvan üretimi ve sağlığı üzerindeki etkileri nedeniyle bakteri, küf ve metabolitlerin (mikotoksinler) mevcudiyeti dikkate alınmalıdır (Cheli ve ark., 2013). Mantarlar da dahil olmak üzere zararlı mikroorganizmaların çoğalmasına karşı koruyucu etki, anaerobiyozun ve silolanmış kaba yemlerin laktik asit üreten bakteriler tarafından asitleştirilmesinin bir sonucudur. Bu bakterilerin çoğalması, başlangıç kültürlerin ve/veya organik asitlerin eklenmesi ve yem hammaddesinin sıkıştırılmasıyla anaerobik bir mikro iklim yaratılmasıyla teşvik edilmektedir.

3. SİLAJ MANTARLARI

Silaj, ciddi bir mikotoksijenik mantar ve mikotoksin kaynağıdır (Storm ve ark., 2010). Silajda küf oluşması, lezzetin, silajın besin değerlerinin ve yem alımının azalmasına, hayvan sağlığı sorunlarına, üretkenlik ve doğurganlık oranının azalmasına ve hastalığa karşı duyarlılığın artmasına neden olmaktadır (Cheli ve ark., 2013). Küfler toksin üretebilmektedir; küflü silajı tüketen hayvanlar üzerindeki potansiyel eklemeli veya sinerjistik etkiler nedeniyle çoklu mikotoksin kontaminasyonu endişe verici olabilmektedir. Bu etkiler, yem tüketiminin azalmasına veya hiç olmamasına neden olabileceği gibi nörolojik, östrojenik, hepatotoksik ve immünotoksik etkilere de yol açabilmektedir (Cheli ve ark., 2013). Her yıl dünya çapındaki ürünlerin yaklaşık %25'i mikotoksinlerden etkilenmektedir (Hussein ve Brasel, 2001). Mikotoksinler, besi hayvanı verimliliği üzerindeki olumsuz etkileri, ürün kayıpları ve mikotoksin analizine yönelik düzenleyici programların maliyeti nedeniyle ekonomik kayıplara yol açmaktadırlar. Mikotoksinler, belirli mantarlar (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Stachyobotris* ve *Cephalosporium* cinsleri dahil) tarafından üretilen farklı bir ikincil metabolit grubu oluşturmaktadır. Hayvan yemlerindeki mikotoksinlerin çeşitliliği henüz belirlenmemiştir, çünkü yeni mantar metabolitleri hala keşfedilmekte ve hayvanlardaki hastalıklara potansiyel ve sinerjistik katkılarının belirlenmesi yapılmaktadır (Fink-Gremmels, 2008).

Analitik bir bakış açısıyla, bir silajın toksik-fungal değerlendirmesi hem mikotoksin üreten mantarların hem de mikotoksinlerin saptanmasını gerektirmektedir. Genotipik yaklaşımlara (PCR, transkriptomik tabanlı tahliller ve mikro diziler) veya fiziksel veya kimyasal belirteçlerin değerlendirilmesine dayalı olarak gıda ve yemdeki mantar kontaminasyonunu tahmin eden çok çeşitli iyi bilinen ve yeni teknolojiler ortaya çıkmaktadır (Cheli ve ark., 2013). Bazı araştırmacılar, mısır ve tahıl silajlarındaki mikotoksin üreten mantarlar ile mikotoksinler arasında korelasyon bulmuşlardır (Leisova ve ark., 2006; Richard ve ark., 2007). Bulgular, mantar biyokütlesi ile mikotoksin varlığı arasındaki ilişkilerin çeşitli faktörlerden etkilenebileceğini göstermektedir. Bir mantar türünün tüm suşları mikotoksin üretmemekte ve suşlar farklı çevresel koşullar altında farklı miktarlarda mikotoksin üretebilmektedir. Mantar türlerini tanımlamaya yönelik analitik yaklaşımlar arasında, her bir mantar türünü izole etmeye ve tanımlamaya yönelik klasik mikrobiyolojik yaklaşımın zaman alıcı olduğu bilinmektedir. Potansiyel olarak toksijenik mantarların hızlı ve hassas tespiti için polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) gibi yöntemler, silajdaki mantar türlerinin ve suşlarının daha iyi değerlendirilmesi için çok önemli durumdadır (Storm ve ark., 2008).

Mansfield ve Kuldau (2007), mısır silajının mikroorganizmasını klasik kültürleme teknikleri ve DNA dizisine dayalı bir yaklaşımla incelemişlerdir. Moleküler teknikle, seçici kültür tekniği ile tespit edilen tür sayısının en az iki katı tür tespit edilmiştir. Richard ve ark. (2009), mısır silajında mantar kontaminasyonunu ve mikotoksin

üretimini belirlemek için, aflatoksin, fumonisin ve trikotesen biyosentez yollarındaki genleri saptamaya yönelik PCR tabanlı bir yaklaşımı önermişlerdir.

4. SİLAJLARDA KULLANILAN MOLEKÜLER TEKNİKLER

2000'li yıllardan sonra, silaj mikrobiyolojisi çalışma yöntemlerinde değişiklikler meydana gelmiştir. Günümüzde, silolama işlemine hangi mikroorganizmaların dahil olduğunu bilmek için çok daha iyi yöntemler vardır. Ayrıca mikroorganizmaların silaj kalitesindeki laktik asit, uçucu yağ asitleri, alkoller ve karbondioksit üretimini nasıl etkilediği konusunda daha iyi bir bilgi birikimi oluşturulmuştur. Silajlardan mikrobiyal DNA ekstrakte etme, DNA kısımlarını çoğaltma ve daha sonra bu kısımları onları üreten mikroorganizmaların suşlarına göre ayırma yeteneği, son zamanlarda silaj mikrobiyolojisinde meydana gelen değişikliklerin merkezinde yer almıştır. Bu gelişmeler agarda gelişmeyen suşların sayılmasına ve silajlarda yeni türlerin ortaya çıkarılmasına olanak sağlamıştır. Bu teknikler iki gruba ayrılmaktadır: 1) belirli türlerin/suşların tanımlanması ve miktarının belirlenmesi ve 2) topluluk analizi (Muck, 2012).

4.1. Spesifik Türlerin/Suşların Tanımlanması Ve Miktarının Belirlenmesi

Bu tekniklerin çoğunda, mikroorganizmalardaki DNA'nın bir kısmının kopyasını yapmak için polimeraz zincir reaksiyonu (PCR)

kullanılmaktadır. Bakterilerden elde edilen DNA'nın en yaygın olarak çoğaltılan kısmı, 16S ribozomal RNA genidir; bu, günümüzde bakterileri kullandıkları substratlar, salgıladıkları ürünler vb. yerine sınıflandırmak için birincil temeldir. Bu gen için PCR primer bağlama bölgeleri yüksek oranda korunmuştur. 16S dizisinin diğer bölümleri genellikle türler arasında daha değişkendir ve bu da sınıflandırmaya izin vermektedir. Tanımlama için, örneğin bir mikroorganizma suşunun mevcut olduğu bir agar plakası üzerindeki bir koloniden başlayarak DNA ekstrakte edilebilmektedir. 16S rRNA geni, PCR ile amplifiye edilebilmekte ve daha sonra sekanslanabilmektedir. Sekans bilindikten sonra, bilinmeyen türün sekansını bilinen türlerin sekansı ile karşılaştırmak için BLAST gibi bir program kullanılabilir. Bilinen bir türle iyi bir eşleşme varsa, varsayımsal olarak o tür olarak sınıflandırılabilir. İyi bir eşleşme yoksa koloni, başka testlere tabi tutulan yeni bir türün kolonisi olabilmektedir. Sonuç olarak, laktik asit bakterileri veya diğer türler standart kaplama teknikleriyle numaralandırılabilir ve daha sonra bu plakalar üzerindeki türleri belirlemek için PCR kullanılabilir (Muck, 2012).

PCR tekniği; gerçek zamanlı PCR (RT-PCR) veya kantitatif gerçek zamanlı PCR olarak ayrılabilir. Bu analitik teknik, bir numunede bulunan belirli türlerin miktarının belirlenmesine izin vermektedir. Primerler (nükleotid dizileri), ilgilenilen türe özgü bir gen bölgesinden seçilmektedir. 16S rRNA geninin bir kısmı çok yaygın şekilde kullanılırken (Schmidt ve ark., 2008), recA geni gibi diğer genler laktik asit bakterileriyle birlikte kullanılmıştır (Stevenson ve ark, 2006).

Çünkü çok benzer 16S rRNA genlerine sahip türleri ayırmak için diziler bulmak daha kolaydır. Bu yöntem, *L. plantarum* ile aşılınmış silajlar ile işlenmemiş silajlardaki *Lactobacillus plantarum* seviyelerinin karşılaştırılması gibi, ortamda bulunması beklenen türleri takip etmek için çok kullanışlıdır. Başarının anahtarı, silajlarda bulunabilecek diğer türlerle reaksiyona girmeyen diziler bulmaktır. Silajlarda RT-PCR kullanılan ilk çalışmalarda, ilgili türlerin bilinen tüm suşlarının primerlerle reaksiyona girdiği, diğer türlerin bilinen suşlarının ise reaksiyona girmediğinden emin olmak için primerlerini diğer bilinen türlerle karşılaştırıldığı bildirilmiştir. Bu durum, sonuçlara bir ölçüde güven duyulmasını sağlamıştır, ancak yine de test edilmemiş türler, özellikle bilinmeyen türler, yanlış pozitifler veya ilgili türün suşları ile primerlerin bölgesindeki sekansta küçük farklılıklara neden olabilen yanlış negatifler mevcuttur (Muck, 2012).

RT-PCR, ölçülen türe özgü dizinin kopyalarının hedef sayısına ulaşmak için amplifikasyon döngüsüne ihtiyaç duyulduğu temeline dayanmaktadır. Dolayısıyla, ilgili tür silajdaki baskın tür ise, hedefe ulaşmak sadece birkaç döngü alırken; düşük bir seviyede ise, birçok döngü alabilmektedir. Bu tekniğin avantajı, düşük seviyede bulunan bir türün numaralandırabilmesidir. Örneğin, standart tekniklerle bir MRS plakasından 100 koloni seçebilmekte ve ardından API 50 şeritleri veya PCR gibi standart yöntemlerle her bir koloninin türü belirlenebilmektedir. Bu tür yöntemler, toplam popülasyonun %1'inden daha azında bulunan bir türün saptanmasını olası kılmamaktadır. RT-PCR, bilinen türlerin daha önce mümkün olandan çok daha hızlı ve çok

daha düşük bir tespit sınırında takip edilmesini sağlamaktadır (Muck, 2012).

4.2. Topluluk Analizi

PCR ve RT-PCR teknikleriyle bile, çeşitli faktörlerin silodaki mikrobiyal topluluk üzerindeki etkilerini araştırmak oldukça zahmetlidir. Neyse ki, bakteri topluluğunun anlık görüntüsünü almaya ve ardından topluluklar arasında önemli farklılıklar olup olmadığını belirlemek için temel bileşen analizi gibi istatistiksel teknikleri kullanmaya izin veren çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Eğer varsa, farklılıkları belgelemek için PCR ve RT-PCR kullanılabilir. Silajlardaki mikrobiyal toplulukları incelemek için yaygın olarak dört teknik kullanılmaktadır: 1) Uzunluk heterojenliği PCR (LH-PCR), 2) Terminal kısıtlama fragmanı uzunluk polimorfizmi (T-RFLP), 3) Denatüre gradyan jel elektroforezi (DGGE) ve 4) Otomatik ribozomal intergenik ayırıcı analizi (ARISA). Bu dört tekniğin tümü, mikrobiyal DNA'nın bir kısmını amplifiye etmek için PCR'ı kullanmakta ve ardından amplifiye DNA'yı ayırmak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemleri ayrıntılı olarak tartışmaktan ziyade teknikler arasındaki genel farklılıkları bilmek daha önemlidir (Muck, 2012).

4.2.1. Uzunluk heterojenliği-PCR (Length heterogeneity-PCR) (LH-PCR)

Uzunluk heterojenliği-PCR, bir ortamda kaç türün aktif olabileceğini belirlemek için, farklı mikrobiyal türlerdeki bir genin uzunluğundaki değişimi kullanmaktadır. Spesifik gen, PCR ile çoğaltılmakta ve daha sonra bu DNA'nın bir numunesi, o genin kopyalarını uzunluklarına göre ayırmak için kapiler elektroforez ile yürütülmektedir (Muck, 2012). Brusetti ve ark. (2006), mısırın silolanması sırasında çeşitli LAB türlerinin gelişimini takip etmek için 16S rRNA geninin bir bölgesinin uzunluğundaki farklılıkları kullanarak bu tekniği araştırmışlardır. Teknik, silajlarda tanımlanan türlerin çoğunun takibinde başarılı olmuştur. Bununla birlikte, tanımlanan iki tür, *Weissella confusa* ve *W. kimchii*, 379 baz çiftlik özdeş parça uzunluklarına sahip bulunmuş ve bu nedenle LH-PCR ile ayırt edilememiştir. Benzer şekilde tanımlanan *Enterobacter* türleri de aynı parça uzunluklarına sahip bulunmuştur. LH-PCR, mısırın silolanması sırasında bakteri topluluğunun taksonomisini değerlendirmek ve silolanan materyalin kalitesini hızlı bir şekilde değerlendirmek için çok yararlı bir araç olduğu gösterilmiştir.

Wang ve ark. (2020), dört çeşit katkı maddesinin silaj kalitesi ve ilgili bakteri topluluğu çeşitliliği üzerindeki etkilerini Illumina HiSeq 16S rRNA dizilimi ile değerlendirmişlerdir. Pektin ve pektinaz ilavesinin, sırasıyla *Leuconostoc*, *Bacillus* ve *Aeromonas*'ın bakteri topluluğunu geliştirerek diğer katkı maddelerine kıyasla yonca silajının

fermantasyon kalitesini iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Bu çalışma ile, pektin bozulmasının, bakteri topluluğu çeşitliliğinin yeniden programlanması yoluyla yonca silajı fermentasyonu için önemli bir belirleyici olduğu tespit edilmiştir.

4.2.2. Terminal kısıtlama parçası uzunluk polimorfizmi (Terminal restriction fragment length polymorphism) (T-RFLP)

Terminal kısıtlama parçası uzunluğu polimorfizmi, LH-PCR'ye benzer bir prensipte çalışmaktadır. Bir gen veya DNA'nın başka bir kısmı, kopyanın bir ucuna yerleştirilen floresan bir işaretleyici ile çoğaltılabilmektedir. Amplifiye edilen DNA ikiye bölünerek, DNA üzerinde belirli bir tanıma bölgesine bağlanan bir restriksiyon enzimi eklenmektedir. DNA, floresan fragmanların uzunluğuna göre jel veya kapiler elektroforez ile ayrılmaktadır. McEniry ve ark. (2008), T-RFLP kullanarak soldurulmuş buğdaygil yem bitkisi silajındaki bakteri topluluğu dinamiklerini araştırmışlardır. 16S rRNA genlerini amplifiye etmişler, daha sonra restriksiyon endonükleaz MspI ile sindirmişler ve elektroforez ile ayırmışlardır. Teknik, türlerde zamanla (0, 2, 6, 14, 35 ve 98 gün) ve silolama yöntemiyle (balyalanmış ve hassas-doğranmış silaj) değişimler olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, bir veri tabanı ve 16S rRNA geninin kısıtlama enzimi tarafından simüle edilmiş sindirimi kullanılarak bir fragmanın uzunluğuna dayalı olarak türlerin tanımlanması çoğu zaman mümkün olmamıştır, çünkü birden fazla tür aynı fragman uzunluğuna sahip bulunmuştur (Muck, 2012).

T-RFLP iki farklı anlama gelmektedir: 1) analiz, türlerin tanımlanması olmadan pik profillerine odaklanır, 2) tek tek türler tanımlanır ve analiz, tanımlanan bu türlere odaklanır. İki tekniğin arkasındaki kimya benzer olsa da iki yöntemin temelde farklı çıktıları olduğundan ve farklı hata türlerine tabi olduğundan, ayırım önemli olmaktadır (Dickie & FitzJohn, 2007). Genel anlamda, T-RFLP, tek veya karışık tür DNA örneklerinde dizi varyasyonunu görselleştirmek için kısıtlama özetleri ile birleştirilmiş flüoresan etiketli primerlerin kullanımına karşılık gelmektedir. T-RFLP tekniği ilk olarak Liu ve ark. (1997) tarafından, bakteri çeşitliliğini değerlendirmek ve çevresel örneklerdeki bakterilerin topluluk yapısını karşılaştırmak için bir araç olarak kullanılmıştır (Kitts, 2001). Veriler daha sonra tepe noktalarının sayısına ve numuneler arasındaki tepe profillerinin benzerliğine göre analiz edilmektedir (Mummey ve ark. 2005).

T-RFLP, silaj sürecini incelemek için potansiyel olarak yararlı bir yöntem olduğunu kanıtlamış ve fermentasyon boyunca bakteri topluluğunun dinamiklerini araştırmak için geleneksel yöntemlere iyi bir alternatif olabileceğini göstermiştir (McEniry ve ark., 2008). Silaj mikrobiyolojisinde kullanılan çoğu yeni teknikte, mikroorganizmalardaki DNA'nın bir kısmının kopyalarını yapmak için polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) kullanılmaktadır. Bu teknikler, topluluk analizi uygulamalarının yanı sıra türleri tanımlamamıza ve nicelememize de izin vermektedir. PCR tabanlı teknikler, depolama ve besleme sırasında hem yeni bakteri hem de yeni mantar türlerini ortaya çıkarmaktadır (Muck, 2013).

4.2.3. Denatüre edici gradyan jel elektroforezi (Denaturing gradient gel electrophoresis) (DGGE)

Denatüre edici gradyan jel elektroforezi, DNA'yı ayırma yöntemini ifade etmektedir. Diğer yöntemlerde olduğu gibi, 16S rRNA geni veya o genin bir kısmı gibi DNA'nın bir kısmı çoğaltılmaktadır. DNA, bir DNA denatüran gradyanı ile bir jel üzerine yüklenmektedir. Her DNA segmenti, DNA'nın iki ipliğe ayrılmasına neden olan doğru miktarda denatüranla karşılaşana kadar jel boyunca hareket etmekte ve ardından bir bant oluşturarak çok daha yavaş hareket etmektedir. Dolayısıyla, DNA dizisinin uzunluğundan ziyade DNA'daki nükleotitlerin bileşimi, taşınan mesafeyi belirlemektedir. Normalde bu, çoğaltılmış DNA'nın nispeten benzer uzunlukta olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Li ve Nishino (2011), bakteriyel 16S rRNA geninin V3 bölgesini ve mantar 18S rRNA geninin amplifiyesini yapmışlar ve bunları DGGE ile analiz etmişlerdir. Bu prosedürün bir avantajı, jeldeki belirgin bantları çıkarabilmeleri ve ardından her bandı üreten türleri tanımlamak için PCR teknikleri/BLAST kullanabilmeleridir (Muck, 2012).

Bakterilerin kültürüne bağımlı yaklaşımlardan kültürden bağımsız yaklaşımlara doğru mikrobiyal çeşitlilik profili oluşturmadaki devrim, denatüre edici gradyan jel elektroforezini (DGGE) metagenomik şemsiyesi altında yer alan moleküler bir araç haline getirmektedir. Bu teknik benzersizdir, çünkü değişken baz sekans yapısına sahip aynı uzunluktaki PCR amplifiye edilmiş ürünlerden yararlanmaktadır (Green ve ark., 2017). Bu nedenle dsDNA molekülleri denatüre

gradyan jeli üzerinde çalıştırılırken, nükleik asitlerin poliakrilamid matrisi ve farklı bant yoluyla hareketliliğine bağlı olarak bileşimdeki herhangi bir tekli baz (A, T, G veya C) değişikliği tespit edilebilmektedir. Bir poliakrilamid jeldeki her bant, benzersiz bir operasyonel taksonomik birimi (OTU) temsil etmektedir. Bu nedenle, daha yüksek bant sayısı, o örnekteki daha yüksek çeşitliliği göstermektedir. Ayrıca, jelden alınan bu bantlar, banda karşılık gelen bir mikrobiyal topluluk üyesinin kimliğini tespit etmek için eksize edilebilir, saflaştırılabilir, yeniden büyütülebilir ve sekanslanabilir. DGGE, yüksek verimli moleküler yaklaşımların trend olduğu "omik" çağında görece çeşitliliği analiz etmek için hala en hızlı ve etkili araçlardan birisidir (Kumar ve ark., 2022). Yang ve ark. (2006), bütün bitki mısır silajındaki mantar topluluklarını ve buğday kuru otu silajındaki bakteri topluluklarını araştırmak için DGGE'yi başarılı şekilde kullanmışlardır.

4.2.4. Otomatikleştirilmiş ribozomal genler arası transkripsiyonlu ayırıcı analizi (Automated ribosomal intergenic spacer analysis) (ARISA)

Metodun adı, amplifiye edilen DNA bölgesini vurgulamaktadır. Bakterilerde, 16S rRNA geni ile 23S rRNA geni arasındaki bölge, türler arasında hem sekans hem de uzunluk açısından oldukça değişkendir. PCR ile çoğaltılan bu bölgedir. Çoğaltılan DNA'nın analizi, jel elektroforezi ile yapılabilir (yani dizi ve uzunluktaki varyasyon kullanılarak), ancak ARISA, floresan primerler kullanır ve T-RFLP gibi

parça uzunluğuna göre ayırır. Brusetti ve ark. (2008), mısır silajındaki bakteri topluluklarını değerlendirmek için hem ARISA hem de LH-PCR kullanmışlardır. Araştırma sonucunda; ARISA, LH-PCR ile elde edilen 9 pik ile karşılaştırıldığında ortalama 12 pik verdiği ve baz çiftlerinin aralığı ARISA için çok daha büyük olduğu bildirilmiştir. ARISA çok daha değişken bir bölgeyi büyüttüğü için bunlar, ARISA ölçümlerinde daha fazla hassasiyet olduğunu göstermiştir (Muck, 2012).

Topluluk analiz tekniklerinin tümü, uygulamalar arasında toplulukların nispeten hızlı bir şekilde karşılaştırılmasına izin vermektedir. Bakterilerde DNA uzunluğuna göre ayıran üç teknikten (LH-PCR, T-RFLP ve ARISA), intergenik ayırıcı bölgenin heterojenliğinden dolayı ARISA'nın aynı uzunlukta fragmanlara sahip birden fazla türe sahip olma olasılığı en düşük olan tekniktir. Bununla birlikte, bir suşun ARISA'da birden fazla pik üretmesi mümkündür, böylece topluluk çeşitliliği olduğundan daha büyük görünebilmektedir. DGGE, jel elektroforezi ile gerçekleştirildiği için, diğer üç teknikte kılcal elektroforez kullanımına kıyasla sonuçlar bir jelden diğerine daha kalitatif ve değişkendir (Muck, 2012).

Son zamanlarda, 16S rRNA gen tahminli fonksiyonel analizlerle birleştirilmiş yüksek verimli dizileme teknolojisi, silolama sırasında bakteri topluluğundaki ve metabolik yollarındaki değişiklikleri tanımlamak için birçok araştırmada yaygın olarak kullanılmaktadır. Gharechahi ve ark. (2017), mısırın silolanması sırasında mikrobiyal

toplulukların dinamik davranışını değerlendirmiş ve fonksiyonel metagenom tahmininin silolama işlemi ile propiyonat ve safra asidi metabolizması ve toksik bileşiklerin bozunması için yolakların zenginleştirilmesi arasında bir bağlantı gösterdiğini bulmuşlardır. Wang ve ark. (2019), *Moringa oleifera* yaprak silajının 16S rRNA geni tarafından tahmin edilen fonksiyonel profillerini araştırmışlar ve prolin, serin, alanin, treonin, glisin ve arginin dahil olmak üzere amino asit metabolizmasının silajlarda amonyak nitrojen oluşumu ile yakından ilişkili olduğunu bulmuşlardır. Keshri ve ark. (2019), buğday silolaması ile ilişkili bakteri topluluklarının fonksiyonel profilini analiz etmişler ve membran taşıyıcılarının, karbonhidrat ve amino asit metabolizmalarının, işlenmemiş ve *Lactobacillus plantarum* ile işlenmiş silajlarda farklı modeller izlediğini bildirmişlerdir. Ayrıca, Du ve ark. (2021), acem dutunun silolanması sırasında bakteri topluluğu yapısını ve metabolik gen kümelerini değerlendirmişler ve hem amino asit hem de karbonhidrat metabolizmasının, silajın son fermentasyon ürününü etkileyen bakteriyel metabolik yollarda kritik bir rol oynadığı sonucuna varmışlardır. Silolama sırasında metabolik yolların karakterize edilmesi, silajların fermentasyon profilini anlamaya yönelik yaklaşımlar hakkında fikir verebilmektedir (Wang ve ark., 2022).

Bakteri topluluk yapısını ve çeşitliliğini değerlendirmek için farklı teknikler, üçü geleneksel ve biri transgenik dört farklı mısır çeşidiyle hazırlanan silajlarda değerlendirilmiştir. Silaj örnekleri, fermentasyon sırasında ardışık zamanlarda toplanmış ve bakteri sayıları ve çeşitli DNA tabanlı parmak izi teknikleri ile analiz edilmiştir. Toplam

kültürlenebilir bakteri, spor oluşturan ve mezofilik ve termofilik laktik asit bakterileri (LAB) için bakteri sayıları çeşitler arasında benzer bulunmuştur. 388 LAB suşunun tür kompozisyonunun intergenik transkripsiyonlu ayırıcı (intergenic transcribed spacer) (ITS) PCR ve ardından 16S rRNA geninin sekanslanması ile daha ileri analizi, çeşitler arasındaki farklılıkları ortaya çıkarmamıştır. Buna karşılık, otomatik ribozomal intergenik ayırıcı analizi (ARISA) ve 16S rRNA gen uzunluğu heterojenliği-PCR (LH-PCR) gibi tüm bakteri topluluklarını hedefleyen moleküler parmak izi alma yöntemleri, farklı mısır silaj partilerinin veya çeşitlerinin farklı bakteri topluluklarını barındırdığını göstermiştir. Böylece ARISA ve LH-PCR parmak izi alma tekniklerinin, bakteri topluluklarını karşılaştırmak ve silaj bakteri topluluklarındaki farklılıkları tespit etmek için hızlı ve hassas bir yöntem sunduğu görülmüştür (Brusetti ve ark., 2008).

Yeni nesil dizileme teknikleri, silolama ve aerobik bozulmanın mikrobiyal ekolojisine ilişkin anlayışımızda devrim yaratmaya hazırlanmaktadır. Numune alma, depolama, nükleik asit ekstraksiyonu, dizileme ve biyoinformatik tekniklerin tümü, silolama işlemine dahil olan mikrobiyal popülasyonların bileşiminin ve işlevinin yorumlanmasını etkileyebilir. Bu nedenle, farklı metodolojilerin kullanıldığı silaj çalışmalarında bulguların tahmininde dikkatli olunmalıdır. Çeşitli ortamlarda mikrobiyomları incelemek için kullanılan araçların karmaşıklığı katlanarak artmaktadır. Silaj metagenomik bilimi, silaj kalitesini, güvenliğini iyileştirme ve silolama

sürecini iyileştirerek katkı maddelerinin etkinliğini ve tutarlılığını daha da artırma potansiyeline sahiptir.

KAYNAKLAR

- Akbay, F., Arıkan S., Kızılsimşek, M. 2023. Usage of lactic acid bacteria inoculant in silages. 12. International Conference on Agriculture, Animal Science & Rural Development. Ordu, Türkiye. p. 406-417.
- Ávila, C.L.S., Carvalho, B.F. 2020. Silage fermentation-updates focusing on the performance of micro-organisms. *Journal of Applied Microbiology*, 128(4): 966-984.
- Berg, G., Krechel, A., Ditz, M., Sikora, R. A., Ulrich, A., Hallmann, J. 2005. Endophytic and ectophytic potato-associated bacterial communities differ in structure and antagonistic function against plant pathogenic fungi. *FEMS Microbiology Ecology*, 51(2): 215-229.
- Bernardes, T.F., Daniel, J.LP., Adesogan, A.T., McAllister, TA., Drouin, P., Nussio, L. G., ... & Cai, Y. 2018. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4001-4019.
- Brusetti, L., Borin, S., Mora, D., Rizzi, A., Raddadi, N., Sorlini, C., Daffonchio, D. 2006. Usefulness of length heterogeneity-PCR for monitoring lactic acid bacteria succession during maize ensiling. *FEMS Microbiology Ecology*, 56(1): 154-164.
- Brusetti, L., Borin, S., Rizzi, A., Mora, D., Sorlini, C., Daffonchio, D. 2008. Exploration of methods used to describe bacterial communities in silage of maize (*Zea mays*) cultivars. *Environmental Biosafety Research*, 7(1): 25-33.
- Cheli, F., Campagnoli, A., Dell'Orto, V. 2013. Fungal populations and mycotoxins in silages: From occurrence to analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 183(1-2): 1-16.
- Daniels, S., Hepworth, J., Moore-Colyer, M. 2020. The haybiome: Characterising the viable bacterial community profile of four different hays for horses following different pre-feeding regimens. *Plos One*, 15(11): e0242373.
- Dickie, I.A., FitzJohn, R.G. 2007. Using terminal restriction fragment length polymorphism (T-RFLP) to identify mycorrhizal fungi: a methods review. *Mycorrhiza*, 17: 259-270.

- Driehuis, F., Wilkinson, J.M., Jiang, Y., Ogunade, I., Adesogan, A.T. 2018. Silage review: Animal and human health risks from silage. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4093-4110.
- Du, Z., Sun, L., Chen, C., Lin, J., Yang, F., Cai, Y. 2021. Exploring microbial community structure and metabolic gene clusters during silage fermentation of paper mulberry, a high-protein woody plant. *Animal Feed Science and Technology*, 275, 114766.
- Ennahar, S., Cai, Y., Fujita, Y. 2003. Phylogenetic diversity of lactic acid bacteria associated with paddy rice silage as determined by 16S ribosomal DNA analysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(1): 444-451.
- Fink-Gremmels, J. 2008. The role of mycotoxins in the health and performance of dairy cows. *The Veterinary Journal*, 176(1): 84-92.
- Gharechahi, J., Kharazian, Z.A., Sarikhan, S., Jouzani, G.S., Aghdasi, M., Hosseini Salekdeh, G. 2017. The dynamics of the bacterial communities developed in maize silage. *Microbial Biotechnology*, 10(6): 1663-1676.
- Giraffa, G., Neviani, E. 2001. DNA-based, culture-independent strategies for evaluating microbial communities in food-associated ecosystems. *International Journal of Food Microbiology*, 67(1-2): 19-34.
- Gray, E.J., Smith, D.L. 2005. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(3): 395-412.
- Green, S.J., Leigh, M.B., Neufeld, J.D. 2017. Denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) for microbial community analysis. *Hydrocarbon and Lipid Microbiology Protocols*, 77-99.
- Greninger, A.L. 2018. The challenge of diagnostic metagenomics. *Expert Review of Molecular Diagnostics*, 18(7): 605-615.
- Hussein, H.S., Brasel, J.M. 2001. Toxicity, metabolism, and impact of mycotoxins on humans and animals. *Toxicology*, 167(2): 101-134.
- Kaul, S., Wani, M., Dhar, K.L., Dhar, M.K. 2008. Production and GC-MS trace analysis of methyl eugenol from endophytic isolate of *Alternaria* from rose. *Annals of Microbiology*, 58: 443-445.

- Keshri, J., Chen, Y., Pinto, R., Kroupitski, Y., Weinberg, Z.G., Sela Saldinger, S. 2019. Bacterial dynamics of wheat silage. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1532.
- Kitts, C.L. 2001. Terminal restriction fragment patterns: a tool for comparing microbial communities and assessing community dynamics. *Current Issues in Intestinal Microbiology*, 2(1), 17.
- Kumar, S., Joshi, D., Debbarma, P., Singh, M., Yadav, A.N., Singh, N., ... & Goel, R. 2022. Denaturing Gradient Gel Electrophoresis (DGGE) Analysis of the Fungi Involved in Biodegradation. In *Mycoremediation Protocols*, p. 93-100. New York, NY: Springer US.
- Li, Y., Nishino, N. 2011. Bacterial and fungal communities of wilted Italian ryegrass silage inoculated with and without *Lactobacillus rhamnosus* or *Lactobacillus buchneri*. *Letters in Applied Microbiology*, 52(4): 314-321.
- Liu, W.T., Marsh, T.L., Cheng, H, Forney, L.J. 1997. Characterization of microbial diversity by determining terminal restriction fragment length polymorphisms of genes encoding 16S rRNA. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(11): 4516-4522.
- Mansfield, M.A., Kuldau, G.A. 2007. Microbiological and molecular determination of mycobiota in fresh and ensiled maize silage. *Mycologia*, 99(2): 269-278.
- Marzorati, M., Wittebolle, L., Boon, N., Daffonchio, D., Verstraete, W. 2008. How to get more out of molecular fingerprints: practical tools for microbial ecology. *Environmental Microbiology*, 10(6): 1571-1581.
- McAllister, T.A., Dunière, L., Drouin, P., Xu, S., Wang, Y., Munns, K., Zaheer, R. 2018. Silage review: Using molecular approaches to define the microbial ecology of silage. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4060-4074.
- McEniry, J., O'kiely, P., Clipson, N.J.W., Forristal, P.D., Doyle, E.M. 2008. Bacterial community dynamics during the ensilage of wilted grass. *Journal of Applied Microbiology*, 105(2): 359-371.
- Muck, R.E. 2012. Microbiology of ensiling. In *Finland: Proc XVI Int Silage Conf Hameenlinna*, p. 75-86.
- Muck, R.E. 2013. Recent advances in silage microbiology. *Agricultural and Food Science*, 22: 3-15.

- Mummey, D.L., Rillig, M.C., Holben, W.E. 2005. Neighboring plant influences on arbuscular mycorrhizal fungal community composition as assessed by T-RFLP analysis. *Plant and Soil*, 271: 83-90.
- Ouamba, A.J.K., Gagnon, M., Varin, T., Chouinard, P.Y., LaPointe, G., Roy, D. 2022. Metataxonomic insights into the microbial ecology of farm-scale hay, grass or legume, and corn silage produced with and without inoculants. *Frontiers*, 2.
- Prosser, J.I. 2015. Dispersing misconceptions and identifying opportunities for the use of 'omics' in soil microbial ecology. *Nature Reviews Microbiology*, 13(7): 439-446.
- Richard, E., Heutte, N., Bouchart, V., Garon, D. 2009. Evaluation of fungal contamination and mycotoxin production in maize silage. *Animal Feed Science and Technology*, 148(2-4): 309-320.
- Richard, E., Heutte, N., Sage, L., Pottier, D., Bouchart, V., Lebailly, P., Garon, D. 2007. Toxicogenic fungi and mycotoxins in mature corn silage. *Food and Chemical Toxicology*, 45(12): 2420-2425.
- Robles, G., Nair, R.B., Kleinstaub, S., Nikolausz, M., Sárvári Horváth, I. 2018. Biogas production: microbiological aspects. *Biogas: Fundamentals, Process, and Operation*, 163-198.
- Schmidt, R.J., Emara, M.G., Kung Jr, L. 2008. The use of a quantitative real-time polymerase chain reaction assay for identification and enumeration of *Lactobacillus buchneri* in silage. *Journal of applied microbiology*, 105(3): 920-929.
- Stevenson, D.M., Muck, R.E., Shinnors, K.J., Weimer, P.J. 2006. Use of real time PCR to determine population profiles of individual species of lactic acid bacteria in alfalfa silage and stored corn stover. *Applied microbiology and biotechnology*, 71: 329-338.
- Storm, I.M.L.D., Kristensen, N.B., Raun, B.M.L., Smedsgaard, J., Thrane, U. 2010. Dynamics in the microbiology of maize silage during whole-season storage. *Journal of Applied Microbiology*, 109(3): 1017-1026.
- Storm, I.M.L.D., Sørensen, J.L., Rasmussen, R.R., Nielsen, K.F., Thrane, U. 2008. Mycotoxins in silage. *Stewart Postharvest Rev*, 4(6): 1-12.

- Taechowisan, T., Lumyong, S. 2003. Activity of endophytic actinomycetes from roots of *Zingiber officinale* and *Alpinia galanga* against phytopathogenic fungi. *Annals of Microbiology*, 53(3): 291-298.
- Vanwonterghem, I., Jensen, P.D., Rabaey, K., Tyson, G.W. 2016. Genome-centric resolution of microbial diversity, metabolism and interactions in anaerobic digestion. *Environmental Microbiology*, 18(9): 3144-3158.
- Wang, B., Sun, Z., Yu, Z. 2020. Pectin degradation is an important determinant for alfalfa silage fermentation through the rescheduling of the bacterial community. *Microorganisms*, 8(4): 488.
- Wang, S., Shao, T., Li, J., Zhao, J., Dong, Z. 2022. A survey of fermentation parameters, bacterial community compositions and their metabolic pathways during the ensiling of sorghum. *Journal of Applied Microbiology*, 132(5): 3563-3577.
- Wang, Y., He, L., Xing, Y., Zhou, W., Pian, R., Yang, F., ... & Zhang, Q. 2019. Bacterial diversity and fermentation quality of *Moringa oleifera* leaves silage prepared with lactic acid bacteria inoculants and stored at different temperatures. *Bioresource Technology*, 284: 349-358.
- Yang, H.Y., Wang, X.F., Liu, J.B., Gao, L.J., Ishii, M., Igarashi, Y., Cui, Z.J. 2006. Effects of water-soluble carbohydrate content on silage fermentation of wheat straw. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(3): 232-237.

BÖLÜM 10

SICAK VE SOĞUK İKLİM BÖLGELERİNDE SİLAJ YAPIMI

Dr. Öğr. Üyesi Erdal KARADENİZ¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449260>

¹ Mardin Artuklu Üniversitesi, Kızıltepe Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Organik Tarım Programı, Mardin. E-mail: erdalkaradeniz@artuklu.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-6873-7066>

1. GİRİŞ

Silaj yapımı tarla (hasat), silolama (doğrama, sıkıştırma ve paketleme), depolama ve besleme aşamalarından oluşmaktadır. Kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörler, bu aşamaların herhangi birinde silaj kalitesi üzerinde etkili olabilmektedir. Örneğin, kontrol edilemeyen iklimle ilgili faktörlerin, sıcak veya soğuk bölgelerde üretilen silaj üzerinde önemli bir etkisi vardır (Bernardes ve ark., 2018).

Meteoroloji ve havadaki sera gazı konsantrasyonlarındaki değişikliklerin bitkilerin verimi ve tarımsal ekosistemler üzerinde doğrudan etkileri olduğundan, iklim değişikliğinin en büyük riskine maruz kalan sektörlerden biri tarımdır. Daha yüksek CO₂ konsantrasyonları, daha yüksek ortalama sıcaklıklar ve daha uzun büyüme mevsimleri bitkilerin verimi üzerinde olumlu etkilere sahipken, kuraklık, ısı stresi, yoğun yağış ve yüksek ozon konsantrasyonları üretimi azaltabilmektedir. Bireysel hava olaylarının daha fazla değişken olması beklenmektedir, çünkü iklim değişikliği yalnızca sıcaklığı artırmakla kalmaz, aynı zamanda yağış modellerini de değiştirmektedir (Peichl ve ark., 2019).

2. SICAK BÖLGELERDE SİLAJ ÜRETİMİ

2.1. Silolama Öncesi Aşamalar

Tropik bölgelerde kuru ot yapmak zordur, çünkü yemlerin kurutmak için bitkiler iyi kalitede olduğu zamanlarda (yağışlı mevsimin

başlarında), güneşte kurutma yapmak için hava durumuna çok fazla güvenilmemektedir. Yapay kurutma ise pahalıdır ve kurutma tesisleri yaygın olarak bulunmamaktadır. Yemlere asit ilavesi küçük çiftçilerin mali kaynaklarını aşabilmekte ve tehlikeli olabilmektedir. Geriye, taze veya tercihen soldurmuş ürünler kullanılarak yapılabilecek silaj fermentasyonu kalmaktadır. Silolanan ürünün kalitesi, silolanan malzemenin besleme değerine ve mevcut fermentasyon ürünlerine (asit türleri ve amonyak miktarı) bağlıdır. Ilıman bölgelerde entansif hayvansal üretim sistemlerinde silaj yapımı başlıca iki nedenden dolayı yaygın olarak uygulanmaktadır. Birincisi, kış döneminde tarlalarda kaliteli yem olmaması. İkincisi ise, süt üretimini artırmak veya azot kullanımını iyileştirmek için buğdaygil yem bitkilerini tamamlamak üzere yılın herhangi bir zamanında yüksek kaliteli takviyelerle (örn: mısır) hayvanları besleme zorunluluğu. Yıl boyunca yeşil yem bulunan nemli ve yarı nemli iklimlerde, yem muhafazası genellikle karlı değildir. Fakat mevcut kaynaklardan (meralar, yol kenarları) gelen yemin kalitesi yetersizse, yem bitkisi yetiştirmek veya yem çokken yemleri hasat etmek mümkündür. Kalite, büyüme mevsiminin başlarında en yüksek seviyededir. Silaj yapımı, yalnızca silolanan ürün iyi kalitede ise, yani iyi korunmuşsa, yüksek sindirilebilirliğe ve protein konsantrasyonuna sahipse yararlı olmaktadır. Silolanabilir yem için temel ön koşullar, yem değeri açısından erken büyüme aşamasında hasat edilmesi ve fermentasyon için yeterli şeker içermesidir. Tropikal bitkiler (C4) (mısır ve sorgum türleri dışında), doğal olarak düşük çözünür karbonhidrat içeriğine sahiptirler. Kaliteli silaj elde etmek için,

tropik bitkileri silolamaktansa silajlık mısır veya sorgum bitkilerini yetiştirmek daha iyi olabilmektedir (Mannetje, 2000).

Silaj üretimi, küçük ölçekli mandıra çiftçilerinin yem ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli hale gelmiştir. Tropik bölgelerde silaj muhafazasına ilgi gösterilmesinin birçok nedeni vardır. Tropik ülkeler daha gelişmiş hale geldikçe, çiftçilerin ihtiyaçları da daha sofistike hale gelmiştir. Çiftçiler artık geniş getiren hayvanlar için her gün ot biçmek gibi yoğun emek isteyen ve sıradan işlerle yetinmemektedirler. Birçok çiftçi, ucuz hayvan yemini elde edebileceği, saklayabileceği ve kendilerine uyacak şekilde kullanılabilen alternatifler aramaktadırlar. Silaj yapımı, bu durumlara bir çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, büyük ölçekli çiftçiler daha fazla sayıda hayvanı beslemek zorunda oldukları için çok fazla yeme ihtiyaç duymaktadırlar. Hayvancılık bir sosyal güvence biçiminden çok finansal bir yatırım haline geldikçe, çiftçiler hayvanları için hazır ve kaliteli bir yem güvencesi istemektedirler. Mısır silajı, Kuzey Amerika'da ve daha az ölçüde Avrupa'da sığırlar için temel bir yem olmuştur. Mısır bitkisi yüksek bir enerji dönüşüm oranına sahiptir. Tanesinin yüksek nişasta içeriği, mısırın enerji içeriğini kuru ot veya sorgumdan daha yüksek hale getirmekte ve bu nedenle silaj üretimi için iyi bir malzeme durumundadır (Wong, 2000).

Dünyanın birçok yerindeki sığır çiftçileri, hayvanları için sindirilebilir lif ve kolayca fermente edilebilir enerji kaynağı olarak mısır silajına güvenmektedir. Örneğin ABD'de Florida ve Georgia'da ve farklı birçok

tropik ülkede çiftçiler, fotosentez oranını azaltan sıcaklıklar (Crafts-Brandner ve Salvucci, 2002) ve daha hızlı mahsul yaşam döngüleri nedeniyle potansiyel verimde azalma dahil olmak üzere mısır silajı üretimini zorlaştırabilecek çeşitli iklimsel zorluklarla karşı karşıyadırlar. Ek olarak, bu bölgelerde mısır yetiştirme mevsimi boyunca meydana gelen sıcak ve nemli koşullar yılda dört nesil mısır kurdu gelişirken, serin bölgelerde ise yılda bir nesil Mısır kurdunun (*Ostrinia nubilalis*) gelişmesinden sorumludur. Bu iklim koşulları ayrıca sap çürümmesine, kuruma, yaprak yanıklığına ve güney pasına neden olan ve mikotoksin üreten *Penicillium*, *Aspergillus* ve *Fusarium* küflerinin büyümesine zemin hazırlayan birçok bakteri ve mantar patojeninin çoğalmasına da elverişlidir (Samapundo ve ark., 2005).

2.2. Sıcak Bölgelerde Silolama ve Sonrası Aşamalar

Mevcut birçok tropikal yem bitkisi ve tarımsal yan ürün, genellikle besleme kalitesi açısından zayıftırlar. Bu kaynaklardan silaj yapılabilir, ancak düşük sindirilebilir enerji içeriği nedeniyle yüksek düzeyde hayvan üretkenliğini sürdürmezler. Bu bölgelerde silaj yapımında yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin Malezya'da, palmiye yağı tarlaları haftalık olarak bol miktarda budanmış yaprak üretmektedir ve bunlar hayvan yemi olarak kullanılabilir. Palmiye yapraklarının besleyici kalitesi düşük olmasına rağmen, yaprak silaj kalitesini aşırı besin kaybı olmadan yükseltmek için uygun silolama işlemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Tropikal yemlerden silaj üretimine

dönük yeni yaklaşımlar, daha fazla araştırılması gereken bir alandır (Wong, 2000).

Sıcak iklimlerde, sıcak mevsim buğdaygil yem bitkileri (*Panicum*, *Brachiaria* ve *Pennisetum* cinsleri) bütirik bileşikler; şeker kamışı ise alkollü bileşikler üreterek harmanlandığı mısırın (tüm bitki ve dane) besin değerini azaltan bileşikleri fermente etmektedirler. Sıcak iklimlerde silaj bozunması da aerobik olarak artmaktadır. Tüm abiyotik elementler silaj kalitesi üzerinde etkili olabilse de ortam sıcaklığı, tarladaki üretimden yem deposunda kullanıma kadar silaj üretiminin tüm aşamalarını etkileyen bir faktördür. Tanelerde nişasta sentezini düzenleyen enzim olan nişasta-sentazın sıcaklıktan etkilendiği göz önüne alındığında, daha yüksek sıcaklıklarda daha düşük tane veriminin, aynı zamanda mısır silajında daha düşük nişasta içeriğine neden olması olasıdır. Bitkide lignin ve lif birikimindeki artış ve nişasta konsantrasyonundaki azalma nedeniyle, mısır silajının sindirilebilirliği genellikle yüksek sıcaklıklarda azalmaktadır. Artan silolama sıcaklıkları genellikle mikrobiyal topluluğun homolaktikten heterolaktiğe değişmesine neden olmaktadır. Kuraklığın görüldüğü yerlerde sorgum, ikinci ürün olarak mısırın yerine geçmektedir. Çift kullanım amaçlı tiplerin dane:sap oranı ve kuru madde verimi daha iyi olmakta ve aynı zamanda yatmayı da engellemektedir. Sıcak bölgelerde mısır ve sorgum silajlarına ek olarak tropik buğdaygil yem bitkisi silajları da önemli yemlerdir. Hasat edildiğinde, ılıman mevsim buğdaygil yem bitkisi genellikle tahıl ürünlerinden daha yüksek nem içeriğine sahiptir. Silaj için kullanılan bazı ılık mevsim buğdaygil yem

bitkileri uzun ve kalın gövdelere sahiptirler, bu da kısa ve ince saplı ürünlerde nem içeriğini azaltmak için soldurmanın uygun bir yaklaşım olmasına rağmen soldurulmalarını zorlaştırmaktadır. Ham protein, eter ekstraktı ve kül, şeker kamışı silajının kuru maddesinin %7'sinden daha azını oluşturmaktadır. Çözünür karbonhidratlar (çoğunlukla sükroz), fermentasyon yan ürünleri ve NDF diğer iki fraksiyonu oluşturmaktadır. Çözünür fraksiyonun (çözünür karbonhidratlar artı fermentasyon yan ürünleri) gerçek sindirilebilirliği yaklaşık %100 olduğundan, NDF'nin konsantrasyonu ve sindirilebilirliği, şeker kamışının besin değerini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Çözünür şekerlerin geri kazanımı ve seyreltme yoluyla NDF konsantrasyonu nihai olarak ürünün olgunluğu, genotip, toprak verimliliği ve etkili silaj katkı maddelerinin uygulanmasından etkilenmektedir. Şeker kamışı silajının düşük NDF'sinin üstesinden gelmek için iki strateji kullanılmıştır. Şeker kamışını ince parçacıklar halinde doğramak, silajın paketlenmesine ve korunmasına yarar sağlamakta, besin dengesizliklerine ve sindirim rahatsızlıklarına neden olabilecek durumları azaltmaktadır. Şeker kamışı silajı, fiziksel olarak etkili lif ihtiyaçlarını karşılamak için küçük miktarlarda dahi rasyona katılması durumunda yeterli olan yüksek fiziksel etkinliği nedeniyle sığır besi çiftlikleri için çok arzu edilen bir yem kaynağıdır. Kuru kaba yemlerle karşılaştırıldığında, şeker kamışı silajının nemi, ayrıca partikülleri ve tozu azaltarak rasyonun dokusunu iyileştirerek besleme yönetimine destek olmaktadır. Plastik filmler, özellikle uzun süreli depolama amacıyla silajları kaplamak için kullanılıyorsa, sıcak iklimlerde kolayca hava geçirgen hale gelebilmektedir. Boşaltma

anında yüksek sıcaklıklar, bozulma yapan bakterilerin büyümesini hızlandırarak silajın bozulmasını hızlandırabilmektedir. Aerobik koşullara maruz kalmaya başladıktan sonra silajın bozulmasını durdurmak için çok az şey yapılabilmektedir. Bu nedenle silaj bozulmalarının önlenmesi esastır ve silolama öncesi, sırası ve sonrasında bu yönde çaba gösterilmelidir. Yemlerin uygun kuru madde oranında ve partikül boyutunda hasat edilmesi, silolamadan önce aerobik bozulmayı durdurmak için kullanılabilir yönetim tekniklerinden birisidir. Bu faktörler, silajı bozulmaya yatkın hale getiren faktörler olan paketleme yoğunluğunu optimize etmek ve silaj gözenekliliğini en aza indirmek için kritik öneme sahiptir. Ürüne özgü faktörler, optimum kuru madde içeriğini ve partikül boyutunu belirlemektedir. Yemler doğru oran ve yoğunlukta silolara paketlenmeli, aerobik bozulmayı azaltmak için silaj katkı maddeleri kullanılmalı (Akbay ve ark., 2023), aerobik bozulmayı önlemek için en iyi plastik örtü türü ve günlük besleme oranı ve şekli seçilmelidir. Yüksek sıkıştırma yoğunluklarına ulaşan çiftçiler, yüksek düzeyde sıkıştırmayı teşvik eden ağırlıklara ve tekerlek genişliklerine sahip traktörler kullanarak silajı ince (0,15 m) katmanlar halinde yüklemektedirler. Siloya sevk oranı yüksek olduğunda (kendinden hareketli biçerdöverlerle hasat yaparken olduğu gibi) bir veya daha fazla ek paketleme traktörü gerekmektedir. Ilık iklimlerde, aerobik mayalar yüksek sıcaklıklarda daha aktif olduklarından tahıl silajlarının bozulma olasılığı daha da yüksektir. Birçok kimyasal ilave, aerobik bozulmayı azaltabilmektedir; bunların en iyilerinden bazıları sodyum benzoat ve potasyum sorbattır. Mikrobiyal aşılayıcılarla ilgili olarak,

çok sayıda çalışma *L. buchneri* içeren aşılama yöntemlerinin tek başına veya homolaktik asit bakterileri ile kombinasyon halinde silajların aerobik stabilitesini iyileştirebileceğini göstermiştir (Günaydın ve ark., 2023). Silajı kaplamak için kullanılan bir plastik film kilit görevleri yerine getirmektedir. Film sayesinde yağmur, dolu veya kuş kaynaklı hasarlardan kaçınılmalıdır. Uzun süre güneş ışığına maruz kalabilen UV ışınlarına dayanıklı olanlarının kullanılması gerekmektedir (Bernardes ve ark., 2018).

Bitkilerin büyümesini ve hastalık insidansını etkilemeye ek olarak, iklimsel faktörlerin silaj fermentasyonu ve aerobik stabilite üzerinde olumsuz etkileri önemlidir (Adesogan, 2006). Hasat sırasındaki yağış, silodaki proteolizi ve atık üretimini artırabilmekte ve böylece kuru madde geri kazanımını azaltabilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda silolama, laktik asit oranını ve aerobik stabiliteyi azaltmakta ve pH'yı ve kuru madde kayıplarını artırmaktadır (Ashbell ve ark., 2002; Weinberg ve ark., 2001).

Son yıllarda, Asya ve Afrika'nın tropikal ve subtropikal bölgelerindeki birçok gelişmekte olan ülkede süt ürünlerine olan talep artmış; ancak silolama işleminin yerel çevre koşullarına bağlı olması nedeniyle bu bölgelerde süt hayvancılığı için gerekli olan silajın üretimi engellenmektedir (Namiyira ve ark., 2010). Örneğin, mevcut birçok silaj kültür starter maddesinin neredeyse tamamı yüksek sıcaklıklar ve nem tarafından engellenmektedir (Holzer ve ark. 2003; Ohmomo ve ark., 2002). Bunun nedeni kısmen, sıcak nemli havalarda meydana

gelen faj enfeksiyonlarının LAB canlılığını azaltmasıdır (Kaneshige ve ark., 1994). Bu nedenle şu anda, sıcak iklimlerde kullanıma uygun başlangıç suşlarının belirlenmesine büyük bir ihtiyaç vardır (Doi ve ark., 2013).

Hakim iklim, silajların kuru madde (KM) verimi ve kalitesi üzerinde önemli etkiler yapabilmekte ve bazı durumlarda bu etkiler, hasattaki olgunluğun silolama işlemi üzerindeki etkisini aşabilmektedir (Bernardes ve ark., 2018). Mısır (*Zea mays*) silajı aerobik bozulma kayıplarına karşı hassastır, çünkü besin değeri yüksektir ve bozulmaya neden olan mikroorganizmalar için daha yüksek substrat mevcudiyetine sahiptir (Da Silva ve ark., 2014). Sıcak iklim ortamlarında, silolama, depolama ve hayvan besleme aşamalarındaki yüksek sıcaklıklar, bu tür mikroorganizmaların büyüme hızını artırarak, yoğun bir bozulma sürecine yol açabilmektedir (Ashbell ve ark., 2002). Silajın aerobik bozulması kuru madde kaybını teşvik ettiği, besin değerini düşürdüğü ve yem alımını ve hayvan performansını etkilediği için istenmeyen bir durumdur (Gerlach ve ark., 2013). Ayrıca aerobik bozulma, mikroorganizmaların ve mikotoksinlerin silajdan süte potansiyel transferi nedeniyle insanlar için sorunlara neden olabilmektedir (Driehuis, 2013). Tropik bölgelerde yaygın olan yüksek sıcaklıklarda özellikle hızlı gelişen küflerin neden olduğu bozulma nedeniyle silajla ilgili sorunlar, yemleme sırasında da ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, küçük çiftlik sahipleri için silaj çukurları veya yığınları, çok kısa sürede (1 veya 2 gün) doldurulabilecek şekilde küçük olmalıdır.

Kötü yapılmış silaj, hayvanlarda ve insanlarda sağlık sorunlarına neden olabilmektedir (Mannetje, 2000).

2.3. Isı Hasarlı Silaj

Isı hasarı almış silajların sebepleri ve belirtileri şunlardır: 1) İyi bir silaj için silolanmış yemin sıcaklığı, hasat sırasındaki ortam sıcaklığının 4-6°C üzerine çıktığında ve hasat sırasında silolanmış yemin sıcaklığı 45°C'yi aştığında ilk 1-2 hafta ısı hasarı oluşabilmektedir. 2) Isının çoğu, silolanmış kütlede oksijen bulunduğu sürece devam eden bitki ve mikrobiyal solunumdan ileri gelmektedir. 3) Isı hasarı almış silajlar koyu kahverengi renkte ve yanık karamel/tütün kokusuna sahiptirler. 4) Maillard veya "esmerleşme" adı verilen kimyasal reaksiyonlar, bitki şekerlerini ve hemiselülozu proteinler ve amino asitlerle bağlamaktadırlar 5) Isıdan zarar görmüş silajda tipik olarak protein ve enerji bileşenlerinin sindirilebilirliği azalmaktadır (Bolsen, 2006).

Isı hasarına karşı çözümler: 1) Bank tipi siloyu doldurmadan önce, duvarlardaki çatlakları polietilen ile kapatmak. 2) Doğru olgunluk aşamasında ve özellikle çok olgun olmayan aşamada hasat yapmak. 3) Tüm yemleri doğru kuru madde içeriğinde ve özellikle çok kuru olmayacak şekilde silolamak. 4) Yemleri çok uzun kesmemek; tipik olarak tarlada soldurulmuş yemler için 2.5 cm parça uzunluğu ve tam bitki mısır veya sorgum için 1.25-2.0 cm parça uzunluğu uygundur. 5) Silolanmış yem kütlelerinde anaerobik koşulları mümkün olan en kısa sürede elde etmek. 6) Siloları zamanında doldurmak ve yemi silo içinde

eşit olarak dağıtmak. 7) Yaklaşık 240 kg/m³ KM'lik bir sıkıştırma/paketleme yoğunluğu elde etmek. 8) Doldurduktan sonra 24 saat içinde, mümkün olan en kısa sürede yüzeyi kapatmak ve sızdırmazlık sağlamak (Bolsen, 2006).

3. SOĞUK BÖLGELERDE SİLAJ YAPIMI

Yüksek nem, kuraklık veya kısa büyüme mevsimleri gibi sorunlar nedeniyle soğuk iklimlerde yem bitkisi yetiştirmek zor olabilmektedir. Soğuk bölgelerde yem bitkisi üretimi, çoğunlukla kısa büyüme mevsimleri ve düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir ve kış aylarına karşılık gelen uzun bir dinlenme döneminin hakim olduğu yıllık bir döngü vardır. Süt sığırları, besi sığırları, koyunlar, keçiler ve atlar gibi hayvanların üretimi, kuzey ülkelerinin bazı soğuk bölgelerinde mümkün olan tek tarımsal faaliyettir. Çok yıllık buğdaygil ve baklagil yem bitkilerinin seçimi, daha uygun büyüme koşullarına sahip bölgelere göre daha düşük besin değerine yol açabilen kısa, serin büyüme mevsimleri ve sert kışlar ile sınırlıdır. Örneğin, çayır kelp kuyruğu (*Phleum pratense* L.), çok yıllık çim (*Lolium perenne* L.) ve kamışsı yumak (*Schedonorus arundinaceus*) doğu Kanada ve İskandinav ülkelerinde en sık kullanılan çok yıllık yem bitkilerinden bazılarıdır. Yaygın olarak Birleşik Krallık, Avrupa kıtası ve Kuzey Amerika Birleşik Devletleri'nde yetiştirilen çok yıllık çim ve kamışsı yumak bitkilerinin çayır kelp kuyruğundan daha yüksek besin değerlerine ve şeker içeriklerine sahip olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, kışa dayanıklılıkları çok iyi olmadığı için Kanada ve

İskandinav ülkelerinin daha kuzey bölgelerinde sınırlı ekim alanları vardır. Kuzey Amerika'nın kuzey bölgelerinde ve İskandinav ülkelerinde, baklagil yem bitkisi türü olan kırmızı üçgül (*Trifolium pratense* L.) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yoncadan (*Medicago sativa* L.) daha düşük NDF içeriğine ve daha yüksek kuru madde ve NDF sindirilebilirliğine sahip olma eğilimi vardır (Pelletier ve ark., 2010).

Soğuk bölgelerde yetişen yem bitkisi türlerinin çoğu, bitkilerin kışın hayatta kalmasına yardımcı olan enerji depolayan kök sistemlerine sahip çok yıllık bitkilerdir. Kışlık tahıllar da ekim nöbetini iyileştirmek için kullanılır ve yazlık bir bitkiden sonra, bir sonraki mevsim bitkisinin ekiminden önce hasat etmek için sonbaharda ekilirler. Bir bitkinin donmaya ve buna eşlik eden düşük sıcaklıkların ve buzun toprak üstü dokulara ve kök sistemlerine verdiği zarara dayanma kabiliyeti, kışa dayanım olarak bilinir. Yazın başlarında daha soğuk bölgelerdeki yüksek kuru madde üretimi, dünyanın yörünge eğimi tarafından ayarlanan uzun bir fotosentetik dönemin sonucudur. Üretilen şekerlerin çoğu, bitkisel verimi artıran yapısal karbonhidratları üretmek için kullanılmaktadır, ancak bazı şekerler, depolama amacıyla köklere taşınmaktadır. Kuzey bölgelerdeki kısa ve soğuk yetiştirme mevsimleri, mısır silajı gibi daha yüksek verimli tek yıllık bitkilerin yetiştirilmesini zorlaştırmaktadır. Kısa büyüme mevsimleri ile uzun ve şiddetli kışlar, birçok yerde otlatma mevsimini 6 aydan daha kısa süreye indirerek, depolanan kaba yemlere olan bağımlılığı artırmakta ve hasat ekipmanı,

depolama tesisleri ve yem koruma tekniklerinin kullanımını zorunlu kılmaktadır (Bernardes ve ark., 2018).

Yem bitkileri tipik olarak soğuk, nemli iklimlerde silaj olarak depolanır ve bu silajların kalitesi süt ve besi sığırlarına yüksek kaliteli yem sağlamak için çok önemlidir. İklimin, yem verimliliği, sindirilebilirlik, HP (ham protein) oranı, mineral madde içeriği ve fonksiyonel bileşikler dahil olmak üzere bir çok önemli özellikler üzerinde etkisi vardır. Yapısal olmayan karbonhidratlar, sadece yem değerini değil aynı zamanda silolama potansiyelini de etkilemektedir. Silolama sırasında fermente olabilen substratların birincil kaynağı, aynı zamanda rumen bakterileri için önemli bir enerji kaynağı olan yapısal olmayan karbonhidratlardır. Bunlar nişasta ve suda çözünür karbonhidratlar (SÇK) olan glikoz, fruktoz, sükroz ve fruktanlardan oluşmaktadırlar. Yemde lif olmayan karbonhidrat içeriğinin, çevre, hasat uygulamaları ve gübreleme gibi bitki büyümesi ve metabolizması üzerinde etkisi olan faktörlerden etkilenmesi muhtemeldir. Soğuk iklimlerde yetiştirilen yemlerde lifsiz karbonhidrat miktarını artırmanın birkaç yolu vardır. Fotosentetik karbonhidrat sentezi karbonhidrat tüketimini aştığında, bitkideki karbonhidrat içeriği gün boyunca yükselmektedir. Bu durum, lifsiz karbonhidrat içeriklerinin en üst düzeyde olduğu saatlerde yem bitkisini biçmek için fırsatlar sağlamaktadır. Bitki hücreleri biçimden sonra canlı kalmakta ve bitkiler ölene kadar solunum için lifsiz karbonhidratları kullanmaya devam etmektedirler. Öğleden sonra biçilen, doğrudan yere serilen ve gece boyunca solmadan kalan yoncanın fotosentez üretimi, ertesi sabah kesilen yonca veya

kesilmeden tarlada duran yonca bitkisi ile aynı düzeydedir. Lif formunda olmayan karbonhidratların konsantrasyonları, solma koşullarından etkilenmektedir. Hızlı kuruma, lifsi olmayan karbonhidratların oksidasyonunu ve kaybını yavaşlatmaktadır. Biçilip doğrudan yere serilmiş yonca, yığınlar halinde balyalanıp kurutulan yoncaya göre kötü kurutma koşullarında dahi solma süresi 9 saate kadar azalabilmekte ve daha yüksek düzeyde lifsiz karbonhidrat konsantrasyonları içerebilmektedir. Miktar olarak, glikoz, fruktoz ve sükroz dahil olmak üzere çözünen şekerler, silaj fermentasyonu için en önemli substratlardır. Sonuç olarak, lifsiz karbonhidrat konsantrasyonları fermentasyon boyunca düşer ve bu düşüşün hızı silajın kuru madde içeriğine göre değişmektedir. Yüksek lifsiz karbonhidrat konsantrasyonuna sahip bitkilerin besin içerikleri, fermentasyon sırasında azalmaktadır. Yoncayı öğleden sonra biçmek ve geniş alanlara yayarak solmasını sağlamak, bitkideki lifsiz karbonhidrat konsantrasyonunu artırmaktadır. Soğuk ve ılıman iklimlerdeki çiftçiler, birçok yem bitkisi türlerine ve karışımlarına erişebilmektedirler, ancak hangi bitki türlerinin ve kombinasyonlarının en yüksek lifsiz karbonhidrat konsantrasyonlarına sahip oldukları hakkında bilgileri olmayabilir. Buğdaygil yem bitkilerinin baklagil yem bitkilerinden daha yüksek miktarlarda lifsiz karbonhidrat içerdiği bilinen bir gerçektir (Bernardes ve ark., 2018).

Yazın veya erken sonbaharda hasat edilen çok yıllık yem bitkilerine kıyasla, geç sonbahar hasatlarının (doğu Kanada'da Ekim ayı gibi) önemli ölçüde daha yüksek miktarlarda lifsiz karbonhidrat içermesi

muhtemeldir. Mısırın gelişimi ve büyümesi sıcaklığa aşırı derecede duyarlıdır. Erken sonbahar ve geç ilkbahar donları mısır için zararlı olabilmektedir. Soğuk yerlerde mısır silajının kullanımı bazen kısa bir büyüme mevsimi ve soğuk hava nedeniyle kısıtlanmaktadır. Kısa sezonluk hibrit mısır çeşitlerinin başarılı bir şekilde geliştirilmesi, mevcut ve öngörülen iklimsel ısınma, soğuk iklimlerde silajlık mısır yetiştirmeye olan ilgiyi artırmış ve bu da sonunda geniş kuzey bölgelerinde mısır silajı üretimini mümkün kılmıştır. Olgunlaşmamış mısır silajı, hayvanlara verildiğinde yem tüketimini olumsuz etkilemektedir ve kule tipi silolarda silolandığında yüksek sızıntı kayıplarına ve genellikle donmaya neden olmaktadır. Yeterli kuru madde oranı elde etmek için, mısır silajı hasadı genellikle biraz geç yapılmaktadır. Soğuk bölgelerdeki üreticiler, mısırın silolanabilmesi için genellikle kuru madde oranını artırmanın bir yolu olarak donu kullanmaktadırlar. Hem Kuzey Amerika çayırlarına özgü çok yıllık bir sıcak mevsim buğdaygil türü olan dallı darı (*Panicum virgatum* L.) hem de Kuzey Amerika'nın kuzey bölgelerinde yem üretimi için tavsiye edilen yüksek verimli soğuk mevsim buğdaygil türü olan yem kanyaşı (*Phalaris arundinacea* L.), enerji üretimi için potansiyel çok yıllık otsu biyokütle bitkileridir. Bu buğdaygil türlerinin yem bitkisi olarak silolanma potansiyelleri oldukça iyi olmasına rağmen, bu bitkilerin silolanması ile ilgili olarak çok az sayıda çalışma yapılmıştır. Son yıllarda, doğu Kanada'nın serin ve nemli iklimlerinde tatlı sorgum (*Sorghum bicolor* L.) ve inci darısının (*Pennisetum glaucum* L.) yeterli büyüme kapasitesine sahip olduğu da gösterilmiştir. Yüksek şeker verimleri nedeniyle, her iki yem bitkisinin de biyoyakıt üretimi için

biyokütle kaynağı olma potansiyeline sahip olduğu düşünülmektedir. Bu yem bitkilerinden etanol üretimi için lifsiz karbonhidratların ekstraksiyonu sonucu elde edilen küspe, silaj olarak da muhafaza edilebilmekte ve hayvan yemi olarak kullanılabilir. Şu anda, kuzey bölgelerde yetişen tatlı sorgum ve inci darısından yapılan küspe silajının beslenme ve koruma nitelikleri hakkında çok az şey bilinmektedir. Kuzey enlemlerdeki silolama koşulları, büyüme mevsiminin büyük bir kısmında silaj üretimi için elverişlidir. Gündüzleri ortam sıcaklığı genel olarak 15°C'nin üzerinde olmasına rağmen, geceleri sıcaklık yine de şiddetli bir şekilde düşebilmektedir. Sıcaklıktaki bu dalgalanmalar, soldurulmuş yem bitkisi üzerinde yüzey nemini artıran çiğ oluşumuna neden olabilmektedir. Yem bitkileri (mısır gibi), yetiştirilebilecekleri bölgelerin çok kuzeyinde yetiştirilip hasat edildiğinde, bu tür yem bitkilerini siloya almak daha zor olabilmektedir. Sonbaharda akşamları serin olması ve çok sık görülen don olayları sonucunda, bitkinin metabolik aktivitesi azalmaktadır. Modern makineler her ne kadar üretilen balyaların yoğunluğunu artırabilse ve yem bitkilerinin iyi parçalanmasını sağlasa da, balyalar genel olarak bank veya yığın tipi silolara yerleştirilen materyallerden daha az yoğunluğa sahiptirler. Çiftliklerde genellikle daha yüksek kuru madde düzeyine sahip balyalar üretilmektedir. Sonuç olarak, artan ozmotik basınç, LAB aktivitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olmakta ve maya ve küf gelişimini destekleyen daha yüksek bir pH'a neden olmaktadır. Balyaların sarıldığı streç film plastiği, elleçlemeden veya hayvanlardan kaynaklanan fiziksel zararlara karşı oldukça hassastırlar. Asitle işlenmiş silajlar, optimum fermentasyon kalitesini

sağlamanın ve silolama kayıplarını azaltmanın yanı sıra hem genel besin alımını hem de emilen besin profilini etkilemektedir. Ruminal fermentasyon modelleri, suda çözünebilir karbonhidratların silo içi fermentasyon derecesinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Silaj laktik asit konsantrasyonları arttıkça rumendeki propiyonat konsantrasyonları da yükselmektedir. Sonuç olarak, bakteriyel aşılama maddesi olarak kullanımı Kuzey Avrupa'da yaygınlaşmış olsa bile, asit bazlı ilaveler, özellikle zorlu hava koşullarında, fermentasyon kalitesi iyi olmasını ve silajların yüksek alım potansiyeline ve besin içeriğine sahip olması için hala yararlı bir uygulama olarak görülmektedir. İklim koşulları, tarladan hayvanların verilen yem rasyonlarına kadar silaj üretimi ve kullanımının tüm aşamalarını etkilemektedir. Tüm abiyotik faktörlerin silaj kalitesini etkileme potansiyeli olmasına rağmen, sıcaklık ana sınırlayıcı faktör gibi görünmektedir. İklim, finansal kaynakların mevcudiyetini doğrudan etkilemese de sıcak bölgelerde daha düşük girdili tarım uygulamaları bulunmaktadır ve bu da silaj kalitesini düşürebilmektedir (Bernardes ve ark., 2018).

Donmuş silaj, özellikle hendek veya bank tipi silolarda bazen sorun olabilmektedir. Silajın dondurulması, silajı bozmadığı sürece muhafaza kalitesini bozmamakta, ancak donmuş silaj, sığırlar tarafından tüketildiğinde sindirim bozukluklarına neden olabilmektedir. Silajı hayvanlara vermeden önce eritmek en iyi yöntemdir.

4. SİLAJLIK MISIRDA OPTİMUM HASAT ZAMANINI KAÇIRMAK

Silajlık mısırdaki optimum hasat zamanını kaçırma nedenleri şunlardır:

1) Ürün, dar bir hasat zamanı aralığında olgunlaşmaktadır. 2) Sıcak ve kuru hava olgunlaşmayı hızlandırabilmektedir. 3) Bitkinin dane ve yeşil kısımları farklı kuruma oranı sahiptir. 4) Havanın yağışlı olması nedeniyle hasat ekipmanlarının tarlada kullanılamaması. 5) Silaj yüklenicisinin programlanamaması. 6) Hasat ekipmanlarının kapasitelerinin yetersiz olması (Bolsen, 2006).

Çözümleri ise şunlardır: 1) Farklı yetiştirme sezonu uzunluklarına sahip birden fazla mısır veya sorgum hibritlerinin ekilmesi. 2) Besi sığırdığı veya süt sığırdığı üreticileri, yem bitkisi yetiştiricileri ve silaj yüklenicileri arasındaki iletişimin geliştirilmesi. 3) Hasat stratejisinin değiştirilmesi (yem bitkisinin dane üretimine bırakılması, yem bitkisinin daha kısa uzunluklarda parçalanması, ek traktörün ilave edilmesi vs.) (Bolsen, 2006).

KAYNAKLAR

- Adesogan, A.T. 2006. Factors affecting corn silage quality in hot and humid climates. In 17th Florida Ruminant Nutrition Symposium, p. 108-127.
- Akbay, F., Günaydın T., Kızılyar, E.N., Korkmaz Z., Arıkan S., Temiz S., Kızılımşek M. 2023. Yonca silajına farklı dozlarda keçiyoynuzu unu ilavesinin silaj fermentasyonu ve silaj kalitesine etkisi. 100th Anniversary of The Republic Turkey International Ege Agriculture Congress. İzmir Türkiye, 01-03 November, 516-524.
- Ashbell, G., Weinberg, Z.G., Hen, Y., Filya, I. 2002. The effects of temperature on the aerobic stability of wheat and corn silages. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28(5): 261-263.
- Bernardes, T.F., Daniel, J.L.P., Adesogan, A.T., McAllister, T.A., Drouin, P., Nussio, L. G., ... & Cai, Y. 2018. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4001-4019.
- Bolsen, K.K. 2006. Silage management: common problems and their solution. In Tri-State Dairy Nutrition Conference, Wayne, IN, p. 83-93.
- Crafts-Brandner, S.J., Salvucci, M.E. 2002. Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, maize, to heat stress. *Plant Physiology*, 129(4): 1773-1780.
- Da Silva, N.C., Dos Santos, J.P., Ávila, C.L., Evangelista, A.R., Casagrande, D.R., Bernardes, T.F. 2014. Evaluation of the effects of two *Lactobacillus buchneri* strains and sodium benzoate on the characteristics of corn silage in a hot-climate environment. *Grassland Science*, 60(3): 169-177.
- Doi, K., Nishizaki, Y., Kimura, H., Kitahara, M., Fujino, Y., Ohmomo, S., Ohshima, T., Ogata, S. 2013. Identification of thermo tolerant lactic acid bacteria isolated from silage prepared in the hot and humid climate of Southwestern Japan. *Springerplus*, 2(1): 1-12.
- Driehuis, F. 2013. Silage and the safety and quality of dairy foods: a review. *Agricultural and Food Science*, 22(1): 16-34.

- Gerlach, K., Roß, F., Weiß, K., Büscher, W., Südekum, K.H. 2013. Changes in maize silage fermentation products during aerobic deterioration and effects on dry matter intake by goats. *Agricultural and Food Science*, 22(1): 168-181.
- Günaydın, T., Akbay, F., Arıkan, S., Kızılsımsek, M. 2023. Effects of different lactic acid bacteria inoculants on alfalfa silage fermentation and quality. *Journal of Agricultural Sciences*, 29(2): 555-560.
- Holzer, M., Mayrhuber, E., Danner, H., Braun, R. 2003. The role of *Lactobacillus buchneri* in forage preservation. *TRENDS in Biotechnology*, 21(6): 282-287.
- Kaneshige, N., Tanaka, S., Zong, Y., Ohmomo, S., Nishiyama, K., Doi, K., Ogata, S. 1994. Relationship between the quality of Italian ryegrass silage and the presence of phages for silage-making lactobacilli. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 68(8): 1219-1221.
- Mannetje, L. 2000. Introduction to the conference on silage making in the tropics. *FAO Plant Production and Protection Papers*, 1-4.
- Namihira, T., Shinzato, N., Akamine, H., Maekawa, H., Matsui, T. 2010. Influence of nitrogen fertilization on tropical-grass silage assessed by ensiling process monitoring using chemical and microbial community analyses. *Journal of Applied Microbiology*, 108(6): 1954-1965.
- Ohmomo, S., Tanaka, O., Kitamoto, H. K., Cai, Y. 2002. Silage and microbial performance, old story but new problems. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ*, 36(2): 59-71.
- Peichl, M., Thober, S., Samaniego, L., Hansjürgens, B., Marx, A. 2019. Climate impacts on long-term silage maize yield in Germany. *Scientific Reports*, 9(1): 1-12.
- Pelletier, S., Tremblay, G.F., Bélanger, G., Bertrand, A., Castonguay, Y., Pageau, D., Drapeau, R. 2010. Forage nonstructural carbohydrates and nutritive value as affected by time of cutting and species. *Agronomy Journal*, 102(5): 1388-1398.
- Samapundo, S., Devlieghere, F., De Meulenaer, B., Debevere, J. 2005. Effect of water activity and temperature on growth and the relationship between fumonisin production and the radial growth of *Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum* on corn. *Journal of Food Protection*, 68(5): 1054-1059.

- Weinberg, Z.G., Szakacs, G., Ashbell, G., Hen, Y. 2001. The effect of temperature on the ensiling process of corn and wheat. *Journal of Applied Microbiology*, 90(4): 561-566.
- Wong, C.C. 2000. The place of silage in ruminant production in the humid tropics. *FAO Plant Production and Protection Papers*, 5-6.

BÖLÜM 11

SİLAJLA HAYVAN BESLEME

Doç. Dr. Serap KIZIL AYDEMİR¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449278>

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Ziraat ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Bilecik. E-mail: serap.kizil@bilecik.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-0291-8598>

1. GİRİŞ

Hayvan beslemede kullanılan kaba yem silajları hasattan depolamaya kadar besin kaybının çok az olması, sindirilebilirliğinin daha kolay olması, yılın her gününde kaliteli kaba yem kaynağı sunması gibi nedenlerden dolayı büyük çiftliklerde yoğun bir şekilde tercih edilmektedirler (Mahanna ve Chase, 2003).

2. SİLAJ NE ZAMAN HAZIRDIR?

Silaj, pakatlendikten en az üç hafta sonra hayvanlar tarafından tüketilebilir, ancak genel bir kural olarak, 60 ila 70 günlük bir süre optimum fermentasyonu sağlamaktadır. Bununla birlikte, silajın hayvanlara verilmeden önceki bekleme süresinin uzunluğu, kullanılan yemin kalitesine ve silolanacak yemin mevcudiyetine bağlıdır. Örneğin, yeni yapılmış mısır silajı yaklaşık %10 şeker içermektedir ve bu asidoza neden olabileceğinden, yeni yapılmış mısır silajını çok erken beslemede kullanmamak özellikle çok önemlidir. Silajı hayvanlara vermeden önce kalitesini değerlendirmek oldukça önemlidir. Bunun için silaj görünüm, doku, koku ve renk bazında değerlendirmelidir (FAO, 2020).

3. SİLOYU AÇMA VE KAPATMA

Silonun sadece üç veya dört gün içinde kullanılacak kısmı açılmalı ve yemlemeler arasındaki sürelerde silaj mümkün olduğu kadar iyi örtülmelidir. Silajın hayvanlara verilmesi sırasında hava ile temas eden

kısının mümkün olduğunca küçük, silonun açılıp kapanması arasındaki süre ise mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Hava ve ısınmaya maruz kalmaması için silajın sadece ihtiyaç olan kadarki kısmı çıkarılmalı ve alınmalıdır. Havaya veya ısıya maruz kalan silaj küflenip bozulacaktır. Silajı hayvanlara verdikten sonra, havanın silo içerisine girmesini önlemek için plastiğin ön kenarına yeterince ağırlık koyarak kapalı tutmak gerekmektedir (FAO, 2020).

4. SİLAJLA BESLEME

Başarılı şekilde yapılmış silajların çoğu yüksek besleme kalitesine sahiptir ve bu nedenle öncelikli olarak en üretken hayvanlara verilmelidir. İdeal durumda, süt inekleri kapalı alanda günde 7 ila 12 öğün yem yemektirler; her öğün yaklaşık 30 dakika sürmekte ve günde yaklaşık beş saat yem yeme süresi harcamaktadırlar. Bu, günde en az iki veya üç defa yeni yem verilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Besleme ünitesinde yaklaşık %5 yem kaldığında ekleme yapılmalı ve hayvanlara her gün aynı saatlerde yem vermeye çalışılmalıdır. Bozulmuş olan silajın tamamının atıldığından emin olunmalı ve bunlar hayvanlara kesinlikle yedirilmemelidir. Toprak çukurlardan silaj çıkarırken çok dikkatli olunması gerekmekte ve hayvanlara toprak içeren silajları vermekten kaçınılmalıdır. Silajı beslerken aynı zamanda herhangi bir konsantre yem de kullanılmalıdır. İneklerin silajla beslenmeye başladıkları ilk dönemde koku nedeniyle silaja alışmaları gerekebilir; bu tereddüt durumu genellikle birkaç gün sonra ortadan kalkmaktadır. Silajın tüketimini teşvik etmek için silaja

biraz melas veya diğer iştah açıcı yem bileşenleri eklenebilmektedir (FAO, 2020).

5. SİLAJ ÖZELLİKLERİ, BESLENME DAVRANIŞI VE YEM TÜKETİMİ

Besleme yapılan ortam ve yeme erişebilirlik, sığırların rasyona ve yem bileşimine tepkisini etkilemektedir. Lif içeriği, fiziksel form ve fermente edilebilirlik, hayvanların beslenme davranışını, yem alımını ve kaba yemlere genel olarak besi hayvanlarının tepkilerini etkilemektedir. Örneğin, laktasyondaki süt sığırlarının silajı tüketme zamanını rasyondaki silajın lif içeriği, sindirilebilirlik ve partikül boyutunu değiştirerek günde 1 saatin üzerinde değiştirmek mümkündür. Silaj partikül boyutunu optimize etmek önemlidir, çünkü aşırı uzun ve büyük parçalar halindeki bir silaj topağını yutmak için hayvanlar daha fazla çiğneme yapmakta ve yemi tüketme süresi uzatmaktadır. Aşırı kaba veya düşük lif sindirilebilirliğine sahip olan silajlar, hayvanların yemlikteki yem yeme süresinin daha fazla olmasına neden olmakta ve bu da özellikle süt ineklerinin kuru madde alımını sınırlandırabilmektedir. Silajın nişasta içeriği ve fermente edilebilirlik durumu, ruminal propiyonat üretimini etkileyebilmekte ve böylece öğün düzeni ve yem tüketimi üzerinde önemli bir kontrol sağlayabilmektedir. Silaj lifi ile karşılaştırıldığında, nispeten az sayıda araştırma, silaj nişasta içeriğinin ve fermente edilebilirliğin, süt ineğinin beslenme davranışını etkilemek için besleme ortamıyla nasıl etkileşime girdiğini değerlendirmiştir. Silaj fermentasyonu son ürünlerinin

hayvanların beslenme davranışı ve yem alımı üzerindeki potansiyel etkileri hakkında ise çok sayıda çalışma mevcuttur. Hayvanların beslenme davranışı üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu gösterilen bileşikler laktat, asetat, propiyonat, bütirat, amonyak-N ve aminlerdir. Gelecekte, süt sığırlarına verilen silaj bazlı rasyonların hayvanların beslenme davranışını ve kuru madde alımını optimize etmek için silajın kimyasal ve fiziksel özelliklerini, silaj fermentasyonunun son ürünlerini ve beslemenin sosyal ve fiziksel bileşenlerinin dikkate alınması gerekecektir (Grant ve Ferraretto, 2018).



Şekil 1: Buğdaygil Yem Bitkisi Silajı (Genever, 2018)

Silajın lif, nişasta ve protein içerikleri ile fermente edilebilirliği, fermentasyon son ürünleriyle birlikte besi hayvanlarının beslenme davranışını ve kuru madde alımını etkilemektedir (Oliveira ve ark., 2017). Yem bitkilerin yetiştiği çevre koşulları ve fiziksel uygulamalar

yem verimine etki edebileceği gibi aynı zamanda hayvanın beslenmesi ve verimi üzerinde değiştirici bir etkiye sahiptir (Grant ve Albright, 2001). Rasyondaki NDF içeriği, sindirilebilirlik ve parçacık boyutu; lif alımını, çiğneme davranışını, rumen dönüşümünü ve hayvansal üretimin verimliliğini etkilemektedir (Oba ve Allen, 2000). Rasyonun lif içeriği arttıkça, sığırlar genel olarak yem yemeye daha fazla zaman ayıracaklar, daha uzun öğün süresine sahip olacak ve daha fazla ayırma davranışı sergileyeceklerdir. Buna karşılık, NDF sindirilebilirliği arttıkça, hayvanların yemi çiğneme süresi azalacaktır. Kilogram kuru madde başına ortaya çıkan çiğneme dakikaları olarak ifade edilen çiğneme indeksi, yemin NDF sindirilebilirliği arttıkça, partikül uzunluğu kısaldıkça veya NDF içeriği azaldıkça genel olarak azalmaktadır. Ağırlıklı olarak buğdaygil yem bitkisi ve buğdaygil yem bitkisi-yonca silajı, yonca silajı, mısır silajı ve tüm bitki silajlarından oluşan silaj bazlı rasyonlar için kuru madde tüketimi ile çiğneme indeksi arasında negatif bir doğrusal ilişki vardır (Jensen ve ark., 2016). Çiğneme indeksine yansıtılmamasına rağmen, bazı silajların enerji alımı üzerindeki potansiyel olumsuz etkisinin bir kısmı, düşük düzeydeki silaj kuru madde içeriği ve yüksek düzeydeki silaj fermentasyon son ürünlerinin olumsuz etkileri ile ilgilidir (Huhtanen ve ark., 2007). Bununla birlikte, geviş getiren hayvanlarda silaj NDF içeriği, sindirilebilirliği ve partikül boyutunun çiğneme aktivitesini ve kuru madde alımını önemli ölçüde etkilediği açıktır (Oba ve Allen, 2000).

Çok kaliteli yem içeren rasyonlar, NDF sindirilebilirliği düşük ve parçacık boyutu uzun olan yemler, hayvanların yemi tüketmek için harcadıkları süreyi artırmaktadır. Yem yeme ve geviş getirme sırasında artan çiğneme süresi, verimli süt ineklerinde kuru madde alımı için birincil sınırlayıcı faktör olabilmektedir. Optimal koşullar altında, süt inekleri yem yemek için günde 3 ila 5 saat harcamaktadırlar (Gomez ve Cook, 2010). Çiğneme, silajın fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre belirlenmektedir. Önemli fiziksel özellikler arasında partikül boyutu, kırılabilirlik ve çiğnendiğinde partikül parçalanma hızı yer almaktadır. Kimyasal özellikler arasında yutmaya yardımcı olan nem içeriği, daha düşük NDF içeriği ve daha düşük lignin konsantrasyonu yer almaktadır (Rinne ve ark., 2002). Genel olarak iri yem parçacıkları, yem topağı oluşumuna neden olmakta ve hayvanların yemi yutması için uygun bir boyuta kadar çiğnenmesini gerektirmektedir. Daha da önemlisi, NDF içeriği yüksek veya daha uzun parçacık boyutuna sahip olan yemler, yemin tüketilmesi için gereken süreyi uzatmaktadır. Yemin parçacık boyutunun çok büyük olması sığırlar için bir dezavantaj olabilmektedir. Ortalama parçacık uzunluğu 10 ila 11 mm'den büyük olan yemlerin hayvanlar tarafından çiğnenme ve yutulması daha uzun süre alabilmektedir (Heinrichs ve Kononoff, 2013)

Rumenin gün boyunca yeterli miktarda yemle beslendiği durumlarda, mikrobiyal büyüme için daha düzgün bir rumen ortamı oluşmalıdır. Buna karşılık, beslenme ortamı hızlı tüketim oranlarını veya seçici beslenmeyi teşvik ediyorsa, asit üretiminde artış subakut ruminal asidozisi (SARA) (sub-acute rumen acidosis) ve ilgili sorunlara yol

açabilecek önemli günlük değişiklikler meydana gelebilmektedir. Ticari çiftliklerde, silajın daha ince doğranması veya işlenmesi, gereken işgücü ve genel hasat maliyetlerini artırsa da besi hayvanlarının daha düşük seçici yem yeme davranışı, yemlikte hayvanın daha az zaman harcanması sayesinde artan üretkenlik ve ekonomik faydalar sağlamaktadır. Silajların içerik, boyut ve sindirilebilirlik gibi lifli özellikleri rumen dolgusunu, yemin çiğnenmesini, kuru madde alımını ve hayvanların seçici yeme davranışını etkilemektedir. Bazı silaj hammaddeleri, yem alımını ve öğün düzenlerini önemli ölçüde etkileme potansiyeline sahip bir nişasta fraksiyonu içermektedir. Nişasta içeriği çeşit, tarlada yetiştirme koşulları ve hasat zamanı değiştirmektedir. Hasattaki olgunluk, işleme yöntemi ve silaj fermentasyon süresi dahil olmak üzere silajdaki nişasta sindirilebilirliğini etkileyen çeşitli faktörler vardır (Ferraretto ve ark., 2018).

Fermentasyon profili; yem bitkisi türlerine, uygun silolama uygulamalarına, silajın nem içeriğine ve hasatta mikrobiyal aşılama ve kimyasal katkı maddeleri ile muamele durumuna göre değişmektedir. Laktik asit, silajdaki birincil fermentasyon son ürünüdür. Homofermentatif ve fakültatif heterofermentatif laktik asit bakteriyel inokulantlar ile muamele olan silajlar, olmamış silajlardan yaklaşık %1 daha fazla laktat konsantrasyonuna sahiptirler. Silaj asetat konsantrasyonu ile silaj tüketimi arasında negatif bir ilişki mevcuttur. Asetik asit nedeniyle azalan kuru madde alımı, diyetin lezzetiyle de ilişkili olabilir. Homofermentatif ve fakültatif heterofermentatif laktik

asit bakteriyel aşılama, silolanmış yemlerin asetat konsantrasyonunu azaltmaktadır (Oliveira ve ark., 2017). Propiyonat, geviş getiren hayvanlarda yem tüketimini diğer organik asitlere göre daha fazla düzenlemektedir (Allen ve ark., 2009). Silajdaki propiyonat konsantrasyonu sınırlıdır. Propionik asit, fungusidal özellikleri ve silajdaki aerobik stabiliteyi iyileştirme potansiyeli nedeniyle tek başına veya diğer organik asitlerle kombinasyon halinde bir katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Kung ve ark., 2003) ve silajlardaki propiyonat konsantrasyonunu ve dolayısıyla yem tüketimi ve beslenme davranışlarını etkileyebilmektedir. Silajdaki bütirik asidin düzeyi, şekerlerin ve laktik asidin Clostridia fermentasyonu dahil, zayıf fermentasyonun tipik bir işaretidir. Bütiratın konsantrasyonu genellikle kuru madde alımındaki azalmalarla ilişkilidir (Krizsan ve Randby, 2007).

6. BAKLAGİL YEM BİTKİLERİ SİLAJLARI İLE BESLEME

Baklagil yem bitkilerinin geviş getiren hayvanların beslenmesinde kullanılması, hayvansal üretimi ve besinlerden yararlanma etkinliğini artırmakta, ithal ve yüksek karbon ayak izi olan yemlere olan bağımlılığı azaltmaktadır. Baklagiller, iyi kalitede silaj elde etmek için tek başlarına veya buğdaygil yem bitkileri ile birlikte silolanabilmektedir. Baklagil yem bitkisi silajları (örn. yonca, kırmızı üçgül, ak üçgül), buğdaygil yem bitkisi silajlarına kıyasla, ılıman iklim bölgelerindeki ticari olarak önemli hayvan türleri tarafından daha fazla tüketilmekte, sindirim sistemi geçiş hızı ve fiziksel parçalanma daha

fazla olmakta ve toplam sindirim sistemi sindirilebilirliği (aTTd) daha az olmasına rağmen daha yüksek hayvansal verim sağlamaktadır (Dewhurst, 2013). Baklagiller, iyi kalitede silaj elde etmek için tek başlarına veya buğdaygil yem bitkileri ile birlikte silolanabilmektedir. Baklagil yem bitkileri silajı içeren rasyonlarda azot alımı, baklagil içermeyen rasyonlara göre daha fazladır. Ilıman iklim bölgelerinde, buğdaygil yem bitkisi silajlarının baklagil yem bitkisi silajlarıyla değiştirilmesi genellikle artan kuru madde alımı ile ilişkilendirilmiştir (Huhtanen ve ark., 2007).

Büyükbaş hayvanların rasyonlarındaki ham protein içeriği, kuru madde alımı ve azot alımı ile pozitif olarak ilişkiliyken, rasyondaki baklagil yem bitkisi silajının oranı her ikisiyle de negatif ilişkilidir. Tropikal baklagil yem bitkileri silajları ile beslenen büyükbaş hayvanlarda kuru madde alımı ve toplam sindirim sistemi sindirilebilirliğinin azalmasına katkıda bulunabilecek bir başka faktör de anti-besin komponentlerinin varlığıdır. Bu tür yem bitkilerinin, olgun tohumlarında veya bitkilerin genç dönemlerinde yüksek konsantrasyonlarda bulunan bir dizi anti-besin komponentlerine sahip olduğu bilinmektedir. Silolama işlemi, bu anti-besin komponentlerin bazılarını kısmen etkisiz hale getirebilmekte veya değiştirebilmektedir (Makkar, 2003), ancak bunlar baklagil yem bitkisi silajlarında bir miktar da olsa bulunmakta ve genellikle yemin tüketimini ve sindirilebilirliği etkileyebilmektedir. Saponinler, tanenler ve uçucu yağlar gibi bileşikler, azalan karbonhidrat sindirilebilirliği ile ilişkilendirilmiştir (Wallace, 2004) ve toksisite, yem tüketimini engelleyen alkaloidler, siyanojenik bileşikler veya mimosin gibi birçok

diğer bileşiklerle ilişkilendirilmiştir. Baklagil yem bitkilerinin tohumlarının çoğunun anti-besin komponentleri içerdiği bilinmektedir, ancak yem bitkileri tohum oluşumundan önce veya gelişimlerinin erken aşamalarında hasat edildiğinde, tohumlar silajdaki kuru maddenin küçük bir bölümünü temsil etmektedir. Ayrıca, pH veya laktik ve bütirik asit konsantrasyonları gibi silaj kalite özellikleri baklagil yem bitkilerinden başarılı bir şekilde silaj yapıldığını gösterse de asetik asit ve $\text{NH}_3\text{-N}$ konsantrasyonları gibi diğer silaj fermantasyon ürünlerinin yemin alımını bozduğu bilinmektedir. Ek olarak, bazı araştırmacılar, bazı baklagil yem bitkisi silajlarında hayvan tarafından tüketimin azalmasına yol açan güçlü kokular olduğunu rapor etmişlerdir. Anti-besin komponentlerinin varlığı, baklagil içeriği yüksek silaj içeren rasyonlara sahip büyükbaş ruminantlarda kuru madde alımını düşüren faktörlerden birisi olabilmektedir. Mısır ve sorgum yemlerine kıyasla börülce ve yonca yemlerinde yüksek oranda life bağlı azotun olduğu da bildirilmiştir (Das ve ark., 2015).

Baklagil yem bitkisi silajları ile beslemenin toplam sindirim sistemi sindirilebilirliği ve dolayısıyla diğer değişkenler üzerindeki etkisi, silajın türüne bağlı olacaktır. Hristov ve ark. (2004), süt veriminin ana belirleyicilerinden birinin duodenum'a emilebilir protein (yani metabolize edilebilir protein) tedariki olduğunu ve ayrıca yonca silajı diyetdeki tek yem olduğunda bu tür arzın azaldığını bulmuşlardır. Yemden kaynaklanan ham protein oranı, baklagil yem bitkilerinden gelen ham protein oranı ile ilişkilidir; bu durum, tropik baklagil yem bitkisi silajları ile beslenen hayvanlarda idrar olarak atılan yüksek azot

oranına işaret etmektedir. Tropikal baklagil yem bitkisi silajlarının etkileri sığırlarda koyun ve keçilere göre farklılık gösterebilmektedir. Ruminant hayvanların yemlerindeki baklagil yem bitkisi silajlarının oranı, kuru madde alımını ve besin sindirilebilirliğini olumsuz etkilememektedir. Karışık silajların başarılı bir şekilde hazırlanması, her iki ürünün optimum zamanda ve aynı anda hasat edilmesine bağlıdır. Bu nedenle, belirli bir bölge için hem baklagil yem bitkileri hem de buğdaygil yem bitkileri, mısırın veya sorgumun fenolojisi hakkında bilgi sahibi olunmalıdır (Castro-Montoya ve Dickhoefer, 2018).

7. BUĞDAYGİL YEM BİTKİLERİ SİLAJLARI İLE BESLEME

Buğday (*Triticum vulgare* L.), yulaf (*Avena sativa* L.) ve tritikale (*Triticum x Triticosecale*), yem kuru madde verimi açısından yüksek potansiyele sahiptirler. Virgona ve ark. (2006), kışlık buğdayın koyunlar tarafından otlatılmasının (geç vejetatif ve erken generatif aşamalarında) verim üzerinde olumsuz etkilere sebep olmayacağını bildirirlerken; Kaiser ve ark. (2007), dane dolumundan önce biçilen yulafların kuru madde verim potansiyelinin yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Kuzey yarımkürede yapılan araştırmalarda buğdayın farklı büyüme aşamalarında biçilmesinin etkileri araştırılmış ve buğdayın botanik bileşimindeki farklılıkları yansıtan, olgunluk aşamasına bağlı olarak belirgin şekilde farklı fermentasyon modelleri önerilmiştir. Tahılların silajı nispeten kolay olmasına rağmen, silajdaki besleme özelliklerinin ve fermentasyon parametrelerinin, silaj yapımı

sırasındaki bitkinin büyüme aşamasına bağlı olduğu bildirilmiştir (Filya, 2003). Silajın besleyici özelliklerine bağlı olarak, tüm kaba yemlerin içeriğinin, silolamayı takiben iyileştiği, lif özelliklerindeki bazı olası bozulmaların daha sindirilebilir biçimlere dönüştüğü belirtilmiştir (Hill ve ark., 2001).

Tahıllar, sığırlarda birinci derecede rasyon nişastası kaynağıdır ve Kuzey Avrupa'da kullanılan sığır yemlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Geleneksel olarak büyüme dönemindeki sığırlar için rasyonlar büyük ölçüde buğdaygil yem bitkisi silajı ve arpa (*Hordeum vulgare*) veya mısır (*Zea mays*) takviyesine dayanmaktadır. Arpa ve mısır fiyatlarının artması durumunda yulaf (*Avena sativa*), sığır rasyonlarında ekonomik açıdan cazip bir alternatif haline gelmektedir. Biyoyakıt üretiminden kaynaklanan rekabetle birlikte, hayvan beslemek için tahılların fiyatı ve değeri değişecektir ve sığır eti üretimi için arpa yerine yulaf kullanılması ekonomik bir avantaj haline alabilecektir. Fuhr (2006)'a göre yulaf en iyi gelişmesini serin ve nemli iklimlerde yaptığı bildirmiştir. Yulaf, toprak kaynaklı patojenlerin oluşumunu sınırlayarak herhangi bir hastalık salgınını önleyebilmekte ve belirli koşullar altında yetiştirildiğinde arpadan daha fazla ürün verebilmektedir. Bununla birlikte, yulafın enerji değeri, yulafın %20 ila %30 arasında değişen kabuk içermesi nedeniyle arpa ve mısırdan daha düşük kabul edilmiştir (Huuskonen, 2009). Yulaf kabuğu, önemli miktarda sindirilemeyen lignin içerdiğinden dolayı yüksek lifli bir yem maddesidir. Fuhr (2006)'a göre yulaf, hem daha yüksek yağ seviyelerine sahip olması hem de yağların çoğunluğunun endospermde

olması bakımından tahıllar arasında benzersizdir. Yulaf, geviş getiren hayvanlara çok fazla yedirilen bir tahıl türü değildir. Mısır ve arpa, özellikle sığır yetiştirmek ve beslemek için tasarlanmış besleme programlarında tercih edilen tahıllardır. Bu nedenle, geviş getiren hayvan üretiminde yulaf üzerine çok az araştırma yapılmıştır. Bununla birlikte, süt sığırlarında yapılan bazı araştırmalar, yulafın yüksek süt verimi sağlamada diğer tahıl taneleriyle karşılaştırılabilir olduğunu göstermiştir (Huuskonen, 2009).

Yüksek miktarda kaba yem içeren rasyonlar, özellikle lifin sindirilebilirliği düşükse veya silajın parça uzunlukları daha büyükse, yemi tüketmek için daha uzun süre gerekmektedir. Birçok silaj, değişen sindirilebilirliğe sahip önemli seviyelerde nişasta içermektedir. Nişasta fermente edilebilirliğinin rumen propiyonat konsantrasyonlarını ve sonuç olarak beslenme davranışını ve kuru madde alımını etkilediği bilinmektedir. Silajların nişasta özelliklerinin, tüm laktasyon boyunca belirli besleme ortamlarında öğün modellerini ve kuru madde alımını nasıl etkilediği ile ilgili daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Son olarak, silaj fermentasyonu son ürünlerinin beslenme davranışı ve kuru madde alımı üzerindeki etkisi kanıtlanmış olsa da çoğu durumda spesifik mekanizma aydınlatılmamıştır.

KAYNAKLAR

- Allen, M.S., Bradford, B.J., Oba, M. 2009. Board-invited review: The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *Journal of Animal Science*, 87(10): 3317-3334.
- Castro-Montoya, J., Dickhoefer, U. 2018. Effects of tropical legume silages on intake, digestibility and performance in large and small ruminants: A review. *Grass and Forage Science*, 73(1): 26-39.
- Das, L.K., Kundu, S.S., Kumar, D., Datt, C. 2015. Fractionation of carbohydrate and protein content of some forage feeds of ruminants for nutritive evaluation. *Veterinary World*, 8(2): 197.
- Dewhurst, R. 2013. Milk production from silage: comparison of grass, legume and maize silages and their mixtures. *Agricultural and Food Science*, 22(1): 57-69.
- FAO, 2020. Silage making for smallholders. Food and Agriculture Organization of the United Nations. CA9937EN/1/07.20. <https://www.fao.org/3/ca9937en/CA9937EN.pdf>
- Ferraretto, L.F., Shaver, R.D., Luck, B.D. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 3937-3951.
- Filya, I. 2003. Nutritive value of whole crop wheat silage harvested at three stages of maturity. *Animal Feed Science and Technology*, 103(1-4): 85-95.
- Fuhr, L.G.M. 2006. Low Lignin Hull, High Oil Groat Oat Grain in Lactating Dairy Cow Rations (Doctoral Dissertation).
- Genever, L. 2018. Making Grass Silage For Better Returns. AHDB Beef & Lamb. Better Returns Programme. Warwickshire.
- Gomez, A., Cook, N.B 2010. Time budgets of lactating dairy cattle in commercial freestall herds. *Journal of Dairy Science*, 93(12): 5772-5781.
- Grant, R.J., Albright, J.L. 2001. Effect of animal grouping on feeding behavior and intake of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 84, E156-E163.

- Grant, R.J., Ferraretto, L.F. 2018. Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4111-4121.
- Heinrichs, J., Kononoff, P. 2013. The Penn State Particle Separator. Penn State Extension, University Park, PA. DSE, 186, 1-8.
- Hill, J., Xiao, G.Q., Ball, A.S. 2001. Effect of inoculation of herbage prior to ensiling with *Streptomyces achromogenes* ISP 5028 on chemical composition of silage. *Animal Feed Science and Technology*, 89(1-2): 83-96.
- Hristov, A.N., Price, W.J., Shafii, B. 2004. A meta-analysis examining the relationship among dietary factors, dry matter intake, and milk and milk protein yield in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87(7): 2184-2196.
- Huhtanen, P., Rinne, M., Nousiainen, J. 2007. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. *Animal*, 1(5): 758-770.
- Huuskonen, A. 2009. The effect of cereal type (barley versus oats) and rapeseed meal supplementation on the performance of growing and finishing dairy bulls offered grass silage-based diets. *Livestock Science*, 122(1): 53-62.
- Jensen, L.M., Markussen, B., Nielsen, N.I., Nadeau, E., Weisbjerg, M.R., Nørgaard, P. 2016. Description and evaluation of a net energy intake model as a function of dietary chewing index. *Journal of Dairy Science*, 99(11): 8699-8715.
- Kaiser, A.G., Dear, B.S., Morris, S.G. 2007. An evaluation of the yield and quality of oat-legume and ryegrass-legume mixtures and legume monocultures harvested at three stages of growth for silage. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(1): 25-38.
- Krizsan, S.J., Randby, A.T. 2007. The effect of fermentation quality on the voluntary intake of grass silage by growing cattle fed silage as the sole feed. *Journal of Animal Science*, 85(4): 984-996.
- Kung Jr, L., Stokes, M.R., Lin, C.J. 2003. Silage additives. *Silage Science and Technology*, 42: 305-360.
- Mahanna, B., Chase, L.E. 2003. Practical applications and solutions to silage problems. *Silage Science and Technology*, 42: 855-895.

- Makkar, H.P.S. 2003. Effects and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tannin-rich feeds. *Small Ruminant Research*, 49(3): 241-256.
- Oba, M., Allen, M.S. 2000. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber: 1. Feeding behavior and nutrient utilization. *Journal of Dairy Science*, 83(6): 1333-1341.
- Oliveira, A.S., Weinberg, Z.G., Ogunade, I.M., Cervantes, A.A., Arriola, K.G., Jiang, Y., ... & Adesogan, A.T. 2017. Meta-analysis of effects of inoculation with homofermentative and facultative heterofermentative lactic acid bacteria on silage fermentation, aerobic stability, and the performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100(6): 4587-4603.
- Rinne, M., Huhtanen, P., Jaakkola, S. 2002. Digestive processes of dairy cows fed silages harvested at four stages of grass maturity. *Journal of Animal Science*, 80(7): 1986-1998.
- Virgona, J.M., Gummer, F.A.J., Angus, J.F. 2006. Effects of grazing on wheat growth, yield, development, water use, and nitrogen use. *Australian Journal of Agricultural Research*, 57(12): 1307-1319.
- Wallace, R.J. 2004. Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. *Proceedings of the Nutrition Society*, 63(4): 621-629.

BÖLÜM 12

SİLAJLA İLİŞKİLİ İNSAN VE HAYVAN HASTALIĞI RİSKLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Rıdvan UÇAR¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449282>

¹Pamukkale Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Denizli. E-mail: rucar@pau.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-6365-7200>

1. GİRİŞ

Düzgün yapılmış ve yönetilen silaj, insanlar veya çiftlik hayvanları için hiçbir sağlık riski oluşturmayan iyi bir yemdir. Ama, bu tür silajlardaki mikropların, çiftlik hayvanları üzerinde etkileri olabilmektedir (Weinberg ve ark., 2003). Silajdaki pH yeterince düşürülmediğinde veya oksijen olması durumunda farklı istenmeyen mikroorganizmalar gelişebilmektedir. Sığır rasyonlarında silaj kullanım oranı yüksektir. Silajda yüksek sayıda mantarın bulunması, yemin lezzetini etkileyen ve hayvanlar tarafından besin maddelerinin emilimini azaltan yoğun bir mantar aktivitesine işaret etmektedir. Süt sığırlarının yem rasyonlarındaki mikotoksinlerin süt ürünlerine de geçme ihtimali olduğundan, sorun sadece hayvan hastalığı veya üretim kayıpları ile sınırlı değil, aynı zamanda başta bebekler olmak üzere insan sağlığını da etkileyecektir. İnek sütündeki en önemli mikotoksin, kontamine yem alımının doğrudan bir sonucu olarak sütte saptanan, AFB1'in biyotransformasyonu ile üretilen bir metabolit olan aflatoksin M1'dir (AFM1). Süt ve yan ürünlerinde aflatoksin M1'in bulunması dünya çapında bir endişeye sebep olmaktadır, çünkü bu tür ürünler esas olarak mikotoksinlerin olumsuz etkilerine karşı daha duyarlı olan çocuklar tarafından tüketilmektedir (Boudra ve ark., 2007). Diğer bir endişe de fırsatçı patojenler olmasına rağmen, silolarda bulunan *A. fumigatus* gibi bazı mantarların bulaşma ihtimali yüksek olan çiftlik çalışanları için yüksek bir kontaminasyon riski oluşturmasıdır. Silaj üretimi için kullanılan yemler doğal olarak mayalar ve ipliksi mantarlarla temas halindedir ve kontaminasyon genellikle tarlada meydana gelmekte ve

ayrıca hasat, nakliye, depolama sırasında da meydana gelebilmektedir. Ayrıca, hasat sonrası kötü yönetim hızlı bir bozulmaya yol açabilmektedir. Süt sığırları yeminin mantar kontaminasyonu üzerine yapılan araştırmalar, silajın çiftlik hayvanlarına verilen yemin kontaminasyon derecesini nasıl etkilediğini göstermektedir. Bu mantarlardan bazıları, fırsatçı patojenler olmasına rağmen, epidemiyolojik olarak önemlidir ve korunma tedbirleri almayan çiftlik çalışanları için yüksek bir kontaminasyon riski taşımaktadırlar (Alonso ve ark., 2013).

Silajlar, hayvan sağlığı, süt veya diğer hayvansal gıda ürünlerinin güvenliği veya her ikisi için potansiyel olarak tehlikeli olan çeşitli maddeler içerebilmektedir. Bunlar 1) mikrobiyal tehlikeler, 2) bitki toksinleri ve 3) kimyasal tehlikeler olarak kategorize edilebilir. Mikrobiyal tehlikeler arasında *Clostridium botulinum*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, Shiga toksin üreten *Escherichia coli*, *Mycobacterium bovis* ve çeşitli küf türleri yer almaktadır. Silajdaki yüksek *C. botulinum* konsantrasyonları, sığır botulizmi ile ilişkilendirilmiştir. Yemde *C. botulinum* sporlarının yüksek oranlarda bulunması, silaj fermentasyonunun zayıf olmasına neden olmaktadır. Genel olarak silajın aerobik bozulmasıyla ilişkilendirilen yüksek pH seviyesi, silajdaki *L. monocytogenes*, Shiga toksin üreten *E. coli* ve küflerin konsantrasyonlarını etkileyen önemli bir faktördür ve ayrıca *M. bovis* bakterisinin hayatta kalmasını ve büyümesini teşvik edebilmekte ve sığır tüberkülozuna neden olmaktadır. Toprak, silajdaki *B. cereus* sporlarının ana kaynağıdır; silajda bu bakterinin büyümesi sınırlı

görülmektedir. Bitki toksinlerinden kaynaklanan tehlikeler arasında pirolizidin, tropan ve tropolon alkaloidleri, fitoöstrojenler, prusik asit ve mimosin gibi belirli bitki türlerinde doğal olarak bulunan ve hasat sırasında yemleri kirletebilecek bileşikler bulunmaktadır. Bu kategoriye ait diğer bir toksin grubu, çayır otu, sorgum ve çavdar otu gibi yemlerde endofitik mantar türleri tarafından üretilen ergot alkaloidleridir. Silolamanın bu bitki toksinlerinin parçalanması üzerindeki çeşitli etkileri bildirilmiştir. Kimyasal tehlikeler arasında nitrat, nitrit ve nitrattan üretilen zehirli nitrojen oksit gazları ve yüksek seviyelerde bütirik asit, biyojenik aminler ve amonyak bulunmaktadır. Kimyasal ve mikrobiyolojik tehlikeler, uygun silaj yapma uygulamaları kullanılarak ve silaj pH'nın hızlı ve yeterli bir şekilde düşürülmesini destekleyen ve aerobik bozulmayı önleyen koşullar oluşturularak önlenebilen zayıf fermente edilmiş silajlarla ilişkilidir (Driehuis ve ark., 2018).

Hayvanlar bozulmuş silajları tükettiğinde, yem tüketiminin ve/veya performansın neden düştüğü kesin olarak anlaşılamamıştır. Bununla birlikte, çiftliklerden alınan geri bildirimler, üreticilerin genellikle silajda maya sayısının 10^6 adet/g (1.000.000) fazla olduğunda sorun yaşadıklarını göstermektedir. Optimum koşullar altında, mayaların sayısı yaklaşık 2 saat içinde iki katına çıkabilmektedir. Bir mısır silajı numunesinin gram başına 100.000 maya ile başladığı düşünüldüğünde, ki bu oldukça normaldir, bu numune 8 saat içinde gram başına 1.600.000 mayaya ulaşabilmektedir. Bu nedenle, silajın sıcak koşullar altında havaya maruz kaldığında hızla bozulabileceği bilinmektedir.

Zararlı mayalar rumen fermentasyonunu değiştirebilecek son ürünler üretebilmekte, bozulmuş besinlerin doğrudan tüketimi performansı düşürebilmekte ve küfler ve diğer organizmalar tarafından (örn. mikotoksinler) hayvansal son ürünlerin üretilmesi sorun olabilmektedir. Bağışıklık fonksiyonu üzerinde de etkiler oluşabilmektedir (Kung Jr, 2010). Örneğin *Penicillium roqueforti*, çok düşük oksijen ve yüksek CO₂ konsantrasyonlarının olduğu ortamlarda bile gelişebilen aside dayanıklı bir türdür ve farklı silaj türlerinde baskın bir tür olarak tespit edilmiştir (O'Brien ve ark. 2008). Yüksek sıklıkta izole edilen diğer bir tür, risk olarak gliotoksin, fumigaklavin toksinleri A, C ve fumitremorgin üretme kabiliyeti barındıran, insanlarda ve hayvanlarda pulmoner ve solunum yolu hastalıklarına neden olan fırsatçı bir patojen olan *A. fumigatus*'tur (Melo dos Santos ve ark., 2003; Pereyra ve ark., 2008).



Şekil 1: İyi Yönetilen Bir Silaj İstifinin Ortasında Gözlemlenen *Penicillium roqueforti* İle Enfekteli Mısır Silajı Topu (Storm ve ark., 2008)

Sığırlarda kronik mikotoksin alımı, çeşitli olumsuz etkilere, hastalığa karşı duyarlılığın artmasına, üreme performansının kaybına ve süt sığırlarında verim ve süt üretim kalitesinde azalmaya neden olmaktadır. Bu etkiler, hayvanların mikotoksinlere maruz kalmasının, hayvanlar tarafından yem tüketiminde veya reddinde azalmaya, besinlerin emiliminin azalmasına ve metabolizmanın bozulmasına, endokrin sisteminde değişikliklere ve bağışıklık sisteminin baskılanmasına neden olmasından kaynaklanmaktadır. Mikotoksinlerin biyolojik etkileri, alınan miktarlara, oluşan mikotoksinlerin sayısına ve maruz kalma süresine ve hayvan duyarlılığına bağlıdır (Binder, 2007).

2. MİKROBİYAL TEHLİKELER

2.1. *Clostridium botulinum*

Clostridium türleri gram pozitif, zorunlu anaerobik spor oluşturan bakterilerdir. *Clostridia*, büyüme için yüksek pH değerleri (>4.5), yüksek yem nemi (>%70) ve yüksek su aktivitesi (0.952'den 0.971'e) gerektirmekte; dolayısıyla silajlarda hızlı asitlenme sağlanarak pH, üç gün içinde 4 veya altına düşürülürse gelişmeleri engellenmektedir (Muck ve ark., 2003). Clostridial büyümeyi engelleyen kritik pH, bitki nem içeriğine göre değişmektedir. Bu nedenle, bitkiyi hasat veya silolama sırasında yüksek nem konsantrasyonlarına yatkın hale getiren veya silolama sırasında pH düşüşünü geciktiren faktörler klostridial büyümeyi teşvik etmektedir. Silolanmış ürünün tamponlama kapasitesi, klostridia gelişiminde önemli bir faktördür, çünkü tamponlama kapasitesi ne kadar yüksekse, klostridial büyümeyi engellemek üzere

kritik pH'a ulaşmak için o kadar fazla laktik asit üretilmesi gerekmektedir. Silajda yaygın olarak bulunan patojenik olmayan *Clostridium* türleri arasında *C. tyrobutyricum*, *C. beijerinckii*, *C. butyricum* ve *C. sporogenes* bulunmaktadır (Driehuis, 2013). Patojenik *Clostridium* türleri arasında *C. perfringens*, *C. difficile*, *C. tetani* ve *C. botulinum* bulunmaktadır (Doyle ve ark., 2015). Bu patojenik türlerden sadece *C. botulinum* türü silajla ilişkilendirilmektedir. *C. botulinum* türü, botulizme neden olan nörotoksin botulinum'u üretme yeteneğine sahip heterojen bir bakteri grubudur. Botulinum bir protein toksindir ve doğadaki en güçlü toksin olduğuna inanılmaktadır. Dört ayrı *C. botulinum* bakteri grubu mevcuttur. *Clostridium botulinum* Grup I ve II, insan botulizminden birincil derecede sorumlu bakterilerdir; *C. botulinum* Grup III, başta kuşlar ve sığırlar olmak üzere çeşitli hayvan türlerinde botulizmden sorumlu bakterilerdir ve *C. botulinum* Grup IV ise, insanlarda veya hayvanlarda botulizm ile ilişkili görünmemektedir (Carter ve Peck, 2015). A'dan G'ye kadar tipler şeklinde adlandırılan yedi farklı botulinum toksini türü tanımlanmıştır (Carter ve Peck, 2015). Botulizm hem insanlarda hem de hayvanlarda ciddi bir hastalıktır ve ölüm oranı insanlarda vakaların yaklaşık %5 ila 10'unda ve sığırlarda genellikle %10'dan yüksek oranda görülmektedir (Payne ve ark., 2011). Sığırlarda botulizm, botulinum toksini ile kontamine olmuş yem (veya su) alımından kaynaklanan bir zehirlenmedir. Bu vakaların çoğunda kontamine olmuş silajlar yer almıştır. *C. botulinum* sporları toprakta yaygın olarak bulunmakta ve genellikle düşük sayılarda yem bitkilerinde ve sığır dahil hayvanların bağırsaklarında bulunmaktadır (EFSA, 2004). Genel olarak, düşük sayıda *C. botulinum*

sporlarına maruz kalmak zararlı değildir. Bununla birlikte, *botulinum* toksininin aşırı toksisitesi nedeniyle *C. botulinum*'un çoğalmasına neden olan herhangi bir faktörden kaçınılmalıdır. *C. botulinum* sporları, süt endüstrisinde yaygın olarak kullanılan süt pastörizasyon işlemleriyle (15 saniye boyunca 72-75 °C) etkisiz hale getirilse de pastörize süttten (soğutulmuş) yapılan ürünlerde *C. botulinum*'un çoğalması genellikle nadir olarak görülmektedir. Süt tozu ve kurutulmuş peynir altı suyu ürünleri gibi bebek mamalarında kullanılan süt ürünleri, sporların bebek botulizmüne neden olma potansiyel riskleri nedeniyle *C. botulinum* sporlarının oluşumu açısından özel dikkat gerektirmektedir. *C. botulinum* sporlarının süte bulaşması, sağım işlemleri sırasında meydana gelebilmekte ve bulaşma yolu, bütirik asit bakterilerinin sporları ve silajdan elde edilen diğer spor oluşturucularla aynıdır (Driehuis, 2013).

2.2. *Bacillus cereus*

Bacilli ve *paenibacilli*, aerobik veya fakültatif olarak anaerobik spor oluşturan bakterilerdir. Genel olarak silajla ilişkilendirilen türler arasında *Bacillus licheniformis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus coagulans*, *Bacillus sphaericus*, *Bacillus cereus* ve *Paenibacillus polymyxa* yer almaktadır (Driehuis, 2013). *Bacillus cereus*, insanlarda gıda kaynaklı bir patojen olduğu için özel bir endişe kaynağıdır. Toprak, silaj ve diğer yemler ve altlık malzemeleri dahil olmak üzere sütte farklı *B. cereus* spor kaynakları bulunmaktadır. Toprak, *B. cereus* sporlarının ve diğer spor oluşturucuların ana kaynağıdır. Silajın toprakla kirlenmesi

nedeniyle silajda *B. cereus* sporlarının bulunması kaçınılmazdır (Vissers ve ark., 2007). Silaj, çiğ sütteki *B. cereus* sporlarının ana kaynağıdır. Silajların yüzey katmanlarında ve küflü alanlarında aerobik bozulmaya neden olan aerobik spor oluşturuçulardan yüksek spor konsantrasyonları (10^8 spor/g) tespit edilebilmiştir (Pahlow ve ark., 2003). Bununla birlikte, *B. cereus*'un sayısı, aerobik spor oluşturuçular grubunun diğer üyeleri kadar artmamaktadır. İyi asitlenmiş silajda *B. cereus*'un büyümesi beklenmemektedir, çünkü bakterinin büyümesi pH 4.6'nın altında engellenebilmektedir (Biesta-Peters ve ark., 2010). Bununla birlikte, aerobik bozulmanın pH'ın 4.6'nın üzerine çıkmasına neden olduğu silaj alanlarında *B. cereus*'un büyümesi teorik olarak mümkün olabilmektedir. Silaj ve diğer yemlerde bulunan *Bacillus cereus* sporları sığırların gastrointestinal sisteminden etkilenmeden geçmekte ve dışkı ile dökülmektedir. Meme başı yüzeylerinin dışkı ile kirlenmesi nedeniyle sağım işlemleri sırasında *B. cereus* sporları çiğ süte geçebilmektedir. Hollanda'da yapılan araştırmalarda, buğdaygil yem bitkileri, mısır silajları ve diğer yem bitkisi türleri, çiğ sütte *B. cereus* sporlarının önemli kaynakları olarak tanımlanmıştır (Vissers ve ark., 2007). Buna karşılık, İsveç'te yürütölen çalışmalarda, toprak ve talaş yatakları çiğ sütün *B. cereus* tarafından kontaminasyonunun başlıca kaynakları olarak tanımlanmıştır (Magnusson ve ark., 2007). *Bacillus cereus*, soğutma sıcaklığında saklanan pastörize süt ve süt ürünlerinde önemli bir bozulma organizmasıdır (Heyndrickx ve Scheldeman, 2002). Psikrotrofik *B. cereus* suşlarının sporları çimlenme yeteneğine sahiptir ve bakteri pastörize süt ve süt ürünlerinde 5 °C'ye kadar düşük sıcaklıklarda büyüebilmektedir. Psikrotrofik *B. cereus*

sporlarının konsantrasyonu genellikle bu ürünlerin raf ömrünü sınırlamaktadır, çünkü yüksek seviyeler kötü tatlara ve pıhtılaşmaya neden olabilmektedir. Bu, yüksek düzeyde *B. cereus* içeren ürünlerin tipik görünümü veya kendine has kokusu ile ilişkilendirilebilmekte, bu da bu ürünlerin tüketilme şansını azaltmaktadır (Driehuis ve ark., 2018).

2.3. *Listeria monocytogenes*

Listeria monocytogenes, sığır, koyun ve keçiler dahil olmak üzere insan ve hayvanlarda ciddi sistemik enfeksiyonlara (listeriosis) neden olan bir patojendir. Bu hastalığın ciddiyeti, yüksek ölüm oranı ve artan insidansı nedeniyle *L. monocytogenes* halk sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Hastalık olarak 2 formda ortaya çıkmaktadır. İstilacı olmayan gastrointestinal form, sağlıklı yetişkinlerde görülür ve tipik gastroenterite (ateş, ishal ve kusma) semptomları olan nispeten hafif bir hastalıktır. İstilacı listeriyoz ciddi bir hastalıktır ve çoğunlukla altta yatan bağışıklığı zayıf olan erişkinlerde (yani yaşlılar, hamile kadınlar ve bağışıklığı baskılanmış hastalar) ve yenidoğanlarda görülmektedir. İstilacı listeriyoz salgınları ve sporadik vakalar nadir olmasına rağmen, bu salgınların etkisi çok önemlidir ve vaka ölüm oranları %20 ila 30'a kadar çıkmaktadır (Lomonaco ve ark., 2015). Bu nedenle *Listeria monocytogenes*, gelişmiş ülkelerde her yıl en çok ölüme neden olan gıda kaynaklı patojenler arasında yer almaktadır (Scallan ve ark., 2011). Listeriosis, genellikle geviş getiren hayvanların gıda kaynaklı bir hastalığı olarak kabul edilmekte ve ana yem kaynağı silajdır.

Hayvanlarda, *L. monocytogenes* öncelikle ensefalite ve rahim enfeksiyonlarına neden olmakta, ikincisi geç dönem düşüklere neden olmaktadır. Ayrıca *L. monocytogenes*, silajla direkt temas sonucu geviş getiren hayvanlarda göz enfeksiyonlarına (silaj gözü) neden olabilmektedir (Erdoğan, 2010). *Listeria monocytogenes*, çevrede yaygın olarak bulunan fakültatif anaerobik gram pozitif bir bakteridir. Toprak, yüzey suyu, bitkisel materyaller, hayvan ve insan dışkısı dahil olmak üzere çeşitli kaynaklardan izole edilmiştir. *L. monocytogenes*'in önemli özellikleri, çok çeşitli sıcaklıklarda (0-45 °C), tuz konsantrasyonlarında (%12'ye kadar) ve pH'da (4.3-9.6) büyüebilmesidir (Van der Veen ve ark, 2008). *L. monocytogenes*, stresli koşullara karşı yüksek toleransı nedeniyle, büyüyemeyeceği iyi korunmuş silajlarda uzun süre hayatta kalabilmektedir. *L. monocytogenes*'in silajda hayatta kalması, büyük ölçüde anaerobiyoz derecesi ve pH ile belirlenmektedir. Silolama öncesi zayıf sıkıştırma veya fermentasyon sırasında hava girişi bu patojenin büyümesini veya kalıcılığını destekleyebilmektedir. Silajda *L. monocytogenes*'in büyümesi de aerobik bozulma problemleriyle ilişkilidir. Aerobik olarak bozulmuş silajda oksijen varlığı ve nispeten yüksek pH'ın kombinasyonu, *L. monocytogenes*'in gelişimini desteklemektedir. Aerobik yüzey bozulması olasılığı daha yüksek olan silajlar, örneğin düşük paketlenme yoğunluğuna sahip silajlar veya yetersiz kapatma ve balyalanmış silajlar, *L. monocytogenes* tarafından kontaminasyona karşı en hassas olanlardır. Silajdan geçen *Listeria monocytogenes*, hayvanın gastrointestinal yolundan geçerken hayatta kalmakta ve dışkıyla dökülmektedir. Çiğ inek sütünün *L. monocytogenes* tarafından

kontaminasyonu, silajda yüksek seviyelerde *L. monocytogenes* oluşumu ile ilişkilendirilmiştir (Tasci ve ark., 2010). *Listeria monocytogenes*, ısı inaktivasyonuna duyarlıdır ve sütün pastörizasyonu ile etkin bir şekilde inaktive edilmektedir. İnsanların gıdalar yoluyla düşük sayıda *L. monocytogenes*'e maruz kalması genellikle ciddi bir sağlık riski olarak kabul edilmemektedir. *L. monocytogenes* çevrede ve birçok işlenmemiş gıdada her yerde bulunduğu için, insanlar genellikle bu bakteriye düşük sayıda maruz kalmaktadırlar (Driehuis ve ark., 2018).

2.4. Shiga toksini üreten *Escherichia coli*

Shiga toksini üreten *E. coli* (STEC), gıda kaynaklı hastalıkların önemli bir nedenidir. STEC enfeksiyonunun sonuçları, hafif bağırsak rahatsızlığından hemorajik kolit, hemolitik üremik sendrom ve son dönem böbrek hastalığı gibi ciddi hastalıklara kadar değişmektedir (Majowicz ve ark., 2014). *Escherichia coli*, *Enterobacteriaceae* familyasına ait fakültatif anaerobik gram negatif bir bakteridir. Birçok *E. coli* suşu patojenik değildir ve insanların ve birçok hayvanın normal bağırsak mikrobiyotasının bir parçasıdır. Ayrıca yem bitkilerinin epifitik mikroflorasına aittirler. İnsanlarda STEC enfeksiyonu vakalarının çoğu, O157:H7 serotipi ile ilişkilendirilmiştir, ancak STEC serogrupları O26, O103, O111 ve O145 de insan hastalıklarının önemli nedenleridir. Sığır, STEC'in ana doğal rezervuarı olarak kabul edilmektedir. STEC, patojeni dışkıyla atmasına rağmen sığırlarda hastalığa neden olmamaktadır. *E. coli* O157:H7, silolama öncesi taze

yonca yemlerinde ve silolamadan sonraki 16 güne kadar bu yemden üretilen silajda tespit edilmiştir (Ogunade ve ark., 2016). Bakterinin silajda kalıcılığı, muhtemelen ürünün yüksek tamponlama kapasitesinden kaynaklanmaktadır. Bazı çalışmalar, STEC suşlarının hızlı bir pH düşüşü ve düşük terminal pH sergileyen iyi fermente edilmiş silajda hayatta kalamayacağını göstermektedir. Bununla birlikte, Fenlon ve Wilson (2000), zayıf fermente edilmiş silajda *E. coli* O157:H7'nin hayatta kaldığını ve sayıca arttığını bildirmişlerdir. Araştırma sonucu, silajın aerobik bozulmaya açık olduğu sırada, örneğin besleme sırasında, silajın STEC ile kirlenmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Bu tür dönemlerde silolara hava girişi, STEC'in önemli ölçüde büyümesine neden olabilmekte ve mandıra çiftliklerinde patojenin döngüsüne katkıda bulunabilmektedir. STEC'in çiğ süte bulaştığı varsayılan esas kanı, dışkıdan sağım sırasında kontaminasyondur (Driehuis ve ark., 2018).

2.5. *Mycobacterium bovis*

Sığır tüberkülozu, özellikle gelişmekte olan ülkelerde artan sayıda enfekte sürü ve bunun hayvan üretimi ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle küresel endişe uyandıran zoonotik bir hastalıktır. Phillips (2005), *Mycobacterium bovis*'in silajda hayatta kaldığına dair kanıtları incelemiş, silodaki mevcut koşulların özellikle silajın besleme ve dinlenme durumunda hayatta kaldığı sonucuna varmıştır. Gerektiğinde ve mümkünse, açıkta kalan silo besleme

yüzeyine ve yem teknelerine yaban hayvanlarının erişimini önlemek için önlemler alınmalıdır (Driehuis ve ark., 2018).

2.6. Küfler

Silajlarda meydana gelen küfler, *Fusarium*, *Alternaria* türleri gibi tarlada yetiştirme sırasında ürünle ilişkili olanlar; *Aspergillus flavus* ve *Aspergillus parasiticus*; *Claviceps* ve *Neotyphodium* türleri (çimlerde veya tahıllarda endofitik simbiyontlar olan küfler); *Penicillium roqueforti*, *Penicillium paneum*, *Aspergillus fumigatus*, *Monascus ruber*, *Byssoschlamys nivea*, *Rhizopus nigricans* ve *Chrysonilia sitophila* gibi kötü yönetilen silajda gelişen küflerdir. Küflerin gelişimi çoğunlukla silajın depolanması veya hayvanlara yemin verilmesi sırasında meydana gelmekte ve genellikle aerobik bozulmadan kaynaklanmaktadır. *R. nigricans* ve *C. sitophila* dışında, burada listelenen tüm küfler mikotoksin üretebilmektedir (Driehuis, 2013). Mikotoksinler kaba yemlerde bulunabilmektedir. Yem ve yem hammaddelerindeki aflatoksinler, deoksinivalenol, zearalenon, okratoksin A ve fumonisinler ile ilgili küresel bir ankette, numunelerin %72'sinde bu mikotoksinlerden 1 veya daha fazlasının tespit edildiği bildirilmiştir (Schatzmayer ve Streit, 2013). Yemlerdeki mikotoksinler ile ilgili iki endişe vardır. Birincisi, hayvan sağlığı için tehlikeli olabilmekte ve büyük bir ekonomik etkisi olabilecek üretim kayıplarına neden olabilmektedirler. İkincisi, hayvansal kaynaklı gıda ürünlerinin güvenliği için tehlikeli olabilmektedirler. Silajdaki başlıca mikotoksinlerden ikinci endişe aflatoksi ile ilişkilidir (Driehuis ve ark.,

2018). *Aspergillus fumigatus*, yalnızca bu küf tarafından silajda potansiyel olarak üretilen mikotoksinler nedeniyle değil, aynı zamanda bu küfün sporlarının solunması insanlarda ve hayvanlarda hastalığa (aspergilloz) neden olabileceği için bir sağlık tehlikesi olarak kabul edilmektedir. *A. fumigatus* ile kontamine olmuş silaj veya samanın sığırlara verilmesi sığırlarda aspergillozise neden olabilmektedir. Astım ve kistik fibroz hastaları gibi değişen akciğer fonksiyonuna sahip insanlarda, *A. fumigatus*, Farmers Lung olarak bilinen bir hastalık olan akciğerlerde aşırı duyarlı bir tepkiye neden olabilmektedir. Bağışıklığı baskılanmış bireylerde bu küf ciddi enfeksiyonlara (invaziv aspergilloz) neden olabilmektedir (Dagenais ve Keller, 2009).

3. BİTKİ TOKSİNLERİ VE ERGOT ALKALOİDLERİ

3.1. Fitoöstrojenler

Fitoöstrojenler başlıca kumestanları, liganları ve izoflavonları içermektedir (Branca ve Lorenzetti, 2005). Bir kumestan olan Coumestrol diğer yem türlerine göre yonca (*Medicago sativa*) ve üçgülde (*Trifolium* spp.) daha yaygın olarak bulunmaktadır. Kumestanlar, bilinen tüm fitoöstrojenler arasında en güçlü östrojenlerdir (Moravcova ve ark., 2004). Fitoöstrojenlerin ilk olarak yer altı yoncası otlayan koyunlarda düşük doğurganlık ve kuzulama yüzdesi dahil olmak üzere doğurganlık sorunlarına neden olduğu keşfedilmiştir. Koyunlarda fitoöstrojen tüketmek geçici ve hatta kalıcı kısırlığa neden olabilmektedir. Fitoöstrojenlerin benzer etkileri, yonca veya çayır üçgülü (*Trifolium pratense*) içeren rasyonlarla beslenen

sığırlarda da rapor edilmiştir (Driehuis ve ark., 2018). Moravcova ve ark. (2004), kumarestrolün çoğunun, 50 gün boyunca silolanan yoncada bozduğunu, ancak bozunmanın bitkinin çeşit ve olgunluğa bağlı olduğunu bildirmişlerdir. Silolama, fitoöstrojenleri azaltmak için potansiyel bir strateji olabilmekte, ancak fitoöstrojenlerin kapsamlı bir şekilde azaltılmasını sağlayacak çeşit, bitki olgunluğu ve silolama koşullarının en iyi kombinasyonlarını oluşturmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Driehuis ve ark., 2018).

3.2. Pirolizidin Alkaloidleri

Pirolizidin alkaloidleri (PA), *Boraginaceae*, *Compositae* ve *Leguminosae* familyalarına ait çeşitli bitkilerde bulunmakta, insanlarda ve çiftlik hayvanlarında zehirlenmeye neden olabilmektedirler. Bu familyalar içinde, *Boraginaceae-Heliotropium* (heliotropes olarak bilinir), *Compositae-Senecio* ve *Leguminosae-Crotalaria* türleri dikkat edilmesi gereken başlıca türlerdir. Pirolizidin alkaloidleri insanlarda karaciğer sirozuna, sığanlar, atlar, koyunlar ve sığırlarda karaciğer ve akciğer zehirlenmelerine neden olmaktadır. Koyun, keçi ve tavşan gibi küçük otoburların, sığır ve at gibi büyük türlere göre pirolizidin alkaloidleri toksisitesine karşı daha dirençli olduğu bilinmektedir (Driehuis ve ark., 2018). Brezilya'daki Rio Grande do Sul Eyaleti gibi bazı bölgelerde, pirolizidin alkaloidleri zehirlenmesinin sığırlarda en sık zehirlenme nedeni olduğu bildirilmiştir (Karam ve Motta, 2011). Silolama, pirolizidin alkaloidlerini enzimatik ayrışma yoluyla kısmen toksik olmayan türlere indirgeyebilmektedir (Berendonk ve ark., 2010).

Bununla birlikte, silolamanın pirolizidin alkaloidlerinin bozunması üzerindeki etkileri, silolanan bitki kısmına, bitkinin olgunluğuna ve pirolizidin alkaloidleri içeren yabancı otların kirlenme düzeyine bağlıdır (Driehuis ve ark., 2018).

3.3. Mimosin

Mimosin, tirozine benzer bir yapıya sahip, protein olmayan bir amino asittir (Anghong ve ark., 2007). Protein biyosentezini engelleyen tirozin antagonisti hayvanlar için toksiktir, böylece hayvansal üretiminin azalması gibi semptomlara neden olmaktadır. Mimosin içeren tropikal bir baklagil olan *Leucaena*'nın mimosin içeriği, bir çiftlik hayvanı yemi olarak kullanımını sınırlamıştır. Anghong ve ark. (2007), *Leucaena leucocephala* yaprağının %20 pirinç kepeği ile 81 güne kadar silolanmasının mimosin içeriğini %90'ın üzerinde azalttığını bildirmişlerdir. Chen ve ark. (2014), silolama sırasında *Leucaena*'ya %2 taze ağırlıkta sükröz ilavesinin, ilave edilmediği duruma kıyasla mimosin bozunma derecesini arttırdığını (%49'a karşı %25.5) bildirmişlerdir. Mimosin bozunma hızı ile pH arasında negatif bir korelasyon ve bozunma hızı ile laktik asit içeriği arasında pozitif bir korelasyon gözlemlenmiştir. Silaj yapımından sonra mimosin konsantrasyonundaki azalma, pH'daki düşüş ve laktik asit konsantrasyonundaki artışla ilişkili olabilmektedir (Driehuis ve ark., 2018).

3.4. Tropan Alkaloitleri

Tropan alkaloitleri, kimyasal yapılarında tropan halkası içeren bir alkaloit ve ikincil metabolit grubudur (O'Hagan, 1997). Tropan alkaloitleri, kuru ot ve silajı kontamine edebilen *Datura stramonium*'da doğal olarak bulunmaktadır (Cortinovis ve Caloni, 2013). Bu bitkinin tüm parçaları zehirlidir ve olgun tohumu güçlü antikolinergik özelliklere sahip en yüksek miktarda alkaloit içermektedir (Soler-Rodriguez ve ark., 2006); toksik tropan alkaloitleri arasında hiyosiyamin, atropin ve skopolamin bulunmaktadır (DeFrates ve ark., 2005). Tüm hayvan türlerinde ağız kuruluğu, midriyazis, taşikardi, koordinasyon bozukluğu, konvülsiyon ve koma gibi klinik belirtileri vardır (Anadon ve ark., 2018). Silolama sırasında tropan alkaloitlerinin stabilitesi hakkında çok az bilgi mevcuttur.

3.5. Tropolon alkaloitleri

Çayır safranı olarak da bilinen güz çiğdemi (*Colchicum autumnale*), alkaloit üreten zehirli bitkilerden birisidir (Beyer ve ark., 2009). Güz çiğdemi birkaç tropolon alkaloidi içermekte olup kolşisin en bol olanıdır ve tüm tropolon alkaloitlerinin %50 ila %70'ini oluşturmaktadır. Diğer daha az miktarda bulunan tropolon alkaloitleri arasında kolşikosid, demekolsin ve çeşitli ilgili tropolon türevleri bulunmaktadır (Kupper ve ark., 2010). Chizzola ve ark. (2015), silolamadan sonra 18 ila 43 hafta boyunca güz çiğdemindeki tropolon alkaloit seviyesini belirlemişler ve geniş bir bozulma aralığı (%0 ila 30)

bildirmişlerdir. Tropolon alkaloidlerinin bozunması hakkında daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

3.6. Ergot alkaloidleri

Ergot alkaloidleri, çimen endofitik mantarları (*Claviceps* spp., *Neotyphodium* spp., vb.) tarafından çayır yumağı (*Festuca arundinacea*), sorgum ve çavdar otu gibi yem bitkilerinde üretilen mikotoksinlerdir (Mostrom ve Jacobsen, 2011). Çayır yumağı toksikozunun, besi sığırlarında doğum oranı ve canlı ağırlıklarında azalmaya ve her yıl yüksek maliyetlere neden olduğu tahmin edilmektedir. Silolamanın ergot alkaloid konsantrasyonu üzerinde değişen etkileri rapor edilmiştir ve çalışmaların çoğu çayır yumağı üzerinde yapılmıştır. Ergovalin ve toplam ergot alkaloidlerinin parçalanmasındaki tutarsızlık nedeniyle silolama, ergot alkaloidlerini güvenli bir düzeye indirmek için güvenilir bir yöntem olarak önerilmemektedir. Saman yapımı veya samanın susuz amonyakla işlenmesi, yemdeki ergot alkaloidlerini azaltmak için bir yaklaşım olabilmektedir (Roberts ve ark., 2011).

3.7. Prusik Asit

Hidrosiyanik asit olarak da adlandırılan prusik asit, sorgum ve Sudan otu gibi siyanojenik bitkilerde toksik olmayan siyanür ve glikozitlerin ayrışma sürecinden elde edilen oldukça toksik bir bileşiktir (Toaima ve ark., 2014). Sorgumun normal gelişimini etkileyen toprak ve iklim özellikleri ile depolama gibi stresli çevresel koşullar, prusik asit

üretimini artırmaktadır. Geviş getiren hayvanlarda prusik asit zehirlenmesinin belirtileri arasında solunumun artması, düzensiz nabız, sendeleme ve ağızda köpüklenme, solunum felci ve hatta ölüm yer almaktadır. Hayvanlara verilmeden önce silajdaki prusik asit seviyesinin belirlenmesine dikkat edilmelidir. Silaj taşındığında veya hayvanlara verildiği esnada prusik asidin çoğunun gaz halinde kaçtığı bildirilmiştir (Vough ve Cassel, 2006).

4. KİMYASAL TEHLİKELER

4.1. Nitrat, Nitrit ve Azot-Oksit Gazları

Nitrat (NO_3^-), bir makrobesin olarak ve bitki dokusu büyümesi için önemli bir ürün bileşenidir. Erken ilkbaharda hasat edilen ürünlerdeki nitrat konsantrasyonları, özellikle bitki dokusu protein sentezi oranını azaltan düşük çevre sıcaklıkları durumlarında, mineralizasyonun ardından bitki tarafından gübre azotu ve toprak azotu alımı nedeniyle yükselebilmektedir (Bolan ve Kemp, 2003). Nitrat çiftlik hayvanları için toksik değildir, ancak nitrit (NO_2^-) ile zehirlenme, yüksek konsantrasyonlarda NO_3^- içeren kaba yemlerin tüketimini takip edebilmektedir. NO_3^- 'ın işkembedeki normal dönüşüm yolu, NO_2^- 'in aracı olarak amonyağa (NH_3) indirgenmesidir. Bununla birlikte, yüksek NO_3^- alımı durumlarında, NO_2^- işkembede birikip kana emilebilmekte ve burada hemoglobin ile reaksiyona girerek akciğerlerden dokulara oksijen taşıyamayan methemoglobin üretmektedir. Methemoglobinemi, yem alımının azalması, düşük, solunum sıkıntısı, koma ve hatta ani ölüm gibi bir dizi şiddette ortaya çıkabilen durumu

tanımlamak için kullanılan bir terimdir (Lee ve Beauchemin, 2014). Nitrat konsantrasyonu, fermentasyona bağlı olarak silajdaki ürünün konsantrasyonuna göre azalmaktadır. Nitrat, silolama döneminin başlarında enterobakteriler ve laktik asit bakterileri tarafından parçalanmaktadır. Silajdaki NO_3^- bozunmasının son ürünleri NH_3 ve nitroz oksit (N_2O) gazı olup, nitrojen dioksit (NO_2) ve nitrik oksit (NO) gazları ara ürünler olarak bulunmaktadır (Rooke ve Hatfield, 2003). NO_3^- 'in NO_2^- 'e indirgenmesinin olumlu bir sonucu klostridial büyümenin önlenmesidir. Silajda nitrik oksit ve nitrojen dioksit gazlarının üretimi, çiftlik hayvanları ve insan sağlığı için ciddi bir risktir ve silo doldurucu hastalığı olarak bilinen solunum yolu tehlikesi uzun yıllardır bilinmektedir. NO_3^- 'in renksiz bir gaz olan nitrik okside indirgenmesini, havayla temas ettiğinde oksidasyonu, sarı ila kırmızımsı kahverengi bir gaz olan, havadan daha ağır ve yer yüzüne yakın kalan rahatsız edici bir koku oluşturmaktadır. Nitrik oksit ve nitrojen dioksit sırasıyla nitroz ve nitrik asit gazları oluşturmak için havadaki suyla reaksiyona girmektedir. Bu gazların solunması akciğer dokusuna zarar vermekte ve boğulmaya kadar giden solunum sıkıntısına neden olmaktadır. Silo doldurma sırasında veya hemen sonrasında nitrojen oksit gazları yayan siloların yakınında çiftlik hayvanları barındırılmamalı ve insanlar bu siloların yakınında çalışmamalıdır (Driehuis ve ark., 2018).

4.2. Bütirik Asit

Bütirik asit, suda çözünür karbonhidratların ve laktik asidin fermentasyonundan, esas olarak hasat sırasında üründe bulunan klostridia ile zayıf şekilde fermente edilmiş silajda mevcut olabilmektedir. Bu endospor oluşturan zorunlu anaerobik bakteriler, siloda depolama süresi boyunca ve besleme sırasında kötü yapılmış silajda gelişerek bütirik aside ek olarak aminler, NH_3 , asetik asit, karbon dioksit ve hidrojen üretebilmektedir (Pahlow ve ark., 2003). Zayıf fermente edilmiş silajdaki bütirik asitten çiftlik hayvanı sağlığına yönelik risk, temel olarak doğrudan silaj bütirik asit tüketimiyle ve dolaylı olarak rasyonun silaj bileşeninden azaltılmış enerji alımıyla ilişkili ketozla bağlantılıdır. Bütirik asit silajı sağmal olmayan ineklere veya yeni buzağılamış ineklere verilmemeli, bunun yerine diğer hayvan sınıflarına verilmelidir. Aşırı durumlarda silaj, hayvan yemi olarak değil, tarla tarımında gübre olarak kullanılabilir (Driehuis ve ark., 2018).

4.3. Biyojenik Aminler ve Amonyak

Biyojenik aminler (yani biyolojik aktiviteye sahip aminler) silajda bulunmakta ve bazıları yem alımı ve hayvan sağlığı üzerinde potansiyel olarak zararlı etkilere sahiptirler. Aminlerin oluşumu peptit bağı hidrolizi yoluyla gerçekleşmekte ve bitki proteazları ve peptidazları ve bakteriyel enzimlerin etkisiyle serbest amino asitlerin enzimatik dekarboksilasyonunu içermektedir. Histamin, tiramin, putresin, kadaverin, spermin ve spermidin dahil olmak üzere ilgili aminler

insanlarda baş ağrısı, mide bulantısı, kusma, ishal ve hipertansiyona neden olmaktadır (Gardini ve ark., 2016) ve süt ürünlerinde, özellikle peynirde birikebilmektedir. Silajda amin üretimi için ana risk faktörleri, silolamayı takiben yavaş asitlenmedir. Silolamanın erken aşamasında oluşan aminler, muhtemelen ilk aerobik faz sırasında enterobakteriler tarafından amino asitlerin dekarboksilasyonundan kaynaklanırken, silolama döneminde daha sonra oluşanlar, *C. sporogenes* ve *Clostridium bifermentans* dahil olmak üzere proteolitik clostridia türlerinin müteakip büyümesinin sonucudur (Rooke ve Hatfield, 2003). Formik asitle doğrudan asitleştirme ve laktik asit bakterileriyle (*Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*) aşılama, muhtemelen proteolitik bakterileri inhibe ederek amin oluşumunu baskılayabilmektedir (Nishino ve ark., 2007). Kötü fermente edilmiş silajlar, hayvan tarafından silaj tüketiminin ve kullanımının azalmasına yol açabilecek yüksek amin ve NH₃ konsantrasyonlarına sahiptirler. Hayvansal üretim ve sağlık üzerindeki tehlikeleri, NH₃'ün silaj alımı üzerindeki doğrudan etkisinden ziyade, işkembeden karaciğere aşırı NH₃ Emilimi ve periferik kana sızıntı ile ilişkilidir (Weiss ve ark., 2003). Amonyanın idrarla atılmadan önce karaciğerde üreye dönüştürülmesi, enerji kaybına da neden olmaktadır. Ayrıca, yüksek düzeyde parçalanabilir protein alımını yansıtan kandaki yüksek üre konsantrasyonları ile hayvanların doğurganlığının bozulması da endişe vericidir (Driehuis ve ark., 2018).

5. RİSKLERİ AZALTMANIN YOLLARI

5.1. Hasatta Patojen Bulaşmasının Azaltılması

Silaj bozulmasını önlemek için, patojenlerin silaj ekosistemine girmesi mümkün olduğunca engellenmelidir. Ön silolama, tarlada mantar ve küfler tarafından ürünün bozulmasının sınırlandırılması ve gübre veya bulamaç uygulaması ile hasat arasında bir süre beklenmesi gibi önleyici tedbirleri içermektedir. Silajdaki bütirik bakterilerin varlığını sınırlamak için ürünler, son gübre serpmeye işleminden en geç dört hafta sonra hasat edilmelidir (Johansson ve ark., 2005). Bu önlem ayrıca *Listeria*, *Clostridium* veya *E. coli* gibi diğer patojenlerin girişini de sınırlamaktadır (Girardin ve ark., 2005). Silajdaki tellürik mikroorganizmaların dahil olma riskini sınırlamak için, hasat makinesi uygun yüksekliğe ayarlanarak ürüne kir veya toprağın karışması önlenmelidir. Bitki büyüme koşulları ve hasat dönemi seçimi de önemli bir etkiye sahiptir. Geç hasat nedeniyle ham maddedeki yüksek kuru madde konsantrasyonunun (>%50 KM) silajın kendiliğinden ısınmasına neden olduğu ve toksin üreten mantarlarla istilaya karşı daha duyarlı hale geldiği bildirilmiştir. Ayrıca, geç hasat edilen ürünlerde karbonhidrat içeriği daha düşüktür, bu da silajın besleyici değerini azaltmaktadır. Patojenler ayrıca silolar ve tarım ekipmanları yoluyla silajlara da bulaşabilmektedir. Doldurmadan önce yapılan temizlik, toprak veya gübre karışımından kaynaklanan kontaminasyonu azaltmaktadır. Birçok patojenin potansiyel vektörü olan kemirgenler ve kuşlar gibi küçük hayvanlarla teması sınırlamak için siloların doğru şekilde kapatılması da önemlidir. Son olarak, her yemlemeden önce,

bozulan silajın tüketilmesini ve bunun sonucunda ortaya çıkan sağlık sorunlarını önlemek için önceki yemden arta kalan yemler çıkarılmalıdır (Duniere ve ark., 2013).



Şekil 2: 18 cm'lik Yapışkan Bir Tabaka (Üstte) ve 35 cm'lik Asidik Bir Tabakaya (Altta) Sahip, Yüzeyi Bozulmuş Silaj (Whitlock ve ark., 2000)

5.2. Anaerobiyoz Oluşumunun Teşvik Edilmesi

Hızlı anaerobiyoz oluşumu, atık üretimini sınırlamakta ve LAB gelişimini ve asitleşmeyi desteklemektedir. Silolanmış kütleden havayı hızla çıkarmak için ürünler olabildiğince hızlı bir şekilde silolara yüklenmeli ve iyice sıkıştırılmalıdır. Atık sular, bitki solunumunun ve aerobik mikroorganizmaların aktivitesinin sonucudur. Atık su hacmi, kuru madde içeriğine, silo tipine, parçalama uzunluğuna, bitkilerin çürümesine ve asidik katkı maddelerinin varlığına bağlı olarak önemli ölçüde değişebilmektedir. Atık suların oluşması, kuru madde ve

karbonhidrat kayıplarına neden olmakta ve herhangi bir silaj katkı maddesini seyreltmektedir. Atık su üretimini önlemek için, ürünlerin uygun bir kuru madde içeriği (%30-40 KM) ile hasat edilmesi ve düşük kuru maddeli ürünlerle (esas olarak yaş buğdaygil yem bitkileri ve baklagiller) tarlada soldurulması önerilmektedir. Anaerobiyoz, silaj partiküllerinin küçük olması ve bunun sonucunda siloda kolayca sıkıştırılması durumunda hızla oluşabilmektedir. Bununla birlikte, çok kısa partikül boyutu aşırı atık madde üretimi ile bağlantılıdır ve doğrama uzunluğunun silajın korunmasını ve sindirilebilirliğini etkilediği gösterilmiştir. Aslında, çok fazla sayıda çok kısa partikül, iyi rumen işlevi için gerekli olan lifli kaba yem özelliklerinin kaybına neden olur ve asidozla sonuçlanabilir (Zebeli ve ark., 2009). Buğdaygil yem bitkileri için optimum doğrama uzunluğu 4 ile 6 cm arasındadır. Süt inekleri için mısır silajının %1'den daha az büyük parçacıklar (>2 cm), %8-12 orta parçacıklar (1 ila 2 cm) ve %50'den daha az çok kısa parçacıklar (<6 mm) içermesi önerilmektedir (Duniere ve ark., 2013).

5.3. Asidifikasyonu Teşvik Etmek

Silajı korumanın en etkili yolu asitleştirmedir. Bu, (LAB fermentasyonunu teşvik eden) anaerobiyoz ve ürünün tamponlama kapasitesine ve kuru maddeye bağlıdır. Toprağın silaja karışması, silajın tamponlama kapasitesini artırmaktadır. Eğer silajın tamponlama kapasitesi yüksek ise silolamanın başlangıcında bulunan aerobik mikroorganizmalar uzun süre aktif kalmakta ve daha fazla LAB fermentasyonu için mevcut olan heksoz ve pentoz miktarı azalmaktadır.

Böylece silaj asitleşmesi gecikerek *Clostridia* tarafından ikincil fermentasyon meydana gelmekte, bu sırada laktik asit daha zayıf bütirik aside dönüştürülerek pH yükselmekte ve daha fazla bozulma olmaktadır. Eskiden, sülfürik ve klorhidrik asitler gibi mineral asitler, silaj asitleşmesini desteklemek ve patojenik mikroorganizma gelişimini sınırlamak için kullanılmaktaydı. Bunlar hem çiftçilere hem de hayvanlara zararlı olduğu için artık organik asitler tercih edilmektedir. Laktik, asetik ve formik asitlerin enterobakterilerin ve *L. monocytogenes*'in in vitro büyümesini engellediği bildirilmiştir. pH 4.1-4.5 olan silajdaki ayrışmamış asit değerleri, silajda bu patojenlerin büyümesini önlemek için önerilen değerlerden 10-100 kat daha yüksek olabilmektedir (Duniere ve ark., 2013). Formik asit, buğdaygil yem bitkisi silajındaki enterobakterilerin başlangıçtaki düşüş oranını arttırmakta ve *E. coli*'yi azaltmada etkili olmaktadır. Formik asidin ayrıca buğdaygil yem bitkisi ve yonca silajlarındaki biyojenik aminlerin seviyelerini düşürmede etkili olduğu düşünülmektedir (Steidlová ve Kalac, 2004). Silajdaki biyojenik amin içeriği, bitki enzim aktivitesinin düşürülmesi veya biyojenik aminleri üreten mikroorganizmaların engellenmesi yoluyla azaltılabilmektedir (Nishino ve ark., 2007). Silaj katkı maddesi olarak çok çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Temel özellikleri önemli ölçüde farklılık göstermekte ve maliyet, etkinlik, güvenlik, uçuculuk, silaj yapma ekipmanının korozyonu ve gerekli uygulama oranı gibi faktörler silaj katkı maddesi seçimini etkilemektedir. Cilde ve göze yakıcı olduklarından, asitleri kullanırken güvenlik en önemli husustur. Formik asit de uçucudur ve solunması halinde akciğerlere ve solunum yollarına zarar verebilmektedir.

Organik asit tuzları, silaj için çok daha güvenlidir ve daha az aşındırıcıdır, ancak etkili olmaları için daha yüksek oranda uygulanması gerekmektedir. Hızlı asitlenme ayrıca karbonhidrat veya enzim takviyesi ile de elde edilebilmektedir. Az miktarda suda çözünebilen karbonhidrat (%3-7 KM) içeren yonca gibi ürünlerde, LAB fermentasyonunu artırmak için melas veya peynir altı suyu gibi karbonhidratların eklenmesi gerekli olabilmektedir. Karbonhidrat takviyesi, fermentasyon sürecini sağlamak için LAB inokülasyonu ile birlikte yapılmalıdır. Selülaç gibi selüloolitik ve hemiselülozik enzimler, bitki hücrelerinin selülozunu ve hemiselülozunu fermente edilebilir şekere dönüştürebilmektedir (Zhang ve ark., 2010). Selülozu (sülfürik asit, alkalınler vb.) hidrolize etmek için çeşitli arıtma yaklaşımları da kullanılabilir ve $Fe(NO_3)_3$ 'ün mısır koçanı silajında hemiselüloz hidrolizi için etkili bir katalizör olduğu bildirilmiştir (Sun ve ark., 2011). Bununla birlikte, nitratların sığırlar için toksik olduğu belirtilmiştir. Ruminant mikroorganizmalar genellikle nitratı nitrite ve ardından amonyağa dönüştürmektedir. Nitrat içeriği çok yüksek olduğunda, düşük gibi çeşitli sağlık sorunlarına yol açar ve bazı durumlarda süt üretiminde azalma veya vücut ağırlığı artışında azalma olmaktadır. Kimyasal ve enzim katkı maddelerine ilave olarak, bakteriyel aşılayıcılar da silaj muhafazasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakteriyel aşılayıcıların eklenmesinin amacı, silolama döneminde organik asitlerin daha hızlı birikmesini sağlamak ve böylece fermentasyon ve kuru madde kayıplarını sınırlamaktır (Duniere ve ark., 2013; Akbay ve ark., 2023). Epifitik LAB veya silaj katkı maddeleri tarafından üretilen ana organik asit, pH'nın hızlı

düşmesini sağlayan laktik asittir. Homofermentatif laktik asit bakterileri, verimli laktik asit üreticileri oldukları için ticari olarak temin edilebilen çoğu aşılama da kullanılmaktadır. En yaygın homofermentatif aşılama *L. plantarum*'dur. Genel olarak gram başına 1×10^6 canlı aşılama hücresinin, bakteriyel katkı maddelerinin epifitik LAB'yi aşması ve silajda baskın popülasyon haline gelmesi için yeterli olduğu bildirilmektedir (Gollop ve ark., 2005). Diğer *Lactobacillus* veya *Pediococcus* türleri ve *Enterococcus faecium* da sıklıkla kullanılmaktadır (Li ve Nishino, 2011).

5.4. Depolama Sırasında Hava Girişini Sınırlama

Silajın temel amacı besin kaybını en aza indirerek yem kalitesinin stabil kalmasını veya artmasını sağlamaktır. Dolci ve ark. (2011), polietilen filmlere kıyasla oksijen bariyeri filmi ile korunan silajların aerobik maruz kalma sırasında maya ve küf büyümesinde bir gecikme gözlemlenmiştir. Polietilen film, kuşların ve kemirgenlerin neden olduğu fiziksel hasara ve UV'ye dayanıklı olmalıdır. Silo açıldığında, hava yem kütesine girebilmekte ve silajın bozulmasını tetikleyebilmektedir (McEniry ve ark., 2010).

5.5. Aerobik Stabilitenin İyileştirilmesi

Aerobik stabilite, çeşitli silaj katkı maddelerinin kullanılmasıyla sağlanabilmektedir. Kimyasal katkı maddeleri arasında formik asidin, silajdaki yüksek seviyelerde asetik ve propiyonik asitlerle daha kapsamlı heterolaktik fermentasyona neden olarak buğday, sorgum ve

mısır silajlarının aerobik stabilitesini arttırdığı bildirilmiştir (Kung Jr ve Ranjit, 2001). Formal bazlı koruyucularla birlikte tuz formunda (nitritler, sülfatlar) kısmen nötralize asitler içeren silaj katkı maddeleri de bulunmaktadır. Aerobik silaj bozulma oranının, amonyum format, propiyonat, etil benzoat ve benzoat karışımı içeren bir katkı maddesi ile işlenmiş kıvrımlı tanelerde çok yavaş olduğu belirtilmiştir. Bakteriyel katkı maddeleri, açık siloların aerobik stabilitesini korumak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Homofermentatif bakterilerin silaj depolaması için etkili aşılayıcılar olarak kabul edilmelerine rağmen, bazı araştırmacılar laktik asidin silajın bozulmasına neden olan yetersiz anaerobiyoz durumunda laktatı asimile eden mayalar tarafından substrat olarak kullanılabileceğini bildirmektedirler. Silajın boşaltma sırasındaki aerobik stabilitesini geliştirmek için heterolaktik fermentasyon tercih edilmektedir. Heterofermentatif tür *L. buchneri*'nin aerobik stabiliteyi arttırdığı ve fermentasyon kayıplarını azalttığı belirtilmiştir (Adesogan ve ark., 2003). Koruyucu etkisi, asetik asit, propiyonik asit konsantrasyonlarındaki (Schmidt ve Kung, 2010) ve antimikrobiyal maddelerin üretimindeki artışlardan kaynaklanmaktadır.

5.6. İstenmeyen Mikroorganizmaların Engellenmesi

Silaj kalitesini sağlamak için silolanan kütleyle genellikle istenmeyen mikroorganizmaları engelleyen katkı maddeleri eklenmektedir. Heksamin ile kombinasyon halinde sodyum nitrit, klostridia büyümesini etkili bir şekilde önlerken, sodyum benzoat maya

büyümesini kısıtlamaktadır. Kalsiyum formiat, sodyum benzoat ve sodyum nitrit kullanımı mısır silajında hem hijyenik hem de yüksek kaliteli ürün elde edilmesini sağlamakta ve zearalenon, deoksinivalenol, okratoksin ve fumonisin konsantrasyonlarını önemli ölçüde azaltmaktadır (Biro ve ark., 2009). Mısır bitkisi, bitkilerde doğal olarak bulunan antimikrobiyal bileşenler olan ferulik asit ve p-kumarik asit gibi fenolik bileşikleri içermektedir (Melida ve ark., 2010). Yemdeki mikotoksin içeriğini azaltmanın en iyi yolu, bunların tarlada oluşumunu engellemektir. Ancak bu yeterli değildir ve mikotoksinle kirlenmiş yemi arındırmak veya toksinleri atmanın en yaygın yolu emici malzemeleri dahil etmektir. Bu malzemeler, gastrointestinal kanaldan geçiş sırasında adsorpsiyon (emme) yoluyla toksinlerin seçici olarak uzaklaştırılmasına yol açmaktadır. Diğer bir güvenilir yaklaşım, mikotoksinleri detoksifiye edebilen enzimler veya mikroorganizmalar ekleyerek biyotransformasyondur (Jard ve ark., 2011).

KAYNAKLAR

- Adesogan, A.T., Salawu, M.B., Ross, A.B., Davies, D.R., Brooks, A.E. 2003. Effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus fermentum*, *Leuconostoc mesenteroides* inoculants, or a chemical additive on the fermentation, aerobic stability, and nutritive value of crimped wheat grains. *Journal of Dairy Science*, 86(5): 1789-1796.
- Akbay, F., Günaydın, T., Arıkan, S., Kızılsımsek, M. 2023. Laktik asit bakterisi inokulasyonu uygulanan kuşkonmaz bitkisinden silo yemi olarak yararlanma olanakları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 26(5): 1199-1208.
- Alonso, V.A., Pereyra, C.M., Keller, L.A.M., Dalcero, A.M., Rosa, C.A.R., Chiacchiera, S.M., Cavaglieri, L.R. 2013. Fungi and mycotoxins in silage: an overview. *Journal of Applied Microbiology*, 115(3): 637-643.
- Anadon, A., Martínez-Larrañaga, M.R., Ares, I., Martínez, M.A. 2018. Poisonous Plants of the Europe. In *Veterinary Toxicology*, p. 891-909. Academic Press.
- Angthong, W., Cheva-Isarakul, B., Promma, S., Cheva-Isarkul, B. 2007. Beta-carotene, mimosine and quality of leucaena silage kept at different duration. *Agriculture and Natural Resources*, 41(2): 282-287.
- Berendonk, C., Cerff, D., Hünting, K., Wiedenfeld, H., Becerra, J., Kuschak, M. 2010. Pyrrolizidine alkaloid level in *Senecio jacobaea* and *Senecio erraticus*-the effect of plant organ and forage conservation. *Proc. 23rd Gen. Meet Eur. Grassld Fed. Grassland in a Changing World*, Kiel, Germany, 15, 669-671.
- Beyer, J., Drummer, O.H., Maurer, H.H. 2009. Analysis of toxic alkaloids in body samples. *Forensic Science International*, 185(1-3): 1-9.
- Biesta-Peters, EG., Reij, M.W., Joosten, H., Gorris, L.G., Zwietering, M.H. 2010. Comparison of two optical-density-based methods and a plate count method for estimation of growth parameters of *Bacillus cereus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(5): 1399-1405.
- Binder, E.M. 2007. Managing the risk of mycotoxins in modern feed production. *Animal Feed Science and Technology*, 133(1-2): 149-166.

- Bíro, D., Juracek, M., Kacaniova, M., Simko, M., Gálik, B., Micháľková, J., Gyongyova, E. 2009. Occurrence of microscopic fungi and mycotoxins in conserved high moisture corn from Slovakia. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 16(2): 227-232.
- Bolan, N.S., Kemp, P.D. 2003. A review of factors affecting and prevention of pasture-induced nitrate toxicity in grazing animals. In *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, p. 171-178.
- Boudra, H., Barnouin, J., Dragacci, S., Morgavi, D.P. 2007. Aflatoxin M1 and ochratoxin A in raw bulk milk from French dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 90(7): 3197-3201.
- Branca, F., Lorenzetti, S. 2005. Health effects of phytoestrogens. *Diet Diversification and Health Promotion*, 57: 100-111.
- Carter, A.T., Peck, M.W. 2015. Genomes, neurotoxins and biology of *Clostridium botulinum* Group I and Group II. *Research in Microbiology*, 166(4): 303-317.
- Chen, X.Z., Feng, F., Liu, Q.H., Zhang, J.G. 2014. Degrading mimosine and tannins of *Leucaena leucocephala* by ensiling. In *Applied Mechanics and Materials*, 618, 349-353. Trans Tech Publications Ltd.
- Chizzola, R., Bassler, G., Winter, S., Zebeli, Q., Kriechbaum, M. 2015. Persistence of alkaloids of typical poisonous plants autumn crocus and marsh ragwort in grass silage. *Vet. Med. Austria*, 102: 285-292.
- Cortinovis, C., Caloni, F. 2013. Epidemiology of intoxication of domestic animals by plants in Europe. *The Veterinary Journal*, 197(2): 163-168.
- Dagenais, T.R., Keller, N.P. 2009. Pathogenesis of *Aspergillus fumigatus* in invasive aspergillosis. *Clinical Microbiology Reviews*, 22(3): 447-465.
- DeFrates, L.J., Hoehns, J.D., Sakornbut, E.L., Glascock, D.G., Tew, A.R. 2005. Antimuscarinic intoxication resulting from the ingestion of moonflower seeds. *Annals of Pharmacotherapy*, 39(1): 173-176.
- Dolci, P., Tabacco, E., Cocolin, L., Borreani, G. 2011. Microbial dynamics during aerobic exposure of corn silage stored under oxygen barrier or polyethylene films. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(21): 7499-7507.

- Doyle, C.J., Gleeson, D., Jordan, K., Beresford, T.P., Ross, R. P., Fitzgerald, G.F., Cotter, P.D. 2015. Anaerobic sporeformers and their significance with respect to milk and dairy products. *International Journal of Food Microbiology*, 197: 77-87.
- Driehuis, F. 2013. Silage and the safety and quality of dairy foods: a review. *Agricultural and Food Science*, 22(1): 16-34.
- Driehuis, F., Wilkinson, J.M., Jiang, Y., Ogunade, I., Adesogan, A.T. 2018. Silage review: Animal and human health risks from silage. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4093-4110.
- Dunier, L., Sindou, J., Chaucheyras-Durand, F., Chevallier, I., Thévenot-Sergent, D. 2013. Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms. *Animal Feed Science and Technology*, 182(1-4): 1-15.
- Erdogan, H.M. 2010. Listerial keratoconjunctivitis and uveitis (silage eye). *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 26(3): 505-510.
- European Food Safety Authority (EFSA), 2004. Opinion of the Scientific Panel on biological hazards (BIOHAZ) on a request from the Commission related on “Tuberculosis in Bovine Animals: Risks for human health and control strategies”. *EFSA Journal*, 2(3): 13.
- Fenlon, D.R., Wilson, J. 2000. Growth of *Escherichia coli* O157 in poorly fermented laboratory silage: a possible environmental dimension in the epidemiology of *E. coli* O157. *Letters in Applied Microbiology*, 30(2): 118-121.
- Gardini, F., Özogul, Y., Suzzi, G., Tabanelli, G. Özogul, F. 2016. Technological factors affecting biogenic amine content in foods: A review. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1218.
- Girardin, H., Morris, C.E., Albagnac, C., Dreux, N., Glaux, C., Nguyen-The, C. 2005. Behaviour of the pathogen surrogates *Listeria innocua* and *Clostridium sporogenes* during production of parsley in fields fertilized with contaminated amendments. *FEMS Microbiology Ecology*, 54(2): 287-295.
- Gollop, N., Zakin, V., Weinberg, Z.G. 2005. Antibacterial activity of lactic acid bacteria included in inoculants for silage and in silages treated with these inoculants. *Journal of Applied Microbiology*, 98(3): 662-666.

- Heyndrickx, M., Scheldeman, P. 2002. Bacilli associated with spoilage in dairy products and other food. *Applications and Systematics of Bacillus and Relatives*, 64-82.
- Jard, G., Liboz, T., Mathieu, F., Guyonvarc'h, A., Lebrihi, A. 2011. Review of mycotoxin reduction in food and feed: from prevention in the field to detoxification by adsorption or transformation. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 28(11): 1590-1609.
- Johansson, M., Emmoth, E., Salomonsson, A.C., Albiñ, A. 2005. Potential risks when spreading anaerobic digestion residues on grass silage crops—survival of bacteria, moulds and viruses. *Grass and Forage Science*, 60(2): 175-185.
- Karam, F.S.C., Motta, A.C. 2011. Pyrrolizidine alkaloid poisoning in cattle in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. In *Poisoning by plants, mycotoxins and related toxins*, p. 175-178. Wallingford UK: CABI.
- Kung Jr, L. 2010. Aerobic stability of silage. In *Proc. 2010 California Alfalfa and Forage Symposium and Crop/cereal Conference*, Visalia, CA, USA (Vol. 2).
- Kung Jr, L., Ranjit, N.K. 2001. The effect of *Lactobacillus buchneri* and other additives on the fermentation and aerobic stability of barley silage. *Journal of Dairy Science*, 84(5): 1149-1155.
- Kupper, J., Rentsch, K., Mittelholzer, A., Artho, R., Meyer, S., Kupferschmidt, H., Naegeli, H. 2010. A fatal case of autumn crocus (*Colchicum autumnale*) poisoning in a heifer: confirmation by mass-spectrometric colchicine detection. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 22(1): 119-122.
- Lee, C., Beauchemin, K.A. 2014. A review of feeding supplementary nitrate to ruminant animals: nitrate toxicity, methane emissions, and production performance. *Canadian Journal of Animal Science*, 94(4): 557-570.
- Li, Y., Nishino, N. 2011. Monitoring the bacterial community of maize silage stored in a bunker silo inoculated with *Enterococcus faecium*, *Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus buchneri*. *Journal of Applied Microbiology*, 110(6): 1561-1570.

- Lomonaco, S., Nucera, D., Filipello, V. 2015. The evolution and epidemiology of *Listeria monocytogenes* in Europe and the United States. *Infection, Genetics and Evolution*, 35: 172-183.
- Magnusson, M., Christiansson, A., Svensson, B. 2007. *Bacillus cereus* spores during housing of dairy cows: factors affecting contamination of raw milk. *Journal of Dairy Science*, 90(6): 2745-2754.
- Majowicz, S.E., Scallan, E., Jones-Bitton, A., Sargeant, J.M., Stapleton, J., Angulo, F. J., ... & Kirk, M.D. 2014. Global incidence of human Shiga toxin-producing *Escherichia coli* infections and deaths: a systematic review and knowledge synthesis. *Foodborne Pathogens and Disease*, 11(6): 447-455.
- McEniry, J., O'Kiely, P., Clipson, N.J.W., Forristal, P.D., Doyle, E.M. 2010. Assessing the impact of various ensilage factors on the fermentation of grass silage using conventional culture and bacterial community analysis techniques. *Journal of Applied Microbiology*, 108(5): 1584-1593.
- Melida, H., García-Angulo, P., Alonso-Simón, A., Álvarez, J.M., Acebes, J.L., Encina, A. 2010. The phenolic profile of maize primary cell wall changes in cellulose-deficient cell cultures. *Phytochemistry*, 71(14-15): 1684-1689.
- Melo dos Santos, V., Dorner, J.W., Carreira, F. 2003. Isolation and toxigenicity of *Aspergillus fumigatus* from moldy silage. *Mycopathologia*, 156: 133-138.
- Moravcova, J., Kleinová, T., Loučka, R., Tyrolová, I., Kvasnička, F., Dušek, M., ... & Matucha, P. 2004. Coumestrol content of alfalfa following ensilage. *Animal Feed Science and Technology*, 115(1-2): 159-167.
- Mostrom, M.S., Jacobsen, B.J. 2011. Ruminant mycotoxicosis. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 27(2): 315-344.
- Muck, R.E., Moser, L.E., Pitt, R.E. 2003. Postharvest factors affecting ensiling. *Silage Science and Technology*, 42: 251-304.
- Nishino, N., Hattori, H., Wada, H., Touno, E. 2007. Biogenic amine production in grass, maize and total mixed ration silages inoculated with *Lactobacillus casei* or *Lactobacillus buchneri*. *Journal of Applied Microbiology*, 103(2): 325-332.

- O'Brien, M., Egan, D., O'kiely, P., Forristal, P.D., Doohan, F.M., Fuller, H.T. 2008. Morphological and molecular characterisation of *Penicillium roqueforti* and *P. paneum* isolated from baled grass silage. *Mycological Research*, 112(8): 921-932.
- Ogunade, I.M., Kim, D.H., Jiang, Y., Weinberg, Z.G., Jeong, K.C., Adesogan, A.T. 2016. Control of *Escherichia coli* O157: H7 in contaminated alfalfa silage: Effects of silage additives. *Journal of Dairy Science*, 99(6): 4427-4436.
- O'Hagan, D. 1997. Pyrrole, pyrrolidine pyridine, piperidine, azepine and tropane alkaloids. *Natural Product Reports*, 14(6): 637-651.
- Pahlow, G., Muck, R.E., Driehuis, F., Elferink, S.J.O., Spoelstra, S.F. 2003. Microbiology of ensiling. *Silage Science and Technology*, 42: 31-93.
- Payne, J.H., Hogg, R.A., Otter, A., Roest, H.I.J., Livesey, C.T. 2011. Emergence of suspected type D botulism in ruminants in England and Wales (2001 to 2009), associated with exposure to broiler litter. *Veterinary Record*, 168(24): 640-640.
- Pereyra, C., Alonso, V., Rosa, C., Chiacchiera, S., Dalcerro, A., Cavaglieri, L. 2008. Gliotoxin natural incidence and toxigenicity of *Aspergillus fumigatus* isolated from corn silage and ready dairy cattle feed. *World Mycotoxin Journal*, 1(4): 457-462.
- Phillips, C.J.C. 2005. *The Epidemiology and Control of Bovine Tuberculosis*. Nova Biomedical Books, New York, NY, 203-247.
- Roberts, C.A., Kallenbach, R.L., Rottinghaus, G.E., Hill, N.S. 2011. Ergovaline and ergot alkaloid concentrations change in conserved tall fescue. *Forage & Grazinglands*, 9(1): 1-9.
- Rooke, J.A., Hatfield, R.D. 2003. Biochemistry of ensiling. *Silage Science and Technology*, 42: 95-139.
- Scallan, E., Hoekstra, R.M., Angulo, F.J., Tauxe, R.V., Widdowson, M.A., Roy, S.L., ... & Griffin, P.M. 2011. Foodborne illness acquired in the United States-major pathogens. *Emerg Infect Dis*, 17(1): 7-15.
- Schatzmayr, G., Streit, E. 2013. Global occurrence of mycotoxins in the food and feed chain: facts and figures. *World Mycotoxin Journal*, 6(3): 213-222.

- Schmidt, R.J., Kung Jr, L. 2010. The effects of *Lactobacillus buchneri* with or without a homolactic bacterium on the fermentation and aerobic stability of corn silages made at different locations. *Journal of Dairy Science*, 93(4): 1616-1624.
- Soler-Rodríguez, F., Martín, A., García-Camero, J.P., Oropesa, A.L., Pérez-López, M. 2006. *Datura stramonium* poisoning in horses: a risk factor for colic. *Veterinary Record*, 158(4): 132.
- Steidlová, Š., Kalač, P. 2004. The effects of lactic acid bacteria inoculants and formic acid on the formation of biogenic amines in grass silages. *Archives of Animal Nutrition*, 58(3): 245-254.
- Storm, I.M.L.D., Sørensen, J.L., Rasmussen, R.R., Nielsen, K.F., Thrane, U. 2008. Mycotoxins in silage. *Stewart Postharvest Rev*, 4(6): 1-12.
- Sun, Y., Lu, X., Zhang, S., Zhang, R., Wang, X. 2011. Kinetic study for $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ catalyzed hemicellulose hydrolysis of different corn stover silages. *Bioresource Technology*, 102(3): 2936-2942.
- Tasci, F., Turutoglu, H., Ogutcu, H. 2010. Investigations of *Listeria* species in milk and silage produced in Burdur province. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.*, 16 (Suppl-A): 93-97.
- Toaima, S.A., Lamloom, M.M., Abdel-Wahab, T.I., Abdel-Wahab, S.I. 2014. Allelopathic effects of sorghum and Sudan grass on some following winter field crops. *Int. J. Plant Soil Sci*, 3: 599-622.
- Van Der Veen, S., Moezelaar, R., Abee, T., Wells-Bennik, M.H. 2008. The growth limits of a large number of *Listeria monocytogenes* strains at combinations of stresses show serotype-and niche-specific traits. *Journal of Applied Microbiology*, 105(5): 1246-1258.
- Vissers, M.M.M., Te Giffel, M.C., Driehuis, F., De Jong, P., Lankveld, J.M.G. 2007. Minimizing the level of *Bacillus cereus* spores in farm tank milk. *Journal of Dairy Science*, 90(7): 3286-3293.
- Vough, L.R., Cassel, E.K. 2006. Prussic acid poisoning of livestock: causes and prevention. *South Dakota State University, Extension Extra*. p. 115. http://openprairie.sdstate.edu/extension_extra/115

- Weinberg, Z.G., Muck, R.E., Weimer, P.J. 2003. The survival of silage inoculant lactic acid bacteria in rumen fluid. *Journal of Applied Microbiology*, 94(6): 1066-1071.
- Weiss, W.P., Chamberlain, D.G., Hunt, C.W. 2003. Feeding silages. *Silage Science and Technology*, 42: 469-504.
- Whitlock, L.A., Siefers, M.K., Pope, R.V., Brent, B.E., Bolsenn, K.K. 2000. Effect of level of surface-spoiled silage on the nutritive value of corn silage-based rations. *Cattlemen's Day 2000*, p. 22-24.
- Zebeli, Q., Ametaj, B.N., Junck, B., Drochner, W. 2009. Maize silage particle length modulates feeding patterns and milk composition in loose-housed lactating Holstein cows. *Livestock Science*, 124(1-3): 33-40.
- Zhang, J.G., Kawamoto, H., Cai, Y.M. 2010. Relationships between the addition rates of cellulase or glucose and silage fermentation at different temperatures. *Animal Science Journal*, 81(3): 325-330.

BÖLÜM 13

SİLAJ YAPIMINDA İŞ VE İŞÇİ GÜVENLİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Rıdvan UÇAR¹

Öğr. Gör. Muammer EKMEKÇİ²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449284>

¹Pamukkale Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Denizli. E-mail: rucar@pau.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-6365-7200>

²Bingöl Üniversitesi, Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi, Bingöl. E-mail: mekmekci@bingol.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-0610-8552>

1. GİRİŞ

Tehlike, her zaman ona neden olan kişiyi etkilemese de herkesi etkileyebilecek bir durumdur. Hem fiziksel eylemler veya kararlar hem de bunların eksikliği şeklinde insan hatasıyla ilgilidir (Venter, 2022). Kazalar asla planlanmaz, ancak birkaç dakikadan daha uzun süreli ve travmatik etkileri olabilmektedir. Proaktif adımlar, silajı yapımı sırasında riski azaltmaya yardımcı olabilmektedir. Günümüzün karmaşık ve son derece mekanize silaj programlarında, çalışanları ve ekipmanları yemin hasat edilmesi, siloya doldurulması ve hayvanlara verilmesi sırasında sürekli olarak korumak, hazırlık yapmadan ve eğitim almadan gerçekleşmemektedir. Bir tehlike ile karşılaşıldığında doğru kararı vermek veya doğru yöntemi uygulamak için kendinize veya başkalarına güvenmektense, tehlikeleri önceden ortadan kaldırmak için adımlar atmak en iyisidir. Bir silaj programında hasat, doldurma, paketleme, sızdırmazlık sağlama ve besleme ile ilgili ekipmanları yalnızca deneyimli kişilerin kullanmasına izin verilmelidir. Unutulmamalıdır ki silaj sektörünün, güvenliği uygulayarak kaybedilecek hiçbir şeyi yoktur, ama uygulamamakla kaybedecek çok şeyi vardır (Bolsen & Bolsen, 2010). Silaj hasadı ve yemleme sırasında her yaşta işçiler ve çalışanlar yaralandığı veya öldüğü için silajla ilgili kazalar yaş sınırı tanımamaktadır. Kuyruk mili ve hasat makinelerine uzuv kaptırma, yolda çiftlik ekipmanı ile otomobiller arasında oluşan kazalar, yüklenen vagonlar ve üfleyicilerle ilişkili ve silo gazına maruz kalma gibi silaj yaralanma öyküleri mevcuttur. Bu tip olaylar daha çok

bank tipi silolarda ve yığınlarında meydana gelmektedir (Murphy ve Harshman, 2006).

Yatay silolu yem depolama sistemleri, ekonomik olmaları ve kabul edilebilir düzeydeki yem bozulması nedeniyle ve düşük maliyetle yüksek kaliteli yem sağlamaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bank tipi siloların yığınlarında görülen ölümler ve ciddi yaralanmalarla ilgili meydana gelen tehlikeler; traktörün veya kamyonun devrilmesi, makinelere çarpma veya makinelere uzuv kaptırma, yüksekten düşme, çöken silaj nedeniyle ezilme/kaybolma ve kendine aşırı güvenme veya yorgunluktan kaynaklanmaktadır. Tüm çiftliklerin silaj güvenlik yönergeleri geliştirmesi ve bunlara uyması, zorunlu güvenlik eğitimi vermesi ve düzenli güvenlik toplantıları yapması gerekmektedir (Holin, 2010).



Şekil 1: Aşırı Dolu Silo Ünitelerinden Numune Almak Tehlikeli Bir İştir (Holin, 2010)

2. TRAKTÖR DEVRİLME TEHLİKESİ

Herhangi bir silaj yapımında çalışanlar, tarlada yem hasadı ile başlayan ve çiftliğe nakliye, depolama ve son olarak hayvanları silajla besleme ile devam eden bir dizi önemli riskle karşı karşıyadır. En iyi çalışan bile bozuk makinelerden ve kötü hava koşullarından etkilenebilmekte ve tehlikeli bir yolu kullanabilmektedir, ayrıca bir durumu yanlış anlayabilmekte veya tehlikeli bir hamle yapabilmektedir. Bazı yönetim teknikleri, traktör devrilme tehlikesini azaltmaktadır: 1) Devrilmeye karşı koruyucu yapılarla, traktör operatörünün çevresinde bir koruma bölgesi oluşturmak. Emniyet kemeri ile kullanıldığında devrilmeye karşı koruyucu yapılar, operatörün koruma bölgesinden fırlayarak traktör veya onun çektiği ekipman tarafından ezilmesini engellemektedir. 2) Bank tipi silonun duvarından doğrudan zemine düşme önemli bir risktir, bu nedenle asla duvarın tepesinden daha yükseğe silaj doldurulmamalıdır. 3) Yer üstü duvarlarına korkuluk takılmalıdır. Bu korkuluklar, traktör operatörüne duvarın konumunu gösterir, ancak devrilen bir traktörü tutmak için tasarlanmamıştır. 4) Silo doldurma gece yapılacaksa korkuluklara ışıklar takılmalıdır. (5) Bank tipi siloları ve üstü açık yığınları doldururken, traktör operatörleri her zaman sıkıştırma için minimum 1'e 3 eğim sağlayan (örneğin, her 3 birim ilerleme için 1 birim yükselme) aşamalı bir yem dolgusu oluşturmalıdır. 6) Traktörün devrilme riskini azaltmak için, üzerinden geçen yığının kenarlarında ve uçlarında minimum 1'e 3 eğimi korumak önemlidir. 7) Geri kaymayı önlemek için traktörler dik yokuşlarda arkadan desteklenmelidir. 8) Kaymayı önlemek için iyi bağlanmış

lastiklerle donatılmış, düşük alt boşluklu, geniş ön uçlu traktörler kullanılmalıdır. 9) Dengeyi artırmak için traktörlerin önüne ve arkasına tekerlek ağırlıkları ve farklı ağırlıklar eklenmelidir. 10) Geçici bank tipi silolarda asla büyük dikdörtgen veya yuvarlak kuru ot veya saman balyaları kullanılmamalıdır. 11) Yemi bank tipi siloya veya yığına taşımak için önden yükleyiciler kullanılırken kova gereğinden fazla yükseltmemeli ve ağırlık merkezi aşağıda tutulmalıdır. 12) İki veya daha fazla sıkıştırma traktörü kullanıldığında, çarpışmaları önlemek için bir sürüş prosedürü oluşturulmalıdır (Bolsen, 2018).

3. KAMYON KAZASI TEHLİKESİ

Kamyon kazası riskini en aza indiren yönetim uygulamaları şunlardır:

1) Kamyonlar, özellikle yem düzgün bir şekilde yüklenmemiş ve sıkıştırılmamışsa, dik yokuşlarda devrilebilir. 2) Devrilmeyi önlemek için boşaltma gövdesini yalnızca kamyon sağlam bir yüzey üzerindeyken kaldırmak gerekmektedir. 3) Yem yatağı, boşaltma sırasında yükseltildiğinden, yük ağırlık merkezinin kamyon şasisinin şasi rayları arasında kalması önemlidir. 4) Yatak yükseltildiğinde, özellikle yüzey tamamen düz değilse kamyonların dengesi zayıflamaktadır. 5) Bir önceki yükten kaynaklanan tekerlek izi veya çöküntüsü, kamyonun bir tarafındaki lastiklerin inmesi, kamyonun düzensiz yüklenmesi veya şiddetli rüzgâr, boşaltma sırasında kamyonun devrilme riskini artırmaktadır (Bolsen, 2018).

Değerli traktörlerin, biçerdöverlerin ve diğer silaj yapma ekipmanlarının yangın tehlikesine karşı korunması, hasat öncesi diğer bir husustur. Bir yangın durumuna hızlı müdahale için her ekipman parçasına yangın söndürücülerin monte edilip edilmediği kontrol edilmelidir. Hasat alanlarındaki kamyonların yangın söndürücü taşıyıp taşımadığı kontrol edilmelidir (Harshman, 2006).

4. HASAT MAKİNASI KAZASI TEHLİKESİ

Güvenli hasat uygulamalarını teşvik eden ve makinelere ezilme veya uzuv kaptırma nedeniyle ciddi yaralanmaları ve ölümleri önleyen yönergeler şunları içermektedir: 1) Operatörü dönen şaft, zincir ve V-kayışı tehlikelerinden korumak için makine koruyucularını ve kalkanlarını muhafaza etmek ve sökmemek gerekmektedir (Dişliler ve makaralar, yem hasat makinelerinde, vagonlarda ve silaj besleme ekipmanlarında dönen bıçaklar çok kritiktir). 2) Çalışmayan kişiler hasat alanlarından uzak tutulmalıdır. 3) Doldurma veya silajın hayvanlara verilmesi sırasında yaya kişilerin (özellikle çocukların) tarladaki hareketli hasat ve taşıma ekipmanlarının yakınında veya bir bank tipi silonun veya üstü açık yığının yakınında yaya olarak bulunmasına asla izin verilmemelidir. 4) Dikiz aynalarının mutlaka ayarlanması gerekmektedir. 5) Muayene veya bakım çalışması gerektiğinde, motorun kapatılması ve başka bir kişinin yanlışlıkla çalıştırmasını önlemek için anahtarlarının çıkartılması ve muhafaza altına alınması gerekmektedir. 6) Traktörü veya yem hasat makinesinin merdiveni, basamakları ve tutacak demirlerinin kaynak yerleri pürüzsüz

olmalıdır. Tırmanırken dikkatli olunması gerekmektedir. 7) Alet ekipmanların bakımı (Yağlama, ayar yapma vs.) yapılırken makineler mutlaka durdurulmalıdır. Ayarlama yaparken kesici başlığın tamamen durması beklenmelidir. 8) Makine çalışır durumdayken silaj doğrama bıçaklarına asla yaklaşılmamalıdır. 9) Rahat giysiler giyilmelidir. 10) Geri görüşü artırmak ve ekipmanın ters yönde çalıştırıldığı durumlarda diğer çalışanların uyarılması için büyük boyutlu makinelerde geri hareket alarm cihazları veya bir video kamera kullanılmalıdır. 11) Makineler çalıştırılırken veya makine hareketine yardım edilirken başkalarıyla iletişim kurulması amacıyla standart tarımsal el işaretlerinin kullanılması gerekmektedir. 12) Hava ve tarla koşulları güvenlikle ilişkili olarak takip edilmeli ve hasat buna göre ayarlanmalıdır. 13) Tüm ekipmanların operatörlerinin yaptıkları işler için yetkin ve eğitilmiş olduklarından emin olunmalıdır. 14) İşverenler, silaj makinesi, kamyon ve traktör operatörlerine dikkatli olmalarını, emniyet kemerlerini takmalarını ve asla gereksiz risk almamaları konusunda ikazlarda bulunmalıdırlar. Hatırlatma her işgünü başında yapılmalıdır (Bolsen, 2018).



Şekil 2. Aşırı Doldurulmuş Bank Tipi Silolardan Mısır Silajını Çıkaran Yükleyici Operatörleri (Bolsen & Bolsen, 2010)

5. HASAT YÖNETİMİ VE RİSKLER

İnsanları uzun saatler süren silaj hasadı için hazırlamak, ekipmanı göreve hazırlamak kadar önemlidir. İlgili tüm taraflarla hasat öncesi eğitim oturumları, silaj hasat ekibinin bir yıldan beri yapılmamış olan görevlere yeniden odaklanmasına yardımcı olmaktadır. Hasat öncesi dönem, ihtiyaç duyulan kişisel koruyucu ekipmanı hazırlamak için de kullanılmalıdır. İş için sağlam, kaymaz ayakkabı ve dar giysiler giyilmesi tavsiye edilmektedir. Silaj parçalama ekipmanının gürültü seviyeleri 85 desibeli aşabilmektedir (Hass-Slavin ve ark., 2005). Çalışanın gürültüye bağlı işitme kaybına karşı korunması, işitme koruma cihazları, ses yalıtımlı bir traktör kabini veya işçiyi aşırı gürültüde daha kısa süre çalışması sağlanabilir. İşverenlerin, çalışanlara işitme koruması sağlamaları ve onlara doğru kullanım konusunda talimat vermeleri gerekmektedir. İşçileri hasada hazırlama için; hasat edilecek tarlaların, ürünleri depoya taşımak için kullanılan yolların ve hasat, nakliye ve depolama süreçlerinde kullanılan tüm ekipmanların denetimi yapılmalıdır. Yeni yıpranmış ve zayıf hendek ve akarsu kıyıları, çukurlar, çıkıntılı kayalar, topraktaki köstebek delikleri veya güvenli ekipman operasyonlarının önündeki bazı engeller mümkün olduğu ölçüde giderilmelidir. Yol yüzeyleri, genişlikleri, bankları, köprüleri veya yük limitleri ile ilgili herhangi bir değişiklik veya sınırlama tanımlanmalıdır. Topografya, kör köşeler veya yüksek trafik hacmi nedeniyle halka açık yollara girme, geçiş veya dönüşlerdeki zorluklar mümkün olduğunca tartışılmalı ve planlanmalıdır. Bir çalışana sadece dikkatli olmasını veya trafiğe dikkat etmesini

söylemek, bu tehlikeler için yeterli bir plan değildir. Yeterli bir plan, nakliye aracını ve diğer araçları çalıştıran kişinin deneyimi ve olgunluğunu, nakliye araçlarının güvenlik durumunu ve tarlalar ile depolama yerleri arasındaki alternatif taşıma yollarının dikkate alınmasını gerektirmektedir (Harshman, 2006).

Bu iyi bilinen güvenlik uygulamalarına uyulması, silaj hasadı ve silolama faaliyetleri sırasında birinin yaralanma riskini azaltmaktadır. Bu uygulamalar öncelikle çalışanlar tarafından alınabilecek davranışsal eylemlerle ilgilidir ve deneyimli çiftlik çalışanları için büyük ölçüde sezgiseldir. Bu uygulamaları ifade etmenin önemli olmasının bir nedeni, silaj yapımından elde edilen yaralanmayla ilgili verilerin, birçok çalışanın bu önerilen güvenlik uygulamalarını tutarlı bir şekilde takip etmediğini göstermesidir (Bolsen, 2018).

6. SİLO KONTROLLERİ

Silo depolama üniteleri ve silo ekipmanlarının da silo dolum işleminden önce dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gereken konulardır. Son hasattan itibaren dikey bir silonun boş olduğu varsayılırsa, silonun iç yüzeyleri incelenmelidir. En az iki yılda bir bu denetim önerilmektedir. Kullanmadan önce yeni bir silonun iç duvar yüzeyinin yüksekliğinin 1/4-1/3 kısmına aside dayanıklı bir kaplama uygulamak ve gerektiğinde bu kaplamayı yenilemek yapılması gereken bir uygulamadır. Dolumlar arasında silonun iç duvarının kurumasına izin verilmesi silo ömrünü uzatabilmektedir. Ahşap kenarlı ve beton hendek veya bank tipi silolar

için de benzer denetimler gereklidir. Beton çıtalı silolar genel olarak yukarıdan aşağıya aynı boyutta çıtalara sahiptirler, bu nedenle üst çıtalar orijinal durumdayken alt çıtalar zamanla ve silaj asitlerinin etkisiyle zayıflayabilmektedir. Çıtalar genellikle oldukça ince olduğundan, silaj asitlerinin etkileri önemli olabilir. Silo dağıtıcı/boşaltma mekanizmaları da hasat öncesi denetimden geçmelidir. Onarım ve bakım işlemlerinin en az yılda bir kez yapılması gerekmektedir. Üniteyi doldurmadan önce silo boşaltıcı ekipmanlarının kablolarında aşınma veya hasar olup olmadığı kontrol edilmelidir. Dağıtım helezonlarının çalışıp çalışmadığı kontrol edilmelidir. Bu önleyici bakım kontrolleri yapılırken kilitleme/etiketleme prosedürleri izlenmelidir. Bu sırada silo denetimi, silo merdiveni onarımları, silo kapısı ve çatısı herhangi bir değiştirme ve elektrik servisi onarımı ihtiyaçları varsa giderilmelidir. Silaj hendekleri/bank tipi siloları ve silaj yığın sahaları da kontrol edilmelidir. Hendeklerin çatlak yan duvarları ve köşeleri, gevşemiş veya hasar görmüş korkuluklar ve hendek/bank tipi silolarda çatlak, kırık veya tekerlek izli yollar hasattan önce onarılmalıdır. Bazı durumlarda, geçici hendek veya bank tipi silonun yan duvarları için plastik sarılı saman balyaları kullanılmaktadır. Bu geçici çözüm kullanılırsa, yuvarlak balyaları silaj sıkıştırma yönüne dik olacak şekilde yerleştirilmelidir. Bu yerleştirme, silaj paketlenirken balyanın “dışarı fırlamasını” önlemektedir. Bu tür geçici silaj depolaması için bir yuvarlak balya yüksekliği aşılmamalıdır (Harshman, 2006).

7. YÜKSEKTEN DÜŞME TEHLİKESİ

Pek çok bank tipi silo ve üstü açık yığın, onları dolduran kişiler ve daha sonra silolanmış yemi çiftlik hayvanları için yükleyenler için güvenli olmayacak kadar büyük olabilmektedir. Daha büyük hayvancılık birimlerine dönüşmeye dönük eğilimler, daha fazla miktarda silajın eski ve yetersiz depolama kapasiteli bank tipi silolarda depolanmasına neden olmaktadır. Yüksekten düşmeden kaynaklanan ciddi yaralanmaları ve ölümleri önleyebilecek yönergeler şunlardır: 1) Yer seviyesinden yüksek tüm duvarlara standart korkuluklar takılmalıdır. 2) Bank tipi siloların ve yığınların yüzeyinden plastik, oksijen bariyeri filmi, lastikler, lastik yanakları veya çakıl torbalarını çıkarırken dikkatli olunmalı ve ağır bir halat veya kabloyla bağlanmış bir emniyet kemeri takılmalıdır. 3) Bir bank tipi silo veya yığının tepesindeyken, asla besleme yüzeyinin kenarına silajın yüksekliğinden daha yakın durulmamalıdır. 4) Bozulmuş silajı bank tipi silo veya yığının yüzeyinden çıkarmak için zemin seviyesinden çalışan ekipman kullanılmalıdır. 5) Bir kişinin ön yükleyici kovaasına binmesine asla izin verilmemelidir (Bolsen, 2018).

8. SİLAJ KATKILARI

Arzu edilen fermentasyonu teşvik etmek için mikrobiyal aşılایıcılar, enzimler, su ve hatta melas eklenebilmektedir. Bu katkı maddeleri zararsızdır ve çalışanlar için tehlike oluşturmamaktadır. İstenmeyen fermentasyonu engellemek için silaj parçalayıcıda veya silaj üfleyicide formik asit ve propiyonik asit gibi asidik malzemeler eklenebilmekte ve

silaj kütlesine dahil edilebilmektedir. Bu asitler göz ve solunum yollarında tahrişe neden olabilmektedir. Herhangi bir silaj katkı maddesini kullanmadan önce etiket talimatları okunmalı ve uygulanmalıdır. Silaj katkı asitlerini kullanırken özellikle şu noktalar göz önünde bulundurulmalıdır: 1) Asit katkı maddelerini silolanacak ürüne uygulamak için pompa gibi mekanik bir taşıma sistemi kullanılmalıdır. 2) Silaj katkı asitleri ile çalışırken koruyucu ekipman (yüz siperi, uzun neopren veya nitril eldivenler, iş tulumları ve lastik çizmeler) kullanılmalıdır. 3) Dökülme veya sıçrama ihtimaline karşı silaj katkı asitlerinin yakınında daima su bulundurulmalıdır. Asit göze kaçarsa, olaydan hemen sonra göz en az 15 dakika ılık suyla yıkanmalıdır. Ayrıca, mutlaka tıbbi yardım alınmalıdır (Harshman, 2006).

9. SİLAJ ÇIĞI TEHLİKESİ

Açıkta kalan bir silaj besleme yüzünün bir kısmının sessizce kırılması ve düşmesi çok küçük bir zaman diliminde gerçekleşmektedir. Sonuç, altındaki herkes için ölümcül olabilmektedir. Bir silaj çığının neden olduğu ciddi kaza veya ölüm riskini azaltmanın önemli ilkeleri şunlardır: 1) Bank tipi silolar doldurulurken ve üzerine çıkılıp yığınlar sıkıştırılırken aşırı yükseklikten kaçınılmalıdır. 2) Dengesiz, açıktaki besleme yüzüne yakın çalışmaktan kaçınılmalıdır. 3) Besleme yüzeyine asla yüksekliğinin 3 katından daha yakın durulmamalıdır. 4) Boğulma, birçok silaj çığında birincil endişe ve olası bir ölüm nedenidir, bu nedenle asla bir yığın siloda veya yığında tek başına çalışılmamalı, bir

"çift işçi" sistemi uygulanmalıdır. 5) Yükleyici aşırı doldurulmuş bir bank tipi silo veya yığında besleme yüzeyine paralel ve bu yüzeye çok yakın sürülmemelidir. 6) Aşırı doldurulmuş bir yığın silo veya yığından plastik, oksijen bariyeri filmi, lastikler, lastik yan duvarları veya çakıl torbaları çıkarılırken dikkatli olunmalı, emniyet kemeri takılmalı ve ağır bir halat veya kablo ile bağlanmalıdır. 7) Besleme yüzünün üst kenarına, yüksekliğinden daha yakın durulmamalı veya üstünde çalışılmamalıdır. 8) Yüzeyi bozulmuş silaj atılmamalıdır. Pek çok yığın ve yığının tepesindeki bozulmayı gidermek çok tehlikelidir. 9) Araçlar veya ekipmanlar asla besleme yüzünün yakınına park edilmemelidir. 10) Silaj numuneleri, besleme yüzünden güvenli bir mesafeye taşandıktan sonra bir yükleyici kovaından alınmalıdır. 11) Silajın besleme yüzeyinden aşağıya doğru tıraşlanmasını içeren uygun silaj boşaltma tekniği kullanılmalı ve yükleyici kovası ile silajın dibi kazınmamalıdır. Alttan kesip alma, yükleyici kovası aşırı doldurulmuş bir bank tipi silo veya yığının tepesine ulaşamadığından, oldukça yaygın bir durumdur. 12) Bank tipi siloların ve yığınların çevresine "Tehlike! Silaj Yüzü Çökebilir" uyarısı konulmalıdır. 13) Uzak bir bölgede bir silo veya kazık varsa, çevresi çitle çevrilmeli ve "Tehlike: Girmeyin. Sadece yetkili personel" uyarısı konulmalıdır.



Şekil 3: Bank Tipi Siloda Meydana Gelen Çığdan Birkaç Dakika Sonra Çekilmiş Fotoğraf (Bolsen, 2018)

10. TOKSİK SİLAJ GAZLARI TEHLİKESİ

Nitrik oksit ve karbon dioksit de dahil olmak üzere çok sayıda gaz, hasat, doldurma ve silolamanın ilk 2-3 haftasında üretilmektedir. Silaj gazları silolarda, yem odalarında veya hayvanların barınak alanlarında birikebilmekte ve hem insanlar hem de hayvanlar için ölümcül olabilmektedir. Nitrik oksit havadaki oksijenle temas ettiğinde NO_2 'ye dönüşmektedir. NO_2 'ye kısa süreli maruz kalma bile ölümcül olabilmektedir. Azot dioksit, hava gazından daha ağır kırmızımsı-turuncu ile sarımsı-kahverengi bir renktedir ve çamaşır suyu gibi kokmaktadır. En yüksek NO_2 seviyeleri genellikle yem siloya

konulduktan sonraki ilk 24 ila 72 saat içerisinde oluşmaktadır, ancak tehlikeli seviyeleri 3 haftaya kadar devam edebilmektedir. NO₂ solunduğunda, akciğer iç yüzeylerindeki nemde nitrik aside dönüşmektedir. Bu güçlü asit, pulmoner membran dokusunu yakmakta ve vücuda oksijen girişini durdurmaktadır. NO₂ konsantrasyonuna bağlı olarak, NO₂ gazının varlığı burun, boğaz ve göğüste yanma hissi ile algılanmaktadır. Yüksek konsantrasyonlarda NO₂'ye maruz kalmak dakikalar içinde ölüme neden olabilmekte ve kurbanın muhtemelen solunum semptomlarını anlayacak kadar zamanı olmamaktadır. Düşük veya orta konsantrasyonlarda NO₂'ye maruz kalmak kalıcı akciğer hasarına ve pnömoniye neden olabilmektedir. Kule silo oluşunun dibine yakın bir yerde bulunan ve yetersiz havalandırılan yem odasında her gün çalışmaktan kaynaklanan nefes darlığı, öksürme ve akciğerlere sıvı akışı dahil olmak üzere kronik solunum problemlerine yol açabilmektedir. Nitrojen dioksit koku alma duyusunu öldürmekte, bu nedenle yüksek konsantrasyonlarda mevcut olan gazın dağıldığına dair yanlış bir algıya yol açabilmektedir. NO₂ gazının ikinci bir şans tanımadığı unutulmamalıdır (Bolsen, 2018).

Karbondiyoksit kokusuz, renksiz ve tatsızdır ve kapalı ortamlarda tehlikeli olabilmektedir. CO₂ kan dolaşımında belirli bir konsantrasyona ulaştığında, kurbanın nefes almasına neden olan sinirsel bir uyarıyı tetiklemektedir. Daha yüksek konsantrasyonlarda, refleks eylemi engellenmekte ve kurban boğulmaktadır. Karbon dioksit, üst boşluktaki oksijenin yerini aldığı kapalı kule silolarında özellikle çok tehlikelidir. Üstten boşaltmalı silolarda CO₂, silaj

yüzeyindeki alçak noktalarda birikebilmektedir. İnsanın hayatta kalması tamamen güvenli bir havalandırmaya bağlıdır. CO₂ kesinlikle göz ardı edilmemelidir (Bolsen, 2018).



Şekil 4: Yakın Zamanda Kapatılmış Bir Silaj Yığımından Yüksek Seviyeli Silo Gazı Salınımı. Silo gazının arkasında sabahın erken saatlerindeki güneş ışığından kaynaklanan yanardöner görünümü ve gazın hendeğe "dolması" (havadan ağır olduğu için) ve ağılların alt bölgelerine "hareket etmesi" dikkat çekicidir. Bu silo gazı yığından (sağda) ağıllara (solda) doğru hareket etmektedir (Robinson, 2016)

Zehirli silaj gazları, siloların yakınında barındırılan hayvanlar için potansiyel bir tehlikedir. Aşağıdaki yönergeler, silaj gazlarıyla ilişkili tehlikeleri azaltmaktadır: 1) Gaz dağıtıcıyı/yayıncıyı, yem kule silolarında eşit olarak dağıtılacak ve doldurma sırasında veya sonrasında kimsenin girmesine gerek kalmayacak şekilde düzgün şekilde ayarlanmalıdır. 2) Silonun tabanındaki sarımsı kahverengi dumanlara veya çamaşır suyu benzeri kokulara dikkat edilmelidir. Doldurduktan sonra en az 3 hafta boyunca silodan uzak durulmalıdır. 3) Silo oluşunun tabanına ve besleme odasının girişine silo gazı uyarı işaretleri asılmalıdır. 4) Üç haftalık tehlike süresi boyunca çocuklar ve ziyaretçiler silo alanından uzak tutulmalıdır. 5) Tehlike anında yem odasının açık pencereleri vantilatörlerle havalandırılmalıdır. Silo

besleme odası ile hayvan barındırma alanı arasındaki kapılar sızdırmaz ve sıkı bir şekilde kapatılmalıdır. 6) Dolum tamamlandığında veya dolumdan sonraki 3 hafta içerisinde siloya girilmesi gerekiyorsa, silonun tepesine en yakın kapı açık olacak şekilde yem üfleyici en az 30 dakika çalıştırılarak silo havalandırılmalıdır. Her zaman tescilli, bağımsız bir solunum cihazı kullanılmalı ve silonun dışındaki birine bir cankurtaran halatına bağlanmalıdır. 7) Bir silonun çevresinde hafif bir boğaz tahrişi veya öksürme yaşanırsa, hemen temiz havaya çıkılmalıdır. NO₂ gazına maruz kalındığından şüpheleniliyorsa hemen doktora başvurulmalıdır. Her zaman çevreye dikkat edilmeli, uyanık olunmalı ve dikkat dağıtıcı şeylerden kaçınılmalıdır. Silaj sezonu başlamadan önce ilgili tüm çalışanlarla yapılan eğitim oturumları, silaj ekibinin bir önceki yıldan bu yana dikkate alınmamış olabilecek görevlere yeniden odaklanmasına yardımcı olabilmektedir. Periyodik aralar ve yeterli beslenme olmaksızın uzun hasat, taşıma, doldurma ve paketleme saatleri yorgunluğu, uyuşukluğu ve hastalığı artırabilmektedir.

Daha güvenli bir çalışma ortamını teşvik eden yönergeler şunlardır: 1) Silaj ekibi, tüm görevleri güvenli bir şekilde gerçekleştirmek için uygun sayıda kişiden oluşmalıdır. 2) Tüm çalışanlar gece çok iyi uyumalıdır, çünkü ekipman operatörlerinin yorgun olması hata yapma olasılığını yükseltmektedir. 3) 15-20 dakikalık periyodik araların, çalışanları uyanık tutmada etkili olduğu kanıtlanmıştır. 4) Dönüşümlü iş vardiyaları, çalışanların zinde ve uyanık kalmasına yardımcı olmaktadır. 5) Gün boyunca düzenli bir programda tüm çalışanlar için besleyici yemekler sunulmalıdır. 6) Çocuklar, evcil hayvanlar ve

bilgisiz kişiler silaj yapma işleminden uzak tutulmalıdır. 7) Her çiftlik, besi yeri, mandıra ve silaj yüklenicisi silaj programı için güvenlik politikalarına ve prosedürlerine sahip olmalı ve güvenliği tartışmak için tüm çalışanlarla düzenli toplantılar yapmalıdır. Sonuçta, her silaj programındaki en önemli hedef, tüm çalışanları günün sonunda güvenli bir şekilde evlerine, ailelerinin yanına göndermektir (Bolsen, 2018).

11. SİLO YANGINLARI

Silo yangınları çeşitli nedenlerle ortaya çıkmaktadır: 1) Ürün neminin düşük olması; 2) Silo doldurulurken yem dağıtımı kötü olması ve iyi sıkıştırılamaması; 3) Silonun yetersiz bakımı; 4) Silajın ikincil fermentasyonu; ve 5) Oksijen sınırlayıcı silolarda boşaltma çalıştırıldıktan sonra üst ambar kapağının veya boşaltma kapısının kapatılmaması. Geleneksel silolarda, yangınlar çoğunlukla silajın ilk 3 metresinde yüzeyde belirirken, oksijen sınırlayıcı silolarda yangın çoğunlukla alt boşaltıcının yakınındaki yüzeyde meydana gelmektedir. Her iki tip siloda da yangın, yem siloya yerleştirildikten birkaç gün sonra ortaya çıkmakta veya birkaç ay veya birkaç yıl boyunca ortaya çıkmamaktadır. Aşırı ısınmış silaj aylarca için için yanabilmekte veya birkaç gün içinde şiddetli bir yangına dönüşebilmektedir. Silo yangınlarının söndürülmesi son derece zor ve tehlikeli olabilmektedir. Oksijeni sınırlayan silo yangınları, onları söndürmek için uygunsuz yöntemler kullanmaları nedeniyle gönüllü itfaiyecileri öldüren büyük patlamalara neden olmaktadır. Geleneksel silo yangınları normalde patlamayla sonuçlanmamaktadır, ancak geleneksel siloların içinde

buhar patlamaları olduğu rapor edilmiştir. Silo yangınları uygun prosedürler kullanılarak güvenli bir şekilde söndürülebilir. Yalnızca silo yangın söndürme yöntemleri konusunda eğitilmiş itfaiyecilerin bir silo yangınına söndürmeye çalışması gerekmektedir (Harshman, 2006).

12. KULE SİLONUN ÇÖKMESİ

Bir kule silonun çökmesinde genellikle iki faktör rol oynamaktadır. Birinci faktör, silo doldurma oranı ve olası silaj dağıtım ekipmanı bakım sorunları ile ilgilidir. İkinci faktör ise silonun yaşı ve yapının bakımı ile ilgilidir. Silo doldurma, ürünün en yüksek kalitede silolanmasını sağlamak için verimli bir hızda ilerlemelidir. Bu hızlı süreç için kule silosu dağıtım ekipmanlarının en iyi durumda olması gerekmektedir. Bazen dağıtım ekipmanı arızalanmakta ve silo dolumu, operatör silajın silonun bir tarafında biriktiğinden habersizken devam edebilmektedir. Silonun bir tarafına eşit olmayan bir kuvvet uygulanmaktadır. Bu kuvvet (basınç), silonun karşı tarafına indirgenmiş bir kuvvet veya basınç olarak dönüşmektedir. Sonuç olarak, silonun hafif yüklü tarafının kalkmaya başlaması ve sonunda silonun çökmesine neden olmasıdır. Beton çita ve prekast silolar, uzun süre silaj asitlerine maruz kalmaktadırlar. Ürünler, yüksek kaliteli yem üretecek ancak aşırı sızıntıyı önleyecek bir nem seviyesinde hasat edilmelidir. Silajda bulunan hem asetik asit hem de laktik asit, duvarlardaki çimento ile reaksiyona girebilmekte ve zamanla duvarların kaba boşlukları arasındaki bağın gücünü azaltmaktadır. Aslında bu kimyasal reaksiyon, silo duvar kalınlığını azaltmaktadır.

Daha büyük silolar, silo duvarları üzerinde daha fazla yatay basınca sahip olmakta, bu da silaj asitlerini silo duvarlarının daha derinlerine itebilmektedir. Düşey yükün en büyük kısmını taşıyan silo duvarının alt bölümü daha çok etkilenmektedir. Daha yüksek nem içeriğine sahip silaj, daha fazla asit konsantrasyonu üretmekte, bu da betonu daha fazla bozmaktadır. Silo çemberleri, takviye çubukları ve silo donanımı da etkilenebilmektedir. Uygun kullanım ve bakım ile silo çökmesi önlenmektedir. Silonun bozulmasından şüpheleniliyorsa, sorunu çözmek için hemen harekete geçilmelidir. Bozulan siloları çökmeden ve bina hasarına veya çiftlik hayvanlarının ya da insan hayatının kaybına neden olmadan önce sökmek ve kaldırmak gerekmektedir (Harshman, 2006).

KAYNAKLAR

- Bolsen, K.K. 2018. Silage review: Safety considerations during silage making and feeding. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4122-4131.
- Bolsen, K.K., Bolsen, K.K. 2010. Safety in silage operations. In *Proceedings California Alfalfa and Forage Symposium*, p. 125-132.
- Harshman, W.C. 2006. Harvest and storage safety. NRAES Conference, "Silage for Dairy Farms: Growing, Harvesting, Storing and Feeding"; January 23-25, Harrisburg, PA.
- Hass-Slavin, L., McColl, M.A., Pickett, W. 2005. Challenges and strategies related to hearing loss among dairy farmers. *The Journal of Rural Health*, 21(4): 329-336.
- Holin, F. 2010. Handle silage safely. *Hay & Forage Grower*. February, 36-37.
- Murphy, D.J., Harshman, W.C. 2006. Harvest and storage safety. *Proceedings Silage for Dairy Farms*.
- Robinson, P.H. 2016. Silo Gases in Large Scale Pile Silos. Cooperative Extension. University of California.
- Venter, R. 2022. Join the silage safety drive. *Stockfarm*, 12(2): 41-41.

BÖLÜM 14

SİLAJLARIN ÇEVREYE ETKİSİ

Dr. Feyza Döndü BİLGİN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449287>

¹ Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana. E-mail: feyzagundel@hotmail.com, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-7435-4130>

1. GİRİŞ

Modern hayvansal ürünleri üretmenin kaçınılmaz olarak çevreye etkileri vardır. Bugün bu endüstrinin önündeki zorluk, çevreye verilen emisyonları en aza indirirken, artan küresel talebi karşılayabilmek için üretimi artırmaktır. Olumsuz çevresel etkilerden en önemlileri, atmosfere gaz emisyonları, hayvan gübresi ve kimyevi gübre kullanımından kaynaklanan amonyak, enterik fermentasyon ve gübre kaynaklı metan, toprağa azot uygulamalarından kaynaklı nitroksit üretimi sayılabilmektedir. Suya bırakılan emisyonlardan en önemlileri ise yem bitkilerine bitki besin elementi uygulamalarından ve/veya otlayan çiftlik hayvanlarından kaynaklanan nitrat, amonyum, fosfor, tortu, patojenler ve organik maddelerdir (Misselbrook ve ark., 2013). Süt çiftliklerindeki silaj, uçucu organik bileşik emisyonlarının ana kaynağı olarak tanımlanmıştır (Hafner ve ark., 2010). Ölçümler, farklı çevresel koşulların ve silaj özelliklerinin emisyon oranlarını ciddi bir şekilde etkilediğini ve silajın uçucu organik bileşik emisyon envanterlerine katkısının değerlendirilmesini zorlaştırdığını göstermektedir (Hafner ve ark., 2012).

2. SİLAJ SIVI ATIĞI

Geviş getiren hayvanlar için yüksek nem içeren yemlerin silolanması, silaj besin maddelerinin kayıplarının en aza indirilmesi yanında atık su yoluyla drenaj problemleri de içermektedir. Silaj atıkları, akarsuların en yaygın tarımsal kirleticilerinden biri olarak kabul edilmektedir (Razak ve ark., 2012). Silaj akışkan atıkları, yüksek nem içeriğine sahip ürünler

silolanırken üretilen güçlü bir atık sudur. Silaj sıvı atığı, sırasıyla yüksek biyokimyasal oksijen gereksinimi ve içerdiği besinler nedeniyle balık ölümlerine ve ötrofikasyona neden olmaktadır. Silaj sıvı atığı yüksek asiditeye ($\text{pH} \approx 3.5-5$) sahiptir, bu da çeliği aşındırıcı ve betona zarar verici olmakta, bu da taşıma, depolama ve imha etme süreçlerini zorlaştırmaktadır. Konsantre bir atık su olarak tanınmasına rağmen, çoğu araştırma, bu atık suyun üretimini engellemeye odaklanmıştır. Artan iklimsel değişkenlik ve hayvancılık faaliyetlerinin yoğunlaşması hem önleyici hem de reaktif önlemleri içeren kapsamlı, çok katmanlı yönetim stratejilerinin geliştirilmesine ihtiyacı doğurmaktadır (Gebrehanna ve ark., 2014).

Silaj sıvı atığı ile ilişkili çevresel riskleri en aza indirmek için çok değişik yöntemler kullanılmalıdır. Bunlar: 1) Atık su üretimini azaltmak için silolamadan önce ürünün nem içeriğinin ayarlanması, 2) Siloların ve atık su depolarının bütünlüğünün sağlanması ve 3) Atık su arıtma ve bertarafı için bir altyapının oluşturulması. Seyreltik silaj atığının arıtılması için tesis edilmiş sulak alanların ve bitki içeren infiltrasyon alanlarının kapsamlı bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Özellikle, ön arıtma işlemleri ve uygun atık su yükleme oranları belirlenerek doğal arıtma sistemini iyileştirmeye yönelik gereken çaba harcanmalıdır. Sahaya yayma, yaygın bir bertaraf uygulaması olduğu için atık suyun araziye tekrar tekrar uygulanmasının toprak kalitesi ve ürünün verimi üzerindeki etkilerini anlamayı amaçlayan incelemeler de gerekmektedir (Gebrehanna ve ark., 2014).



Şekil 1: Drenajı Kötü Olan Bir Bank Tipi Silo Zeminini, Sızıntı Suyunun Silo Alanında Kalmasına Neden Olmakta, Yumuşak Zemin İse Makine İzleri Oluşmasına İzin Vererek Sorunu Şiddetlendirmektedir (Davis, 2021)

Tarım endüstrisinde silaj atığının silo duvarları, zeminler ve depolama tankları gibi beton yapılarda hasara ve bozulmaya neden olduğu bilinmektedir. Geleneksel portland çimentosu betonu, siloların ve silaj atık su depolama tesislerinin inşası için tarım endüstrisinde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Bununla birlikte, silaj tarafından üretilen silaj atık suyunun asidik doğası, portland çimentosu betonunun ciddi şekilde bozulmasına yol açmakta ve bu da önemli çevresel ve finansal sonuçlar doğurmaktadır (Aiken ve ark., 2017). Bu bozulma her ne kadar üretilen atık miktarının azaltılmasına yardımcı olsa da sorunu ortadan kaldırmamakta, çünkü geriye kalan atık hacmi yine de önemli düzeyde beton hasarına neden olacak kapasitede olabilmektedir (Gebrehanna ve ark., 2014).

Silaj sızıntı suyu (silaj yığınlarından, torbalardan, bank tipi silolardan olan sızıntı) genellikle et ve süt çiftliklerinde meydana gelmektedir ve uygun yönetim gerektiren çiftlik çıktılarından birisidir. Sızıntı suyu, yüzey sularına aktığında oksijen tüketmede çok yüksek bir potansiyele sahip olduğu ve yüzey suyuna boşaltıldığında, balıkların ve diğer su canlılarının ölmesine neden olacak kadar çok oksijen tüketileceği bilinmektedir. 1 ton silaj sızıntı suyu, 10.000 ton nehir suyunun oksijen içeriğini, balıkların hayatta kalması için gereken kritik düzeye indirebilmektedir. Silaj sızıntı suyu ayrıca yeraltı sularına zarar verebilecek besinler içermektedir. En kritik olanı nitrat azottur. Ayrıca silaj sızıntı suyunun asidik yapısı, aktığı alandaki bitki örtüsünü yakabilmekte veya öldürebilmektedir. Çiftçiler silaj sızıntı suyunu, astarlı göletler veya toplama havuzları inşa ederek depolamayı tercih etmektedirler. Bu tür yapıların inşa edilmesi genellikle maliyetlidir. Sızıntı suyu biriktirildikten sonra pompalanabilir veya mevcut bir gübre veya atık su deposuna yönlendirilebilir. Ancak özellikle bank tipi silolardan akan yağmur suyu da toplandığında, depolama hacim gereksinimini önemli seviyede artabilmektedir. Ayrıca, sızıntı suyu sıvı gübre ile karıştırıldığında tehlikeli hidrojen sülfid üretebileceğinden, yalnızca iyi havalandırılan açık hava depolarına aktarılmalıdır (Rector ve ark., 2010).

Silaj sızıntı suyunu biriktirmeye yönelik maliyetli yapılara bir alternatif olarak, çiftçiler silaj sızıntı suyu üretimini en aza indirmek için çaba gösterebilir ve göstermelidir. En yüksek kalitede silajın hasadı ve silolanması için önerilen uygulamaların çoğu, silaj sızıntısını da en aza

indirmektedir. Silaj kalitesinin ve sızıntı suyu üretiminin en kritik belirleyicilerinden biri, hasat anında kaba yemin nem içeriğidir. Bank tipi silolar için mısır silajı, bitkiler %65 ila %70 nem (%30 ila %35 kuru madde) arasındayken hasat edilmelidir. Dik silolarda veya torbalarda depolanan mısır silajı için nem seviyeleri daha da düşük olabilir, ancak %60'ın altına düşmemesi gerekmektedir. Hasat sırasında yonca otu için %60 ila %70 nem (%30 ila %40 kuru madde) aralığı idealdir. Öngörülen nem seviyelerinden daha yüksek hasat edilen silaj, önemli ölçüde fazla miktarda sızıntı suyu üretebilmektedir (Rector ve ark., 2010).



Şekil 2: Silaj Sızıntısı Sonucu Oluşan Beyazımsı Gri Alg Örtüsü
(Fotoğraf: Jason Pentzer) (Nennich, 2014)

Sızıntı suyunun hayvansal üretime olumsuz etkileri olabilmektedir. Besinleri, özellikle çözünür azotu ve karbonhidratları yemden uzaklaştırır. Ek olarak, belirtilenden daha yüksek nemde hasat edilen silaj, Clostridia bakterisinin mevcudiyetini artırma eğilimindedir. Bu tür bakteriler, hayvanların yemi tüketimini ve silaj protein seviyelerini

azaltabilen azot bileşikleri ve bütirik asit üretmektedir. Sızıntı suyunun en aza indirilmesi için silajın üzerinin örtülmesi önemli bir uygulamadır. Örtüler, yığına hava akışını en aza indirerek yem kalitesini korumakla kalmaz, aynı zamanda yağmurun silajın içine girmesini ve besin maddelerini çözmesini önleyerek sızıntı suyu üretimini azaltmaktadır. Lastiklerle sabitlenmiş bir plastik örtüyle kaplama, yem kalitesini korumak için yaygın bir yaklaşımdır. Kansas Eyalet Üniversitesi'nde yürütülen araştırmalar, bir bank tipi siloyu plastikle kaplamanın, harcanan her 1 dolar için yem kayıplarını 8 dolar azaltabileceğini göstermiştir. Bir siloyu örtmek, hem yemin besleme değerini koruyarak hem de yemin lezzeti ve alımını iyileştirerek hayvan performansını artırabilmektedir. Yağmur suyunun ve eriyen karların yem yığınının dışarı atılması için de plastik örtüler gereklidir. Suyu bank tipi silonun duvarlarına yönlendirmek gibi çok yaygın bir uygulamadan kaçınılmalıdır, çünkü silajın duvarlara nüfuz etmesi yine de bir sızıntı suyu sorununa yol açacaktır. Plastiğin bakımı da dikkate alınmalıdır ve silonun veya torbanın kaplamasındaki delikler hemen onarılmalıdır. Yükleme alanı dökülen silajdan arı tutulmalıdır. Yükleme alanından temizlenmeyen silaj, saha dışında yağmur suyuyla ıslanabilmekte ve ıslandığında silaj sızıntı suyu üretmeye devam etmektedir. Mümkün ise yağmur suyunu silaj deposundan uzağa yönlendirmek en iyisidir. Açık bank tipi silonun ön yüzeyinden dik bir şekilde yemin kesilip alınması, silajın yağmur suyuyla temasını en aza indirmekte ve bozulmayı da azaltmaktadır. Yüksek nemli silajın kaçınılmaz olduğu yıllarda acil durum planı geliştirilmelidir. Silaj sızıntı suyunu emmek ve durdurmak için talaş kullanmak gibi geçici

akış kontrol önlemleri kullanılabilir. Talaş daha sonra toplanıp tarlalara uygulanabilir. Çevreyi korumanın sorumlu bireyleri olarak, tüm üreticilerin silaj sızıntı suyunun risklerinin farkında olması ve bunu azaltmak ve yönetmek için uygun adımları atması gerekmektedir (Rector ve ark., 2010).

Silaj atık suyu çok yüksek bir biyokimyasal oksijen talebine sahiptir. Her zaman atık suyun kaynaklandığı silonun yakınında tutulmalı ve asla yeraltı suyuna ve/veya yakındaki bir gölete veya su yoluna karışmasına izin verilmemelidir. Silaj atık suyunu oluşturan bazı uygulamalar/sebepler şunlardır: 1) Silonun türü ve boyutuna uygun olmayan seviyede çok düşük kuru madde içeriğine sahip yemlerin silolanması. 2) Yemin biçildikten sonra soldurulmamış olması. 3) Yemin tarlada soldurulduğu sürenin, yığının büyüklüğüne göre çok kısa olması. 4) Hava durumunun yemlerin parçalanmadan önce tarlada uygun bir şekilde solmasına müsaade etmemiş olması. 5) Yemin kuru madde içeriğini belirlemekten sorumlu kişi hata yapmış olması. 6) Mısır, sorgum veya tahılların olgunlaşmamış bir büyüme aşamasında hasat edilmiş olması. 7) Silaj makinalarının programlanan zamanda gelmemiş olması. 8) Hasat edilecek arazinin büyük olması nedeniyle bitkilerin hasadına çok erken başlamış olması (Bolsen, 2006).

Bu uygulama sorunlarına yönelik çözümler şunlardır: 1) Yemin hasadına karar vermeden önce hava durumu hakkında bilgi almak. 2) Yeni biçme, kesme ve bakım ekipmanı teknolojilerinden yararlanmak. 3) Parçalama zamanı ile sürelerini koordine etmek. 4) Hasadın uygun

zamanda başlayabilmesi için her bir mısır veya sorgum tarlasının kuru madde oranını ve bitki nem içeriğini yakından takip etmek. 5) Hasat zaman aralığını genişletmek için farklı olgunluklara sahip mısır veya sorgum hibritleri ekmek (Bolsen, 2006).

Silaj sızıntı suyu birçok çiftlikte çevresel bir sorundur. Süt çiftliklerinin yaygınlaşması ile yemlerin kule silolarda depolanmasından bank tipi silolarda depolanmasına geçiş hızlanmıştır. Bank tipi silolardan çıkan silaj sızıntı suyunun pH'ı 4 civarındadır. Bank tipi siloları, yüzey sularını ve silaj sızıntı sularını toplayacak bir sisteminin kolayca kurulabileceği ve bakımının yapılabileceği tek bir noktada konumlandırmak kirlilik potansiyelini azaltacaktır. Yüksek konsantrasyonlu silaj atıkları düşük miktarda akışlarını gelecekte araziye serpmek için depolamaya gönderirken, az konsantrasyonlu silaj atıklarının yüksek miktarda akışlara izin vermek, kirliliği önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir (Wright ve ark, 2004).

Bir bank tipi silo deposunun veya yığının zemini, dışarıdan gelen yağmur suyunun depolama sahasına girmesini önlemek için çevredeki doğal yüzey seviyesinden 200-300 mm yükseklikte inşa edilmelidir. Zemin, yaklaşık 1:100'lük bir eğimle ve enine eğim olmadan, besleme yüzeyine ve toplama kanalına doğru eğimli olmalıdır. Sızıntı suyunun tutulması ve depo girişinden uzaklaştırılması, toprak ve/veya çamurun depolama alanına taşınmasını ve silajı kirletmesini azaltacaktır. Atık suyu biriktirmek ve bir toplama kanalına yönlendirmek için depolama sahasının tüm genişliği boyunca (eğim aşağı) dar (0.3-0.5 m) bir drenaj

inşa edilmelidir. Yerdeki silaj yığınları ayrıca sızıntı suyunun bir toplama noktasına yönlendirildiği ve doğru bir şekilde muhafaza edildiği kapalı bir yüzey gerektirmektedir. Yığının etrafındaki sığ bir drenaj, suyun yığına girmesini önlemeye yardımcı olacaktır. Silaj örtüsünden akıp giden yağışın silaj ile bank tipi silo duvarları arasına akmasını engellemek için silajı duvarın üstüne doğru yığmak ve örtünün yan ve uç duvarlara kadar uzanmasını sağlamak gerekmektedir. Akış, bu sayede duvarın üst kısmı boyunca ve uzunluğu boyunca yönlendirilmektedir. Silaj yığını, suyun plastiğin üzerinden ve zemine akması için bank tipi siloların besleme yüzeyine doğru eğimli olmalıdır. Ancak, iyi bir yan eğim drenajı varsa bu gerekli olmayabilir (Davis, 2021).

3. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLER

Silaj son yıllarda, atmosfere önemli miktarda uçucu organik bileşikler salan bir kaynak olarak tanımlanmıştır. Hayvan besleme üzerine yapılan araştırmalarının büyük çoğunluğu koku, amonyak veya partikül madde emisyonlarına odaklanmıştır. Bununla birlikte, yaygın bir fermente sığır yemi türü olan silajdan kaynaklanan uçucu organik bileşikleri emisyonlarının, kötü hava kalitesine en çok katkıda bulunan unsurlardan biri olduğu tespit edilmiştir. Emisyon ölçümleri, silajın troposferdeki ozona etkide bulunabilecek çok sayıda uçucu organik bileşikler (50'den fazla) yaydığını göstermiştir (Hu ve ark., 2012). En önemli uçucu organik bileşikler üretiminin, hayvan beslerken havayla temas sırasında değil, silajın fermentasyonu ve depolanması sırasında

meydana gelmesi muhtemeldir. Ancak canlı olan ve yakın zamanda hasat edilmiş bitkiler de uçucu organik bileşikler yaymakta ve emisyon, parçalama gibi mekanik hasarla artmaktadır (Holopainen, 2004). Buğdaygil yem bitkileri ve yonca hasadı (ve bazı durumlarda kuru ot üretimi için kurutma) sırasında yayılan toplam uçucu organik bileşikler kütlelerinin yaklaşık 300 ila 700 mg kg⁻¹ (hasat edilen kuru maddenin kg'ı başına) arasında olduğu saptanmıştır (Davison ve ark., 2007). Metanolün baskın bileşik olduğu tespit edilmiştir (Graus ve ark., 2013). Silajdan kaynaklanan uçucu organik bileşikler emisyonu göstermiştir ki genellikle alkoller, mısır silajından kaynaklanan emisyonu en büyük katkıyı yapmaktadır. Etanol, mısır silajında baskın alkoldür; asitler hariç, mevcut uçucu organik bileşikler kütlelerinin yarısından fazlasını oluşturmaktadır. Başta asetik asit olmak üzere asitler, emisyon yüksek olduğunda ve tüm uçucu organik bileşikler emisyon nedeniyle tükendiğinde önemli hale gelebilmektedir. Silajda bulunan en önemli asitler, alkoller ve aldehitler muhtemelen silajın fermantasyonu ve depolanması sırasında bakteriler (ve etanol söz konusu olduğunda mayalar) tarafından üretilmektedir. Aldehitler ayrıca alkollerin oksidasyonu yoluyla bozulmaya neden olan mikroorganizmalar tarafından aerobik olarak da üretilebilmektedir. Abiyotik reaksiyonlar, metanol ve esterlerin üretimi için önemli olabilmektedir. Bazı çalışmalarda silaj katkı maddelerinin uçucu organik bileşikler üretimini etkilediği görülse de bakteriyel aşılayıcılar etanol üzerinde tutarlı bir etki göstermemektedir ve diğer uçucu organik bileşikler üzerindeki etkileri araştırılmamıştır. Asetik asit oluşumu iyi anlaşılmıştır ve üretimi en aza indirilebilir, ancak bunda bir azalma olması diğer daha

uçucu ve daha reaktif uçucu organik bileşiklerde bir artışa yol açabilmektedir. Mayaları ve istenmeyen bakterileri kontrol etmek için tasarlanan kimyasal katkı maddeleri, mısır silajında etanol üretimini azaltma konusunda umut vaat etmektedir. Silajdaki en konsantre uçucu organik bileşikler olan asetik asit, silolama sırasında birkaç mikroorganizma grubu tarafından üretilmektedir. Propionik asit genel olarak silajlarda asetik asitten daha azdır. Bilinen iki istisna vardır. Clostridial aktiviteden kaynaklanan bütirik asit bakımından yüksek silajlar, kısa fermentasyondan dolayı genellikle önemli seviyelerde propiyonik asit üretmektedir. Silajlarda en yaygın alkol olan etanol, çeşitli mikroorganizmalar tarafından şeker fermentasyonunun ürünüdür, ancak en önemlileri zorunlu heterofermentatif LAB ve mayalardır. Diğer minör alkoller bakteriler tarafından üretilebilmektedir. Bazı dallanmış zincirli bileşikler de dahil olmak üzere bazı alkoller, LAB tarafından amino asit katabolizması yoluyla üretilmektedir (Hafner ve ark., 2013). Aldehitler, LAB tarafından şeker ve amino asit katabolizması yoluyla üretilmektedir. Asetaldehit, karbonhidratların heterofermentatif LAB ile fermentasyonunda bir ara maddedir ve bazı türler tarafından büyük miktarlarda üretilebilmektedir (Hui ve ark., 2008). Esterler hem biyokimyasal hem de abiyotik yollarla oluşturulabilir. Ester oluşturmak için karboksilik asitlerin ve alkollerin abiyotik, enzimatik olmayan esterleşmesi, oda sıcaklığında gerçekleşmekte ve silajlarda bulunan asit koşullar tarafından desteklenmektedir (Hafner ve ark., 2013).

Hayvancılık ürünlerine yönelik artan taleple birlikte sığırlar, küresel olarak enterik metan (CH_4) emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Sığırların günde 250 ila 500 L CH_4 ürettiği tahmin edilmektedir ve CH_4 üretiminin %90'a kadarı rumende meydana gelmektedir. Yem maddelerinin rumende uçucu yağ asitlerine, mikrobiyal proteine ve vitaminlere dönüştürülmesi, çeşitli farklı mikrobiyal türler (bakteri, arkea, protozoa ve mantarlar, yani rumen mikrobiyotası dahil) vasıtasıyla olmaktadır (Bica ve ark., 2022). Enterik fermentasyon işlemi sırasında karbon dioksit (CO_2) ve hidrojen (H_2) de üretilmekte ve daha sonra metanojenik archaea türler tarafından kullanılarak CH_4 üretilmektedir (Morgavi ve ark., 2010). Geviş getiren hayvanlar tarafından tüketilen yemin miktarı ve türü, CH_4 emisyonlarını etkileyen en önemli faktörlerdir, ancak bireyler arasındaki farklılıklar ve coğrafi konum gibi diğer faktörler de genel emisyonların belirlenmesinde rol oynamaktadır. Geviş getiren hayvanlarda CH_4 emisyonlarını azaltmaya yönelik yaklaşımlar, genellikle hayvana verilen rasyonları değiştirerek H_2 varlığını azaltmaya odaklanmaktadır (Haque, 2018).

Geviş getiren hayvanların rasyonundaki metabolize edilebilir enerji (ME, metabolisable energy) konsantrasyonu, brüt enerji (GE, gross energy) alımı ile dışkı, idrar ve metandaki enerji çıkışı arasındaki fark olarak belirlenmektedir. Metan enerjisi çıkışının ($\text{CH}_4\text{-E}$) ölçümü, karmaşık ve pahalı ekipman gerektirmekte ve bu nedenle tahmin denklemleri, $\text{CH}_4\text{-E}$ 'yi hesaplamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Toplam kuru madde alımı, sindirilebilir karbonhidratlar, enerji

sindirilebilirliği, beslenme düzeyi ve bir dizi hayvan ve rasyon faktörü kullanan bu denklemlerin bir kısmı 1930'dan günümüze güncellenerek yayınlanmıştır. Bununla birlikte, bu denklemleri geliştirmek için kullanılan veriler, Batı Avrupa'nın birçok bölgesinde genel olarak kullanılan düşük kuru maddeli buğdaygil yem bitkisi silajlarından ziyade, esas olarak kuru veya yüksek kuru maddeli yemler içeren rasyonlar verilen geniş getiren hayvanlardan toplanmıştır. Düşük kuru maddeli buğdaygil yem bitkisi silajındaki fermentasyon işlemi, düşük konsantrasyonda suda çözünür karbonhidratlar ve uçucu yağ asitleri, laktat, alkol ve amonyak gibi yüksek seviyelerde fermentasyon ürünleri ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca, silajın kuru maddesindeki lif konsantrasyonu, silolama işlemi ve hasat tarihindeki farklılıklar nedeniyle kuru ottakinden de farklı olabilmektedir. Bu nedenle buğdaygil yem bitkisi silajı ile yapılan besleme, kurutulmuş yemlere kıyasla rumende farklı fermentasyon modellerine neden olabilmektedir. Bu etki, rumende üretilen toplam uçucu yağ asitlerinden asetik asit oranını değiştirerek metan üretiminin değişmesine neden olabilmektedir. CH₄-E'nin, kuru buğdaygil yem bitkisi otu yerine buğdaygil yem bitkisi silajlarına dayalı rasyonlar verilen süt sığırlarında brüt enerji alımı veya sindirilebilir enerji (DE, digestible energy) alımına göre daha yüksek bir orana sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle buğdaygil yem bitkisi silajına dayalı rasyonlarla bu etkilerin incelenmesine ihtiyaç vardır. Rasyondaki farklılıklara ek olarak, alım düzeyine bağlı olarak da büyük farklılıklar vardır. Son 20 yılda ineklerin genetik değeri önemli ölçüde artmış ve bu hayvanlar günde 50 kg'ın üzerinde süt verimi üretebilir ve günde 300 MJ'den fazla

metabolik enerji tüketebilir duruma gelmiştir. Beslenme seviyesinin metan üretimi üzerindeki etkisi artan bir önem kazanmaktadır ve bu nedenle bu etkinin yeniden incelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Yan ve ark., 2000). Mandıra çiftliklerinde, bitki proteinini insan tüketimi için besleyici süte dönüştürmenin en verimli yollarını bulmak, çiftlik karlılığını artırmada ve çevresel emisyonları azaltmada kilit bir faktördür (Gidlund ve ark., 2015).

Geviş getiren çiftlik hayvanları, diğer hayvanlara kıyasla enterik metan (CH_4) ve nitroz oksit (N_2O) dahil olmak üzere küresel sera gazı emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulduklarından, son yıllarda özellikle süt ürünleri sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmak için uygun beslenme yöntemleri bulmak amacıyla birçok araştırma yapılmaktadır. Yalnızca yemler, besinler ve besleme yönetimi değil, aynı zamanda rumen düzenleyiciler, yani metan oluşumunu doğrudan veya dolaylı olarak engelleyen belirli maddelerle besleme veya metanojenleri azaltmaya yönelik biyolojik kontrolün kullanılması gibi geliştirilmekte olan önemli bir rasyon hafifletme seçeneği çeşitliliği vardır (Knapp ve ark., 2014). CH_4 inhibitörü 3-nitrooksipropanol (3-NOP) gibi bazı yem katkı maddeleri, yalnızca yoğun içerikli süt ineği rasyonlarında değil, aynı zamanda tüm yemlerde çok umut vericidir (Dijkstra ve ark., 2018). Şimdilik bu uygulamalar pratikte mevcut değildir. Bununla birlikte, rasyonun kaba yem ve konsantre bileşenini değiştirmeye dayalı içerik zayıflatma stratejileri kolayca geliştirilebilir ve genellikle mevcut rumen düzenleyicilere göre uygulamaya daha fazla uyarlanabilir ve

uygulanabilir durumdadır. Yemleme ve beslenmenin (örn: iyileştirilmiş yem kalitesi, tahıl ve rasyon lipidleri gibi araçlar dahil) sera gazı emisyonlarını düşürme potansiyelinin genellikle düşük ile orta (%10-30) seviye arasında değiştiği tahmin edilmektedir (Knapp ve ark., 2014).

Hristov ve ark. (2013), yem kalitesini ve diyet besin maddesi kullanımının genel verimliliğini iyileştirmenin, hayvansal ürün birimi başına CH₄ cinsinden CH₄ emisyon yoğunluğunu azaltmanın etkili bir yolu olduğu sonucuna varmışlardır. Sera gazı emisyonlarını azaltmak için beslenme stratejilerinin etkinliği ister yem ister konsantre bazlı stratejiler olsun, büyük ölçüde rumen uçucu yağ asidi fermentasyon modeli üzerindeki etkilerine bağlıdır. Rasyon bileşiminde propiyonat üretimi lehine herhangi bir değişiklik CH₄'ü azaltırken, asetat ve bütirat oluşumu lehine diyetler metanojenez için H₂ üretmekte ve böylece CH₄ üretimini artırmaktadır (Knapp ve ark., 2014). Ayrıca rumen proteininin parçalanması ve mikrobiyal proteine asimilasyon ve rumende gerçekleşen yağ asitlerinin biyohidrojenasyonu gibi diğer fermentasyon süreçleri de H₂ dengesine katkıda bulunmaktadır. Birincisi, net H₂ tüketimi veya net üretimi ile sonuçlanırken, ikincisi net H₂ tüketimi ile sonuçlanmaktadır. Yemler, süt ineklerinin rasyonlarının ana bileşeni olduğundan, yüksek kaliteli yemlerin yerel olarak çiftliklerde üretilmesi, karlı süt üretimini sürdürmek ve sağlamak için süt çiftçileri için son derece önemlidir. Bu nedenle, çiftlik düzeyinde uygun sera gazı azaltıcı beslenme stratejisinin benimsenmesi, büyük ölçüde iklim koşullarını ve silaj yapımı için mevcut yem bitkisi türlerini

büyük ölçüde belirleyen çiftliğin coğrafi konumuna bağlıdır. Örneğin, sıcak bölgelerde silajlık ürünler, ürün verimini ve besin değerini olumsuz etkileyen yüksek sıcaklıklardan etkilenirken, soğuk bölgelerde kısa ve serin bir büyüme mevsimi, soğuğa duyarlı mısır gibi ürünlerin kullanımını sınırlandırmaktadır (Bernardes ve ark., 2018). Bu genellikle, silaj üretiminde mısır kullanımından ziyade buğdaygil yem bitkisi türlerinin baskın olduğu Kuzey Avrupa gibi Kuzey bölgelerinde geçerlidir. Bernardes ve ark. (2018)'na göre iklim koşulları silaj üretiminin tüm aşamalarını etkilemekte ve tüketimi sırasındaki hava sıcaklığı en sınırlayıcı faktör olmaktadır. Silaj üretimi kontrol edilebilir faktörlere bağlıdır; bitki türleri ve olgunluk aşaması, hasat ve silolama yöntemleri ve katkı maddelerinin kullanımı ve kontrol edilemeyen iklimle ilgili faktörler örnek verilebilir. Bu nedenle silaj fermentasyon kalitesi ve besin değerindeki önemli değişiklikler özellikle mevsimsel değişikliklere karşı savunmasızdır, diğer bir ifade ile büyük ölçüde değişebilmektedir.

Yüksek yem içeren süt ineği rasyonlarında olgunluğun geç aşamasına göre erken hasat edilen çavdar otu-çayır kelp kuyruğu İtalyan çimi veya çayır kelp kuyruğu silajının hayvan beslemesinde kullanılması, kuru madde alımını ve süt verimini önemli ölçüde artırmış ve g cinsinden CH₄ emisyon yoğunluğunu azaltmıştır (Warner ve ark., 2016). Buğdaygil yem bitkilerinin çok erken erken hasadı tavsiye edilmemektedir. Bununla birlikte, erken biçimden yapılan buğdaygil yem bitkisi silajlarının kullanılması CH₄ emisyonunu azaltmakta ve

yüksek verimli süt ineklerinin süt üretim seviyesini artırmaktadır (Vanhatalo ve ark., 2020).

Baklagil yem bitkisi silajlarının süt üretiminde CH₄ yoğunluğu üzerindeki etkilerine ilişkin veriler azdır. Süt ineği rasyonlarında çayır kelp kuyruğunun yonca ile değiştirilmesi CH₄ emisyonlarını azaltmada etkili olmamış, ancak kur madde alımının artmasına yol açmıştır (Hassanat ve ark., 2014). Danenler içeren korunganın (*Onobrychis vicifolia*) ot silajı içerisine dahil edilmesi, kuru madde alımını arttırmış, ancak CH₄ emisyon yoğunluğunda yalnızca küçük bir düşüşe yol açmıştır (Huyen ve ark., 2016). Süt ineklerinde 70:30 ot ve kırmızı yonca silajı karışımının 70:30 kırmızı yonca ve ot silajı karışımı ile değiştirilmesi, kuru madde alımını veya CH₄ emisyon yoğunluğunu etkilememiştir (Gidlund ve ark., 2017). Phelan ve ark. (2015) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, baklagil yem bitkileri, buğdaygil yem bitkilerine göre üretilen her bir kg süt veya et için genellikle daha düşük CH₄ emisyonları üretmektedirler. Baklagil ve buğdaygil yem bitkileri silajına dayalı rasyonların genel olarak karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlar, baklagil yem bitkilerinin buğdaygil yem bitkilerine göre daha fazla kuru madde alımı ve süt üretimi sağladığını göstermektedir. Ayrıca, baklagil yem bitkileri, sentetik N gübrelere ve dolayısıyla fosil enerjiye bağımlılığı azaltmak için etkili bir araç olarak biyolojik azot bağlama yeteneklerinden dolayı genellikle buğdaygil yem bitkilerine ve/veya mısır bazlı yemlere göre ekonomik ve karlı bir alternatif olarak kabul edilmektedir (Vanhatalo ve ark., 2020). Düşük sindirilebilirliğe rağmen baklagillerin buğdaygil yem bitkisi silajlarına

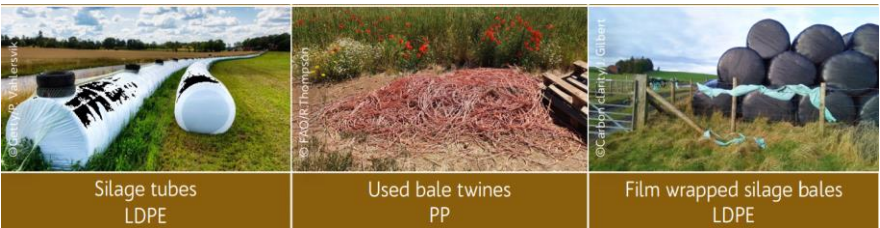
göre daha yüksek alım özellikleri, daha düşük lif içeriğine, daha hızlı fermentasyona ve rumende partikül parçalanmasına ve rumenden daha yüksek geçişe bağlanmıştır (Kuoppala ve ark., 2009). Baklagil yem bitkilerinin CH₄ azaltma potansiyeline ilişkin çelişkili sonuçlar, incelenen silajlarda değişen silaj fermentasyon kalitesi ve baklagil yem bitkisi oranları ile ilgili olabilir (Vanhatalo ve ark., 2020).

Hatew ve ark. (2016), mısırın olgunlaşmasının çok erken dönemden (%20 KM) geç aşamaya (%40 KM) kadar artırılmasının, yüksek yem içerikli rasyonda CH₄ emisyon yoğunluğunu etkili bir şekilde azalttığı, ancak kuru madde alımını etkilemediğini bildirmişlerdir. Bunun nedeni, belirgin şekilde artan nişasta içeriği, nişastanın ruminal fraksiyonel bozunma oranının azalması ve mısır ürününün ilerleyen olgunluğuyla birlikte azalan nötr deterjan lifi (NDF) içeriğidir. Bu sonuçlar, şu anda önerilen uygulama (%30-35 KM) yerine daha yüksek olgunlukta mısır hasadı yapmanın enterik CH₄ emisyonlarını azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Arpa silajının (KM %32) tamamen mısır silajıyla (KM %31) değiştirilmesi kuru madde alımını ve süt verimini önemli ölçüde artırdığı, ancak CH₄ emisyon yoğunluğunu etkilemediği bildirilmiştir (Benchaar ve ark, 2014).

6. SİLAJ PLASTİKLERİ

Tarımda kullanılan plastiklerin büyük bir kısmını, seralarda ve tünellerde toprağı örtmek için malçlama, bank tipi silaj örtüleri ve balya-sarma filmleri olarak kullanılan polietilen filmler oluşturmaktadır

(Borreani ve Tabacco, 2015). 1950'lerin başından beri küçük alanlardaki toprakaltı silolarını yağmur girişinden korumak için plastik filmler kullanılmıştır. 1960'a gelindiğinde silolanan kütlenin anaerobik koşullarına sahip olması için uygun mekanik özellikleri ve düşük maliyetleri nedeniyle örtüler giderek artan bir şekilde polietilenden (PE) yapılmaya başlanmıştır (Wilkinson ve ark., 2003). Mısır silajı, Kuzey Amerika ve Avrupa'nın çeşitli bölgelerinde süt ve besi sığırı rasyonlarında kullanılan temel besi yemdir ve anaerobiyozu sürdürmek için genellikle bank tipi silolarda veya plastikle kaplı yığınlarda muhafaza edilmektedir (Mahanna ve Chase, 2003). Silaj torbaları, balya sargıları ve plastik bank tipi silo kapakları, mandıralarda kullanılan başlıca plastik film ürünleridir. Günümüzde bu filmlerin çoğu düşük yoğunluklu polietilenden ve son zamanlarda poliamidler veya etilen vinil alkolle birlikte sıkıştırılmış düşük yoğunluklu polietilenden yapılmaktadır (Borreani ve Tabacco, 2014). Kuzey İtalya'da yakın zamanda yapılan bir araştırmada, inek başına yılda ortalama 10.3 kg plastik kullanıldığı ve bunun 3.9 kg/inek kadarının sığınak silo silajlarını kaplamak için kullanıldığı tespit edilmiştir (Borreani & Tabacco, 2015).



Şekil 3: Silaj Üretiminde Kullanılan Plastik Ürünler ve Bunların Tipik Polimerleri (LDPE Ve PP) (FAO, 2021)

Silaj filmleri, besi hayvanı çiftçilerinin sağlıklı, uzun ömürlü ve besleyici yemler üretmesine, ahır ve silaj örtüsü ihtiyacını ortadan kaldırmasına yardımcı olmaktadır. Tarımsal plastik endüstrisi, sera, malçlama ve silaj filmlerine yönelik küresel talebin 2018'de 6.1 milyon tondan 2030'da yüzde 50 artarak 9.5 milyon tona çıkacağını tahmin etmektedir. Bunlar genelde, 1) silaj kaplamak için dayanıklı örtüler; 2) dökme ve balyalanmış silaj için tek kullanımlık tüp torbalar; 3) bireysel balyalar için film sargısı şeklinde tüketilmektedir. Plastik filmler, silajın hazırlanması ve saklanması için koşulların sürdürülmesinde etkili ve düşük maliyetli bir araçtır. Tek kullanımlık tüpler, silaj çıkarıldığında atılmalıdır, çünkü silajı hayvanlara taşımak için araçlar kullanıldığında filmler kontamine olabilmektedir. Bu tür kontaminasyonlar arasında toprak, hayvan dışkısı, altlık malzemeleri ve diğer çiftlik atıkları yer almaktadır. Bireysel silaj balyaları genellikle önce bir HDPE file veya üzerine LDPE filmin sarıldığı polipropilen sicim ile sabitlenerek yapılmaktadır. Hayvanlara yem verilmeden önce iki tabakanın çıkarılması gerekmektedir. Balyada kalan film, file veya sicim kalıntıları, bunlarla beslenen hayvanların sağlığına zarar verebilmektedir (FAO, 2021). Farklı polimerlerden yapılan malzemeler ayrı ayrı toplanmadıkça, sürdürülebilir yeniden kullanım seçenekleri son derece sınırlıdır. Silaj tüplerinde olduğu gibi, malzemeler artık silaj, dışkı, toprak ve taşlarla kontamine olursa, "kullanım ömrü sonu" yönetiminin maliyeti artmakta ve geri dönüşüm fırsatı azalmaktadır. 2014 yılında, Kanada'nın Saskatchewan eyaletindeki çiftçilerin %79'u, çiftliklerinde kullanılmış silaj sargısını yaktığı bildirilmiştir (Friesen, 2018).

Polietilen kaplamanın atılması, biyolojik olarak parçalanamadığı, geri dönüştürülmesi zor olduğu ve temel olarak yalnızca bir kez kullanılabileceği için potansiyel bir çevresel endişe kaynağıdır (Kyrikou ve Briassoulis, 2007). Tarımsal plastikler nadiren doğru şekilde bertaraf edilmektedir. Mevcut imha yöntemleri, bir katı atık aktarma istasyonuna boşaltma, tarlalarda bırakma ve toprağa sürme şeklindedir. Ayrıca, dünyadaki bazı çiftçilerin doğrudan çiftliklerde açıkta ateşte plastik filmler yaktıkları bildirilmiştir (Bhatti, 2010). Bu plastikler, düşük sıcaklıklarda kontrolsüz koşullarda yakıldıklarında, toksik uçucu bileşikler açığa çıkararak insan ve çevrenin buna maruz kalmasına neden olmaktadır (Font ve ark., 2004). Ayrıca, bazı tarımsal plastik film materyallerinin geri dönüştürülmesi doğası gereği zor olabilmektedir (Borreani & Tabacco, 2015).

Tarımsal plastik atıkların bertaraf edilmesinin alternatif bir yolu da biyolojik bozunmadır. Çoğu uzman, tamamen biyolojik olarak parçalanabilir bir polimeri, mikroorganizmalar tarafından tamamen karbondioksit, su, mineraller ve mikrobiyal biyokütleyle dönüştürülebilen ve çevreye potansiyel olarak zararlı herhangi bir madde bırakmayan bir polimer olarak tanımlamaktadırlar (Kyrikou ve Briassoulis, 2007). Biyobozunur biyoplastikler, petrol yerine biyolojik kaynaklardan elde edilmekte ve petrol bazlı plastiklere bir alternatif olmaktadır. Biyoplastikler çok çeşitli kaynaklardan elde edilmekte, ancak birçok bitki bazlı biyoplastik, aralarında nişasta (mısır ve patates) ve yağlı bitkiler (kolza tohumu ve ayçiçeği) bulunan gıda ürünlerinden elde edilmektedir. Çok çeşitli biyoplastikler mevcuttur, ancak yalnızca

birkaçı büyük ölçekte ticari üretime girmiştir (Momani, 2009). Saman, elma posası veya gıda endüstrisi atığı gibi organik örtülerle silajı kaplamak gibi alternatifler üzerinde çalışılmış ve polietilen filmin yerini alması önerilmiştir (Savoie ve ark., 2003). Araştırmacılar, kalınlık aralığı 2.5-5.0 mm arasındaki bu organik örtülerin bank tipi silolar için yeterli koruma sağlamadığı sonucuna varmışlardır, çünkü organik kapaklardan hava 42 günde yüzeyin 180 mm altına sızmakta ve önemli ölçüde kuru madde kayıpları üretmekte ve yüksek pH değerleri gözlemlenmektedir.

KAYNAKLAR

- Aiken, T.A., Sha, W., Kwasny, J., Soutsos, M.N. 2017. Resistance of geopolymer and Portland cement based systems to silage effluent attack. *Cement and Concrete Research*, 92: 56-65.
- Benchaar, C., Hassanat, F., Gervais, R., Chouinard, P.Y., Petit, H.V., Massé, D.I. 2014. Methane production, digestion, ruminal fermentation, nitrogen balance, and milk production of cows fed corn silage-or barley silage-based diets. *Journal of Dairy Science*, 97(2): 961-974.
- Bernardes, T.F., Daniel, J.L.P., Adesogan, A.T., McAllister, T.A., Drouin, P., Nussio, L.G., ... & Cai, Y. 2018. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4001-4019.
- Bhatti, J.A. 2010. Current State and Potential for Increasing Plastics Recycling in The US. Wtert, Columbia University.
- Bica, R., Palarea-Albaladejo, J., Lima, J., Uhrin, D., Miller, G.A., Bowen, J.M., ... & Dewhurst, R.J. 2022. Methane emissions and rumen metabolite concentrations in cattle fed two different silages. *Scientific Reports*, 12(1): 5441.
- Bolsen, K.K. 2006. Silage management: common problems and their solution. In *Tri-State Dairy Nutrition Conference*, Wayne, IN, p. 83-93.
- Borreani, G., Tabacco, E. 2014. Improving corn silage quality in the top layer of farm bunker silos through the use of a next-generation barrier film with high impermeability to oxygen. *Journal of Dairy Science*, 97(4): 2415-2426.
- Borreani, G., Tabacco, E. 2015. Bio-based biodegradable film to replace the standard polyethylene cover for silage conservation. *Journal of Dairy Science*, 98(1): 386-394.
- Davis, R. 2021. "Feedlot Design and Construction". "32. Silage storage". *Meat & Livestock Australia*.
- Davison, B., Brunner, A., Ammann, C., Spirig, C., Jocher, M., Nefel, A. 2007. Cut-induced VOC emissions from agricultural grasslands. *Plant Biology*, 9(S 01): e60-e68.

- Dijkstra, J., Bannink, A., France, J., Kebreab, E., Van Gastelen, S. 2018. Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fiber content, and cattle type. *Journal of Dairy Science*, 101(10): 9041-9047.
- FAO, 2021. Assessment of Agricultural Plastics and Their Sustainability-A Call for Action. Rome.
- Font, R., Aracil, I., Fullana, A., Conesa, J.A. 2004. Semivolatile and volatile compounds in combustion of polyethylene. *Chemosphere*, 57(7): 615-627.
- Friesen, B. 2018. Agricultural waste management in Canada, United States, New Zealand and Australia. In XXI International Congress on Plastics in Agriculture: Agriculture, Plastics and Environment 1252 (p. 93-96).
- Gebrehanna, M.M., Gordon, R.J., Madani, A., VanderZaag, A.C., Wood, J.D. 2014. Silage effluent management: A review. *Journal of Environmental Management*, 143: 113-122.
- Gidlund, H., Hetta, M., Huhtanen, P. 2017. Milk production and methane emissions from dairy cows fed a low or high proportion of red clover silage and an incremental level of rapeseed expeller. *Livestock Science*, 197: 73-81.
- Gidlund, H., Hetta, M., Krizsan, S.J., Lemosquet, S., Huhtanen, P. 2015. Effects of soybean meal or canola meal on milk production and methane emissions in lactating dairy cows fed grass silage-based diets. *Journal of Dairy Science*, 98(11): 8093-8106.
- Graus, M., Eller, A.S., Fall, R., Yuan, B., Qian, Y., Westra, P., ... & Warneke, C. 2013. Biosphere-atmosphere exchange of volatile organic compounds over C4 biofuel crops. *Atmospheric Environment*, 66: 161-168.
- Hafner, S.D., Howard, C., Muck, R.E., Franco, R.B., Montes, F., Green, P.G., ... & Rotz, C.A. 2013. Emission of volatile organic compounds from silage: Compounds, sources, and implications. *Atmospheric Environment*, 77: 827-839.
- Hafner, S.D., Montes, F., Rotz, C.A. 2012. A mass transfer model for VOC emission from silage. *Atmospheric Environment*, 54: 134-140.

- Hafner, S.D., Montes, F., Rotz, C.A., Mitloehner, F. 2010. Ethanol emission from loose corn silage and exposed silage particles. *Atmospheric Environment*, 44(34): 4172-4180.
- Haque, M.N. 2018. Dietary manipulation: a sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants. *Journal of Animal Science and Technology*, 60(1): 1-10.
- Hassanat, F., Gervais, R., Massé, D.I., Petit, H.V., Benchaar, C. 2014. Methane production, nutrient digestion, ruminal fermentation, N balance, and milk production of cows fed timothy silage-or alfalfa silage-based diets. *Journal of Dairy Science*, 97(10): 6463-6474.
- Hatew, B., Bannink, A., Van Laar, H., De Jonge, L.H., Dijkstra, J. 2016. Increasing harvest maturity of whole-plant corn silage reduces methane emission of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(1): 354-368.
- Holopainen, J.K. 2004. Multiple functions of inducible plant volatiles. *Trends in Plant Science*, 9(11): 529-533.
- Hristov, A.N., Oh, J., Firkins, J.L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., ... & Tricarico, J.M. 2013. Special topics-Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *Journal of Animal Science*, 91(11): 5045-5069.
- Hu, J., Howard, C.J., Mitloehner, F., Green, P.G., Kleeman, M.J. 2012. Mobile source and livestock feed contributions to regional ozone formation in Central California. *Environmental Science & Technology*, 46(5): 2781-2789.
- Hui, Y.H., Nip, W.K., Nollet, L.M., Paliyath, G., Simpson, B.K. (Eds.). (2008). *Food Biochemistry and Food Processing*. John Wiley & Sons.
- Huyen, N.T., Desrues, O., Alferink, S.J.J., Zandstra, T., Verstegen, M.W.A., Hendriks, W.H., Pellikaan, W.F. 2016. Inclusion of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) silage in dairy cow rations affects nutrient digestibility, nitrogen utilization, energy balance, and methane emissions. *Journal of Dairy Science*, 99(5): 3566-3577.

- Knapp, J.R., Laur, G.L., Vadas, P.A., Weiss, W.P., Tricarico, J.M. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6): 3231-3261.
- Kuoppala, K., Ahvenjärvi, S., Rinne, M., Vanhatalo, A. 2009. Effects of feeding grass or red clover silage cut at two maturity stages in dairy cows. 2. Dry matter intake and cell wall digestion kinetics. *Journal of Dairy Science*, 92(11): 5634-5644.
- Kyrikou, I., Briassoulis, D. 2007. Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15: 125-150.
- Mahanna, B., Chase, L.E. 2003. Practical applications and solutions to silage problems. *Silage Science and Technology*, 42: 855-895.
- Misselbrook, T.H., Del Prado, A., Chadwick, D R. 2013. Opportunities for reducing environmental emissions from forage-based dairy farms. *Agricultural and Food Science*, 22(1): 93-107.
- Momani, B. 2009. Assessment of the Impacts of Bioplastics: Energy Usage, Fossil Fuel Usage, Pollution, Health Effects, Effects on The Food Supply, and Economic Effects Compared to Petroleum Based Plastics. An Interactive Qualifying Project Report. Worcester Polytechnic Institute.
- Morgavi, D.P., Forano, E., Martin, C., Newbold, C.J. 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal*, 4(7): 1024-1036.
- Nennich, T. 2014. Silage Leachate. Purdue University Cooperative Extension Service. AS-625-W.
- Phelan, P., Moloney, A.P., McGeough, E.J., Humphreys, J., Bertilsson, J., O’Riordan, E.G., O’Kiely, P. 2015. Forage legumes for grazing and conserving in ruminant production systems. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34(1-3): 281-326.
- Razak, O.A., Masaaki, H., Yimamu, A., Meiji, O. 2012. Potential water retention capacity as a factor in silage effluent control: Experiments with high moisture by-product feedstuffs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(4): 471.

- Rector, N., Stroud, D.W., Bolinger, D., Mitchell, R.L. 2010. Environmental Stewardship: Controlling Silage Leachate. Michigan State University Extension.
- Savoie, P., Bernier-Roy, M., Pedneault, M.L., Amyot, A. 2003. Evaluation of apple pulp and peanut butter as alternative bunker silo covers. *Canadian Biosystems Engineering*, 45: 2-17.
- Vanhatalo, A., Halmemies-Beauchet-Filleau, A. 2020. Optimising ruminal function: the role of silage and concentrate in dairy cow nutrition to improve feed efficiency and reduce methane and nitrogen emissions. In: *Improving Rumen Function*. Burleigh Dodds Science Publishing, p. 42.
- Warner, D., Hatew, B., Podesta, S.C., Klop, G., Van Gastelen, S., Van Laar, H., ... & Bannink, A. 2016. Effects of nitrogen fertilisation rate and maturity of grass silage on methane emission by lactating dairy cows. *Animal*, 10(1): 34-43.
- Wilkinson, J.M., Bolsen, K.K., Lin, C.J. 2003. History of silage. *Silage Science and Technology*, 42: 1-30.
- Wright, P., Inglis, S., Geohring, L. 2004. Effectiveness of silage leachate treatment with vegetative filter areas. In 2004 ASAE Annual Meeting, p. 1. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Yan, T., Agnew, R.E., Gordon, F.J., Porter, M.G. 2000. Prediction of methane energy output in dairy and beef cattle offered grass silage-based diets. *Livestock Production Science*, 64(2-3): 253-263.

BÖLÜM 15

SİLAJ ÜRETİMİNDE KAYIPLAR, AVANTAJLAR VE DEZAVANTAJLAR

Öğr. Gör. Dr. Selim ÖZDEMİR¹

Doç. Dr. Erdal ÇAÇAN²

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449289>

¹Bingöl Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bingöl. E-mail: ozdemir2312@gmail.com, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-1840-9907>

² Bingöl Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bingöl. E-mail: ecacan@bingol.edu.tr, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-9469-2495>

1. GİRİŞ

Hayvanların kışlık kaba yem ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yem bitkilerinin orijinal besin değerini korumak, silaj yapmanın temel amacıdır. İstenmeyen silaj fermentasyonları ve yetersiz aerobik stabilite durumları, enerji, kuru madde ve toplam besin değeri kaybına neden olmakta ve bu da sonuç olarak hayvan performansını ve net çiftlik kazancını tehlikeye atmaktadır (Chavan ve ark., 2022). Silaj, tarlada yetişen yem birkisini korumanın ve hayvanları tüm yıl boyunca beslemenin en verimli ve uygun maliyetli yoludur. Bu tip bir yem uygun maliyetlidir, istikrarlıdır; yıl boyunca besleme sağlar, izlenebilirdir ve yemin kalitesi bilinmektedir (Marley, 2015).

2. SİLAJI DOĞRU ÜRETMENİN ÖNEMİ VE ZORLUKLARI

Silaj yapma işlemi yem bitkisi seçimi ve tarla hazırlığı ile başlar. Düşük kaliteli meralardan elde edilen yem bitkilerinden yüksek kalitede silaj yapılamaz ve mera otlakları ne kadar eskiyse, başlangıçtaki sindirilebilirlik o kadar düşük ve otlak içindeki “gerçek yem bitkisi” oranı o kadar düşük olmaktadır. Hurley Çayır Araştırma Enstitüsü tarafından yapılan araştırmaya göre, tohum ekimi yapılan bir meranın dört yıl içinde %38'inin yabancı ot olacağı tespit edilmiştir. Ancak bakteriyel aşılıyıcılarla enzimlerin kombinasyonu yoluyla, enzimler tarafından şekerin salınması ve doğal olarak oluşan daha yüksek seviyedeki organizmalar yoluyla silolanması zor olan eski meralardaki yem bitkilerinin fermentasyonu verimli bir şekilde yapılabilmektedir. Yem bitkilerini silolarken karşılaşılan en önemli zorluk, bitkideki gübre

kaynaklı fazla miktardaki azottur. Kalıntı azot, fermentasyonun etkisini “tamponlar”, yani aynı silaj pH'ını elde etmek için fermentasyon sırasında daha yüksek seviyelerde laktik asit üretilmesi gerekmektedir. Bu da silolanmış yemde bozulmaya yol açan organizmaların daha uzun süre hayatta kalması, daha yüksek sayılara çıkması ve kuru madde kayıplarının artması anlamına gelmektedir. Fermentasyon bakterileri tarafından bitki suda çözünen karbonhidratların laktik aside dönüşümün hızı, kuru madde ve yem kayıplarını büyük ölçüde etkilemektedir. Hasat edildiğinde yem bitkisinde sınırlı miktarda suda çözünebilir karbonhidrat bulunmaktadır ve yem bitkisi solduğunda şeker bitki bünyesinde yoğunlaşmakta, ancak toplam miktarı da azalmaktadır. Normal silajlama koşulları altında bu ekstra şeker daha sonra rumen mikrobiyal protein üretiminin uyarılması için kullanılmaktadır (Marley, 2015).

Her ne kadar toprak silaj içerisinde istenmese de genellikle taze biçilmiş yeşil otlarla birlikte silolanabilmektedir (Silaj numunelerinde %10'u aşan bir kül içeriği toprak karışığının göstergesidir). Diğer taraftan, silaj içerisinde her zaman bozulmaya neden olan bakteri, maya ve küf olabilmektedir. Silolama nedeniyle meydana gelen kuru madde ve besin kayıpları, bu bozucu organizmalardan kaynaklanmakta ve silajlık materyale çok fazla toprak karışığında silolamada bozulmaya neden olan organizmaların seviyesini önemli ölçüde arttırmaktadır ve fermentasyon bakterileriyle yoğun rekabet eden olumsuz bir ortam oluşmaktadır (Marley, 2015).

Hava durumu her zaman şaşırtıcı olabilmektedir. Hava durumu sorunları genel olarak “yağmur gecikmeleri” olarak düşünmektedir; bu durum, bozulmaya neden olan organizmaların artmasına, şeker içeriğinin azalmasına ve fermentasyonun zor olmasına yol açan bir sorundur, ancak bazen hava neredeyse "çok iyi" olabilmekte ve bu da çok hızlı soldurmaya yol açarak beklenen veya istenen kuru maddeden daha yüksek seviyeler oluşabilmektedir. Bu bir sorundur, çünkü birçok silaj inokulantı yalnızca tek bir fermentasyon bakterisi suşu içermekte ve birçoğu %40'ın üzerindeki kuru maddelerde düşük ya da sıfır etkili olmaktadır. Yeşil otları hızlı bir şekilde hasat etmek ve hızlı bir şekilde silolamak tarla kayıplarını en aza indirmekte, ancak hasat hızına da dikkat etmek gerekmektedir. Büyük silaj makineleri 300 devir/saat'e kadar çalışma kapasitesine sahiptirler. Yeşil bitkilerin silolanma hızı, çiftliğin yemi ince tabakalar halinde yayma ve yeterince kompakt hale getirme yeteneği ile senkronize edilmelidir. Paketleme yoğunluğu doğrudan kuru madde kaybı ile ilgilidir, ancak aynı zamanda fermentasyon hızı, bozulmaya neden olan organizmaların büyümesi ve silajın besleme sırasındaki stabilitesi ile de ilişkilidir (Marley, 2015).

Kuru ot yapımında en büyük kayıplar hasat sırasında meydana gelmekte, ürün yeterince kuruyorsa depolama sırasında çok az kayıp olmaktadır. Silolamada ise hasat kayıpları az olmakta, ancak depolama kayıpları artmaktadır. Silajı etkileyen ürün faktörleri; yapısal olmayan karbonhidratların bileşimi, tamponlama kapasitesi ve nem konsantrasyonudur. Silodaki sıkıştırma, yüksek düzeyde çözünür besin

içeren sızıntı (atık su) kayıplarına neden olabileceğinden, yüksek nem konsantrasyonları istenmemektedir (Muck ve ark., 2020).

Hatalardan kaçınmak için silolama işleminin her aşamasını kontrol etmek ve optimize etmek önemlidir. Birinci aşamada (aerobik aşama), iyi silo doldurma teknikleri, silodaki bitki parçacıkları arasında bulunan oksijen miktarını en aza indirmeye yardımcı olmaktadır. İyi hasat teknikleri, iyi silo doldurma teknikleriyle birleştiğinde, tarlada ve siloda aerobik solunum yoluyla suda çözünür karbonhidratların kayıplarını en aza indirmekte ve karşılığında ikinci aşamada (fermentasyon aşaması) laktik asit fermentasyonu için daha fazla suda çözünür karbonhidratlar bulunmaktadır. İkinci (fermentasyon aşaması) ve üçüncü aşamada (stabil aşama), çiftçi silolama sürecini aktif olarak kontrol edememektedir. Bu nedenle, 2. ve 3. aşamaları optimize etme yöntemleri, silajlama sırasında uygulanan silaj katkı maddelerinin kullanımına dayanmaktadır. Dördüncü aşama (hayvan besleme aşaması veya aerobik bozulma aşaması), oksijen mevcut olur olmaz başlamaktadır. Depolama sırasındaki bozulma kayıplarını en aza indirmek için hava geçirmez bir silo gereklidir ve silo kaplamasındaki herhangi bir hasar mümkün olan en kısa sürede onarılmalıdır. Besleme sırasında, hava girişi nedeniyle bozulma, yeterince yüksek bir besleme oranı ile en aza indirilebilmektedir. Ayrıca silolama sırasında bozulma kayıplarını azaltabilecek silaj katkı maddeleri de uygulanabilmektedir (Elferink ve ark., 2000).

3. SİLAJ YAPMANIN AVANTAJLARI

Silaj kullanmanın avantajları genel olarak şu başlıklar altında toplanmıştır:

- 1) Silaj, stratejik olarak sezon dışında hayvan besleme için verimli bir şekilde kullanılabilir; 2) Özellikle buzağılayan süt inekleri için yem kaynaklarını artırmanın bir yolu ve bir tür sigortası konumundadır; 3) Gerektiğinde mera üzerindeki baskıyı azaltmak amacıyla hayvan beslemede kullanılabilir; 4) Kurak mevsimde otlayan sığırlara etkili bir takviye olabilir; 5) Daha düşük maliyetle süt ve sığır eti üretimine katkı sağlayan ucuz bir yemdir; 6) Bitkilerin lezzetliliğini arttırmakta, bazı taze bitkilerde bulunan toksik maddeleri önemli ölçüde güvenli seviye konsantrasyonlarına indirmekte ve bulunması muhtemel zararlı mikroorganizmaları yok etmektedir; 7) Otlayan hayvanlara temel bir rasyon kaynağı olabilir (Chedly & Lee, 2000); 8) Kuraklık rezervi olarak, yemin bol olduğu zamanlarda mera bitkilerinden veya bazı yem bitkilerinden silaj yapılabilir ve 1 ila 20 yıl süresinde depolanabilir. Silaj hayvanlara sadece aşırı yem eksikliğinin olduğu zamanlarda verilmektedir; 9) Hayvancılık için ihtiyaç duyulan yem miktarını artırmak amacıyla rutin olarak yapıldığı durumlarda verimliliği artırır ki bu durumda depolama süresi genelde bir yıldan azdır ve genellikle bir arazi kullanım şekli olarak meralardan ekinlere geçişle ilişkilendirilir; 10) Meralardan veya tarladan yem üretimine yardımcı olmaktadır. Örneğin, yetiştirme mevsiminin başlarında aşırı gelişen ılıman meraların üretimini ve artan kardeş sayısı yoğunluğunu azaltmak veya bir sonraki ürünün daha erken ekilmesini

sağlamak için bir ürünün kaldırılması sürecinde ortaya çıkan fazla yem stoklanmaktadır; 11) Yem rasyonunun besin içeriğini dengelemek (lif içeriğini, baklagil ve mısır içeriğini değiştirmek için) amacıyla silolamadan yararlanılabilmektedir; 12) Silolama işlemi, potansiyel olarak istikrarsız bir ürünün depolanabilmesini ve yem olarak uzun bir süre boyunca kullanılabilmesini sağlamaktadır. Çok nemli yan ürünlerin silolanması buna örnektir. Bu kullanım, kimyasalların eklenmesi veya yüksek nemli tahıllar gibi yemlerden havanın çıkarılması yoluyla yemlerin korunmasına benzemektedir (Cowan, 2000); 13) Kuru ota kıyasla daha düşük düzeyde hava koşullarına bağlı zarar veya hasat sırasında gecikme olasılığı vardır; 14) Kuru ota göre daha düşük tarla, hasat ve depolama kayıpları mevcuttur; 15) Kuru ota göre birçok hayvan besleme programı için daha fazla esneklik ve uygunluğa sahiptir (Adesogan & Newman, 2010).



Şekil 1: Yüksek Kalitede Bir Silaj Plastik Kaplama Örtüsü (Bolsen, 2014)

4. SİLAJ YAPMANIN DEZAVANTAJLARI

Silaj yapmanın aşağıdakiler gibi bazı dezavantajları vardır: 1) Silajın diğer birçok yemden daha yüksek nem içeriği ve daha düşük besin yoğunluğu vardır; 2) Anaerobik depolama, gelişmiş depolama sistemleri gerektirmektedir; 3) Nem içeriği ve besin yoğunluğu, taşımının fizibilitesini sınırlamaktadır (çiftliğe yakın yerlerde üretilmeli ve depolanmalıdır); 4) Tesis ve ekipman başlangıç yatırımı oldukça yüksektir (Chavan ve ark., 2022); 5) Kuru ota göre daha yüksek nem içeriğine sahiptir ve taşınması daha az ekonomik olan daha ağır bir yemdir; 6) Kuru ota göre hasat, depolama ve besleme işlemleri için özel ekipman gerektirmektedir; 7) Silaj iyi yapılmazsa yüksek kayıp potansiyeli vardır; 8) Silo açıldıktan sonra kuru ota kıyasla daha kısa raf ömrü vardır (Adesogan & Newman, 2010).



Şekil 2:Hava Geçirmez, Plastik Sarılı, Tüp Şeklinde Yem Balyalama (Anderson Group, 2021)

5. SİLAJ YAPIMININ YAYGINLAŞMADIĞI BÖLGELERDE TEMEL SORUNLAR

Hindistan'da, silaj yapımı üzerine çok sayıda araştırma ve geliştirme faaliyeti yapılmasına rağmen, benimsenme oranı çok zayıf olmuştur. Bu ülkede batıdaki deneyimlere dayanarak, yem bitkilerini silolama teknolojisi, yeşil yem bulunmadığı kurak mevsimde çiftlik hayvanlarının beslenmesini sağlamanın bir yolu olarak güçlü bir şekilde desteklenmiştir. Öneriler, fazla yeşil yemin yağmur mevsiminde mevcut olacağı ve rahatlıkla silolanabileceği ve kuru mevsimde azalan yem miktarını desteklemek için kullanılabilmesi ve silolanmış yemle beslemenin konsantrelerle takviyeden daha ekonomik olacağı hipotezine dayanmaktadır. Fakat kurumsal çiftlikler dışında, silolama teknolojisinin küçük çiftçiler tarafından benimsenmesi çok düşük olmuştur (neredeyse sıfır). Küçük ölçekli çiftçileri silo kuleleri, çukurlar veya hendekler inşa etmeye ve ürünü parçalamak için bir biçim makinası satın almaya teşvik etmek için sübvansiyonlu özel programlar uygulanmıştır. En azından yağmurlu mevsimlerde, silolama için bir miktar fazla yem veya doğal olarak yetişen otların mevcut olacağı varsayılmaktadır. Bazı kurumsal çiftlikler (araştırma enstitüleri, üniversite ve devlet çiftlikleri, vb) silolamayı ve kurak dönemlerde besleme için silaj kullanımını benimsemiştir, ancak bu çiftliklerde bile silolanmış yem kullanımı oldukça sınırlıdır. Hindistan'da silaj yapmadaki başarısızlığın nedenleri şunlar olarak tespit edilmiştir: 1) Tarımsal yayım görevlilerinin çoğunun silaj yapım süreçleri hakkında temel bilgi sahibi olmalarına rağmen daha ayrıntılı bilgi ve pratik

uygulamaları bilmemeleri. Sadece %15'i silaj yapma konusunda pratik deneyimlere sahiptiler. 2) Çoğu tarımsal yayım görevlisinin kule veya kuyu tipi siloların çok maliyetli olduğu için uygun olmadığını düşünmeleri. 3) Plastik malzemelerin kullanıldığı sığ çukurlar veya kuyuların denemeye değer bulunması, ancak iş yoğunluğunun fazla olması. 4) Yem parçalama işlemlerinin pahalı ve iş yoğunluğunun fazla olması, ayrıca yaygın olarak uygulanmayan bir iş olması. 5) Kadınların çoğunun yapılan teorik ve pratik eğitimlere katılmamaları nedeniyle silolama hakkında bilgi sahibi olmamaları. Bazı kadınlar eğitim programları ve ek toplantılar yoluyla bilgi almışlardır. Kadınların neredeyse tamamının, yem doğrama ve doldurma işlemleri göz önüne alındığında, teknolojinin hantal ve maliyetli olduğunu düşünmeleri, emek ve maliyet dikkate alındığında faydaları konusunda ikna olmamaları. 6) Tarımsal yayım görevlilerinin, yem silolamanın alternatif yollarını denememeleri. 7) Çiftçilerin yaklaşık %90'ının tavsiye edilen silaj yapma sürecini maliyetli ve yoğun iş gücü olarak değerlendirmeleri. 8) Çiftçilerin çoğunun, faydaların çaba ve zamanla orantılı olmadığı hissine kapılmaları. 9) Birçok çiftçinin, hayvanlarının süt veriminin düşük olduğunu ve silaj yapmanın maliyetinin ve zahmetinin yeterli getiri sağlamadığını dile getirmeleri. 10) Yağmura dayalı alanlarda silolama için fazladan yemin olmaması. Yem üretimi ağırlıklı olarak kış aylarında yapılmakta (baklagiller küçük parsellerde yetiştirilmekte ve bunlardan iyi silaj olmamakta). 11) Sulama imkânı olan çiftçilerin 2-3 farklı yem bitkisi yetiştirmeleri ve hayvanlarını bu taze yemlerle beslemeyi tercih etmeleri. 12) Yağmura dayalı bazı alanlarda fazla yeşil ot olması, ancak silolama işleminde gücünü çok

fazla bulmaları. 13) Kaliteli yemi kurutmayı ve depolamayı daha uygun bulmaları (bunun geleneksel bir uygulama olması ve çoğu çiftçi, özellikle de kadınlar tarafından tercih edilmesi). 14) Kadınların büyük çoğunluğunun silajın kokusundan hoşlanmamaları ve bazı hayvanların uyum sağlamalarının zaman alması, bazılarının ise silaj malzemesini yemeyi reddetmesi. 15) Araştırmacıların silolama ve benzeri teknolojiler hakkında konuşurken ortak tavırlarının “Biz üzerimize düşeni yaptık, alıp almamak tarımsal yayım görevlilerine ve çiftçilere kalmış” şeklinde olması. Bu tutumun, geliştirme faaliyetlerini zayıflatan bir durum olması. 16) Sıradan bir çiftçinin silaj yapımı zahmetini ve maliyetini karşılayacak kadar hayvan sahibi olmadığı durumlarda sistemin benimsenmesinin zayıf olacağı ve sübvansiyonların çok az yardımcı olacağının düşünülmesi, 17) Yaz aylarında daha düşük kalitede de olsa kuru ot veya saman ile konsantre takviye yapmanın çok daha uygun bulunması (Rangnekar, 2000).

Pakistan'da, hayvancılık endüstrisi her yıl hayvansal üretim üzerinde büyük etkisi olan iki şiddetli yem kıtlığı dönemiyle (Mayıs-Haziran ve Ekim-Kasım) karşı karşıya kalmaktadır. Fazla yemleri silaj şeklinde muhafaza etmek ve kıtlık dönemlerinde kullanmak bu sorunları önleyebilir durumdadır. Silaj teknolojisi, yaklaşık yirmi yıl önce çeşitli hükümet ve uluslararası kuruluşlar tarafından Pakistan'a tanıtılmıştır. Silaj üretimini teşvik için yoğun zaman ve para harcanmasına rağmen geleneksel besicilik ve üretim sistemlerinde yer bulamamıştır. Pakistan'da silaj yapma ve beslemedeki başarısızlığın ve çiftçilerin silaj üretimini seçmesine engel olan başlıca kısıtlamalar ve nedenler şunlar

olmuştur: 1) Silaj üretim maliyetinin yüksek olması. 2) Çiftçilerin sahip oldukları arazilerin sınırlı olması. 3) Küçük hayvancılık birimlerinin yaygın olması. 4) Hayvancılık birimlerinin küçük olması nedeniyle maliyet:fayda oranının etkileyici olmaması. 5) Etkili yayım çalışmalarının ve geri bildirimlerin gerekliliği (Raza, 2000).

Tayland'da, süt sığırcılığındaki en önemli zorluk, özellikle kurak mevsimde yetersiz yemdir. Çiftçiler, bitkilerin yan ürünlerinin hayvan yemi olarak kullanılmalarına rağmen, kaba yemlerin korunması ile ilgili çok fazla bilgi sahibi değildirler. Tayland'daki araştırma merkezlerinde ve üniversitelerde silaj üretimi üzerine yapılan çok sayıda araştırma yapılmasına rağmen, silajın benimsemesi genellikle düşük olmuştur. Bunun birçok nedeni vardır: 1) Yeşil yemin yetersiz olması. 2) Silaj yapımının karmaşık görülmesi. 3) Yeni tip makineler için yatırım sermayesi eksikliği. En büyük sorun, kurak mevsimde kaliteli kaba yem eksikliğidir. Çiftçilerin bu sorunu azaltmak için yaygın olarak kullandıkları diğer iki yem kaynağı, ürün artıkları (özellikle pirinç samanı) ve şeker kamışlarının tepe kısımlarıdır. Daha önce, ürün artıkları ücretsiz olarak bulunmasına rağmen, artan talep nedeniyle ürün artıklarının giderek daha az bulunmasıyla birlikte fiyat oluşmuş ve yükselmeye başlamıştır. Ayrıca, bu kalıntıların düşük protein içeriği kurak mevsimde verimli sığırlar için yeterli değildir. Sonuçta, çiftçiler silaj yapımı da dahil olmak üzere yem koruma yöntemlerini test etmeye ilgi duymaya başlamışlardır. Pakchong'daki Hayvan Besleme Araştırma Merkezi, 53 mandıra çiftçisinin katıldığı, bir köyde bir silaj yapma uygulaması yapmıştır. Gösterilen üç farklı

silaj yapma tekniği şunlar olmuştur: 1) Bank tipi siloları; 2) 40 kg kapasiteli siyah polietilen torbalar; 3) yaklaşık 800 kg kapasiteli plastik torbalar. Mısır ekim alanında bulunulduğundan silaj uygulamasında mısır silajı yapılmıştır. Sorunları kontrol etmek ve çiftçilerle silaj yapımı hakkında ilgili deneyimlerini tartışmak için takip ziyaretleri yapılmıştır. 53 çiftçinin tamamı, çiftliklerinde silaj yapma ile ilgilenmişlerdir. Bir çiftçi, plastik kovalarda ve satış için yer altı çukur silolarında silaj yapmak tekniğini modifiye etmiştir. Üç tip silo arasında tercih sıralaması yapıldığında çiftçilerin %38'i bank tipi siloları; %31'i plastik kova tekniğini; %23'ü siyah polietilen torbaları; %8'i ise 800 kg'lık poşeti seçmiştir. Çiftçilerin yorumları şöyle olmuştur: 1) Siyah polietilen torba ürünü hayvanlara yedirmek açısından kolay ve ucuzdur. 2) Plastik torba (800 kg) tek seferde büyük miktarda üretime uygundur. 3) Plastik kova başlangıçta plastik poşetlere göre daha pahalı olsa da defalarca tekrar kullanılabilmekte ve ayrıca silajı böceklerden ve kemirgenlerden korumak mümkün olmaktadır. 4) Bank tipi silonun inşaat için büyük başlangıç sermayesi yatırımı gerektirmekte, ancak uzun süre dayanmaktadır. Çiftliklerde silaj yapımının benimsenme potansiyelini etkileyen faktörler şunlar olmuştur: 1) Çiftçilerin kurak mevsimde kaliteli kaba yem eksikliğini hissetmeleri. 2) Yaparak öğrenme sayesinde çiftçilerin aslında silaj yapmanın duydukları ve okudukları kadar zor veya karmaşık olmadığını görmeleri. 3)Eğiticiler, mümkün olan en iyi çözümleri seçmeden önce, çiftçilerin ihtiyaçlarını bilmeli ve onlara gözlemlenmeleri, karşılaştırmaları ve değerlendirmeleri için çeşitli alternatifler sunabilmelidir. 4) Çiftçilerin silolamak için yerel olarak yeterli malzemeye sahip olmaları. 5) Küçük

toprak sahibi çiftçilere tüm silolama teknolojileri uygun değildir. Silolama teknolojisinin maliyetinin, çiftlikteki sermayenin mevcudiyeti ile dengelenmesi gerekmektedir. Küçük mandıra çiftliklerinde silaj yapımının daha geniş bir uygulama potansiyeli vardır. Ancak, silaj yapımında kullanılan özel yöntemlerin çiftçiler tarafından kendi durumlarına uyacak şekilde uyarlanmasının gerektiği görülmüştür. Yerel koşullar altında hangi silaj teknolojilerinin en iyi potansiyele sahip olduğunu daha iyi anlamak için benimseme düzeyini izlemek ve ihtiyaçları tartışmak için aynı çiftçilerle çalışmalar devam ettirilmelidir (Nakamane, 2000).

6. BANK TİPİ SİLOLARDA VE YIĞINLARDA YÜZEYİ AŞIRI BOZULMUŞ SİLAJIN ÇÖZÜMÜ

Bank tipi silolarda ve yığınlarda yüzeyi aşırı bozulmuş silaj oluşması durumunda uygulanacak çözümler şunlardır: 1) Silaj yüzeyinin üst 1 metrelik kısmında optimum bir sıkıştırma yoğunluğu ($240 \text{ kg/m}^3 \text{ KM}$) elde edilmelidir, 2) Tüm yüzeyler, bank tipi silo veya yığından ve arka, ön ve yan eğimlerden su akacak şekilde şekillendirilmelidir (3'e 1 eğimi aşılmamalıdır), 3) Doldurma bittikten hemen sonra yemin yüzeyi kapatılmalıdır, 4) Tek bir plastik tabaka yerine iki tabaka polietilen veya tek tabaka oksijen bariyeri (OB) filmi tercih edilmelidir, 5) Üst üste binen, yem yüzeyini iyi kaplayan örtüler kullanılmalıdır, 6) Plastik örtüler, akan suyu silajla temas ettirmeyecek şekilde düzenlenmelidir, 7) Bir bank tipi silo veya yığının tüm yüzeyi boyunca örtüye eşit ağırlık konmalı ve üst üste binen örtüye uygulanan ağırlık iki katına

çıkartılmalıdır (çakıl ile doldurulmuş kum torbaları, üst üste binen levhaları sabitlemenin etkili bir yoludur), 8) Tüm depolama süresi boyunca örtünün hasar görmesi önlenmelidir (Bolsen, 2006). Bununla birlikte, tam gövdeli atık lastikler, polietilen levhaları bank tipi silolara sabitlemek için yıllardır standart olarak kullanılsa da, bu atık lastiklerin taşınması zahmetlidir ve tam kaplamalı lastiklerdeki durgun su, Batı Nil virüsünün yayılmasına neden olabilmektedir. Bu da sığır eti ve süt ürünleri çiftliklerinde tam kaplamalı lastik kullanımının ürettiği bir sorundur. Tam lastik yerine kesilmiş lastik kullanımının sebebinin de bu olduğu bildirilmektedir (Jones ve ark., 2004).

KAYNAKLAR

- Adesogan, A.T., Newman, Y.C. 2010. Silage Harvesting, Storing, And Feeding. University Of Florida IFAS Extension SSAGR-177.
- Anderson Group 2021. Baleage: How and Why. Baleage 101. <https://cpb-us-e1.wpmucdn.com/blogs.cornell.edu/dist/e/1628/files/2016/03/BALEAGE101-THEHOWANDWHY-2k7tn1u.pdf>
- Bolsen, K. 2014. Silage Plastic Contributing to Silage Loses. Conversations by Keith Bolsen. Dairy Business East.
- Bolsen, K.K. 2006. Silage Management: Common Problems and Their Solution. In Tri-State Dairy Nutrition Conference, Wayne, IN, p. 83-93.
- Chavan, M.M., Jain, S.K., Pawar, A.B., Gurav, A.A., Mhade, R.R. 2022. A review: Silage preparation and silo management techniques. The Pharma Innovation Journal, SP-11(12): 06-11.
- Chedly, K., Lee, S. 2000. Silage from by-products for smallholders. FAO Plant Production And Protection Papers, 85-96.
- Cowan, T. 2000. Use of ensiled forages in large-scale animal production systems. FAO Plant Production and Protection Papers, 31-40.
- Elferink, S.J.W.HO., Driehuis, F., Gottschal, J.C., & Spoelstra, S.F. 2000. Silage fermentation processes and their manipulation. FAO Plant Production and Protection Papers, 17-30.
- Jones, C.M., Heinrichs, A.J., Roth, G.W., Ishler, V.A. 2004. From Harvest to Feed: Understanding Silage Management. Pennsylvania State University. College Of Agricultural Sciences, 2-11.
- Marley, G. 2015. The benefits and challenges of successful silage production. International Dairy Topics, 14(3): 27-29.
- Muck, R.E., Kung Jr, L., Collins, M. 2020. Silage production. Forages: The Science of Grassland Agriculture, 2: 767-787.
- Nakamane, G. 2000. Successful smallholder silage production: a case study from northeast Thailand. FAO Plant Production and Protection Papers, 15-16.

- Rangnekar, D.V. 2000. Some observations on non-adoption of silage making in central and western India. FAO Plant Production and Protection Papers, 11-14.
- Raza, S.H. 2000. Basic reasons for failure of silage production in Pakistan. FAO Plant Production and Protection Papers, 9-10.

BÖLÜM 16

SİLAJ OPERASYONLARININ YÖNETİMİ

Öğr. Gör. Dr. Selim ÖZDEMİR¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449291>

¹ Bingöl Üniversitesi, Gıda, Tarım ve Hayvancılık Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bingöl. E-mail: ozdemir2312@gmail.com, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0003-1840-9907>

1. GİRİŞ

Silaj geviş getiren hayvanlar için mükemmel bir yemdir. Ancak hayvanları silajla beslemek kuru otlarla beslemekten çok farklıdır. Silaj, kuru otlardan çok daha ıslak olduğu için bozulmaya karşı çok daha hassastır. Depolama sırasında oksijenden izole edilen yem, fermentasyona uğramaktadır. Ancak hayvanlara verilme esnasında tekrar havaya maruz kaldığı için yine de hızla bozulabilmektedir. Bu nedenle, balyalanmış silaj kuru otlardan biraz farklı yönetilmelidir (Cothren & Lusk, 2018).

İster kule, bank tipi, çukur veya torbalı siloda, isterse sarılı balyada olsun, fermentasyon süreci birbirine çok benzemektedir. Esasen, ölmekte olan bitki yapraklarının yüzeyinde doğal olarak oluşan bakteriler, ortamlarından oksijen tüketildikten sonra büyük bir sayısal artışa maruz kalmaktadırlar. Bitki hücre özünde ve dokusunda bulunan şekerlerden fermentatif bir süreçle enerji elde etmektedirler. Silaj kokusu fermentasyon sürecinin yan ürünüdür. Bu fermentasyon esas olarak inek, koyun veya keçi gibi geviş getiren bir hayvanın yemi yediğinde daha küçük ölçekte meydana gelen sürecin aynısıdır. Bu yemin sığır, koyun ve keçi üretimi için bu kadar doğal olmasının nedeni de budur. Esasen silaj “önceden geviş getirilmiş” bir yemdir. Ancak silaj beslemeyle ilgili en büyük sorun da burada yatmaktadır: istikrarsızlık (Cothren & Lusk, 2018).

Bazı üreticiler rutin olarak silaj üretirken, diğerleri sadece tarlada kurutmanın zor veya imkânsız olduğu durumlarda silaj üretmektedirler. Büyük ölçekli çiftçilikte silaj kullanımını bir iş girdisidir. Herhangi bir iş girdisinde olduğu gibi, bu girdinin amacını ve kullanımının olası sonuçlarını açıkça anlamak önemlidir. Silajla ilgili durum, genellikle ek bir girdi olmasından ziyade, yemleme sisteminde zaten bulunan girdilerin yeniden düzenlenmesini gerektiren karmaşıklıkta olmasıdır. Ek bir girdiye kıyasla girdilerin yeniden düzenlenmesinden karlı bir sonuç ortaya koymak her zaman daha zordur. Silajla yemlemenin mevcut hayvancılık sistemine uygun olduğu düşünüldüğünde, faaliyetler ürünlerin kullanımına, büyük miktarlarda üretimine, besin kullanımının etkinliğini artırmak için yem kaynaklarının kombine edilmesine, yem planlamasına, kalite derecelendirme ve sürdürülebilirlik gibi modern üretim sistemlerinin diğer talepleriyle bütünleştirilmesine odaklanmalıdır (Cowan, 2000).

2. İHTİYAÇ DUYULAN SİLAJ MİKTARINI BELİRLEMEK

Silaj yapmayı planlarken verilecek ilk yönetim kararı silaj miktarını tespit etmektir. Bu karar, aşağıdaki faktörlere bağlıdır: 1) Silaj verilecek canlı hayvan sayısı ve türü, 2) Yemleme süresinin uzunluğu, 3) Rasyondaki silaj yüzdesi, 4) Mevcut maddi kaynaklar (ekipman, işgücü, finans, teknik yardım, vb.) (García, 2000).

Verimli biyokütle tedarik zincirlerinin geliştirilmesinin önündeki engellerin çoğu, biyokütle ürünlerinin özellikleri ve dolayısıyla zincirin

ilk halkalarında gerçekleştirilen süreçlerle ilgilidir (De Meyer ve ark., 2016). Bu kısımdaki kritik bir görev, biyokütle akışının yönetiminin depolama sistemi ile bağlantılı olarak ve/veya hayvan yemi için olarak kullanım şekline bağlı olarak ayarlanmasıdır. Takvimlendirme, operasyonel planlama düzeyinde kritik bir görevdir. Uygulama düzeyinde, silaj üretimi için lojistik, paralel olarak yürütülen üç operasyondan oluşmaktadır: hasat, taşıma ve sıkıştırma. Büyük ölçekli silaj üretim operasyonlarında önemli bir konu, istikrarlı bir malzeme akışını sürdürmek için; yem hasat makinesinin, malzeme işleme kapasitesinin, taşıma ünitelerinin, malzeme kaldırma kapasitesi ve yem sıkıştırıcısının malzeme işleme kapasitesi ile eşleştirilmesidir. Taşıma veya boşaltma operasyonlarındaki darboğazlar potansiyel olarak sistem kapasitesini biçerdöverin üretim kapasitesinin altına düşürebilmekte ve bu nedenle planlama yapılması gerekmektedir (Busato ve ark., 2019).



Şekil 1: Stoklanmış Silaj Balyaları (Yadav, 2021)

İhtiyaç duyulan yem miktarını belirleme, şu örneklerle gösterilebilir: Günlük 10 kg KM rasyonunun %50'sini silaj olarak tüketen yetişkin bir

sığır, 5 kg silaj almaktadır. 180 günlük bir besleme periyodu için, %25 kuru madde içeren 3.6 ton taze kaba yeme eşdeğer hayvan başına 900 kg silaj gerekmektedir. %15 silaj kaybı varsayıldığında, silolanacak toplam hayvan başına 4.14 t silaj yemi gerekmektedir. Bu, 0.6 t/m^3 yoğunluk varsayıldığında, hayvan başına 2.3 m^3 silo kapasitesine eşdeğerdir. Aynı varsayımlar bir keçi için kullanıldığında, gereksinim 0.6 kg/gün oranında 108 kg silaj olmaktadır, hayvan başına 497 kg taze yem miktarının silolanması gerekmekte, bu da hayvan başına 0.83 m^3 silo kapasitesi hacmine eşdeğerdir. Bu hesaplamalar, çiftlikte mevcut olan kaynaklar ve korunması öngörülen alan dikkate alınarak tersten de yapılabilmektedir (García, 2000).

3. FİNANSAL MODEL

Silaj yatırımı genellikle silaj sığırlara yedirilmeden birkaç yıl önce yapılır ve bu nedenle yemin fırsat maliyeti yüksektir. Başka bir deyişle, para, üretime doğrudan bir girdi sağlamak için kullanılmaktadır (Cowan, 2000). Çok çeşitli potansiyel silaj türleri ve kullanım amaçları göz önüne alındığında, silajın yemleme sistemine dahil edilmesinin mali değerlendirmesi için genel bir çerçeveye sahip olmak önemlidir. Yemleme sırasında ek geliri etkileyen anahtar parametreler, hayvanlara verilen silajın miktarı ve o sırada hayvanın kullanabileceği diğer yemlere göre silajın kalitesidir. Uygulamanın karlı olabilmesi için gelir artışının önemli düzeyde olması gerekmekte ve bunu başarmak için büyük miktarda silaj verilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Kuzey Avustralya'da birçok çiftçi, az miktarda silaj yapmanın mali

durumlarını iyileştirmediğini tespit etmişlerdir. Maliyetler yapılan silaj miktarı ile doğru orantılı olarak azalmamakta ve yılın bir döneminde süt üretimindeki küçük bir avantaj bu maliyetleri karşılayacak kadar gelir sağlamamaktadır. Örneğin, yaklaşık 100 ineklik sürüleri olan çiftçiler, 100 ila 300 ton mısır silajı yapmanın net bir fayda sağlamadığını bildirmektedirler. Bu çiftçiler daha sonra doğal olarak hızlı bir şekilde silaj kullanmayı bırakanlar ve 1000 tondan daha büyük miktarlarda üretim yapanlar olarak ikiye ayrılmışlardır. Yoğun üretim sistemlerinde kalite farkı çok önemlidir. Silaj normalde alternatif yem arzının düşük olduğu dönemlerde hayvan beslenmesinde kullanılmasına rağmen, kalitesiz silaj padok yemi alımını daha da azaltabilmekte ve süt çıkışında yalnızca küçük bir net kazanç sağlayabilmektedir. Bu, en çok süt hayvanlarını besleme programlarında tropikal yem bitkisi silajı kullanma girişimlerinde barizdir. Tropikal yem bitkisi silajının kalitesi nispeten düşüktür, %55 civarında kuru madde sindirilebilirliği vardır ve genellikle yem kaynağının az olduğu, ancak kalitesinin yüksek olduğu serin ve kurak mevsimlerde hayvanlara verilmektedir. Kuzey Avustralya'da, genellikle yavaş büyüyen, yulaf otları (yüksek kalite), sulanan çavdar meraları veya tropikal otlar yetiştirilmektedir. Yemleme döneminde süt verimindeki artış silaj yapım maliyetlerini karşılamamıştır. Buna karşılık, otlatılmış yonca veya yonca meraları ile birlikte mısır silajının verilmesi, süt veriminde önemli artışlara sebep olmaktadır. Mısırdaki yüksek enerji içeriği ile baklagillerdeki yüksek protein içeriğinin birleşimi bu yemleri tamamlayıcı hale getirmektedir. Dolaylı faydaların tahmini genellikle çiftliğe özgüdür, ancak yukarıda bahsedilen

durumlar nispeten yaygın olarak ortaya çıkmaktadır. Bir mısır ürününün dane yerine silaj olarak hasat edilmesi, çiftçiler açısından aynı araziden başka bir ürün için kullanılacak 50 günlük ek bir aktif büyüme süresi kazandırılmaktadır. İnekler otlarken bitkilerin yapraklarını daha fazla seçerek tüketmektedirler, ancak otlatma için ayrılan alanın sınırlandırılması hayvanların seçim kabiliyetini azaltabilmektedir. Bu durumda, inekler rasyonda daha yüksek oranda bitki gövdesi tüketmekte ve sonuç olarak rasyonun kuru madde sindirilebilirliği azalmaktadır. Silaj yapımının yoğun olduğu dönemlerde mera yönetimi ve gübreleme, rasyon formülasyonu ve inek sağlığı bakımı gibi görevler için daha az zaman ayrılması nedeniyle dolaylı bir maliyet de ortaya çıkabilmektedir (Cowan, 2000).

Silajın işletme maliyetlerine ilişkin çok sayıda veri bulunmaktadır. Bu analizler, arazi hazırlığı, tohum ve gübre, geçici işçilik ve hasat maliyetleri gibi ana değişken girdileri göstermektedir. Analizler, yukarıdaki girdilerin maliyetindeki farklılıklardan ziyade, ürün verimindeki ve hasat ve depolama kayıplarındaki değişikliklerin maliyet üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, sermaye taahhüdünün ve çiftlik müdürünün vaktinin önemi ve kıymeti her zaman hafife alınmaktadır. Genellikle besleme maliyetleri de ihmal edilmektedir. Otlatılan mera veya yemlere dayalı bir yemleme programında bir bileşen olarak kullanıldığında silajın maliyetine ilişkin tam bir çiftlik analizi yoktur. Buna karşılık, besi yeri operasyonları için toplam çiftlik maliyetleri vardır ve bunlar her zaman otlatma

sistemlerinde silaj için verilen marjinal maliyetten daha yüksek bir maliyet göstermektedir (Cowan, 2000).



Şekil 2: Mekanize Yöntemle Silaj Plastiği Serme (Bock, 2020)

4. İŞLETMELERDE SÜREKLİ ARTAN ÜRETİMİ ARTIRMA BASKISI

Silajın olumlu bir başka kullanım şekli, arazi verimliliğini artırma aracı olarak kullanılmasıdır. Başta toprak ve su olmak üzere doğal kaynakları daha etkin kullanma konusunda sürekli artan bir baskı vardır. Bu baskıyla bağlantılı olarak, üretim sistemi üzerinde daha fazla kontrol, kalite güvence hedeflerini karşılama, hayvan refahını sağlama ve sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarını kolaylaştırma yönünde talepler de mevcuttur. Örneğin Kuzey Avustralya'da, genel olarak 100 sağmal ineğe sahip bir süt çiftliği 100 hektarlık bir alanı kullanmaktadır. Ancak çiftlikten elde edilen süt üretiminin ortalama üçte ikisi 20 hektardan üretilmektedir. Tarlalar oldukça verimli ve sulanan

arazilerdir. Birçok tarlada, ineklere yüksek kaliteli yem yetiştirmek amacıyla sulama yapılmaktadır ve suyun verimli kullanımı oldukça yüksek bir önceliktir. Yem yetiştirme ve muhafaza kombinasyonu, mera sistemlerine kıyasla hektar başına kuru madde üretimini artırabilmekte ve daha yüksek bir yem üretimi/su girdisi oranı sağlamaktadır. Yem yetiştirme faaliyeti, besleme sisteminde verimli bir şekilde kullanılabilen ürünleri içermelidir.



Şekil 3: Aşırı Dolu Bir Bank Tipi Silo (üst resim yan görüntü, alt resim besleme yapılan yüzeyin görüntüsü; kırmızı çizgi ise yemin doldurulması gereken maksimum seviyeyi göstermektedir) (Bolsen & Bolsen, 2007)

Mısır, arpa ve yonca gibi yemlerin süt üretimine dönüşüm oranları yüksektir; soya ve sorgum orta düzeydedir; Napier otu (fil otu) (*Pennisetum purpureum*) ve şeker kamışı ise düşüktür. Napier otunun yüksek su kullanım etkinliği ile çok yüksek miktarda kuru madde ürettiği belirtilmiştir, ancak düşük sindirilebilirlik nedeniyle, günlük

inek başına 15 litre sütün fazla üretim yapan sistemlerde kullanılmamaktadır. Buna karşılık, mısır ve yonca günlük inek başına 40 litre sütün üzerindeki üretim seviyelerine uygundur. Kuzey Avustralya'da, mandıra üretim sistemleri, otlatılan meraları tamamlamak ve üretim seviyelerini günlük inek başına 25 litre süt düzeyinde tutmak için mısır, yonca ve yemlik sorgum silajının artan bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır (Cowan, 2000).

5. TARLA, MERA VE SİLAJ TÜRÜNÜN İLİŞKİSİ

Yemi koruma altına almak için ılıman bölgelerde mera otlatma sistemlerinde erken dönemde ortaya çıkan vejetatif aksamın kaldırılması, daha fazla kardeş yoğunluğunu ve kuru madde üretimini teşvik eder ki bu uygulama büyük ilgi görmektedir. Böyle bir etki tropikal yem bitkilerinde yoktur ve sık sık biçme, hemen hemen her zaman kuru madde üretiminin azalmasına yol açmaktadır. Meralardaki bu fayda, tarlada yetiştirilen yem bitkilerinde daha belirgindir. Bir silaj ürünü, dane üründen yaklaşık 30 ila 50 gün önce hasat edilebilmekte, böylece başka bir ürünün potansiyel olarak yetiştirilebileceği gün sayısı artmaktadır. Arazi genellikle yılda iki veya daha fazla ürün için kullanıldığından, potansiyel büyümede %30 civarında bir artış ortaya çıkmaktadır (Cowan, 2000).

ılıman meralarda kış aylarında sulama ile yetiştirilen ryegrass (*Lolium spp.*) gibi türlerden yapılan silaj, yaz ve sonbahar aylarında otlatılan meralara göre daha yüksek kaliteli yem sunmaktadır. Sütün bu silajla

beslemeye verdiği tepkinin yüksek olması muhtemeldir ve mandıra çiftçileri, yaz meralarının fazla otunu muhafaza etmektense, kışlık meranın fazlalığını muhafaza etmeye büyük öncelik vermektedirler (Cowan, 2000).



Şekil 4: Uygun Şekilde Kapatılmış Bir Bank Tipi Silo (Nova Scotia, 2015)

Çiftlik hayvanlarının türü, mevcut makineler, toprak türü, yağış miktarı, sulamanın mevcudiyeti ve potansiyel verim, hangi ürünün silaj olarak ekilip depolanacağına karar vermede önemli hususlardır. Mısır silajı, hayvan performansını optimize etmek için kullanılabilen yüksek enerji konsantrasyonu nedeniyle genellikle en iyi silaj olarak kabul edilmektedir. Yemlik sorgumdan, sorgum-sudan hibritlerinden, soyadan ve diğer tek yıllık sıcak mevsim yem bitkilerinden de yine iyi silaj yapılabilmekte, ancak bunların enerjisi mısır silajından daha düşük olmaktadır. Sorgum yemi hasat edildiğinde genellikle kuru madde içeriği silolama için yüksektir. Bu nedenle, mümkün olduğunca nem

oranı düşük hibritler seçilmeli ve kuru madde konsantrasyonu %30-35 olduğunda hasat hedeflenmelidir. Sorgum-sudan hibritleri, soya ve börülce genellikle optimum olgunluklarda yüksek nem konsantrasyonlarına sahiptirler. Bu nedenle, iyi bir silaj kalitesi sağlamak için genellikle soldurmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Küçük taneli tahıllar ve ryegrass gibi tek yıllık soğuk mevsim yem bitkilerinden de optimum olgunlukta hasat edildikleri takdirde mükemmel silaj yapılabilmektedir. Hasattaki kuru madde %30'dan az ise soldurma tavsiye edilmektedir. Köpekdişi ayrığı, *Heteranthera zosterifolia*, *Hemarthria altissima*, çok yıllık yerfıstığı ve yoncadan da silaj üretimi mümkündür. Bununla birlikte, düşük şeker içeriği ve yüksek tamponlama kapasiteleri (pH'daki değişime karşı direnç), bu ürünlerin silolanmasını zorlaştırmaktadır. Sonuç olarak, bu ürünler silolanmadan önce içerdikleri şekerleri konsantre hale getirmek için %35-45 kuru maddeye kadar soldurulmalıdır (Adesogan & Newman, 2010).

Sulanabilen ılıman iklim meraları, miktar olarak sürünün toplam yem gereksinimi için yetersiz olsa da eğer otun sindirilebilirliği ve ham protein konsantrasyonu çok yüksek ve bakliyat oranı yeterli ise, genellikle kış ve ilkbahar aylarında otlatma yapılarak değerlendirilebilmektedir. Bu meraların mısır silajı ile desteklenmesi önemli faydalar sağlamaktadır. Bu kombinasyon, çok yüksek seviyelerde mısır silajı verilmedikçe, rasyona protein takviyesi ihtiyacını ortadan kaldırmakta ve bu şekilde mısır silajının kullanılması, ineklerin rumenlerindeki aşırı yüksek amonyak seviyelerini

azaltmaktadır. Bu yem kombinasyonunun eklemeli katkı etkisi ispatlanmıştır. Son zamanlarda tropik bölgelerde baklagillerin silaj yapımında kullanımına ilgi artmaktadır. Lablab (*Lablab purpureus*), börülce (*Vigna unguiculata*) ve soya (*Glycine max*) gibi baklagillerin, sıfır toprak işleme dahil olmak üzere sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarıyla uyumlu olduğu ve kabul edilebilir sindirilebilirlikte silaj olarak muhafaza edildiği bildirilmiştir. Yüksek ham protein konsantrasyonu, pek çok buğdaygil yem bitkilerinin protein bakımından düşük olduğu tropikal bölgelerdeki hayvan besleme sistemlerinde bir avantajdır. Baklagil silajları da nispeten yüksek mineral konsantrasyonuna ve yüksek bir tamponlama kapasitesine sahiptir (Cowan, 2000).

6. SİLAJ BİTKİSİ HASAT SİSTEMLERİ, SİLOLANIN ORGANİZASYONU VE YÖNETİMİ

En basit yem hasat sistemi pala, tırpan veya benzeri aletlerle bitkiyi kesmektir. Elle yapılan hasatlarda verim düşüktür. Dik büyüyen yem bitkileri kişi başına saatte 0.5 ile 0.8 t arasında hasat edilebilmektedir. Yatık yetişen türlerde ise biçim oranı daha düşüktür. Bitkilerin biçilmesi için gereken süreye ek olarak, ürünün siloya taşınması ve siloya girmeden önce parçalanması için gereken bir süre de vardır. Belirli bir miktarda bitkiyi biçmek, taşımak ve parçalamak için gereken adam-saat tahminlerinin yapılması, siloların büyüklüğü ve bir siloyu kendi içinde başlatmak ve bitirmek amacıyla ne kadar insan gerekli olduğunun belirlenmesi açısından önemlidir. Büyük ölçekte silaj

yapımı karmaşık bir süreçtir. Mümkün olan en kısa sürede en fazla yem bitkisini biçmek koordinasyon gerektirmektedir. Üretim sürecini organize etmede belirleyici faktörler şunları içermektedir: traktörlerin gücü, yem hasat makinelerinin tipi, römorkların miktarı ve kapasitesi, makinelerin durumu, bitkilerin ekim alanı ile silo arasındaki mesafe, ayrıca ön işlemler ve katkı maddelerinin kullanımı (García, 2000).

Bir çiftlikteki toplam silo kapasitesi hayvan sayısına, türüne ve silajla besleme süresine bağlı olmakla birlikte, kayıpları minimumda tutmak için gereken silajın tamamının tek bir siloda tutulmaması tavsiye edilmektedir. En iyi sistem, kısa sürede boşaltılabilen silolar inşa etmektir, dolayısıyla gerçek silo boyutu, hayvan başına düşen silaj miktarına ve o silodan beslenecek hayvan sayısına bağlıdır. En iyi strateji, yılın farklı zamanlarında silaj yapmak ve yaklaşık 60 ila 70 gün muhafaza ettikten sonra hayvanlara vermektir. Bu şekilde silaj optimum fermentasyona ve en az aerobik bozulma riskine maruz kalmaktadır. Bununla birlikte, silaj yapma zamanı aynı zamanda yetiştirme koşullarına ve silolanacak yem mevcudiyetine de bağlıdır (García, 2000).

Verimli bir üretim sürecini garanti eden altın kurallar şunlardır: 1) Mevcut silo kapasitesi, silolanacak malzeme miktarı için yeterli olmalıdır, 2) Silo doldurma oranı, sıkıştırma kapasitesine uygun olmalıdır, 3) Tüm süreç mümkün olan en kısa sürede, ideal olarak bir günde, en fazla üç günde tamamlanmalıdır, 4) Mutlak sızdırmazlık sağlanmalıdır (García, 2000).

Tüketilemez olduğundan dolayı atılması gereken veya besleyici değeri düşük olan büyük hacimli silaj yerine, daha az miktarda yüksek kaliteli silaj hazırlamak daha iyidir. Ne yazık ki, silaj yapımında yer alan süreçler henüz tam olarak anlaşılammıştır. Hala çözülmesi gereken en zor konular arasında şunlar yer almaktadır: 1) Baklagillerin büyük ölçekli silaj üretimine dahil edilmesiyle ilgili parametreler; 2) Ön kurutma teknolojisi açısından katkı maddelerinin kullanılması için en uygun zaman; 3) Yem koruma amacıyla kullanılan malzeme ve insan kaynaklarından en iyi şekilde yararlanmak için enerji dengelerinin nasıl analiz edileceği (García, 2000).

Silaj üretimindeki diğer bir kısıtlama ise, silaj yapım ilkelerinin hayvancılıkla uğraşan kişi ve uzmanlar tarafından bilinmemesidir. Günümüzde, dış girdilere daha az bağımlı olan sürdürülebilir hayvancılık üretiminde silaj üretimi önemli bir rol oynamaktadır (García, 2000). Yüksek kaliteli silaj, birçok iyi yönetim tekniğinin sonucudur. Silajların yönetimi, doğru olgunlukta hasat, silo tipleri, silonun hızlı doldurulması ve siloların polietilen plastik ve lastiklerle kapatılması ve besleme süresi gibi bölümlere ayrılmaktadır (Chavan ve ark., 2022). Silaj fermentasyonu ve kalite; besleme sırasında paketleme hızı, paket yoğunluğu, katkı maddesi tipi, parça uzunluğu, kaplama yönetimi ve silo yönetimi gibi yönetim parametrelerinden de etkilenebilmektedir (Kung Jr ve ark., 2018).

Sıkıştırma işlemleri silo boyutlarına bağlıdır. 2 ton veya daha küçük dikey silolarda sıkıştırma, birbirini izleyen yem katmanları üzerinde

yürüyen bir kişi tarafından sağlanabilmektedir. Genişliği 4 m'den az olan yatay silolarda sıkıştırma, hayvanlar veya ürün üzerinde yürüyen insanlar tarafından yapılabilmektedir. Daha büyük silolar, tekerlekli veya paletli makineler gerektirmektedir. Mekanik sıkıştırma için minimum genişlik 4 m'dir. Homojen sıkıştırmayı garanti etmek için traktör tekerlekleri veya katerpillar her zaman bir önceki geçişte bırakılan izin iç sınırını geçmelidir. Yemin kirlenmesini önlemek için siloların çevresinde çamur veya su birikmesi önlenmelidir (García, 2000).

Son yıllarda, silajların bank tipi silolarda, hendeklerde depolanması sırasında hava ile teması önlemek amacıyla plastik filmler sıklıkla kullanılmaktadır. Yüksek oksijen bariyeri filminin kullanılması, mayaların, küflerin ve aerobik ve anaerobik spor oluşturucuların, silajın besinsel ve mikrobiyolojik kalitesi üzerindeki olumsuz etkisini azaltarak tüketim sırasında silaja daha uzun raf ömrünü sağlamaktadır. Oksijene karşı en iyi bariyer etilen-vinil alkol filmidir (Borreani & Tabacco, 2015).

Silajın kalitesini birçok faktör etkilemektedir. Bunlar arasında şeker konsantrasyonu, tamponlama kapasitesi, kuru madde konsantrasyonu, parça uzunluğu ve inceliği, silolama ve depolama sırasındaki sıcaklık, hasat hızı, paketleme yoğunluğu ve hasat, depolama ve besleme sırasında havaya maruz kalma yer almaktadır (Adesogan & Newman, 2010). Kötü fermente edilmiş silajın besin değeri ve lezzeti daha düşüktür ve hoş olmayan kokular üretmektedir. Kaliteli silaj için kritik

süreçler şunları içermektedir: 1) Hasadın zamanlaması (yem bitkisinin olgunluk aşaması, nem içeriği), 2) Hasat yöntemi (aşılayıcılar, tane kondisyonlama, parça uzunluğu), 3) Silaj depolama sisteminin doldurulması, paketlenmesi ve kapatılması, 4) Depolama sistemi yönetimi (Davis, 2021).

7. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN VE SIZINTI SUYUNUN ÜRETİMİNİN KONTROLÜ

Silaj, sığırlar için önemli bir yem kaynağı ve çiftçiler için ciddi bir masraftır. Belirli fermentasyon yollarından ve yetersiz korumadan kaynaklanan silaj kuru madde ve enerji kayıplarını en aza indiren uygulamaların geliştirilmesi ve uygulanması için büyük çaba harcanmaktadır. Uçucu organik bileşiklerin emisyonunu azaltmaya yönelik uygulamalar, benimsenmesi için bu uygulamalarla tutarlı olmalıdır. Neyse ki, Uçucu organik bileşiklerin üretimini azaltmaya yönelik uygulamalar kuru madde ve enerji kayıplarını da azaltabilmektedir. Uçucu organik bileşiklerin çoğu heterofermentatif LAB veya istenmeyen mikroorganizmalar (enterobakteriler, clostridia veya mayalar) tarafından doğrudan veya esterler söz konusu olduğunda dolaylı olarak üretilmektedir. Silaj katkı maddeleri, belirli mikrobiyal grupların aktivitesini doğrudan (kimyasal inhibitörler yoluyla) veya dolaylı olarak (bu grupları geride bırakan veya onları inhibe eden kimyasal koşullara katkıda bulunan inokulantlar yoluyla) inhibe etmek için kullanılabilir. Bununla birlikte, tüm uçucu organik bileşiklerin üretimini azaltmak, hatta bazılarını artırmadan bir bileşik

veya bileşik grubunu azaltmak zor olabilmektedir. Mısır silajında uçucu organik bileşiklerin üretimini azaltmak için mayaların inhibisyonu muhtemelen gerekli olmaktadır (ancak yeterli olmayabilir). Hem heterofermentatif LAB aşılایıcıları hem de kimyasal katkı maddeleri bu amaç için faydalı olabilmektedir. Mantarları veya istenmeyen bakterileri engellemeyi amaçlayan kimyasal katkı maddeleri, hepsinin bir etkisi varmış gibi görünmese de etanol üretimini azaltma konusunda umut vaat etmektedirler (Hafner ve ark., 2013).

Silaj sızıntı suyu, silolama işlemi sırasında üretilen bir sıvıdır. Sızıntı suyu üretimi için kritik dönem silajın hasadını takip eden aydır. Sızıntı suyunun yarısından fazlası ilk hafta içinde üretilmekte ve kalan hacim genellikle sonraki üç hafta içinde üretilmektedir. Silaj üstü açık bir bank tipi veya hendek silosuna yerleştirilirse, depolama süresi boyunca sızıntı suyu üretimi devam etmektedir. Bank tipi silolarda ayrıca, yağışın ardından atık yemi yıkayabilen bank tipi silo tabanından gelen yağmur suyu akışı da endişe vericidir. Bank tipi siloları için %65 ila %70 nemde ve kule siloları için %62 ila %68 nemde hasat yapılırsa, çok az sızıntı suyu üreten mükemmel kalitede silaj üretilebilmektedir. Hasadın zamanlamasına ek olarak, çevresel etkiyi azaltmak için bir dizi başka önlem alınabilmektedir: 1) Yüzey suyundan en az 30 metre ve en yakın kuyudan 15 metre uzaklıkta bir silo konumu seçilmeli, 2) Astarın su geçirmez olduğundan emin olunmalı. Beton kullanılıyorsa, genleşme derzleri esnek bir bileşikle doldurulmalıdır, 3) Silonun zeminini dışarıya doğru eğimli olmalı, böylece üretilen herhangi bir sızıntı suyu veya akıntı yakalanabilmekte ve düzgün bir şekilde işlenebilmektedir,

4) Yüzey altı drenajı beton zeminin altına kurulmalı ve kirli yerlere yönlendirilmeli, 5) Önemli miktarda sızıntı suyu betondaki çatlaklardan veya eski derzlerden geçebilmekte ve yeraltı suyunu kirletme potansiyeline sahip olabilmektedir. Çakıl tabanın altına geçirimsiz bir astar toplamaya yardımcı olabilmektedir, 6) Silo bir tepenin kenarına yerleştirilmişse, temiz yeraltı suyu toplanmalı ve işlenecek kirli su miktarını azaltmak için yokuş yukarıdan ayrı bir drenaj sistemiyle yönlendirilmeli, 7) Yüzey ve yer altı akışları için bir sızıntı suyu ve yağmur suyu işleme ve arıtma sistemi planlanmalı ve kurulmalı (Faulkner, 2013).

KAYNAKLAR

- Adesogan, A.T., Newman, Y.C. 2010. Silage Harvesting, Storing, and Feeding. University Of Florida IFAS Extension SSAGR-177.
- Bock, 2020. Silage Clamp Systems. BÖCK Silosysteme GmbH. https://www.boeck.de/files/downloads/Katalog_Englisch_klein.pdf
- Bolsen, K., Bolsen, R. 2007. Worst Bunker/Pile Silos We've Seen And How to Avoid Them. Kansas State University. Dairy Forage Tool Box. World Dairy Expo.
- Borreani, G., Tabacco, E. 2015. Bio-based biodegradable film to replace the standard polyethylene cover for silage conservation. Journal of Dairy Science, 98(1): 386-394.
- Busato, P., Sopegno, A., Pampuro, N., Sartori, L., Berruto, R. 2019. Optimisation tool for logistics operations in silage production. Biosystems Engineering, 180: 146-160.
- Chavan, M.M., Jain, S.K., Pawar, A.B., Gurav, A.A., Mhade, R.R. 2022. A review: Silage preparation and silo management techniques. The Pharma Innovation Journal; SP-11(12): 06-11.
- Cothren, J., Lusk, S. 2018. Tips for Making the Most of Silage. N.C. Cooperative Extension. University Of Georgia.
- Cowan, T. 2000. Use of ensiled forages in large-scale animal production systems. FAO Plant Production and Protection Papers, 31-40.
- Davis, R. 2021. Feedlot Design and Construction. 32. Silage Storage. Meat & Livestock Australia.
- De Meyer, A., Snoeck, M., Cattrysse, D., Van Orshoven, J. 2016. A reference data model to support biomass supply chain modelling and optimisation. Environmental Modelling & Software, 83: 1-11.
- Faulkner, J.W. 2013. Managing Silage Leachate. West Virginia University Extension Service Agriculture and Natural Resources. Faculty & Staff Scholarship. 3185.
- García, F.O. 2000. Harvesting and ensiling techniques. FAO Plant Production and Protection Papers, 133-140.

- Hafner, S.D., Howard, C., Muck, R.E., Franco, R.B., Montes, F., Green, P.G., ... & Rotz, C.A. 2013. Emission of volatile organic compounds from silage: Compounds, sources, and implications. *Atmospheric Environment*, 77: 827-839.
- Kung Jr, L., Shaver, R.D., Grant, R.J., Schmidt, R.J. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4020-4033.
- Nova Scotia, 2015. Silage Seepage: A Farm Problem Worth Avoiding. Factsheet. https://nsefp.ca/wp-content/uploads/2018/08/Silage-Seepage-factsheet_Jun-2015.pdf
- Yadav, S.D. 2021. Silage. Livestock Production Management College of Veterinary Science. NDVSU. India.

BÖLÜM 17

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ İŞLETMELERDE SİLAJ YAPIMI

Dr. Feyza Döndü BİLGİN¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10449296>

¹ Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Adana. E-mail: feyzagundel@hotmail.com, Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0002-7435-4130>

1. GİRİŞ

Hayvancılık sektörü, gelişmekte olan ülkelerin çoğunda önemli bir ekonomik rol oynamaktadır ve kırsalda yaşayan insanların gıda güvenliği için gereklidir. Hayvanlar veya hayvancılık ürünleri yoksulluğun azaltılmasına katkıda bulunmakta ve ulaşım, gübre, yakıt, gıda, lif, deri gibi ürünlerin satışı sayesinde hane halkına önemli nakit geliri üretmektedir. Bununla birlikte, birçok gelişmekte olan ülkede hayvancılık üretiminin gelişmesini sınırlayan unsurlar arasında, hayvan yemi kaynaklarının yetersizliği en önemli faktördür. Hem niceliksel hem de niteliksel olarak yem kısıtlılığı, hayvanların verimliliğini sınırlamaktadır. Küçük ölçekli mandıra üreticileri, yetersiz beslenme (dengeli besin içeriğine sahip rasyonların olmaması) ve/veya besleme sistemlerinin birincil derecede satın alınan konsantre yemlere dayandığından yüksek üretim maliyetleri nedeniyle düşük hayvansal üretim yapmak zorundadırlar. Gelişmiş ülkelerdeki yüksek kaliteli yem bitkilerinden yapılan silajların, bir miktar konsantre yem ilavesi ile düşük maliyetli ve yüksek verimli bir hayvansal üretim sisteminin geliştirilmesinde en önemli ürünler olduğu bilinmektedir (Chedly ve Lee, 2000).

2. KÜÇÜK İŞLETMELER İÇİN SİLOLAMAYA UYGUN MALZEMELER VE SİLOLAMA YÖNTEMLERİ

Gelişmekte olan ülkelerdeki çiftçilerin çoğu, tahıllar, yumrulu bitkiler ve yüksek parasal değere sahip meyve ve sebzeler gibi ürünlerin

yetiştirilmesine güvenmekte ve yönelmektedirler. Sonuç olarak, bu tarımsal sistemlerden ve gıda işlemeden kaynaklanan çok çeşitli değerli yan ürünler ve kalıntılar vardır. Yan ürünlerin silolanması basit ve uygun bir koruma yöntemidir. Köylerdeki küçük ölçekli çiftçiler için mevcut yan ürünlerin rasyonel kullanımı, hayvan yemi kaynaklarını geliştirmenin etkili bir yoludur. Gelişmiş ülkelerde silolama artık başlıca yem koruma yöntemi olarak kabul edilmektedir ve bu alanda çok fazla araştırma yapılmaktadır. Tarımsal yan ürünlerde en çok karşılaşılan sorunlar, ürünlerin yüksek nem içermeleri ve ürün tedarikinin mevsimsel olmasıdır. Yüksek nem içeriğine sahip tarımsal-endüstriyel yan ürünler genellikle yüksek besin değerine sahiptirler. Sanayileşmiş ülkelerde, yan ürünleri geri kazanmak ve bunları protein açısından zengin yemlere ve/veya enerji açısından zengin konsantre yemlere dönüştürmek için iyi gelişmiş teknolojiler bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu tür tesisler, az gelişmiş ülkelerde, özellikle yan ürünlerin genellikle kirletici atıklara dönüştüğü küçük köylerde nadiren bulunmaktadır ki bu atıklar hızla ekşiyip küflenmekte ve suda önemli miktarda çözünür besin kaybetmektedirler. Kurutma uygulaması ise maliyeti artırmaktadır; 1 ton kuru ürün (%88-90 kuru madde) üretmek için 250 ila 300 litre yakıt ve 200 kWh elektrik gerekmektedir. Araştırmalar, yan ürünlerin siloya alınmasının uzun süreli koruma için en uygun yöntem olduğunu göstermiştir (Chedly & Lee, 2000).

Hemen hemen tüm organik materyaller, şu veya bu şekilde silajlama için uygun substratlar olabilmektedir. Yaklaşım ve uygulanacak tekniğe ilişkin karar şunlara bağlıdır: 1) Kuru madde içeriği dahil olmak üzere

ürünlerin bileşimi; 2) Patojenik ve fermentatif bakteri kontaminasyonunun türü ve derecesi; 3) Malzeme bileşenlerinin tamponlama kapasitesi; 4) Ana substratta potansiyel otolize edici enzimlerin veya doğal olarak mevcut bakterilerin varlığı; 5) Silajın olgunlaşmasına yardımcı olmak için asitler, fermente edilebilir substratlar ve fermentatif bakteriler gibi diğer malzemelerin mevcudiyeti; ve 6) Geçerli koşullarda silaj tekniğini kullanarak yem koruma maliyeti. Bu kriterler göz önünde bulundurulduğunda, olası silaj yapma yöntemleri şunlardır: 1) Doğal olarak mevcut bakteriler veya ilave bakteri kültürleri ile malzeme içindeki karbonhidratların fermentasyonu ile üretilen asitler kullanılarak silaj yapma; 2) Doğal olarak mevcut veya ilave fermentatif bakteriler kullanılarak korunacak temel yem ürünlerine eklenen karbonhidrat açısından zengin materyallerin fermentasyonu ile üretilen asitler yardımıyla silaj yapma; 3) Hidroklorik veya sülfürik asitler veya bu tür asitlerin karışımları gibi ilave inorganik asitler kullanılarak silaj yapma; veya 4) Formik, propionik veya asetik asitler gibi organik asitler veya bu tür asitlerin karışımları kullanılarak silaj yapma (Machin, 2000).

Meyveler, şeker kamışı veya pancar ürünleri gibi çözünür karbonhidratlar açısından zengin malzemeler, asit fermentasyonu gerekmeksizin tek başına ozmotik etkiler yoluyla nispeten düşük kuru madde seviyelerinde ürünleri koruma yeteneğine sahiptirler. Bununla birlikte, şeker ve meyve ürünleri gibi yüksek düzeyde çözünür karbonhidrat içerenler, fermente edilemeyen malzemelerin fermentasyon yoluyla depolanmasına yardımcı olacak seviyede

yeterince yüksek asit seviyeleri üretebilmektedir. Açıkçası, silolama, başka türlü hayvan yemi olarak kullanılamayacak olan çok çeşitli ve çabuk bozulan malzemeleri korumanın yararlı bir yoludur. Bu tür malzemelerle karıştırmak için uygun fermente edilebilir malzeme kaynaklarının mevcudiyetini eşleştirmek, tedarik ve lojistik açıdan zorluklara neden olabilir (Machin, 2000).



Şekil 1: Kenya'da Silolama Sırasında Silajın Sıkıştırılması (Muinga ve ark., 2015)

Bakteri kültürlerinin kullanımı, küçük çiftçiler tarafından yem işleme açısından caydırıcıdır. Hammadde zaten yüksek bir LAB konsantrasyonuna sahipse, inokulantların süreci iyileştirmediğine dair raporlar da mevcuttur. Bu nedenle, uygun mayalanabilir ve mayalanmayan malzeme karışımlarının seçilmesi koşuluyla, küçük çiftçilerin başlangıç kültürleri üretmeye veya satın almaya ihtiyaç duymadan mayalanmış silajlar üretebilecekleri görülmektedir. Buna karşılık, hızlı fermentasyon ve yeterince düşük pH oluşturamayan karışımlar denendiğinde, başarılı silaj üretimi elde edilememektedir (Machin, 2000).

Çabuk bozulan proteinli atıkların silolanmasında doğrudan eklenen asitlerin kullanımı konusunda önemli araştırmalar yapılmıştır. İlk çalışmalar, hidroklorik, sülfürik veya fosforik asitler gibi mineral asitlerin kullanımına odaklanmıştır, ancak bunların tek başına silajlar için zayıf koruyucular olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, organik (formik, propiyonik, sitrik, vb.) asitler ve mineral asitlerin karışımları veya tek başına organik asitler kullanılarak başarılı silajlar yapılmıştır. Yine de, organik ve/veya mineral asitlerin doğrudan eklenmesinin, maliyeti ve tehlikesi nedeniyle küçük çiftçilerin yem ürünlerini işleyebilecekleri bir araç olması pek olası değildir. Bu nedenle, küçük çiftçilerin silaj yapabilmeleri için en uygun yolun doğal bir fermentasyon sistemi olacağı görülmektedir. Çiftlik hayvanlarına verilen gıda maddelerinde patojenik bakterilerin varlığı konusunda ciddi endişeler vardır. Asit eklenerek silaj yapımı kümes hayvanı mezbahası atıkları, kuluçkahane atıkları ve balıkçılık atıkları gibi malzemelerdeki patojenleri ve indikatör organizmaları azaltmanın veya ortadan kaldırmanın etkili bir yolu olduğu gösterilmiştir. Gıda kaynaklı enfeksiyonlara neden olan tüm yaygın bakteriler, 4'ün altındaki pH değerlerinde inhibe edilmekte ve *Clostridium botulinum* pH 4.5'in altında önlenmektedir. Birçok hayvansal ve balık kaynaklı atıklar, düşük pH'ta büyük organik molekülleri parçalayabilen ve böylece atıkta bulunan mikroorganizmaları anti-mikrobiyal etkiye maruz bırakan otolitik enzimler içermektedir. Özellikle, bu tür yenmeyen atıkların fermentasyonunun gram-negatif patojenlerin sayısını azalttığı bildirilmiştir. Bu, düşük pH'nın etkisi, LAB tarafından üretilen antibiyotik maddelerin varlığı ve organik asitlerin ayrışma yoluyla

mikroorganizmaların hücre zarlarını aşma ve organizmanın iç pH'sını yıkıcı seviyelere düşürme kabiliyeti ile ilgilidir. LAB ayrıca genellikle diğer bakteri türlerine karşı bakteriyostatik olan antibiyotikler ve bakteriyosinler üretmektedir. Mineral asitler, organik asitlerle aynı ayrışma yeteneğine sahip değildir ve bu nedenle silaj üretiminde çok daha az etkilidirler (Machin, 2000).

3. KÜÇÜK TORBA SİLAJI

Küçük torba silajı (Little Bag Silage, LBS) ilk olarak Kuzey Pakistan ve Nepal'deki kalkınma projelerinde çalışan bir yem ve hayvancılık danışmanı tarafından 1988-1992 yılları arasında yapılmıştır. Oradaki hayvancılık ve çiftçilik sistemine uyacak küçük ölçekli bir silolama sistemidir. Kuzey Pakistan'da soğuk, karasal kış boyunca, hayvanlara verilen başlıca yemler, yağmurlar sona erdikten sonra yaz meralarından yapılan çok düşük kaliteli kuru ot ile birlikte mısır koçanı ve buğday veya pirinç samanıdır. Çiftçilere yüksek verimli sığırlar satın almaları için kredi verilmesine rağmen, çiftçiler daha önce olduğu gibi hayvanları aynı yemlerle beslemeleri nedeniyle kültür ırkı hayvanların verimlerinin kısa süre içerisinde yerli hayvanların verimlerini seviyesine düştüğünü gözlemlemişlerdir. Bu hayvanların rumen fonksiyonlarının çalışabilmesi için yeşil yeme ihtiyaçları vardır. Kışlık yem bitkilerinin yetiştirilmesi söz konusu olsa da kışın yaklaşık 3 ay yeşil yem kıtlığı olmaktadır. Dayanıklı plastik alışveriş poşetlerinde minimum 5 kg taze parçalanmış yeşil sorgum bitkisinin depolanabildiği tespit edilmiştir. Bunlar silaj yapmak için kullanmış ve bir mandanın

günde bir torba silajla beslenebileceği ve ihtiyaç duyulan 5 kg yeşil yem sağlayabileceği saptanmıştır. “Alışveriş Torbası Silajı” veya diğer adıyla “Küçük Torba Silajı” kavramı bu şekilde ortaya çıkmıştır (Lane, 2000).

Küçük torba silajı yapmak için aynı temel yöntem hem Kuzey Pakistan'da hem de Nepal'de kullanılmıştır: 1) 5 kg parçalanmış yeşil yem kapasiteli ve dikişlerinde belirgin delikler olmayan sağlam, yüksek yoğunluklu plastik alışveriş torbaları, yüzerli paketler halinde satın alınmalı; 2) Çok biçimli sorgum gibi en az 100 kg yazlık yem bitkisi hasat edilmiş ve parçalama yerlerine taşınmalı. Yem bitkisi ya büyük bir bıçakla tahta bir doğrama tahtasında elle kıyılmalı ya da dönen bir bıçağı olan bir kuru ot kesiciyle doğranmalı; 3) Beşer kg doğranmış yeşil yem bitkisi alışveriş torbalarından birine delik açmayacak şekilde özenle doldurulmalı; 4) Torba havayı çıkarmak için elle hafifçe ama sıkıca bir sıkıştırılırken torbanın boynu bükülüp ters çevrilmeli ve bir ip ile bağlanmalı (iki kulptan düğüm atarak torbaları kapatmak mümkündür, ancak bu hava girişini tamamen önleyemez); 5) Daha sonra silaj torbası, yine kapatılıp bağlanan ikinci bir boş alışveriş torbasına ters çevrilmeli; 6) Silaj torbası daha sonra üçüncü bir boş alışveriş torbasına ters çevrilmeli ve kapatılmalı. Bu sayede her bir silaj torbası üç kez sarılmış ve hava sızdırması olabilecek dikişler iki katmanla korunmuştur; 7) Çantalar, sıçanlara, farelere ve diğer haşerelere karşı korunaklı bir odaya dikkatlice istiflenmeli; 8) En az bir aylık bir sürenin ardından, mandalara günde hayvan başına bir torba oranında küçük torba silajı verilmeli; ve 9) Her bir küçük torba silajı

biriminin dıştaki iki plastik poşeti yeniden kullanım için saklanmalı (Lane, 2000).



Şekil 2: Küçük Ölçekli Bir İşletmede Battal Boy Plastik Torbalarda Silaj Yapımı (FAO-USAID, 2020)

Küçük torba silajı yapmak için yoğun iş gücü, başarı için ise özen ve dikkat gerekmektedir. Küçük torba silajı üretimi için kullanılan torbaların kalitesi önemlidir. Düşük yoğunluklu plastik yerine yüksek yoğunluklu plastik, yırtılma potansiyelini azaltmaktadır. Torbalar mutlaka deliksiz olmalıdır. İç torbaların hasar görme olasılığı vardır. Başlangıçta piyasada bulunan alışveriş poşetleri kullanılmıştır. Bunlar yeterince sağlam yapıya sahiptir. Pakistan ve Nepal'de, alışveriş poşetleri 5 kg parçalanmış yeşil yem bitkisini rahatça alabilecek büyüklüktedir; daha büyük torbalar mevcut olsaydı daha büyük miktarlarda silajlar yapılabilirdi. Bu durumda, depolanan kg silaj başına torba maliyetleri azalmakta, hasar ve yüzey küflerinden kaynaklanan kayıplar da azalmaktadır. Bununla birlikte, torba başına depolanan miktar, besleme uygulamalarıyla ilgili olmalı, ancak küçük torbaların yeniden kapatılması kolaydır ve böylece silajın tek tek torbalardan

hayvanlara verilmesi, sıcak iklimlerde bile kolaylıkla 1-2 günde yapılabilir (Lane, 2000).



Şekil 3: Silaj Yapımı İçin Yemlerin Plastik Torbada Paketlenmesi (Sahoo, 2018)

Küçük torba silajının fermentasyon özellikleri, muhafaza edilen yeme bağlıdır. Özel ılıman veya tropikal yem bitkilerinden veya ılıman bölge meralarından elde edilen yüksek şeker içeriğine sahip yemler çok daha iyi korunmaktadır. Düşük şeker içeriğine sahip yem bitkisi, fermente edilmekten daha çok çürümeye eğilimlidir. Sorunlu yem bitkileri; yağmurlarda hasat edilen olgun sıcak mevsim mera bitkileri, genel olarak baklagil yem bitkileri ve muhtemelen ağaç formundaki yem bitkilerini kapsamaktadır. Silolamadan önce nem oranı yüksek bitkiler kısmen kurutulmalı, sürekli yağmur yağıyorsa gölgelik altında kurutulmalı ve baklagil yem bitkileri de soldurulmalıdır. Silolama yoluyla ürün kalıntılarının kullanılması sırasında daha fazla dikkat gerektirmektedir. Küçük torba silajının önemli bir özelliği, mevcut

yemin küçük miktarlarda uzun bir süre boyunca korunmasına izin vermesidir. Bu, büyük miktarlarda yemin bir seferde hasat edilmesi ve doğranması gereken geleneksel silaj yapma teknikleriyle güçlü bir tezat oluşturmaktadır. Böylece, küçük arazi sahibi bir aile, 100 günlük bir büyüme mevsimi boyunca günde birkaç adet küçük torba silajı muhafaza edebilmekte, bu da sağım hayvanlarının 200 günlük kuru sezon boyunca günde bir adet küçük torba silajı ile beslenmesine olanak sağlamaktadır. Bu silaj yemi, ekilmiş tarlalardan ve diğer alanlardan hasat edilen yapraklı yabani otları içerebilmekte ve bunlar, doğrama ve silolamadan önce her seferinde bir barınak altında kısmen açık havada kurutulabilmektedir. Nepal'de, mısır bitkilerinin yaprakları yaşlanmaya başladıkça kademeli olarak koparılmış ve bunlardan mükemmel bir şekilde küçük torba silajı üretilmiştir (Lane, 2000).

Küçük torba silajının avantajları: 1) Plastik silaj torbaları, hasat ve depolama kayıpları göz önüne alındığında, çukur ve bank tipi silo gibi geleneksel silaj depolama sistemlerine ekonomik bir alternatiftir. 2) Minimum besin kaybı ile yemi korumanın etkili bir yoludur (oluşturulan anaerobik ortam, temel proteinleri ve besin maddelerini korurken, maya, küf ve olumsuz bakterilerin büyümesinden kaynaklanan bozulmaları ortadan kaldırmaktadır). 3) Çiftçilerin ihtiyaç duydukları her yerde silaj depolamasına izin vermektedir. İyi tesviye edilmiş ve iyi drene edilmiş bir zemin yüzeyi gerekli olan tek şeydir. 4) Silaj tamamen torbaya kapatılmalıdır. Bu, çukur silajında atık olarak çukurun dibinden dışarı sızan asitin tamamının silajda tutulduğu anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, silaj makinesinde bulunandan daha

uzun yem parçalarını ve daha zayıf sıkıştırmayı telafi etmekte, böylece silajın kalitesi de aynı derecede iyi olmaktadır. 5) Bir torba içinde silolanmış silajı, büyük çaplı silolardan silajı çıkarma işini ortadan kaldırmaktadır. 6) Torbadaki yemin tamamı hayvana verildiği için, diğer torbalarda bulunan silajın geri kalanı havaya maruz kalmamakta ve bu nedenle bozulma oluşmamaktadır. 7) Torba, ailenin herhangi bir üyesi tarafından ineğin yem teknesine rahatlıkla taşınabilmektedir (FAO-USAID, 2020).

Silaj poşeti kullanmanın birkaç dezavantajı vardır. Bunlar: 1) Torbaların hasar görmesini önlemek için haşere kontrolünün önemli olması, 2) Silaj torbadan çıkarıldıktan sonra plastiğin muhafaza edilmesi ve bertaraf edilmesi, 3) Doğranmış ürünlerden paketleme işlemi sırasında silajdan daha fazla hava çıkarılabilmesi ve daha küçük parçalar torbayı delmediğinden dolayı yeşil bitkilerin doğranmasına ihtiyaç duyulması (FAO-USAID, 2020).

4. FIÇI SİLOLAR

Esnek plastik silolarından farklı olarak, varil/fıçı silolarında yüzey ve iç numuneleri arasındaki pH değeri daha homojendir. LAB büyümesi için fıçı silolarının yüzeyindeki koşullar, esnek plastik silolarının yüzeyinde olduğundan daha uygundur (Inoue ve ark., 2013).



Şekil 4: Plastik Bidonlarda Silaj Yapımı (Sahoo, 2018)



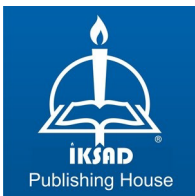
Şekil 5: Plastik Bidonlarda Silaj Yapımı (FAO-USAID, 2020)

Silolamada şeker pancarı küspesinin yemlik mısıra ilave edilmesinin silaj fermentasyonu, sızıntı suyu çıkışı ve atık suyun kirlilik potansiyeli üzerindeki etkileri 200 litrelik varil siloları kullanılarak incelenmiştir. Bir silajlık mısır dört farklı tarihte dört farklı olgunluk aşamasında (KM içeriği $155-235 \text{ g kg}^{-1}$) hasat edilmiştir ve melaslı şeker pancarı küspesi (MSBP) beş farklı oranda (0, 2, 7, 13, 18 kg MSBP 100 kg^{-1} taze mısır) ilave edilmiştir. Mısır silajlarının ve üretilen karışımların kimyasal analizleri, MSBP ilavesinin, karışımın kuru madde, kül, nötr selülaz gaminaz sindirilebilirliği (NCGD) ve metabolize edilebilir enerji (ME) içeriklerini ilk hasat dönemi hariç tüm hasat tarihlerinde önemli ölçüde

artırdığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, pH açısından silaj fermentasyonu MSBP ilavesinden etkilenmemiştir. MSBP eklenmediğinde, 200 g kg⁻¹ ila 100 g kg⁻¹ arasında değişen büyük hacimlerde atık su üretilmiştir. MSBP ilavesi, en kuru malzeme dışında atık üretimini önemli ölçüde azaltmıştır. Silolanan her kg malzeme için kirlilik potansiyeli, daha az atık üretildiği için artan MSBP ilavesiyle önemli ölçüde azalmıştır. Araştırma, düşük kuru maddeli silajların uygun MSBP seviyeleriyle fiçılarda silolanmasının, azaltılmış kirlilik potansiyeline sahip besleyicilik açısından değerli silajlar ürettiğini göstermiştir (Hameleers ve ark., 1999).

KAYNAKLAR

- Chedly, K., Lee, S. 2000. Silage from by-products for smallholders. FAO Plant Production and Protection Papers, 85-96.
- FAO-USAID, 2020. Silage Making for Small Scale Farmers' in Benue State
- Hameleers, A., Leach, K. A., Offer, N.W., Roberts, D.J. 1999. The effects of incorporating sugar beet pulp with forage maize at ensiling on silage fermentation and effluent output using drum silos. Grass and Forage Science, 54(4): 322-335.
- Inoue, H., Tohno, M., Matsuo, M., Kojima, Y., Ibuki, T., Uegaki, R. 2013. Farm-scale method for producing high-quality rice grain silage. Grassland Science, 59(4): 226-229.
- Lane, I.R. 2000. Little bag silage. FAO Plant Production and Protection Papers, 79-84.
- Machin, D.H. 2000. The potential use of tropical silage for livestock production, with special reference to smallholders. FAO Plant Production and Protection Papers, 71-78.
- Muinga, R.W., Saha, H.M., Lewa, K.K., Munga, G.S., Mambo, L.C., Bimbuzi, S., Mburu, L. 2015. Cassava Based Napier Grass Silage for Increased Milk Yield During the Dry Season in Coastal Kenya. End Of Project Report. Eastern Africa Agricultural Productivity Project (EAAPP).
- Sahoo, A. 2018. Silage for climate resilient small ruminant production. Ruminants: The Husbandry, Economic and Health Aspects, 11.



ISBN: 978-625-367-590-5