

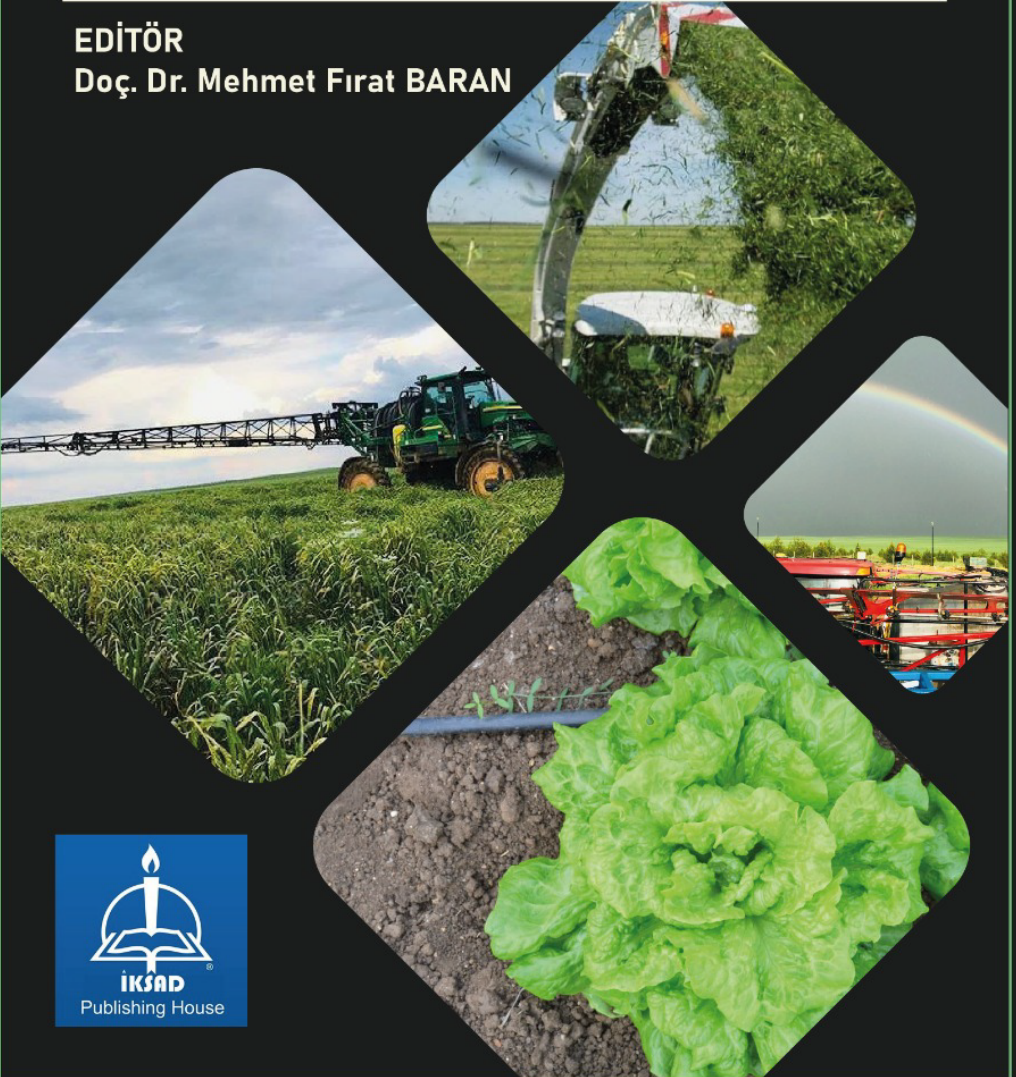
# BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ AKADEMİK ÇALIŞMALARI

I

(ACADEMIC STUDIES IN BIOSYSTEM  
ENGINEERING-I)

EDİTÖR

Doç. Dr. Mehmet Fırat BARAN



İKSAD  
Publishing House

# BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ AKADEMİK ÇALIŞMALARI I

## (ACADEMIC STUDIES IN BIOSYSTEM ENGINEERING-I )

EDİTÖR

Doç. Dr. Mehmet Fırat BARAN

### YAZARLAR:

Prof. Dr. Banu YÜCEL  
Prof. Dr. Zehranur YÜKSEKDAĞ  
Doç. Dr. Ahmet Konuralp ELİÇİN  
Doç. Dr. Ferhat ÖZTÜRK  
Doç. Dr. Hatun BARUT  
Doç. Dr. Osman GÖKDOĞAN  
Dr. Öğr. Üyesi Cihan DEMİR  
Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DUMANOĞLU  
Dr. Öğr. Üyesi Zekiye ŞENGÜL  
Dr. Öğr. Üyesi Aytaç MORALAR

Dr. Sait AYKANAT  
Dr. Ethem İlhan ŞAHİN  
Öğr. Gör. Dr. Berat ÇINAR ACAR  
Arş. Gör. Seyit UĞUZ  
İnşaat Müh. Ruken KONUK  
Mak.Yük.Müh. Sercan AKIN  
Ziraat Müh. Zeynep OBUT  
Ziraat Müh. Nurullah DEMİR  
Ziraat Müh. Mehmet FİDAN  
Ziraat Müh. Gülcan ÜREN



Copyright © 2022 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)

TURKEY 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. The first degree responsibility of the works in the book belongs to the authors.

Iksad Publications – 2022©

**ISBN: 978-625-6955-97-4**

Cover Design: Büşra ÖZTOPRAK, Mehmet Fırat BARAN

December/ 2022

Ankara / Turkey

Size = 16x24 cm

## İÇİNDEKİLER

### ÖNSÖZ

Doç. Dr. Mehmet Fırat BARAN.....1

**EDİTÖR ÖZGEÇMİŞİ.....2**

### BÖLÜM 1

#### **TARLA TARIMINDA SIRTA EKİM YÖNTEMİ VE ÜLKEMİZDEKİ BAŞLICA ÖRNEKLERİ**

Dr. Sait AYKANAT

Doç. Dr. Hatun BARUT .....3

### BÖLÜM 2

#### **HAYVANSAL YAN ÜRÜN TEMELLİ BİYOGAZ ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ**

Doç. Dr. Ahmet Konuralp ELİÇİN

Doç. Dr. Ferhat ÖZTÜRK .....33

### BÖLÜM 3

#### **SÜRDÜRÜLEBİLİR DİKEY TARIM KAVRAMI**

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DUMANOĞLU.....71

### BÖLÜM 4

#### **BAZI TAHIL SAP ATIKLARININ ENERJİ DEĞERLERİNİN ANALİZİ (DİYARBAKIR İLİ ÖRNEĞİ)**

Doç. Dr. Ahmet Konuralp ELİÇİN

Doç. Dr. Ferhat ÖZTÜRK .....83

## **BÖLÜM 5**

### **TÜRKİYE’NİN MARDİN İLİ TARIMINDA MAKİNE KULLANIM PROJEKSİYONU**

Doç. Dr. Osman GÖKDOĞAN

Dr. Öğr. Üyesi Cihan DEMİR.....101

## **BÖLÜM 6**

### **SUSAM (*Sesamum indicum*) BİTKİSİNDE SULAMA ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Ziraat Müh. Mehmet FİDAN

Ziraat Müh. Zeynep OBUT

Ziraat Müh. Nurullah DEMİR

Ziraat Müh. Gülcan ÜREN

İnşaat Müh. Ruken KONUK.....117

## **BÖLÜM 7**

### **HASSAS ARICILIK TEKNOLOJİLERİ**

Prof. Dr. Banu YÜCEL

Dr. Öğr. Üyesi Zekiye ŞENGÜL .....135

## **BÖLÜM 8**

### **PLAZMA TEKNOLOJİSİ VE BİYOTEKNOLOJİDE UYGULAMA ALANLARI**

Prof. Dr. Zehranur YÜKSEKDAĞ

Öğr. Gör. Dr. Berat ÇINAR ACAR .....155

## **BÖLÜM 9**

### **TÜRKİYE’NİN MARDİN İLİNİN MEKANİZASYON DURUMU**

Dr. Öğr. Üyesi Cihan DEMİR

Doç. Dr.. Osman GÖKDOĞAN.....199

## **BÖLÜM 10**

### **TARIM MAKİNALARINDA KULLANILAN KARDAN ŞAFTLAR VE ARIZA ÇEŞİTLERİ**

Dr. Öğr. Üyesi Aytaç MORALAR

Mak.Yük.Müh. Sercan AKIN.....215

## **BÖLÜM 11**

### **YAPAY ZEKA UYGULAMALARININ TARIM SEKTÖRÜNE UYGULANABİLİRLİĞİ**

Dr. Öğr. Üyesi Aytaç MORALAR.....237

## **BÖLÜM 12**

### **0-8 GHz UYGULAMALAR İÇİN Kaolinit/PANI/Kolemanit KOMPOZİTLERİN ELEKTROMANYETİK EKLANLAMA ÖLÇÜMLERİ**

Dr. Ethem İlhan ŞAHİN..... 249

## **BÖLÜM 13**

### **SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMSAL MEKANİZASYON**

Dr. Öğr. Üyesi Zekiye ŞENGÜL .....265

**CHAPTER 14**

**BIOLOGICAL TREATMENT OF AIR POLLUTANTS FROM  
ANIMAL BARN OPERATIONS: PHOTOBIOREACTOR SYSTEMS**

Araş.Gör. Seyit UĞUZ.....285

## ÖNSÖZ

Teknolojik gelişme ve artan beklentiye paralel olarak, biyolojik ürünler ve materyaller, bitkisel ve hayvansal üretimin etkileşim içindedirler. Aslında teknolojinin yeni mühendislik alanlarına ve tarıma girişinin bir amacı da budur. Bu etkileşim sonucunda, özellikle tarımsal üretimdeki ürün miktarının ve kalitesinin artırılması için biyoloji bilimi önem kazanmıştır. Bitkisel ve hayvansal üretimde, yeni teknolojilerin öne çıkması tarımda hızlı teknoloji kullanılması, makineleşmenin artması, üründeki hasat sonrası işlemler, çevre teknolojisi ve sulu tarım vb. yeni oluşumların beklentisi göz önüne alındığında, mühendisliğin ve tarımsal yüksek öğretimin temelinden doğan ve gelişen yeni bir disiplin ortaya çıkmıştır. Bu yeni ve geniş alanı tanımlamak için yeni bir isim ve yapılanmaya gerek olduğu giderek artan bir şekilde kabul görmüştür. Bu yeni disipline “Biyosistem Mühendisliği” tanımı uygun görülmüştür. Biyosistem mühendisliği, mühendislik bilimi ve tasarımının biyoloji, çevre ve tarım bilimleriyle bütünleştirildiği bir mühendislik disiplini dir. Temel bilimlerden fizyoloji, fizik, kimya, biyokimya, biyolojinin yanı sıra; Arazi ve Su Kaynakları, Tarım Makinaları ve Teknolojileri, Tarımsal Yapılar ve Sulama, Tarımsal Makine Sistemleri, Tarımsal Yapılar, Tarımsal Enerji Sistemleri, Tarımsal Sulama Sistemleri, Biyosistem Mühendisliği ile ilgili bilim dallarıdır. Bu kitapta biyosistem mühendisliği ile ilgili yapılan akademik çalışmalara yer verilmiştir.

Aralık, 2022

**Doç. Dr. M. Fırat BARAN**





**Doç. Dr. Mehmet Fırat BARAN**

1993 yılında Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'ne girdi ve aynı bölümden 1997 yılında dönem birincisi olarak mezun oldu. Yüksek lisans eğitimini 2000 yılında Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümünde, Doktora eğitimini 2010 yılında Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri bölümünde tamamladı. 1998-2000 yıllarında Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalıştı. Türkiye Cumhuriyeti Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığında Tarımsal Araştırma ve Politikalar Genel Müdürlüğünde 13 yıl Araştırmacı mühendis ve Bölüm başkanı olarak çalıştı. 2013-2019 yılları arası Adıyaman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde Dr. Öğretim üyesi olarak çalıştı. 2018 yılında Doçent unvanını aldı. Şu anda Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği bölümünde Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Tarımda enerji kullanımı, tarımsal mekanizasyon konularında ulusal ve uluslararası yayınlanmış birçok eseri bulunmaktadır. Evli iki çocuk babasıdır.

## BÖLÜM 1

### TARLA TARIMINDA SIRTA EKİM YÖNTEMİ VE ÜLKEMİZDEKİ BAŞLICA ÖRNEKLERİ

Dr. Sait AYKANAT<sup>1</sup>

Doç. Dr. Hatun BARUT<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>\* [saitaykanat@hotmail.com](mailto:saitaykanat@hotmail.com), Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü  
Müdürlüğü,

ORCID1: 0000-0002-5690-408X

<sup>2</sup> [baruthatun@yahoo.com](mailto:baruthatun@yahoo.com) , Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü,

ORCID2: 0000-0003-2482-6715

\*Sorumlu Yazar: [saitaykanat@hotmail.com](mailto:saitaykanat@hotmail.com)



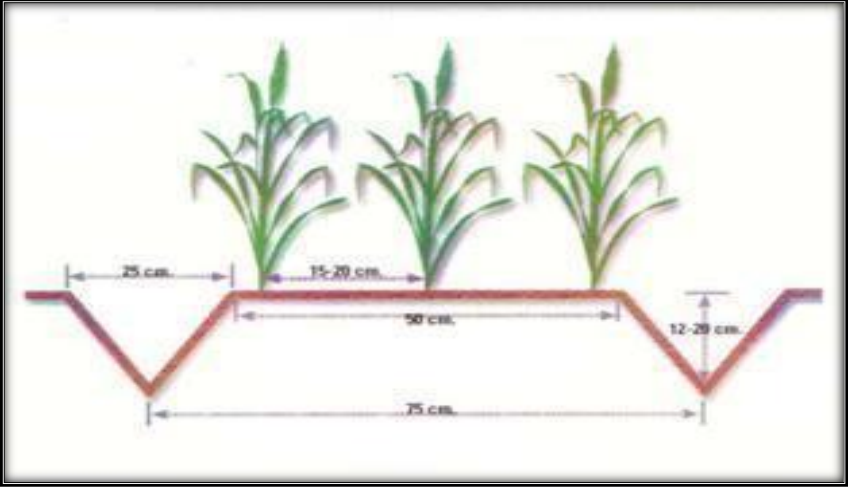
## GİRİŞ

Toprak işleme; tarımsal faaliyetlerin ilk aşamasıdır. Enerji kullanılarak bitkilerin istekleri doğrultusunda toprak parçacıklarının yerinin değiştirilmesi anlamına gelmektedir. Toprak işlemenin amacı; toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmek, organik artıkları toprağa karıştırmak, yabancı otları öldürmek, tohum yatağı hazırlamak, toprak kabartılması, toprağın su tutma kapasitesini arttırmak vb. gibi flora ve faunada yer alan mevcut biyoçeşitliliğin korunması esasına dayanmaktadır (Önal,1995; Aykas ve Önal, 1999). Farklı etkiye sahip toprak işleme aletlerinin kullanımına bakılarak farklı toprak işleme sistemleri ifade edilebilmektedir. Toprak işleme yöntemlerini iki ana başlıkta toplamak mümkündür; bunlar geleneksel toprak işleme ve korumalı toprak işleme yöntemleridir.

Geleneksel toprak işleme; ürün artıklarının derin işlenerek en az % 85'nin toprağa karıştırıldığı ve dolayısıyla % 15'nin ise toprak yüzeyinde bırakıldığı yöntemlerdir. Son zamanlarda, dünyada ve Türkiye'de geleneksel toprak işleme yöntemlerinde değişiklikler yapılmaya başlanmıştır. Geleneksel toprak işlemenin yerine geçebilecek koruyucu toprak işleme ve özellikle doğrudan ekim yöntemleri daha çok ilgi görmektedir. Geleneksel toprak işlemeye göre tarla trafiğini önemli ölçüde azaltan koruyucu toprak işleme yöntemlerinden anıza ekim yerine azaltılmış toprak işlemeli ekim ve sırta ekim yöntemleri daha yaygın olarak tercih edilmeye başlanmıştır.

Tarımsal faaliyetlerde üretim maliyetlerinin azaltılması ve gelecek nesiller için toprakların verimliliğinin korunması, dünyada ve ülkemizde son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır. Bu konuda yapılan araştırmalarda değişik yaklaşımlar söz konusudur. Bunlardan son yıllarda üzerinde en fazla durulan konulardan birisi anıza doğrudan ve sırta ekim yöntemleridir. Karasal iklimin hakim olduğu yerlerde buğdayın sırta ekimi, bazı avantajları sebebiyle dünyada çok daha fazla uygulama alanı bulmuştur. Bu metoda göre; değişik yükseklik ve genişliklerde sırtlar oluşturulmaktadır. Sırta ekim yönteminde daha çok karık usulü sulama yapılmaktadır. Sırt genişliği daha sonra ekilecek ürüne göre ayarlanmakta ve oluşturulan sırtların üzerine değişik sıralarda ekimler gerçekleştirilmektedir (Aquino ve ark.i 1998).

Sırta ekim yönteminin ilk olarak M.S. Birinci yüzyılda kuzeyden Yucatan ve körfez bölgesine göç eden mayalar tarafından geliştirildiği ve Meksika'nın değişik bölgelerinde değişik metotlarla uygulanmaya başlandığı bildirilmektedir. 1980'li yıllardan bu yana CIMMYT 'te K.D. Sayre'nin liderliğinde yapılan sırta ekim çalışmalarında büyük başarılar elde edilmiştir. Halen günümüzde sırta ekim sistemleri Meksika'da % 80 oranlarında kullanılmaktadır (Limon-Ort ve ark., 2001). Ülkemizde; buğdayın sırta ekimi, 75 cm ara ile oluşturulan sırtlar üzerine özel tahıl sırta ekim makinesiyle 20 cm ara ile iki sıra veya 15 cm ara ile üç sıra buğday ekilmesi esasına dayanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Sırta Ekim Yöntemi

Daimi sırta ekim tekniğinin entansif tarımda geçici bir olgu olmadığı, aksine belli yararları ile ekonomik ve çevresel etkileri nedeniyle yaygınlaştırılması gereken, çevreye duyarlı bir üretim tekniği olduğu öngörülmektedir.

Kurak geçen dönemlerde çiftçilere sulama alışkanlığının kazandırılması, daha verimli ve kaliteli bir ürün temini için son derece önemlidir. Bitkisel üretimde daha verimli olmak için topraktaki mevcut su rezervini iyi değerlendirilmek gerekir. Bu bağlamda son zamanlarda ilk önce Meksika'da olmak üzere ve dünyanın birçok yerinde; ülkemizde de sulama kolaylığı sağladığı için Güneydoğu Anadolu bölgesinde sırta ekim yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Sırta ekimin değişik avantajları nedeniyle Samsun, Konya ve Adana illerinde yapılan denemelerde de buğdayda farklı sırta ekim teknikleri araştırma konusu olmuştur. Yapılan bu araştırmalarda sırta ekim yönteminin geleneksel ekim yöntemine göre ekim normundan % 40 civarında

tasarruf sağlaması, buğdayda yatmanın önlenmesi, tarla trafiğinin düzenlenmesi, çıkış parametrelerinin iyi olması, sulama kolaylığı ve etkinliği gibi önemli faydaları görülmüştür (Sayre ve ark., 1997; Kabakçı 1999). Güneydoğu Anadolu Bölgesinde gerçekleştirilen buğdayın sırta ekim yönteminde başaklanma ve süt olum dönemlerinde etkin bir sulama yapılabilmesi ve buğday hasadından sonra daimi sırtlara zaman kaybetmeden ve toprak işlemeye gerek duyulmadan mısır, ayçiçeği ve soya fasulyesi gibi ikinci ürün ekilebilmesi mümkün olmuştur (Kılıç,2007).

Özellikle daimi sırtlar toprağın kimyasal, fiziksel ve biyolojik yapısının iyileşmesine imkan sağlar. Ayrıca; daimi sırtların koruyucu toprak işleme yöntemlerinden birisi olduğu ve tarla trafiğini de azaltarak mazottan ve işçilikten de tasarruf sağladığı bilinmektedir. Tüm bu amaçlara yönelik ülkemizin değişik lokasyonlarında hem akademik hem de çiftçi koşullarında sırta ekim yönteminin etkilerinin belirleyebilmek için birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada değişik coğrafi bölgelerde yürütülen bazı sırta ekim çalışmalarının sonuçlarından bahsedilerek; tarla tarımı içerisinde sırta ekim yönteminin önemine vurgu yapılmak istenmiştir.

- **Ülkemizde Gerçekleşen Başlıca Sırta Ekim Çalışmaları**

Dok ve ark., 2006 ve 2007 yıllarında Amasya ilinde buğday tarımında düze ve sırta ekim olmak üzere iki farklı ekim yöntemini kıyaslamışlardır. 9 farklı ekmeklik buğdayda gerçekleştirdikleri bu çalışmalarında; buğdayın bazı agronomik özelliklerini düze ekim yönteminde sırta ekim yöntemine göre daha düşük bulmuşlardır. Bu özellikler; bitkinin boyu, başağın uzunluğu, tek başakta dane sayısı ve

1000 dane tohum ağırlığı değerleridir. Birim alanda başak sayısı, hektolitre ağırlığı ve verim değerlerinin ise düze ekim yönteminde sırta ekim yöntemine göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. İki farklı ekim yöntemleri açısından bu özellikler arasındaki farkları istatistiki olarak önemli bulmuşlardır. Verim açısından ise düze ekim yönteminin; 685.4 kg/da değeriyle sırta ekim yöntemine göre çok az bir farkla (5.5 kg) önde yer aldığını saptamışlardır.

Karadeniz'in iç geçit bölgesinde yürüttükleri bu çalışmalarında buğday tarımında sırta ekim yönteminin (70 cm) geleneksel ekim yöntemine alternatif olamayacağı, ikinci ürün tarımsal faaliyetlerinde zaman ile yakıt tüketiminden tasarruf sağlayacağı ve mümkünse de buğday tarımında daha geniş sırtlarda (140 cm) çalışılmasının gereği üzerinde durmuşlardır (Şekil 2). Özellikle de buğdayda sırta ekim yönteminin daimi sırt olarak II. ürüne entegre edilmesinde yarar olduğunu belirtmişlerdir.





Şekil 2. Karadeniz Bölgesinde dar (70 cm) ve geniş (140 cm) sırta ekim yöntemleri

Çıkman ve ark., 2011 ve 2017 yılları arasında uygulanan bu çalışma; Harran ovasında yer alan GAP Toprak-Su Kaynakları ve Tarımsal Araştırma Enstitüsünün Koruklu Talat Demirören Araştırma İstasyonunda yürütülmüştür. Çakılı bir deneme olarak başladıkları bu çalışmayı; 5 konulu bir tesadüf blokları deneme deseninde 3 tekrarlı olarak tamamlamışlardır. Denemede uyguladıkları çalışma konularını aşağıdaki şekilde belirlemişlerdir;

- ▶ **1. Konu-** Ana ürün ve ikinci ürün toprak işlemez ekim yöntemi
- ▶ **2. Konu-** Ana ürün toprak işlemeli ikinci ürün toprak işlemez anıza doğrudan ekim yöntemi
- ▶ **3. Konu-** Ana ürün toprak işlemez ikinci ürün toprak işlemeli ekim yöntemi
- ▶ **4. Konu-** Ana ürün ve ikinci ürün toprak işlemeli ekim yöntemi
- ▶ **5. Konu-** Daimi sırta doğrudan ekim yöntemi

Çalışmanın birinci yılında mısır yönünden en iyi verim sonucunu 2. konu olan ana ürün toprak işlemeli ikinci ürün toprak işlemez anıza doğrudan ekim yönteminden elde etmişlerdir. Çalışmalarında parsel verimlerinin 8572 ile 11326 kg/ha arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Denemenin ortalama verim değerinin ise 9626 kg/ha olduğunu tespit etmişlerdir. En düşük verim değerinin ise 3. çalışma konusu olan ana ürün toprak işlemez ikinci ürün toprak işlemeli ekim yöntemi olduğunu vurgulamışlardır. 3. çalışma konusunda ortalama verim değerini; birinci yıl itibarıyla 6975 kg/ha olarak saptamışlardır.

Savaşlı ve ark., 2005 ve 2007 yılları arasında Eskişehir’de yürüttükleri bir çalışmada, sırta ekim, düze doğrudan ekim ve geleneksel ekim yöntemleriyle ikili münavebenin verim üzerine etkilerini araştırmışlardır. Tesadüf bloklarında bölünmüş parseller deneme desenine göre yürüttükleri bu çalışmada; ana parsellere bitki türlerini, alt parsellere ise ekim yöntemlerini yerleştirmişlerdir. Buğday hasadından yazlık ürünlerin doğrudan ekiminde ise pnömatik ekim makinası kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda verim

açısından ekim yöntemleri arasında istatistiki olarak önemli bir farkın oluşmadığını belirtmişlerdir.

Elde ettikleri bulgulara göre, yazlık ürünlerin ekimlerinde düze doğrudan ekim ve sırta doğrudan ekimlerin mevcut pünomatik ekim makinaları ile sorunsuz olarak yapılabileceğini tespit etmişlerdir. Ayrıca; ayçiçeği, mısır ve fasulye anızı üzerine doğrudan buğday ekimlerinde ise mekanizasyon ve ekici ayaklar konusunda çalışmalara ihtiyaç olduğu belirtmişlerdir.

Karaağaç, 2006 yılında Adana ilinde ikinci ürün koşullarında silajlık mısır tarımında geleneksel toprak işleme ile korumalı toprak işleme ve ekim sistemlerinin teknik yönden karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma; Yüreğir ilçesinde yer alan Hacıali İşletmesinde yürütülmüştür. Korumalı toprak işleme ve ekim sistemi olarak; azaltılmış, şeritsel, sırta ve doğrudan ekim yöntemleri uygulanmıştır. Çalışmada yakıt tüketimi, zaman tüketimi, iş verimi, bitki çıkış yüzdesi, çimlenme oranı indeksi, bitki çıkış süresi, mısır yeşil ot verimi, bitki boyu, boşluk oranı, ikizlenme oranı, kabul edilebilir bitki aralığı oranı, toprak penetrasyon direnci, toprak nem içerikleri, yabancı ot durumları tespit edilmiştir. Ayrıca sırta doğrudan ekim yönteminin mısır bitkisinin verim değerlerinde kısmen de olsa verim düşüklüğüne sebep olduğunu ancak yapılan ekonomik analizde sırta ekim yönteminin daha karlı olduğu tespit etmişlerdir (Uçak ve ark., 2016a; Uçak ve ark.,2016b, Uçak ve ark.,2022).

Yaptığı değerlendirmeler sonucunda silajlık mısırdaki en yüksek yeşil ot veriminin azaltılmış toprak işleme yönteminde; en düşük verim

değerinin ise şeritsel toprak işleme yönteminde olduğunu tespit etmiştir. Yakıt tüketimi bakımından en düşük ve iş verimi açısından ise en yüksek değer doğrudan ekim yönteminde olduğunu tespit etmiştir. Doğrudan ekim yönteminin yakıt tüketimi zaman tüketimi ve iş verimi açısından diğer ekim yöntemlerine göre yaklaşık % 85-92 aralığında tasarruf sağladığını belirtmiştir.

Kabaş ,2015 yılında Antalya ilinde yürütülen bu çalışmada II. ürün soya koşullarında 4 farklı toprak işleme ve ekim yöntemleri (*Doğrudan Ekim, Sırtta Ekim, Azaltılmış ve Geleneksel*) incelenmiştir. Uygulanan farklı toprak işleme ve ekim yöntemlerinin II. ürün soya veriminde istatistikî olarak % 1 önem seviyesinde önemli farklılıklara sebep olduğunu vurgulamıştır. Doğrudan ekim yönteminde en düşük (282,28 kg/da) ve geleneksel ekim yönteminde ise en yüksek verim (374,04 kg/da) değerlerinin olduğunu saptamıştır.

Kabakçı 1999'da yürütülen bu çalışma Şanlıurfa ilinde makarnalık buğday için uygun ekim yöntemi ve ekim normunu belirlemek amacıyla yapılmıştır. Uygun ekim normunu belirlemek için; 10, 15, 20 ve 25 kg/da olmak üzere dört farklı tohum miktarı kullanmıştır. Ekim yöntemleri olarak ta geleneksel ekim yöntemi olan düze ekim, sırtta ekim ve serpme ekimden sonra sırt oluşturma yöntemlerini çalışmıştır. Kuru ve sulu şartlarda ise birim alandaki bitki sayısı, başak sayısı, başakta dane verimi, bindane ağırlığı ile dane verimi değerlerini incelemiştir.

Kuru şartlarda geleneksel düz ekim yönteminden en fazla birim alanda bitki sayısı, birim alanda başak sayısı ve dane verimi değerlerini elde

etmiştir. Bindane ağırlıklarında ise her üç ekim yönteminde de istatistiki olarak önemli bir farkın oluşmadığını belirtmiştir. Sırtta yapılan ekimlerde de ekim+sırt oluşturma yöntemi ile sırtta ekim yöntemi arasında önemli bir farkın çıkmadığını belirtmiştir. Ekim normu için uyguladığı farklı tohum miktarlarında ise dekara uygulanan tohum miktarı arttıkça birim alandaki bitki sayısının arttığını ancak bindane ağırlığı ve başak veriminin azaldığını ve buna bağlı olarak da verimde fark oluşmadığını belirtmiştir.

Kılıç ve ark. 1999. Ülkemizde gittikçe önem kazanan sırtta ekim sisteminin 1999 yılından itibaren Güneydoğu Anadolu bölgesi sulanır şartlarında buğday tarımında araştırmalara konu olduğunu belirtmişlerdir. Söz konusu sistemin esasının 70 cm genişliğindeki sırtların üstüne 2-3 sıra buğday ekimine dayandığını vurgulamışlardır. Yaklaşık olarak 10 kg/da tohumun kullanıldığı bu sistemde tarla trafiğinin düzenli kullanımı, sulama suyu yönetiminde kolaylık ve tasarrufu, bitki kök hastalıklarının kontrol altına alınması, süne ile mücadelede yer aletlerinin kullanımına imkan tanınması ve ağır topraklarda bitkilerde su kesmesinin önlenmesi gibi faydaları nedeniyle uygulamada başarılı sonuçların elde edildiğini saptamışlardır. Bu sistemin en fazla uygulandığı ürünlerin başında buğday gelmekle birlikte pamuk, nohut, kolza ile II ürün olarak mısır, soya ve ayçiçeğinde de başarıyla ekilebileceğini tespit etmişlerdir. Özellikle pamuk+buğday ekim nöbetinde pamuk sonrası daimi sırtlara yapılan doğrudan ekim ile birlikte girdilerin azaltılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca buğday sonrası sırtlara ekimi yapılabilen II.ürün mısırdaki da benzer faydaların sağlandığını vurgulamışlardır. Bugüne kadar

yürütülen araştırmalar ışığında ve çiftçi şartlarında kurulan demonstrasyonlarda sırta ekim sisteminin Güneydoğu Anadolu Bölgesi sulanır şartlarında başarı ile uygulanabileceğini tespit etmişlerdir.

Pamuk tarımında sırta ekim yönteminde geleneksel üretim şekli olan düze ekime göre çıkış yüzdeleri yönünden daha olumlu neticelerin alındığını tespit etmişlerdir. Özellikle mantar başta olmak üzere pek çok hastalık ve zararlıya yataklık yapabilecek nem düzeyinin sırta ekim yönteminde daha düşük çıktığını belirtmişlerdir. Buna göre, taban suyu seviyesi yüksek olan pamuk üretim alanlarında, ekim öncesi toprak hazırlığında mutlak sırt yapmanın bitki kök bölgesi için daha sağlıklı olacağını vurgulamışlardır.

Kara ve ark. , II. Ürün soya tarımında Tarsus'ta yürütmüş oldukları bir TAGEM projesinde daimi sırta anıza ekim koşullarında ekici ayaklara negatif kontrol hariç 6,66 - 7,38 - 8,10 ve 8,81 N/cm<sup>2</sup> olmak üzere 4 farklı bası yükleri uygulamışlardır. II. Ürün mısır anızı üzerine ana ürün soya ekiminde yapmış oldukları bu çalışmalarında verim açısından kontrol konusunda 241,06 kg/da olmak üzere bası yüklerinde ise sırasıyla 210,08 - 213,86 - 238,41 ve 225,64 kg/da verim elde etmişlerdir. Uygulama konuları arasında verim değerleri açısından istatistiki olarak önemli bir farkın çıkmadığını bildirmişlerdir.

Aykanat tarafından 2007 yılında yürütülen bu çalışmada Adana ilinde buğday tarımında uygulanan geleneksel toprak işleme ile korumalı toprak işleme ve ekim sistemlerinin teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çukurova Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Hacıali İşletmesinde yürüttüğü bu çalışmasında;

düze ekim yönteminin yanında sırta ve doğrudan ekim olmak üzere 3 farklı ekim yöntemlerini kıyaslamıştır. Sırta ekim yönteminde sırt listeri ve sırt tapanı aletleri ile sırta ekim makinasını kullanmıştır (Şekil 3). Çalışmasında önemli olan bazı toprak (*nem içeriği, porozite ve hacim ağırlığı*), makine değerleri (*yakıt tüketimi, zaman tüketimi, iş verimi*) ve çıkış parametreleri (*çimlenme yüzdesi, çimlenme oranı indeksi, çıkış süresi*) yanında agronomik (*verimi, bitki boyu, biyolojik verim, sap verimi, hasad indeksi, başak sayısı, bin dane ve hektolitre ağırlığı*) özellikleri de incelemiştir. Ayrıca elde ettiği verim sonuçlarını da ekonomik analize tabi tutmuştur.



Şekil 3. Sırta ekimde kullanılan alet ve makinalar

Yaptığı araştırmanın sonucunda en yüksek buğday veriminin düze ekim yönteminde ve en düşük buğday veriminin ise sırta II sıra ekim yönteminde olduğunu belirtmiştir. Ekim yöntemleri arasında zaman ve yakıt tüketimi açısından en düşük ve iş verimi açısından ise en yüksek değer doğrudan ekim yönteminde olduğunu tespit etmiştir. Doğrudan

ekim yönteminin makine değerleri açısından diğer yöntemlere göre yaklaşık % 81-86 arasında tasarruf sağladığını vurgulamıştır.

Yavuz (19), tarafından yürütülen bu çalışma Şanlıurfa koşullarında sırta ekim metodunda tohumluk ve gübre kullanımındaki tasarrufun bazı tarımsal karakterlere etkisini belirlemek için yapılmıştır. Tarla denemelerini; 2006 ve 2007 üretim sezonlarında Koruklu'da yer alan GAP Eğitim ve Yayım Araştırma Merkezi istasyonunda yürütmüştür. Tarla denemelerini, tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak gerçekleştirmiştir. Deneme konuları olarak; geleneksel ekim, sırta ekim, sırta ekim yönteminde % 10-20-30 ve 40 olmak üzere 4 farklı girdi tasarrufu uygulamalarını incelemiştir.

Yaptığı istatistik analizleri sonucunda geleneksel ekimin sırta ekime göre daha verimli (528.8 kg/da), tam uygulamalı sırta ekim yönteminin geleneksel ekimin verimine yaklaşan bir uygulama olduğunu (407.4 kg/da) belirtmiştir. Sırta ekim yönteminde girdi tasarrufunun ölçülen karakterler üzerine etkisinin çıkmadığını saptamıştır. Yaptığı ekonomik analiz sonucunda da geleneksel ekim yönteminin, kendisine en çok yaklaşılan % 20 tasarruflu sırta ekim yöntemine göre 53 YTL/da daha karlı olduğu tespit etmiştir.

Ertekin, tarafından yürütülen bu çalışmada, farklı ekim sıklıklarının sırta ekim yönteminde yetiştirilen makarnalık buğdayda verim ve verim unsurları üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Dicle Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü tarafından geliştirilmiş ve tescile sunulmuş bir ileri buğday hattını (DÜZF-Hat 299) tohumluk materyali olarak kullanmıştır. Çalışmasında, sırtların üzerine 2 sıra olacak şekilde ekim sıklığını birim alana 50, 100, 150,



200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600 ve 650 adet/m<sup>2</sup> tohum düşecek şekilde planlamıştır.

Arazi çalışmasını, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak sulu koşullarda yürütmüştür. Temel gübreleme programını 8 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/da ve 15 kg N/da düşecek şekilde tamamlamıştır. Denemenin sulamasını, yağış durumuna ve ihtiyaca göre 3 kritik dönemde (*kardeşlenme-sapa kalkma, başaklanma ve süt olum dönemlerinde*) gerçekleştirmiştir. Tahıllarda, birim alandaki verimi doğrudan etkileyen üç faktör olan birim alandaki başak sayısı, başakta tane sayısı ve başaktaki tane ağırlığı bakımından incelendiğinde 600 tohum/m<sup>2</sup> (başak sayısı:320.3 adet/m<sup>2</sup>, başaktaki tane sayısı:41.80 adet/başak, başaktaki tane ağırlığı:1.53 g/başak) ekim sıklığının sırta ekim yönteminde sulu koşullarda makarnalık buğday için en uygun ekim sıklığı olduğu, bunu 550 tohum/m<sup>2</sup> (başak sayısı:345.3 adet/m<sup>2</sup>, başaktaki tane sayısı:46.20 adet/başak, başaktaki tane ağırlığı:1.71g/başak) ekim sıklığının izlediği saptamıştır.

Süzer ve Demir, tarafından yürütülen bu araştırma, Edirne’de sulu koşullarda ayçiçeği-buğday ekim nöbetinde, sırta ekim sistemi içerisinde en uygun ekim normunun belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Denemelerini, 2005 ve 2008 yılları arasında Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü arazisinde tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütmüşlerdir. Uygulama konuları olarak beş ayrı tohum miktarını; 100, 200, 300, 400 ve 500 tohum/m<sup>2</sup> denemeye almışlardır. Tohumluk materyali olarak pehlivan kışlık ekmeklik buğday çeşidini kullanmışlardır. Bu çalışmada dane verimi, bitki boyu, başak uzunluğu, başak ile başakta dane sayısı, bin dane ve hacim

ağırlığı değerlerini incelemişlerdir. Yaptıkları ekonomik analiz sonucunda, ayçiçeği-buğday ekim nöbetinde kışlık ekmeclik buğday pehlivan çeşidinin sırta ekim yönteminde en uygun tohum miktarının 300 tohum/m<sup>2</sup> (12 kg/da) olduğunu ve 555.6 kg/da dane verimi sağladığını belirtmişlerdir. Pehlivan çeşidinde sırta uygulanan ekim normları ile verim arasındaki ilişkiyi belirlemek için regresyon analizi yapmışlardır. Yaptıkları regresyon analizi sonucunda quadratik etkinin istatistiki olarak  $R=0.56$  katsayısı ile önemli ( $P\leq 0.01$ ) çıktığını belirtmişlerdir. Elde edilen  $Y=388.76+0.936x-0.0015x^2$  eşitliğine göre optimum ekim sıklığının 312 adet/m<sup>2</sup> olduğunu tespit etmişlerdir.

Altuntaş ve Dede , tarafından yürütülen bu çalışmada, Tokat yöresinde ikinci ürün silajlık mısır tarımında geleneksel toprak işleme ve azaltılmış toprak işleme yöntemleri ile düze ve sırta ekim yöntemlerinin toprağın bazı fiziksel özelliklerine, (*toprak nem içeriği, hacim ağırlığı ve penetrasyon direnci*), bitki çıkış (*ortalama çimlenme süresi, çimlenme oranı indeksi ve tarla filiz çıkış derecesi*) ve bitki gelişme parametreleri (*bitki boyu, bitki sap çapı, yeşil ot ve kuru madde verimi*) üzerine etkileri incelenmiştir. Nem içeriği, hacim ağırlığı ve penetrasyon değerlerinin, 0-10 cm derinlikte, % 24,39-% 25,42; 1,24-1,33 g/cm<sup>3</sup> ve 0,58–1,18 MPa arasında, 10-20 cm derinlikte ise % 25,65- % 25,95; 1,25–1,34 g/cm<sup>3</sup>; 0,95–1,60 MPa arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bitkisel özellikler açısından, OÇS, ÇOI ve TFÇD değerlerinin de sırasıyla, 12,80-12,85 gün, 0,34–0,35 adet/m.gün ve % 86,11-88,61 arasında bulunduğunu tespit etmişlerdir. Bitki boyu, gövde çapı, yeşil ot ve kuru madde verimlerinin de sırasıyla 244,7-266,2 cm; 2,9-3,1 cm; 7525,9–7580,8 kg/da ve 1523,4–1534,4 kg/da arasında

değiştirdiği saptamışlardır.

Elde ettikleri bulgulara göre, toprak nemi, hacim ağırlığı ve penetrasyon değerlerinin geleneksel yöntemlere göre, azaltılmış toprak işleme yönteminde daha yüksek, fakat sırta ekim yönteminde düze ekime göre daha düşük düzeyde olduğunu belirtmişlerdir. Toprağın derinliği arttıkça nem ve hacim ağırlığı değerlerinin de arttığını saptamışlardır. Çıkış parametreleri açısından ÇOI ve TFCD değerlerinin düze ekim yöntemine göre azaltılmış toprak işleme ve sırta ekim yöntemlerinde daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bitki boyu, gövde çapı, yeşil ot ile kuru madde verimi değerleri açısından da, düze ekim yöntemine göre azaltılmış toprak işleme ve sırta ekim yöntemlerinin daha yüksek değerler verdiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda azaltılmış toprak işleme ve sırta ekim yöntemlerinin ikinci ürün silajlık mısır tarımında uygulanabilir olduğuna karar vermişlerdir.

Yalçın ve ark., tarafından yürütülen bu çalışmada, dane ve silajlık amaçlı ikinci ürün mısır tarımında geleneksel üretim tekniğinin yanı sıra sırta ekim tekniğinin uygulanabilirliğinin saptanması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik her iki yöntem için de verim unsurlarını belirlemiş ve zaman tüketimi ve işgücü gereksinimleri açısından karşılaştırmalarını yapmışlardır. Çalışmalarında hem dane mısır hem de silajlık mısırdaki bitki boyu, koçan boyu, koçan çapı, koçanda dane sayısı ve verim özellikleri ile yöntemlere ilişkin işgücü gereksinimi ve iş başarısı değerlerini incelemişlerdir. İkinci ürün dane mısır üretiminde geleneksel ve sırta ekim yöntemleri arasında bitki boyu ve verim yönünden istatistiksel olarak önemli farklılıkların olduğunu belirtmişlerdir. İkinci ürün silajlık mısır üretiminde sırta

ekim yönteminin, koçan boyu ve koçan çapı yönünden benzer, diğer özellikler yönünden ise üstün olduğu ve verim yönünden önemli farklılıklar taşıdığı ortaya koymuşlardır. Toplam işgücü gereksinmesi değerleri açısından sırta ekim yönteminin daha avantajlı olduğunu ortaya çıkarmışlar ve ikinci ürün tarımında sırta ekim yönteminin kullanılabilir olduğunu vurgulamışlardır.

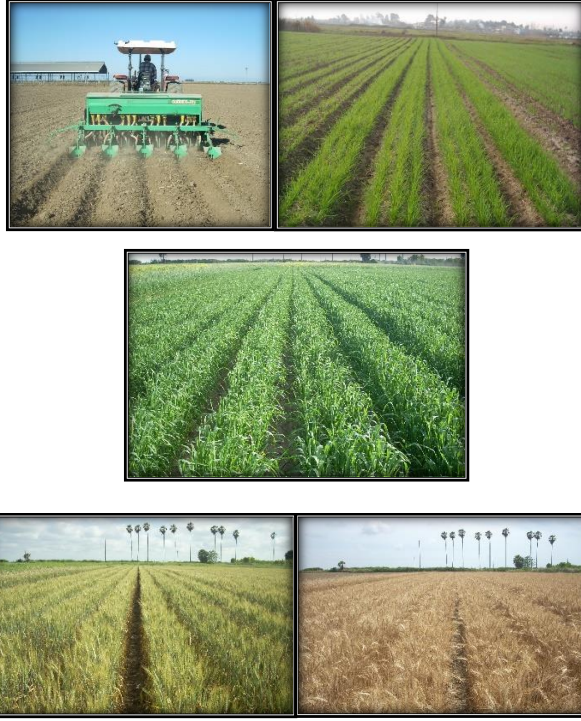
Kılıç , tarafından yürütülen bu çalışma bahar aylarında su taşkınlarına maruz kalan Muş ovasında drenajı zayıf alanlarda buğday tarımı arazilerinde su kesmesi zararını azaltmak amacıyla yapılmıştır. Uzun süre su altında kalan ekinlerde ciddi verim kayıplarının meydana geldiği bilinen bir gerçektir. Kısa süreli de olsa taban suyunun bitki kök bölgesine kadar ulaştığı bu tür arazilerde geleneksel düz ekime nazaran su kesmesi zararını en aza indiren sırta ekim sisteminin diğer birçok avantajlara da sahip olduğunu vurgulamıştır. Yaklaşık olarak 10 kg/da tohumun kullanıldığı bu sistemde tarla trafiğinin düzenli kullanımı, sulama suyu yönetiminde kolaylık, bitki kök hastalıklarının kontrol altına alınması, hastalık ve zararlılarla mücadelede yer aletlerinin kullanımına imkân tanınması sebebiyle uygulamada başarılı sonuçlar alındığını belirtmiştir. Taban suyunun yüzeye çıktığı bu tür bölgelerde sırta ekim sistemi ile sırtların üzerine ekilen bitkilerin su taşkınyından en az zararla kurtuldukları gibi göllenmiş suyun da karıklardan akıp gittiğini belirtmiştir.

Kabakçı (25), tarafından Aydın ilinde 2011 ve 2012 yılları arasında yürütülen bu çalışmada buğday+ikinci ürün pamuk münavebesinde geleneksel ekim yöntemine alternatif olabilecek koruyucu toprak işlemeli ekim yöntemlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kış

döneminde yetiştirilen buğday için düze ekim ile sırta ekim yöntemleri mukayese edilirken, ikinci ürün pamuk için ise azaltılmış toprak işlemeli ekim, doğrudan ekim, sırta ekim ve sırta doğrudan ekim yöntemleri mukayese edilmiştir.

Buğdayın sırta ekiminde sırta tahıl ekim makinesi kullanılmış, 70 cm ara sırtlar oluşturularak, her bir sırt üzerine üç sıra buğday ekimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Geleneksel ekim yönteminde ise çiftçinin tahıl ekim makinesi kullanılarak düze ekimler yapılmıştır. Ovaeymir lokasyonunda düze ekimden 730 kg/da ve sırta ekimden ise 750 kg/da buğday verimleri alınmıştır. Söke lokasyonunda drenaj sorunu olan tarlada düze ekimden 500 kg/da ve sırta ekimden ise 720 kg/da buğday verimleri alınmıştır. Drenaj sorunu olmayan tarlalarda yapılan düze ekimlerden de 750 kg/da buğday verimi elde edilmiştir.

İkinci ürün pamuk denemesinde Ovaeymir lokasyonunda azaltılmış toprak işlemeli ekimden 490 kg/da ve sırta doğrudan ekimden 503 kg/da kütlü pamuk verimi alınmıştır. Söke lokasyonunda 70 cm ara ile ekilen sırta doğrudan ekimden 350 kg/da, 76 cm ara ile yeniden yapılan sırtlara ekimden 400 kg/da ve geleneksel ekim yapılmış buğday anızına ekilen doğrudan ekimden 300 kg/da kütlü pamuk verimi alınmıştır.



Şekil 4. Buğdayda Sırta Ekim Yöntemi

Yıldırım ve ark. tarafından Diyarbakır ilinde yürütülen bu çalışmada sırta ekim yönteminde sulu koşullarda makarnalık buğdayın verim ve verim öğeleri üzerine farklı büyüme dönemlerinde azot gübrelemesinin etkileri araştırılmıştır. Azotlu gübrelemeyi tüm konularda 140 kg/ha oranında uygulamışlardır. Azot uygulamalarını; 5 farklı büyüme aşamasında (*ekim, fide büyümesi, erken kardeşlenme, sapa kalkma ve gebecik*) gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada, negatif kontrol (sıfır nitrojen) dahil olmak üzere toplam 13 farklı uygulama yapmışlardır.

Özetle, çalışılan parametrelerin en yüksek değerlerini %50 ekim + %50 ilk kardeşlenme ve %66 ekim + %33 erken kardeşlenme dönemi uygulamalarından elde etmişlerdir. Makarnalık buğday genotiplerinde

sırta ekim yönteminde sulu koşullar altında en yüksek verim değerleri; azot uygulama oranı ve zamanı olarak toplam azot miktarının % 50-60'ının ekimle birlikte ve geriye kalan miktarının ise erken kardeşlenme döneminde uygulanmasından elde etmişlerdir.

Avçin ve ark. tarafından Çukurova koşullarında 2006-2008 yılları arasında Adana ili Doğankent lokasyonunda buğdayın sırta ekimiyle alakalı ekim normu, ekim zamanı, çeşit ve azot dozu çalışmaları yapılmıştır (Şekil 5). Ekim zamanı, ekim normu ve azot dozu çalışmalarında Ceyhan-99 ekmeklik buğday çeşidi tohumluk materyali olarak kullanılmıştır. Sırta ekime en uygun çeşit tespitinde ise 6 farklı buğday çeşidi (*Karatopak, Osmaniyem, Adana-99, Ceyhan-99, Fuatbey-2000 ve Amanos-97*) kullanılmıştır. En uygun ekim zamanı çalışmasında; sırta 1 sıra, 2 sıra, 3 sıra ve düze ekim konularında optimum verim için en ideal ekim zamanları sırasıyla 16 Kasım, 19 Kasım, 18 Kasım ve 24 Kasım olarak belirlenmiştir. Yapılan regresyon analizi sonucunda en uygun azot dozu miktarı 14,4 kg N/da olarak belirlenmiştir. Ekim normu çalışmasında da 6 farklı tohum miktarı (50, 175, 300, 425, 550 ve 675 adet/m<sup>2</sup>) sırta 1 sıra, 2 sıra, 3 sıra ve düze ekim yöntemlerinde çalışılmıştır. En yüksek verimler; tüm ekim yöntemlerinde 445,52 adet/m<sup>2</sup> ekim normunda elde edilmiştir. Sırta ekim konularına en uygun çeşit tespitinde ise Adana-99 ve Amanos-97 genotipleri en uygun çeşitler olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Adana’da Sırta Ekim Çalışmaları

Yaşar ve ark. tarafından Güneydoğu Anadolu Bölgesi koşullarında pamuk-baklagil (Kırmızı mercimek, nohut) veya mısır-baklagil (Kırmızı mercimek, nohut) ekim nöbetinde, sırta ekim sisteminin uygulanabilirliği ve sırta ekimde en uygun tohum miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmada, Çağır kırmızı mercimek çeşidi ve Diyar-95 nohut çeşidi materyal olarak kullanılmıştır. Denemeler Tesadüf Blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak Enstitünün deneme alanında yürütülmüştür.

Araştırma kırmızı mercimek bitkisinde beş farklı ekim sıklığında (150, 200, 250, 300, 350 tohum/m<sup>2</sup>) geleneksel ekim ve sırta ekim şeklinde iki ayrı deneme, Nohut bitkisinde de beş farklı ekim sıklığında (30, 35, 40, 45 ve 50 tohum/m<sup>2</sup>) geleneksel ekim ve sırta ekim şeklinde iki ayrı deneme olmak üzere toplam 4 ayrı deneme şeklinde yürütülmüştür. 2010-2011 yetiştirme sezonunda elde edilen verilerin istatistikî analizleri yapılmıştır. Varyans analizi sonucunda tane verimi yönünden



uygulamalar arasındaki fark her iki bitkide de önemli bulunmuştur. Geleneksel olarak ekilen kırmızı mercimek denemesinden ortalama tane verimi 77.1 kg/da ve en yüksek tane verimi (93.6 kg/da) 300 tohum/m<sup>2</sup> ekilen parsellerden elde edilmiştir. Sırta ekim kırmızı mercimek denemesinden ise ortalama tane verimi 101.4 kg/da, en yüksek tane verimi (115.9 kg/da) 300 tohum/m<sup>2</sup> ekilen parsellerden elde edilmiştir.

Geleneksel olarak ekilen nohut denemesinden ortalama tane verimi 141.6 kg/da ve en yüksek tane verimi (165.7 kg/da) 40 tohum/m<sup>2</sup> ekilen parsellerden elde edilmiştir. Sırta ekim nohut denemesinde ise ortalama tane verimi 196.6 kg/da ve en yüksek tane verimi (218.0 kg/da) 45 tohum/m<sup>2</sup> ekilen parsellerden elde edilmiştir.

Özgüven ve ark. tarafından Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde yürütülen bu çalışmada; soğanın sırta ekimi ve hasat olanakları incelenmiştir. Yapmış oldukları çalışmalarında çıkış parametreleri olarak çıkış oranı indeksi ve ortalama çıkış zamanı ile hasat parametrelerinden ise sınıflandırma, kayıp oranı, verim ve mekanik zedelenme değerlerine bakmışlardır. Çalışmalarında kuru soğan tarımında 3 farklı ekim yöntemini (*sırta tek sıra, sırta iki sıra ve düze ekim*) araştırmışlardır.

Sırta tek ve çift sıra ekilen soğanların çok büyük ve düze ekilen soğanların ise büyük sınıfında olduklarını tespit etmişlerdir. Verim değerleri bakımından sırta tek sıra, sırta çift sıra ve düze ekim yöntemlerinde sırasıyla 6088,10-5812,40 ve 4376,19 kg/da kuru soğan elde ettiklerini belirtmişlerdir. Kuru soğan üretiminde en uygun ekim yönteminin sırta tek sıra ekim olduğunu vurgulamışlardır.

Gültekin ve ark. tarafından 2007-2008 üretim sezonunda Adana ilinde buğday tarımında 5 farklı toprak işleme ve ekim yöntemleri kıyaslanmıştır. Çalışmalarında serpme ekim, düze ekim, sırta 2 sıra ekim, sırta 3 sıra ekim ve serpme ekim sonrası sırt oluşturma yöntemlerini incelemişlerdir. Buğday verimlerini sırasıyla 476,33-481,33-393,00-409,00 ve 461,00 kg/da olarak tespit etmişlerdir. En yüksek gelirin düze ekim yönteminde olduğunu ve en düşük gelirin ise sırta 2 sıra ekim yönteminde olduğunu saptamışlardır. Buğday tarımında ekonomik açıdan sırta 2 ve 3 sıra ekim yöntemlerinde zarar söz konusuysen diğer yöntemlerde zararın olmadığını belirtmişlerdir.

## **SONUÇ VE ÖNERİLER**

Sürdürülebilir tarımın sosyal-ekonomik ve çevresel yönlerini düşünerek ülkemiz tarla tarımı içerisinde birçok üründe değişik sebeplerle sırta ekim yöntemi çalışılmıştır. Sırta ekim yöntemi; bazı ürünlerde monokültür tarımda bazı ürünlerde ise polikültür içerisinde kendisine yer bulmuştur. Genel anlamda sırta ekim yöntemi; bitkinin rizosfer bölgesinde toprağın hacim ağırlığını arttırmadığı ve değişik zamanlarda tarımsal alet ve makinelerin trafiğine olanak sağladığı için kabul görmüştür.

Bölgeler bazında sırta ekim yöntemine baktığımızda ise; GAP bölgesinde sulama kolaylığı sağladığı, Ege bölgesinde makine değerleri açısından daha avantajlı olduğu, Çukurova bölgesinde bir münavebe sistemi içerisinde II. ürün ekimine fayda (erkencilik ve tasarruf) sağladığı, Karadeniz bölgesi gibi yağışı çok olan yerlerde fazla suyu

drene ettiği, su ve don kesmesi zararlarını azalttığı; ayrıca sırt aralarındaki hava sirkülasyonu nedeniyle bazı fungal hastalıkları ekonomik zarar eşiğinin altında tuttuğu için özellikle yazlık çapa bitkilerinin ekiminde uygulanabilir bir ekim yöntemi olduğuna karar verilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Aquino P. The Adaptaion of Bed Planting of Wheat in the Yaqui Valley, Sonora, CIMMYT Wheat Program Special Report, 1998. 17A Mexico.
- Avçin A, Ay H, Aykanat S, Bilgili E. Çukurova’da Sırta Ekim Araştırmaları, Ülkesel Sırta Ekim Araştırmaları, Tagem PDGT, 2009, Antalya.
- Aykanat S. Buğday Tarımında Farklı Toprak İşleme ve Ekim Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Master Tezi, 2009, ADANA.
- Aykas E. ve Önal İ. Effects of Different Tillage Seeding and Weed Control Methods on Plant Growth and Wheat Yield. 7. International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture, 1999 26-27 May Adana-TURKEY.
- Çıkman A, Monis T, Sağlam R, Nacar A. S, Atay Ü. ve Vurarak Y. GAP Bölgesi’nde Buğday-Mısır Tarımında Anıza Ekim Sisteminin Sürdürülebilirliği ve Diğer Yöntemlere Göre Teknik Ve Ekonomik Yönden Özelliklerinin Saptanması, 1. Yıl Ara Raporu, 2012 yılı Tagem Toplantıları, 4-9 Mart 2012, Manavgat-Antalya.
- Dede E. A. S. & Dede S. Orta Karadeniz Geçit İklim Kuşağında İkinci Ürün Silajlık Mısır Tarımında Farklı Toprak İşleme ve Ekim Yöntemlerinin Toprak Özellikleri ve Verim Üzerine Etkileri, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 4 (3), 283-293, 2007, Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jotaf/issue/19053/201511>
- Dok M, Özcan C. Orta Karadeniz İç Geçit Bölgesinde Mısır-Buğday Ekim Sisteminde Buğdayda Sırta Ekim Sisteminin Araştırılması, II. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, S: 252-258, 22-25 Kasım 2011, Ankara.
- Ertekin MC. (2011). Sırta ekim yönteminde farklı tohum sıklıklarının makarnalık buğdayın (*Triticum durum L.*) verim ve verim unsurlarına etkisinin

belirlenmesi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Master Tezi, Diyarbakır.

Gültekin, R., Aykanat, S., Karaağaç H.A. Çukurova'da Buğday Tarımında Farklı Toprak İşleme ve Ekim Yöntemlerinin Verim ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 5-7 Eylül 2012, S:188-191, Samsun.

Kabakçı Y. Makarnalık Buğdayda Farklı Ekim Yöntemleri ve Tohum Miktarının Verim Üzerinde Etkisi, Harran Tarımsal Araştırma Ens. Müd. Sonuç Raporu, 1999, Akçakale-Şanlıurfa.

Kabakçı Y. Aydın İlinde Sırta Buğday ve Anıza Doğrudan Pamuk Ekimi Üzerine Bir Araştırma, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science), 9 (3), 201–207, 2013, Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tarmak/issue/11571/137903>.

Kabaş Ö. İkinci Ürün Soya Tarımında Farklı Toprak İşleme-Ekim Sistemlerinin Bitki Gelişimine, Verime ve Maliyete Etkileri, Gelişme Raporu, TAGEM- PDGT, 2015, Antalya.

Kara O, Bilgili M.E, Çetin M, Tülün Y, Barut Z.B. Çukurova Yöresinde Anızlı Sırta Mısır-Soyanın Doğrudan Ekim Yapma Olanaklarının Araştırılması, Sonuç Raporu (TAGEM-BB-090210C8), 2015,Tarsus-MERSİN.

Karaağaç H.A. İkinci Ürün Silajlık Mısır Tarımında Farklı Toprak İşleme ve Ekim Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007, Adana.

Kılıç H, Gürsoy S. İlkhan, A. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Sırta Ekim Sisteminin Uygulanabilme İmkanları, GAP IV. Tarım Kongresi, S: 1534-1539, 21-23 Eylül 2005, Şanlıurfa.

Kılıç H. GAP'ta Sırta Ekim Sistemi, GATAEM Yayın No. 2007/2, Diyarbakır.

- Kılıç H. Muş Ovası Şartlarında Sırta Ekim Yönteminin Buğday Yetiştiriciliği Açısından İrdelenmesi, 15-16 Mayıs 2017 Muş Ovası Tarım ve Hayvancılık Çalıştayı, S:7-13, 2017, Muş.
- Limon-Ortega A, Sayre KD, Francis CA. Wheat Nitrogen Use Efficiency in a Bed Planting System in Northwest Mexico, *Agronomy Journal* 2001, 92:303–308.
- Önal İ. Ekim bakım gübreleme makinaları ders kitabı 2. Baskı EÜZF yayınları, 1995, No:490, Bornova-İZMİR.
- Özgüven, F., Vursavuş, K., Daşgan, Y. Soğanın Sırta Ekimi ve Hasat Olanaklarının Araştırılması, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 1 (2), S: 115-122, 2005.
- Savaşlı E, Çekiç C, Önder O, Dayıoğlu R. Anıza Doğrudan Ekim Çalıştayı. Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü 16-17 Aralık 2008 Eskişehir.
- Sayre, K.D. and Moreno Ramos, O.H. Application of raised-bed planting systems to wheat. CIMMYT Wheat program-special-report, 1997, WPSR No:31, Mexico.
- Süzer S. & Demir, L. Sırta Ekim Sisteminde Buğdayda (*Triticum aestivum* L.) En Uygun Ekim Normunun Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8 (4), 387-392, 2012, Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/tarmak/issue/11538/137433>.
- Uçak A.B, Öktem A, Sezer C, Cengiz R, ve İnal B. Determination of Arid and Temperature Resistant Sweet Corn (*Zea mays saccharata* Sturt) Lines.» *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)* (2016); 2 (7) 79-88.[https://doi.org/10.1016/S0272-8842\(02\)00100-1](https://doi.org/10.1016/S0272-8842(02)00100-1)
- Ucak A.B, Ayasan T, and Turan N. Yield, quality and water use efficiencies of silage maize as effected by deficit irrigation treatments. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. 2016; 4 (12): 1228-1239.

Ucak A Tas T, ve Mutlu M. Potential Effects Of Some Climate Parameters On The First-Crop Maize Yield And Quality Under Semi-Arid Climate Condition. Current Research in Agriculture, Forestry and Aquaculture March Gece Kitaplığı / Gece Publishing 2022; 1-16p

Yalçın İ, Topuz N, Yavaş İ & Ünay A. İkinci Ürün Mısırdaki Sırtta Ekim Yönteminin Uygulanabilirliğinin Belirlenmesi . Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 6(1), 35-40, 2009, Retrieved from [https://dergipark.org.tr /tr/pub/aduziraat / issue/26431/278250](https://dergipark.org.tr/tr/pub/aduziraat / issue/26431/278250).

Yaşar M, Koç M, Erdemci İ, Gürsoy S, Bayram Y. Kırmızı Mercimek ve Nohut'ta Farklı Bitki Sıklığında Sırtta Ekim Yönteminin Geleneksel Yöntem ile Kıyaslanması, Ülkesel Mercimek Yetiştirme Tekniği Araştırmaları, Yemeklik Tane Baklagil Araştırmaları Program Değerlendirme Toplantısı , 05–08 Mart 2012, Antalya.

Yavuz S. Makarnalık Buğdayda Sırtta Ekimde Girdi Tasarrufunun Bazı Tarımsal Karakterlere ve Üretimde Karlılığa Etkisi, Harran Üniversitesi, FBE, Yüksek Lisans Tezi, 2008, Şanlıurfa.

Yıldırım M, Yakut Z, Akıncı C, Kurt F & Kızılgöçü F. Nitrogen Rate and Timing Implementation on DurumWheat in a Bed Planting System. Sains Malaysiana, 45(2), 221–228, 2016.

## BÖLÜM 2

# HAYVANSAL YAN ÜRÜN TEMELLİ BİYOGAZ ÜRETİMİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ

Doç. Dr. Ahmet Konuralp ELİÇİN<sup>1\*</sup>

Doç. Dr. Ferhat ÖZTÜRK<sup>2</sup>

---

Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye. konuralp.elicin@dicle.edu.tr, +90 533 449 1642 (ORCID: 0000-0003-3240-4547) (Sorumlu Yazar)

Şırnak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şırnak, Türkiye. fozturk@sirnak.edu.tr, +90 532 254 0197 (ORCID: 0000-0002-2743-4285)





## GİRİŞ

Organik atıklardan veya hayvansal yan ürünlerin kullanılmasıyla anaerobik (oksijensiz ortam) fermentasyonu sonucunda elde edilen biyogaz, renksiz kokusuz havadan hafif yanıcı bir gazdır. Diğer bir ifade ile oksijensiz ortamda mikrobiyolojik reaksiyonların etkisiyle organik maddelerin karbondioksit ve metan gazına dönüştürülmesidir. Biyogaz sistemleri dünyada, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler tarafından yoğun bir şekilde rağbet gören, ekonomik ve teknik yönden üstünlüklerini ispatlamış sistemlerdir. Ülkemiz biyogaz üretiminde kullanılan organik atıklar yönünden, büyük bir potansiyele ev sahipliği yapmaktadır. Ancak tüm bu avantajlara rağmen ülkemizde biyogaz sistemleri yaygınlaşamamıştır. Ülkemizde dönemsel olarak 60'lı ve 80'li yıllarda yoğun şekilde yapılan girişimler, maalesef ülkenin ekonomik, sosyal ve teknik yapısına uygun olmayan girişimler nedeniyle başarısız olmuştur. Ancak en önemli başarısızlık nedenleri olarak eski tip sistemlerin kullanımı, bu tür sistemlerde bilgili teknik elemanların olmayışı ve teknik bilgilerin sahaya aktarılamaması olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ülkemizde kırsal kesime yönelik kurulumu kolay, verimi yüksek, ilk yatırım, işletim ve bakım maliyetleri düşük, biyogaz sistemlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması gerekmektedir. Ayrıca biyogaz sistemleri ülkemizin farklı coğrafi bölgeleri, farklı iklim koşulları ve özellikle farklı hammadde kullanım olanaklarına göre çeşitli sistemlerin tasarımı gerçekleştirilmelidir. Ülkemiz hayvan varlığı incelendiğinde ve nispeten elde edilebilir oluşları nedenleriyle

genellikle biyogaz sistemlerinde büyükbaş hayvan dışkılarının kullanıldığı görülmektedir. Ülkemizde küçükbaş hayvan üreticiliği ekstansif üretim modeline göre yapıldığından bunlardan elde edilebilecek hammadde ve kanatlı hayvan dışkılarında elde edilebilecek hammaddelerin kullanımından doğan sorunların yüksek oluşları nedenleriyle bu hayvanlardan elde edilebilecek biyogaz potansiyeli hesaplamalara katılmamalıdır. Ülkemizde üniversite bazlı yapılan çalışmalarda, mezofilik bölgede 1,2-1,6 m<sup>3</sup>-biyogaz/m<sup>3</sup>-reaktör.gün, termofilik bölgede 2-2,2 m<sup>3</sup>-biyogaz/m<sup>3</sup>-reaktör.gün gibi, yüksek verimler elde edilmiştir (Eryaşar, 2007).

#### • **Biyogaz Üretiminin Yararları**

Biyogaz yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bu sayede küçük tesisler için ticari olmayan bir yakıt olarak adlandırılabilir. Yerinde üretilip, yerinde kullanım imkanına sahip olduğundan dolayı enerji iletim kayıpları yok denecek kadar azdır. Biyogaz temiz bir gaz olup çok fazla bileşimlere sahip değildir. Bundan dolayı emisyon değerleri de nispeten fosil yakıtlarına göre düşüktür.

Rektörlerde biyogaz üretiminden sonra çıkan sıvı/katı ürünler genellikle organik gübre olarak kullanılmaktadır. Reaktörün içine giren günlük materyalin içeriğindeki elementlerin %70-80'i biyogaz elde edilmesinin ardından aynı kalmaktadır. Bitkilerin gelişimine daha uygun olan azot amonyum yapısındadır. Bu durumda bu tip fermente gübrelerin kullanımının artması durumunda ticari gübrelerin kullanımı azalacaktır. Bunların yanında hayvanların sindiremediği ve dışkılama yoluyla attığı zararlı ot tohumları reaktör içerisinde bertaraf

edilmektedir. Rektörden çıkan fermente olmuş gübrenin taşınması ve iletilmesi daha kolaydır.

Genellikle hayvancılık yapılan işletmeler ülkemizde genellikle köylerde üretimlerini gerçekleştirmektedir. Köylerin mahalle statüsü kazanmasıyla birlikte hayvancılık yapılan işletmelerde atıkların depolanması ve bertarafı kaynaklı çevresel sorunlara yol açmasından dolayı baskılar ve yaptırımlar artmaktadır. Biyogaz üretimi ve dolayısıyla organik gübre üretimi sayesinde bu olumsuzluklar ortadan kaldırılacaktır. Organik gübreler toprağa organik madde kazandırarak toprağın fiziksel koşullarını iyileştirirler. Mikrobiyolojik faaliyetleri arttırarak strüktür, havalanma ve su tutma kapasitesini arttırır. Dolayısıyla toprakların verimliliğini arttırarak elde edilen ürün ve gelir düzeyinin artmasını sağlayacaktır (Bellitürk ve ark., 2019). Yine biyogaz üretimi ve beraberinde organik gübrenin satışı halinde bireysel bazda gelirlerin dolayısıyla yaşam standartlarının yükselmesine yardımcı olacaktır. Üretilen biyogazın yerinde pişirme ve ısıtma gibi faaliyetlerde kullanılacak olması dolaylı yoldan ormanların korunmasına yardımcı olacaktır.

Biyogazın üretilip yerinde kullanılacak olması biyogazın emisyon değerlerinin düşük olmasından dolayı kırsal bölgelerde hava kirliliğinin azalmasına dolayısıyla solunum yolları hastalıkları azalacaktır. Aynı şekilde hayvansal dışkıların işletmelere yakın yerlerde depolanması, sinek, parazit ve koku problemlerine sebep olmaktadır. Fermentasyon işleminden sonra parazitlerin çok büyük bir oranı bertaraf edilmekle birlikte özellikle koku giderimi de sağlanmaktadır.

Hayvansal atıkların biriktirilmesiyle, karbondioksitten ( $CO_2$ ) 23 kat daha fazla sera gazı etkisine sahip metan, 310 kat daha fazla etkili olan nitroz oksit ( $N_2O$ ) ve amonyak ( $NH_3$ ) salınımı gerçekleşmektedir. Nitroz oksit fermente gübrede daha az bulunmaktadır. Fermente gübrenin kullanımıyla kimyasal gübre kaynaklı bu emisyonun düşmesi sağlanmaktadır. Amonyak reaktör çerisinde uygulanan çeşitli prosesler yardımıyla azaltılmaktadır. Amonyakın doğrudan toprak ve suya karışması sonucu doğada nitrat kirlenmesi oluşmaktadır. Biyogaz üretimi sayesinde tüm bu sorunlar ortadan kaldırılmış olacaktır.

- **Biyogaz Üretiminin Olumsuzlukları**

Hayvan dışkılarının işletmeye yakın bölgelerde dışarıda yığın şeklinde depolanması sırasında oluşan sorunlar (koku,  $N_2O$ ,  $NH_3$  vb) aynen fermente olmuş organik gübrelerin de uygun depolanmaması sonucu çevresel sorunlara sebep olmaktadır. Reaktörden alınan sıvı materyal bir seperatör yardımıyla suyundan olabildiğince uzaklaştırılmalı, tekrar gübre havuzuna döndürülmesi ve tekrar kullanılması yararlı olacaktır. Biyogazın elektrik enerjisine dönüştürülmesi sırasında kullanılan kojenerasyon motorlarında uygun olmayan Y/H (yakıt/hava) oranlarında sülfürdioksit ( $SO_2$ ) ve azotoksit ( $NO_x$ ) emisyonları artmaktadır. Bu yüzden Y/H ayarlaması çok düzgün yapılmalıdır. Aynı şekilde elektrik üretimi sırasında kullanılan kojenerasyon motorları gürültü kirliliğine sebep olmaktadır.

Atık kaynağına bağlı olarak biyogazın zehirlenme, depolanması sırasında patlama ve yangın riskleri bulunmaktadır. Her ne kadar ülkemizde henüz çok faaliyete geçmemiş olsa da hayvan atık toplamalı biyogaz tesislerinin, toplama sırasında işletmeler arası hastalık

bulaştırma riskleri bulunmaktadır. Bunun yanında çok düşük bir oranda biyogaz içerisinde patojenler bulunabilmektedir. Bundan dolayı ısıtma ve pişirme amaçlı kullanımlarda, kullanım öncesi biyogazla temas edilmesi çeşitli solunum ve sindirim hastalıklarına neden olabilmektedir.

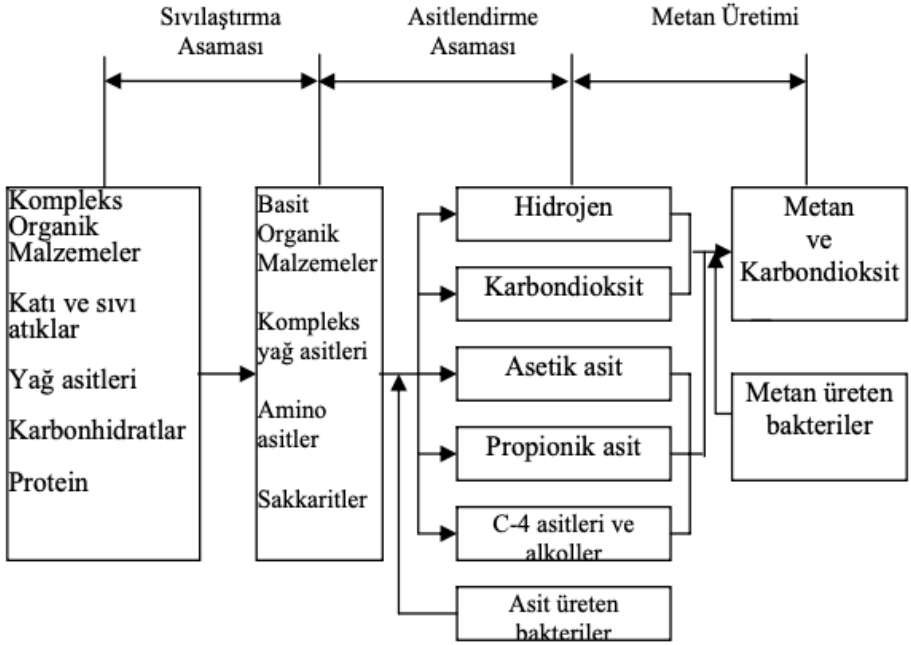
Biyogaz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri oldukça yüksektir. Özellikle sistemi kullanacak kişilerin veya işletme sahiplerinin yeterli teknik bilgi ve donanımlara sahip olması gerekmektedir. Bunun yanı sıra işletmecilerin, biyogaz üretim prosesine yetecek hammaddeye dolayısıyla devamlı sabit sayıda hayvan varlığına sahip olması gerekmektedir. Bu da sürdürülebilirlik açısından işletmelere ek bir külfet getirmektedir.

- **Biyogaz Oluşumu**

Biyogazın oluşumu biyolojik bir prostestir. Oksijensiz ortam olarak tabir edilen anaerobik fermantasyon sonucunda, çeşitli biyokütlerden biyogaz elde edilmektedir. Bu proses örneğin, bataklıklarda, gübre çukurlarında ve geniş getiren canlıların içkembelerinde de gerçekleşmektedir. Bu esnada organik biyokütle, mikroorganizmalar tarafından biyogaza dönüştürülmektedir. Bunun yanı sıra belirli miktarlarda enerji (ısı) ve yeni biyokütle oluşmaktadır. Biyogazın oluşum prosesi çok sayıda aşamada gerçekleşmektedir. Bu esnada prosesin bir olumsuzluğa meydan vermeyecek şekilde gelişmesi için aşamalarının birbirleri ile uyumlu olması gerekmektedir. Anaerobik fermentasyonda biyogaz üretimi, sıvılaştırma (likifikasyon), asit

oluşumu (asetojenez) ve metan oluşumu (metanojenez) olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir (Şekil 1).

Özellikle biyogaz üretiminde çevre koşullarının belirlenmesiyle yaş fermantasyon ile katı fermantasyon arasında ayırım yapılması gerekmektedir. Çünkü özellikle su miktarı, besin maddesi içeriği ve materyal transferi bakımından her iki işlem arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır.



Şekil 1. Biyogaz üretim aşamaları

Biyogaz üretiminin ilk aşaması “hidroliz” (sıvılaştırma) aşamasıdır. Bu esnasında proses içerisinde kullanılacak olan kompleks yapıdaki karbonhidratlar, yağlar, albüminler gibi hammaddeler, daha basit yapıda olan aminoasitler, şeker, yağ asitleri, amino asitler gibi organik yapılara dönüştürülmektedir (Şekil 2). Bu aşamada biyoreaktör

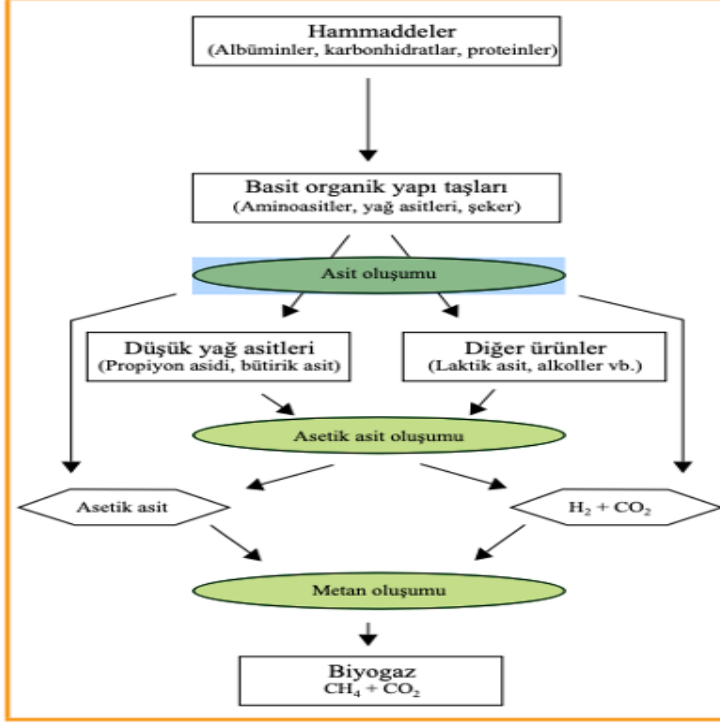
içerisine bulunan bakteriler yardımıyla, hammaddeyi biyokimyasal olarak parçalayan enzimleri serbest bırakılmaktadır.

İlk aşama olan sıvılaştırma aşamasında oluşan ürünler, prosesi takip eden asitlendirme (asetojenez) aşamasında asit oluşturan bakteriler tarafından düşük yağ asitlerine (asetik, propiyonik ve bütrik asit vb.) dönüştürülmekte ve bu ürünlere ilaveten karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve hidrojene (H) ayrıştırılmaktadır. Besleme materyaline bağlı olarak proses içerisinde az da olsa alkol ve laktik asidin de oluştuğu görülebilmektedir. Asetojenez aşamasında oluşan ürünler, oluşacak hidrojenin yoğunluğuna bağlı olarak değişim göstermektedir.

Asetojenez aşamasında asetojen bakteriler tarafından bu ürünler, gelecek aşamada kılavuz görevi üstlenecek asetik asit, hidrojen (H) ve karbondioksite (CO<sub>2</sub>) dönüştürülmektedir. Bu aşamada oluşacak olan hidrojen miktarındaki yüksek artış bu aşamadaki ara ürünlerinin oluşmasını engellemektedir. Hidrojen miktarındaki hızlı artışın sonucu olarak, organik asitler (propiyon asidi, izobütrik asit, kapron asidi ve izovaleriyonik asit vb.) zenginleşerek metan oluşumunu engellemektedir. Hidrojen oluşturan asetojenik bakteriler, hidrojeni, karbondioksitle birlikte metan gazının oluşumunda kullanan ve asetik asit üreten bakterilere uygun çevre koşulları sağlayarak hidrojeni tüketmesine yardımcı olan metanojenik bakterilerle uyum içerisinde yaşamak zorundadırlar. Sanılanın tersine metan bakterileri sıcaklık dalgalanmalarına asit bakterilerine oranla daha dirençsizdir. pH bakımından asit bakterileri daha geniş bir aralıkta yaşamlarını sürdürebilirken, ortamda bulunabilecek oksijen değerinden etkilenmemektedirler. Bu aşamada ortamda bulunan bileşenleri besin



olarak kullanabilirken, metan bakterileri sadece basit organik asitleri besin olarak kullanabilmektedirler.



Şekil 2. Anaerobik bozunma

Biyogaz oluşumunun son aşaması “metanojenez” aşamasıdır. Bu aşamada, anaerobik metan bakterileri tarafından asetik asitler, hidrojen ve karbondioksit, metan gazına dönüştürülmektedir. Bu işlem süresince iki ayrı tipte metan dönüşümü olmaktadır. Birincisinde hidrojen kullanan metanojenler hidrojen ve karbondioksitten metan üretirken, ikincisinde asetoklastik metan bakterileri ise asetik asidi ayrıştırarak metan oluşturmaktadırlar. Tarımsal hammaddeye dayalı çiftlik tipi biyogaz sistemlerinde metan oluşumları yüksek ortam basıncına bağlı ise metan üretimi hidrojenin kullanılmasıyla, düşük ortam basınçlarında

ise asetik asidin kullanılmasıyla gerçekleşmektedir. Kentsel atık veya kanalizasyon arıtım hammaddeli biyogaz üretim sistemlerde ise çiftlik tipi biyogaz tesislerinin tersine, oluşan metanın %70'i asetik asit reaksiyonlarından, %30'u ise hidrojen sentezlerinden elde edilmektedir.

Anaerobik fermentasyonun tüm aşamaları tek bir proseste aynı zamanda gerçekleşmektedir. Biyogaz üretim aşamalarında bulunan farklı bakteriler için optimum bir ortamın sağlanması gerekmektedir. Farklı bakteriler için pH, sıcaklık vb. farklı ortam istekleri bulunmaktadır. Metan bakterileri ortam koşullarında oluşabilecek değişiklikler toleranslı değildirler. Metanojen mikروorganizmaların büyüme hızları düşük olduğundan ortam koşulları değiştiğinde metan üretimi durmaktadır. Biyogaz üretiminde, hidroliz ve asit oluşumu aşamalarını, metan oluşumundan farklı olarak iki ayrı proses olarak ayırmak pratikte pek mümkün olmamaktadır. Tüm bunlarla birlikte, tesis büyüklüğü ve üretim proseslerine, besleme materyallerine ve içeriklerine göre reaktör içerisinde farklı ortam koşulları oluşabilmektedir. Tüm bu parametreler biyogaz üretimi yapan bakterilerin aktivitelerini etkileyerek metan üretimine doğrudan etki etmektedir.

## Biyogaz Oluşumuna Etki Eden Faktörler

- **Besi ortamı ve besleme materyalleri**

Anaerobik ortamlarda gerçekleştirilen biyogaz üretiminde, reaktör içerisinde bulunan bakterilerin yaşamlarını sürdürüp metan üretimini gerçekleştirmesi için besin ve vitamin maddelerine gereksinimleri vardır. Kullanılan besin maddelerinin miktarı ve homojenitesi reaktör içerisinde farklı türlerin büyüme hızlarına doğrudan etki etmektedir. Gerçekte reaktör içerisinde bulunan mikroorganizmaların saf kültürlerine uygun olan besleme materyalleri ve konsantrasyonları belirli olmasına rağmen reaktör içerisinde farklı türlere ait olan bu değerlerin belirlenmesi pek mümkün olmamaktadır. Fakat burada bilinmesi gereken kültürlerin yaşamsal faaliyetlerini karşılanması için optimum besleme materyali sağlamaktır. Sistemlerde, verilen besleme materyali içerisindeki yağ, karbonhidrat ve protein oranlarına bağlı olarak metan üretim miktarları belli olmaktadır.

Tablo 1. Bazı besleme materyallerinin C/N oranları

<b>Materyal</b>	<b>C/N</b>	<b>Materyal</b>	<b>C/N</b>
<b>Hayvansal Ürünler</b>		<b>Bitkisel Ürünler</b>	
Sığır gübresi	6-20	Mısır sapı ve samanı	30-70
Manda gübresi	23	Pirinç kavuzları	50-78
Domuz gübresi	3-20	Mısır koçanı	50
Koyun gübresi	20-33	Buğday samanı	80
At gübresi	24-26	Yulaf samanı	38-83
Tavuk gübresi	3-15	Yer fıstığı kabuğu	31
Ördek gübresi	27	Yer fıstığı sapı	19-22
Bıldırcın gübresi	7	Çim	15-20

Hayvan idrarı	0,8-1	Kuru ot	10-27
<b>Endüstriyel Ürünler</b>		Kaba yonca	16-20
Mezbaha atıkları	2	Soya fasulyesi sapı	32-33
Kan	3	Yapraklar	41-80
Balık artıkları	5	Pamuk sapları	30
Meyve artıkları	35	Sorgum	100
Sebze artıkları	35	Patates kabuğu	25
Küspe	140	Domates artıkları	13
Talaş	200	Lahana yaprağı	13
<b>Sucul Sistem Materyalleri</b>		Hardal	25
Nilüfer	10-21	Yeşil bitkiler	18-30
Algler	5	<b>Evsel Atıklar</b>	
Deniz yosunları	70-80	İnsan atıkları	3-10
		Mutfak atıkları	10-29
		Gazete ve kağıtlar	812

Sitemlerde karbondan (C) sonra en fazla ihtiyaç duyulan besin Azot (N) olup, enzimlerin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Tüm bunlardan dolayı besleme materyallerinin C/N oranlarının bilinmesi sistemler için hayati öneme sahiptir (Tablo 1).

Besleme materyalinin C/N oranı çok düşük olursa sistemde fazla miktarda azot (N) bulunacağından dolayı amonyak (NH<sub>3</sub>) miktarı artacaktır. Fazla miktarda bulunan amonyak (NH<sub>3</sub>) ise bakterilerin büyümesini engelleyerek tüm sistemin çökmesine sebep olacaktır. C/N oranı çok yüksek olduğu durumlarda ise yeterli olmayan mikroorganizma varlığı sebebiyle ortamda fazla bulunan karbon (C)

sebebiyle metan istenilen seviyelerde üretilemeyecektir. Bu sebeplerden dolayı C/N oranı optimum olarak 10-30 aralığında tutulmak zorundadır. Bunların yanında fosfor ve sülfürlerde karbon ve azotun yanında mikro besin maddesi olarak kullanılmaktadır. Mikro elementler biyogaz sistemlerinde genellikle hayvan dışkılarından sağlanmaktadır. Fakat diğer bitkisel kaynaklı veya kentsel atık kaynaklı biyogaz sistemlerinde mikro elementler yeterli düzeyde olmamaktadır. Bu tür sistemlere Kobalt (Co), Nikel (Ni), Molibden (Mo), Selenyum (Se) ve Wolfram (W) vb. mikro element ilaveleri yapmak gerekmektedir (Tablo 2). Bunlar arasında Nikel (Ni), Kobalt (Co) ve Molibden (Mo), rektör içerisinde reaksiyonların devamlılığına yardımcı olurken, Magnezyum (Mg), Demir (Fe) ve Mangan (Mn) bazı enzimler için besleme materyal olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel sistemlerde mikro elementler arasında çok büyük dalgalanmaların olduğu görülmektedir. Küçük çiftlik tipi biyogaz sistemlerinde mikro element ihtiyacı hayvan dışkılarından elde edilirken, miktar olarak da yeterli düzeydedir. Fakat yine de besleme materyali ve konsantrasyonuna bağlı olarak mikro element ihtiyacını tespit etmek oldukça zordur.

Tablo 2. Mikroelement konsantrasyonları

Eser elementler	Konsantrasyon miktarı (mg/l)			
	Mutlak konsantrasyon aralığı	Optimum konsantrasyon aralığı	Mutlak asgari konsantrasyon	Tavsiye edilen optimum konsantrasyon
Co	0,003-0,06	0,003-10	0,06	0,12
Ni	0,005-0,5	0,005-15	0,006	0,0015
Se	0,008	0,08-0,2	0,008	0,018
Mo	0,005-0,05	0,005-0,2	0,05	0,15
Mn	-	0,005-10	0,005-50	-
Fe	1-10	0,1-10	1-10	-

Biyogaz reaktörlerinde mikro element konsantrasyonlarının analizlerinde ayrı ayrı element bazında tespit edilmesi hem zordur hem de gereksizdir. Hangi materyalden ne kadar kullanıldığı bilinmediğinden dolayı toplam konsantrasyon belirlenmektedir. Herhangi maddenin miktarı değiştirildiğinde tüm hesaplamalar yeniden yapılmaktadır. Hayvancılık faaliyetlerinde kullanılan yemler üzerinde yapılan analizlerde farklı farklı sonuçlar karşımıza çıkmaktadır. Bundan dolayı yeni bir mikro element ilave edilmeden önce fermentör içerisindeki mikro element miktarları tespit edilmelidir. Aksi takdirde fermentör içerisinde fazla miktarda mikro element bulunabilmektedir. Bu durumda da fermentör çıkışından elde edilen organik gübre içinde izin verilen miktarın üstünde ağır metal bulunabilmekte ve bu ürünlerin tarımsal faaliyetlerde kullanılmasında sakıncalar bulunmaktadır.

Besleme materyallerinin özellikleri içerdikleri kuru madde miktarıyla doğru orantılıdır. Bu da proseslerin yaş ve kuru fermantasyon olarak ikiye ayrılmasıyla sonuçlanmaktadır. Sistemlerde pompa ile iletmeye uygun materyallerle besleme yapılacaksa yaş fermantasyon, katı veya istiflenebilir materyallerle besleme yapılacaksa katı fermantasyon prosesleri kullanılmalıdır. Tablo 3. de biyogaz üretim yöntemleri ve özellikleri görülmektedir.

Tablo 3. Biyogaz üretim yöntemlerinin sınıflandırılması

Kriter	Özellikler
Materyallerin kuru madde miktarları	Yaş fermantasyon
	Katı fermantasyon
	Sürekli olmayan besleme
Besleme türü	Kesik besleme
	Sürekli besleme
Proses sayısı	Tek aşamalı
	İki aşamalı
Proses Isısı	Sakrofil
	Mezofil
	Termofil

Yapılan araştırmalarda yaş ve kuru fermantasyon arasında belirgin bir sınırlama olmadığı görülmektedir. Yaş fermantasyonda, pompalanabilir materyalin %15-18 arasında kuru madde içerebilir olması gerekmektedir. Bazı durumlarda bu oran %10-12 oranına kadar da düştüğü görülmektedir. Katı fermantasyonda ise kuru madde oranı %30-35 seviyelerine kadar çıkarken yapılan çalışmalarda yükleme

oranının en az 3.5 kg OKM/m<sup>3</sup>.d olması gerektiği belirtilmiştir. Bununla birlikte özellikle evsel atıklardan veya yemek atıklarıyla yapılan beslemelerde kuru madde miktarları %20 oranlarına kadar düşmüş olsa da halen pompalama problemleri görülebilmektedir. Hayvansal yan ürünlere dayalı sistemlerde yaş fermantasyon sistemleri kullanıldığından pompalama problemleri genellikle görülmemektedir.

Materyal beslemesinde kesikli besleme ve sürekli besleme yöntemleri kullanılmaktadır. Kesikli besleme yöntemi genellikle aile tipi küçük sistemlerde görülmektedir. Bunlar küçük ölçekli sistemler olup genellikle fermentör ısıtılmasında enerji kullanımının olmadığı sakrifil proses ısılarında kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde fermentör bir kez doldurulmakta ve gaz oluşumunun sonrasına kadar bir daha materyal beslemesi veya materyal çıkışı yapılmamaktadır. Fazla miktarda oluşan materyaller ise bir kenarda depolanmaktadır. Sürekli besleme sistemlerinde ise fermentöre gün içerisinde, küçük miktarlar halinde yapılan materyal girişleriyle gaz üretimi artırılmaktadır. Bu tür sistemler daha avantajlıdır. Bu sistemlerde daha evvelden bir depolama tankında hazırlanmış besleme materyali gün içerisinde birkaç defa küçük miktarlarda ana reaktöre gönderilmektedir. Bu esnada ise yüklenen besleme materyali kadar kısım da fermentörden çıkarılmaktadır. Sistem sadece arıza veya bakım sırasında boşaltılmaktadır.

- **pH**

Biyogaz üretim proseslerinin farklı aşamalarında mikroorganizmalar, farklı pH değerlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Üretimde ilk aşama olan



hidroliz aşamasında asit üreten bakteriler pH değeri olarak 5.2-6.3 değerlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu aşamada daha fazla pH değerlerinde ise üretimlerinde belli bir miktar düşüş olmasına rağmen yine de faaliyetlerine devam etmektedirler. Buna karşılık asetik asit oluşturan bakteriler ve metan bakterilerinin faaliyetleri için ortamın pH'nın 6.5-8 olması gerekmektedir. Geleneksel tek fermantörlü çiftlik tipi sistemlerde bu pH aralığında çalışılmaktadır. Bu tip sistemlerde fermantör içerisine çok fazla besleme materyali eklendiğinde veya başka nedenlerden ötürü metan üretimi engellendiğinde ortamda daha fazla asit ürünleri oluşmaktadır. Bu durumda sistemin pH değeri de düşecektir. Bu durumda sistemde bulunan hidrojen sülfür ( $H_2S$ ) ve propiyonik asidin ( $C_3H_6O_2$ ) etkisi ortadan kalkacak ve fermantör çökecektir.

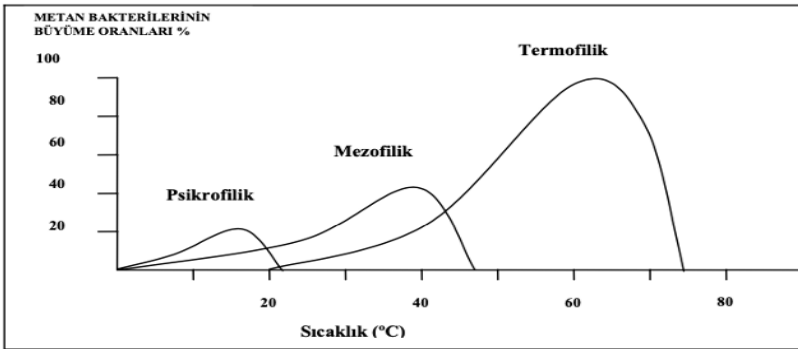
Bunun yanında yüksek azot (N) içeren besleme materyalleriyle çalışan sistemlerde azot bileşiklerinin (su ile reaksiyona girerek) fermantasyonu sonucu amonyak ( $NH_3$ ), amonyuma ( $NH_4^+$ ) dönüşerek sistemin yine pH'ını yükseltmektedir. Bu nedenlerden dolayı sistemin pH'ı sürekli kontrol edilmelidir. Özellikle küçük aile işletmelerinin sahip olduğu biyogaz sistemlerinde pH değişimlerine çok dikkat edilmelidir.

- **Sıcaklık**

Biyogaz üretiminde çevre faktörleri çok önemlidir. Örneğin çevre sıcaklığı yükseldikçe reaksiyonların daha hızlı olduğu var sayılmaktadır. Biyogaz üretiminde farklı organizmalar farklı proses aşamalarında farklı sıcaklık değerlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Mikroorganizmaların canlılığının sağlanması ve metan üretiminin

sağlıklı devam etmesi açısından bakterilerin ihtiyaç duydukları ortalama sıcaklık değerlerinin altında veya üstündeki bölgelerde metan üretimlerinin aksaması veya mikroorganizmaların büyük zararlara uğraması kaçınılmazdır. Biyogaz üretime katılan mikroorganizmalar sıcaklık isteklerine göre sakrofilik mikroorganizmalar, mezofilik mikroorganizmalar ve termofilik mikroorganizmalar olarak üç gruba ayrılmaktadır (Şekil 3).

Sakrofilik mikroorganizmalar 25 °C'nin altında faaliyetlerini gerçekleştirmektedirler. Doğada bırakılan veya işletmenin yanında depolanan gübre yığınlarında bu bakteriler faaliyetlerini sürdürmektedirler. Bu durumda biyolojik reaksiyonlar oldukça yavaş ve metan üretimi çok düşük olmaktadır. Dolayısıyla eğer bir fermantör içerisinde üretim yapılacaksa, fermantörün ısıtılmasına gerek duyulmamaktadır. Bu tür mikroorganizmalar ile bu sıcaklık değerlerinde genellikle kesikli üretimli küçük sistemlerde sadece ısıtma ve pişirme amaçlı olarak üretimler yapılabilmektedir. Bu sistemler ekonomik değildir.



Şekil 3. Sıcaklıkla metan bakterilerinin büyümeleri arasındaki ilişki

Günümüzde ekonomik olarak kullanılan endüstriyel veya çiftlik tipi biyogaz sistemlerinde bulunan mikroorganizmaların hemen hemen büyük bir kısmı 37-42 °C’de üretimlerini gerçekleştirmektedirler. Bu sıcaklık aralığında çalışan sistemlerde en yüksek gaz üretimi ve optimum proses kararlılığı sağlanmaktadır.

Materyalin içinde bulunan sağlığa zararlı bakterilerin bertarafında veya materyale bağlı yan ürünler atık madde olarak değerlendirilip kullanılmayacaksa bu durumda termofilik kültürler ön plana çıkmaktadır. Bu kültürlerin faaliyetlerini sürdürebilmeleri için yüksek fermantör sıcaklığına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da enerji kullanımı açısından ekonomik görülmemektedir. Bu tür yüksek sıcaklık bölgesindeki fermantasyon prosesi hassastır. Bunun nedeni termofilik sıcaklık bölgesinde üretimde bulunan metanojenik mikroorganizmaların çeşitlerinin fazla olmaması kaynaklıdır.

Araştırma sonuçlarına göre hızlı sıcaklık değişimlerinde, mikroorganizmaların çok zarar görmekte olduğunu, buna karşılık yavaş sıcaklık değişimlerinde ise mikroorganizmaların o sıcaklık değerlerine kendilerini adapte ettiği sonucunu ortaya koymaktadır. Devamlılık açısından tek bir sıcaklık değerine göre belirli bir sıcaklık aralığında çalışmak daha doğru olacaktır. Bazı mikroorganizmalar karbonhidrat reaksiyonlarına bağlı olarak kendileri ısı üretmektedirler. Bu durumda bazen fermantör içi sıcaklıkları mezofilik bölgeden termofilik bölgeye yükselbilmektedir. Bu durumda da gaz üretiminde aksamalarda olsa az miktarda üretim devam etmektedir. Kısa süreli bulunmalar haricinde, bu durum besleme materyali azaltılarak veya konsantrasyonları

değiştirilerek mutlaka önlenmelidir. Aksi taktirde mikroorganizmaların büyük bir çoğunluğu adapte olamayacak ve metan üretimi duracaktır.

- **Yükleme oranı ve fermantörde bekleme süresi**

Biyogaz sistemlerinin kurulması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından en önemli etkenlerin ekonomik sebepler olarak görülse de ana etken fermantör büyüklüğü ve organik materyalin tamamının bozunması olarak karşımıza çıkmaktadır. Eğer besleme materyalinin tamamından azami derecede gaz üretimi beklenecekse, materyalin fermantör içerisinde uzun süreler kalması için azami derecede büyük reaktör hacmi gerekmektedir. Bunun sebebi olarak besleme materyali içerisinde bulunan maddelerin daha uzun sürelerde bozunması olarak söylenebilir. O halde ortalama bir bozunma performansı ile ekonomik bir fermantör büyüklüğü sağlanmalıdır. Yüklem oranı ( $B_R$ ) birim  $m^3$  çalışma hacminde birim zaman süresince ne kadar organik kuru madde (OKM) içeren materyal eklenmesinin gerekliliğini bildiren bir büyüklüktür. Yüklem oranı ( $B_R$ ) genellikle  $kg\ OKM/(m^3.d)$  birimiyle kullanılmaktadır.

$$B_R = \frac{m \cdot c}{V_R \cdot 100}$$

$m$  : Birim zaman diliminde eklenen materyal miktarı (kg/d)

$c$  : Eklenen organik materyal konsantrasyonu (% OKM)

$V_R$  : Reaktör hacmi ( $m^3$ )

$B_R$  : Yüklem oranı [ $kg(OKM).m^{-3}.d^{-1}$ ]

Biyogaz üretim sistemlerinde, büyüklüklerin ve işletme parametrelerinin değişmesi yükleme oranını dorudan etkilemektedir. Bu durumda en doğru hesaplama malzeme geri beslemesi veya tüm hacimlerin toplamından gidilerek yapılan hesaplamalar yerine taze materyal girişi baz alınarak yapılan hesaplamalar daha kolay ve kullanılabilir olacaktır. Biyogaz sistemlerinde besleme materyali elde edilmesine bağlı olarak fermantör büyüklüklerinin hesaplanmasında diğer etken bir faktör ise hidrolik bekletme süresi olarak karşımıza çıkmaktadır. Hidrolik bekletme süresi (HRT) fermantöre yeni eklenen materyalin fermantörden tekrar çıkıncaya kadar fermantör içerisinde kaldığı ortalama süredir. Reaktör (fermantör) hacmi ( $V_R$ ) her gün eklenen besleme materyali ile ilişkilendirilerek gün olarak hesaplanmaktadır.

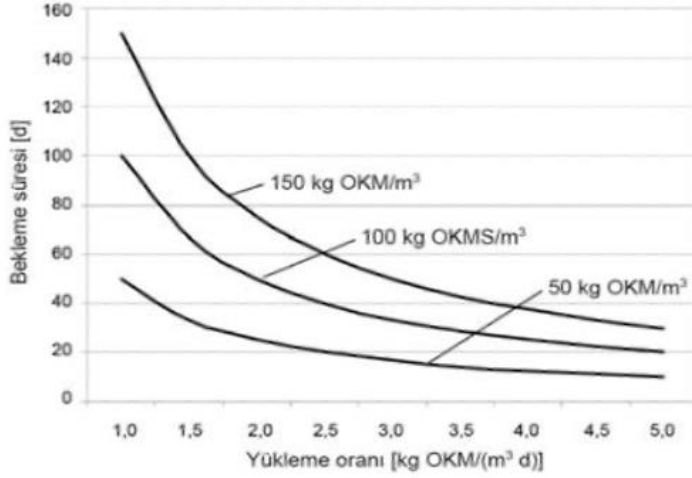
$$HRT = \frac{V_R}{V \cdot}$$

HRT : Hidrolik bekletme süresi

$V_R$  : Reaktör (fermantör) hacmi ( $m^3$ )

$V \cdot$  : Her gün eklenen besleme materyali ( $m^3/d$ )

Fermantörde kalış süresi değeri, karıştırma tipi ve süresi ile besleme materyalinin içeriklerine göre hesaplanan ve gerçekleşenden farklı olabilmektedir. Bunun nedeni olarak farklı materyal bileşenlerinin farklı hızlarda bozunması olarak söylenebilmektedir. Bu durumda yükleme oranı ve bekleme süresi arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Farklı besleme materyali konsantrasyonlarında yükleme oranı ile hidrolik bekleme süresi arasındaki ilişki

Biyogaz üretiminde her defasında aynı materyal bileşimi kullanılarak yapılan beslemelerde, artan yükleme oranına karşılık fermantör içerisine daha fazla ürün gireceğinden bekleme süresi giderek azalacaktır. Sürdürülebilirlik açısından reaktör içeriğinin sürekli değişmesi nedeniyle hidrolik bekleme süresince mikroorganizmaların üreyebileceğinden dolayı bazı matanojenik bakteriler on gün gibi kısa bir sürede iki katına çıkabileceğinden belirli süre daha fazla yükleme yapmaya gerek yoktur. Kısa bekleme sürelerinde ise mikro organizmaların materyali bozundurmamak için gerekli süre kısıllacağından dolayı gaz verimlerinde düşüşler görülecektir. Biyogaz üretiminde günlük eklenecek materyal miktarı bilindiğinde, gerekli olabilecek reaktör hacmi, materyalin bozunabilirliği ve bekleme süresiyle bağlantılı olarak hesaplanabilmektedir.

Biyogaz tesislerinin karşılaştırılmasında işletme parametrelerinden önce fermentörün yüklenme durumlarının belirlenmesi gereklidir. Parametreler içerisinde sadece başlangıç aşamasında yavaş, kesintisiz bir artış oranı sağlamak için yükleme oranına dikkat edilmesi gerekmektedir. Özellikle besleme materyali içeriği yüksek miktarda sıvı, düşük miktarlarda bozunabilir organik madde içeren tesislerde bekleme süresi büyük önem taşımaktadır.

- **Karıştırma**

Biyogaz tesislerinde, yüksek gaz üretimi gerçekleştirmek için fermantör içerisinde bulunan bakterilerle besleme materyalinin sürekli temasının sağlamak amacıyla tankın mekanik veya devridaim yöntemleriyle karıştırılması gerekmektedir (Şekil 5). Eğer fermantörde karıştırma tertibatı bulunmuyorsa zamanla çökelmeyle birlikte katman oluşumunu takiben, fermantör içerisindeki materyallerde yoğunluk farklılığı oluşacak ve gaz üretiminde azalmalar meydana gelecektir. Bu tür çalışan fermantörlerde bakteriler yüksek yoğunluklarından dolayı alt kısımda toplanacak, tam tersine bozunacak materyal üst katmanlarda bulunacaktır. Bu durumda, besleme materyali ile bakterilerin teması sağlanamayacağı gibi gaz çıkışı da engellenecektir.



Şekil 5. Fermantör içi karıştırma

Bu nedenlerden dolayı besleme materyali ile mikroorganizmaların sürekli temasının sağlanması için karıştırılması zorunlu olmaktadır. Bunun yanında fazla sürelerde karıştırılma olduğunda ise asit bakterileri ile metan bakterileri ortak gaz üretimi için birlikte yaşamak zorunda olduğundan bu birlikteliğin bozulması sonucu bozunma



etkilenecek gaz üretiminde azalmalar görülmektedir. Bu bilgiler ışığında uygun bir teknik belirlenmelidir. Araştırmalar, düşük ayrıştırma etkisinin olduğu, kısa aralıklarla ve yavaş yapılan karıştırma tekniklerinin gaz üretimim için en iyi sonuçları verdiğini ortaya koymaktadır.

- **Zararlı Maddeler**

Biyogaz üretimi sırasında birçok nedenlerden dolayı gaz üretimi yapılamamaktadır. Bunlardan bazıları üretim tekniklerine bağlı olarak işletme kaynaklı olmaktadır. Sistemin içinde bulunan zararlı maddeler proseslerde gecikmelere sebep olurken sistemin de kontamine olmasına sebep olmaktadır. Zararlı maddeler fermantör içerisinde çok düşük konsantrasyonlarda olsalar bile biyogaz üretimini tamamen durdurmaktadır. Bu arada besleme materyalleri ile giren zararlı maddeler ile fermentör içerisinde oluşan zararlı maddelerin karışması tehlikeli olmaktadır. Bununla birlikte aşırı besleme de prosesleri durdurabilmektedir. Bunun nedeni ise yeni eklenen materyaller içerisinde farklı farklı bileşikler olması mikroorganizmalar üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Besleme materyaliyle içeri giren antibiyotikler, dezenfektanlar, çözücü maddeler, herbisitler, tuzlar veya ağır metaller vb. maddeler, düşük konsantrasyonda olsalar bile prosesleri büyük oranda etkilemektedirler.

Sisteme giren zararlı maddelerin bir kısmı fermentör içerisindeki bazı mikroorganizmalar ile belirli derecelerde uyum sağlayabilmekte olduklarından zararlı maddelerin hangi konsantrasyonlarda etki edebileceğinin tespiti oldukça zordur (Tablo 4). Özellikle antibiyotikler, sisteme genellikle hayvan dışkıları ve mezbaha

atıklarıyla bulaşmaktadır. Biyogaz üretimi sırasında prosesleri engelleyecek zararlı maddeler de oluşabilmektedir. Özellikle fermentör içerisinde bulunan serbest amonyak ( $\text{NH}_3$ ) su ile reaksiyona girerek amonyum ve OH iyonuna dönüşerek mikroorganizmalar üzerinde zararlı etkide bulunmaktadır. Bu süreç içerisinde sistemin pH'ı yükselmekte ve bu da amonyak miktarını daha da artırmaktadır.

Tablo 4. Biyogaz üretim proseslerinde zararlı olan maddeler ve konsantrasyonları

Zararlı madde	Etkileyici konsantrasyon miktarı	Etkisi
Oksijen	> 0,1 mg/l	Bağlayıcı anaerobik metanojen arkelerin engellenmesi
Hidrojen sülfür	> 50 mg/l	pH değeri düştüğü zaman engelleme etkisi artar
Uçucu yağ asitleri	> 2000 mg/l (pH=7)	pH değeri düştüğü zaman engelleme etkisi artar. Bakterilerin yüksek adaptasyon yeteneği
Amonyum azot	> 3500 mg/l	pH değeri düştüğü ve sıcaklık yüksekliği zaman engelleme riski artar. Bakterilerin yüksek adaptasyon yeteneği
Ağır metaller	Cu > 50 mg/l Zn > 150 mg/l Cr > 100 mg/l	Sadece çözünebilir metaller engelleyici etkiye sahiptir. Sülfidin çökeltmesiyle zehirden arındırma
Dezenfektasyon ve antibiyotikler	-	Ürüne özgü engelleme etkisi görülmektedir.

Amonyak artışına sistemin sıcaklık artışının da etkisi bulunmaktadır. Fermantasyon süresince oluşan hidrojen sülfür ( $\text{H}_2\text{S}$ ) düşük konsantrasyonlarda olsalar bile mikroorganizmaları zehirleyerek üretimi durdurabilmektedir. Bu durumda hidrojen sülfür ( $\text{H}_2\text{S}$ ) oransal olarak yükselecek ve pH düşecektir. Sistemdeki  $\text{H}_2\text{S}$  konsantrasyonunu

düşürmek için demir iyonlarının sülfid olarak çökeltilmesi gerekmektedir. Kısaca zararlı maddelerin metan üretimi üzerinde çok sayıda etkileri olup sınır değerlerinin belirlenmesi oldukça zordur.

## **SONUÇ VE ÖNERİLER**

Biyogaz yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Dolayısıyla ticari olan fosil yakıtların yerine kullanılabileninden dolayı ülke ekonomilerine büyük katkılar sağlamaktadır. Enerji ihtiyacının olduğu, özellikle merkezlerden uzak kırsal kesimde bulunan çiftlikler için küçük ölçekli biyogaz tesislerinin kurulması, merkezlerden o bölgelere götürülen enerji şebekelerinden daha ekonomik olmaktadır. Biyogaz üretim tesislerinde üretilen enerji, yine tesislerin enerji ihtiyaçları için kullanıldığı durumlarda buna bağlı olarak enerji nakil kayıpları da azalacaktır. Üretilen gaz, daha az bileşenlere sahip olduğundan dolayı artırılması ve kullanılması ekonomik olarak görülmektedir.

Biyogaz sistemlerinden çıkan ürünler organik gübre olarak kullanılmaktadır. Bitkiler için yararı daha fazla olduğu bilinen azot fermente olmuş gübre içerisinde amonyum formunda olduğundan tarımsal verimliliğin arttırdığı bilinmektedir. Bunun yanında hayvanların sindiremediği zararlı ot tohumları fermente olmuş gübre içerisinde etkisini kaybetmektedir. Bu durum organik tarım için bir avantajdır.

Kırsal kesimde kurulan küçük ve orta ölçekli biyogaz tesisleri sayesinde, üreticilerin kullanımı için gerekli enerji ihtiyaçları karşılandığından hayat standartlarının yükselmesine yardımcı

olmaktadır. Üreticiler üzerindeki kirlilik ve koku vb. gibi çevresel ve toplumsal baskının azalmasına yardımcı olmaktadır. Biyogaz sistemleri sayesinde çeşitli mikropların ve zararlıların üremesi için ortam hazırlayan atıklar değerlendirilerek bertaraf edilmektedir. Sırasıyla, su buharı (H<sub>2</sub>O), karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), nitroz oksit (N<sub>2</sub>O), ozon (O<sub>3</sub>), kloroflorokarbonlar (CFC) sera gazı içerisinde bulunmaktadır. Sera gazına, CO<sub>2</sub>'den 23 kat daha fazla etki eden metan, 310 kat daha fazla etki eden N<sub>2</sub>O (nitroz oksit) ve amonyak özellikle hayvansal atıkların toplanmasında ve yığın şeklinde biriktirilmesi sırasında oluşmaktadır. Bunun yanında sentetik azot gübrelemesi sırasında N<sub>2</sub>O emisyonları artış göstermektedir. Biyogaz tesisleri sayesinde gerek sentetik gübre kullanımı azalacağından (nitrat kirliliği) gerekse anaerobik fermantasyon işlemi neticesinde amonyak emisyonu azaltılacağından dolayı çevre kirliliğine olumlu katkıları olmaktadır.

Biyogaz tesislerinin ilk kurulum maliyetleri oldukça yüksektir. Bugünkü koşullar altında fosil yakıtlarla rekabet edemez durumdadır. Çünkü hayvansal yan ürüne bağlı olan biyogaz üretimleri, hayvancılık işletmelerinin sürdürülebilirlikleri ve karlılıklarıyla doğru orantılıdır. Ülkemizde büyük hayvancılık işletmelerin genele oranı sadece %3 civarındadır. Bu tesisler biyogaz tesisi kurabilmektedirler. Fakat küçük işletmelerin biyogaz tesisi kurması mümkün görülmemektedir. Özellikle mezofilik ortamda çalışılması durumunda enerji maliyetleri gaz üretimlerinden çok daha pahalı olmaktadır. Bundan dolayı basit sakrifik sıcaklık seviyelerinde anaerobik sistemlerin kullanılması daha yararlı olacaktır. Bunun yanında dünyada evsel atık destekli kırsal kesime yönelik küçük sistemlerin kullanılması giderek

yaygınlaşmaktadır. Pişirme ve sıcak su elde edilmesi için yeterli olan bu sistemlerin güneş enerjisi destekli yeni ve sürdürülebilir olanlarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması ülkelerin yararına olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M. (2007). Renewable Energy Resources. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, ISBN: 978-605-395-047-9.
- Ak, N. (2008). Organik katı atıkların biyometanizasyonu ile enerji ve organik gübre eldesini incelemek, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008 17-19 Aralık 2008, İstanbul.
- Alibaş, İ., Özsoy, G., Eliçin, A.K. (2015). Diyarbakır ili tarımsal kaynaklı biyogaz potansiyelinin belirlenmesi. Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 2015; Vol:11(1), p:75-87.
- Anonim, (2022a). [https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyogaz#cite\\_note-oz-1](https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyogaz#cite_note-oz-1), Erişim tarihi, 02.03.2022.
- Anonim,(2022b). <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/toprakgubre/Menu/2/Tarihce>, Erişim tarihi, 02.03.2022.
- Anonim, (2022c). <https://m.theindependentbd.com/printversion/details/142220> Erişim Tarihi: 22.02.2022
- Azbar, W. (2011). Biogas potential of municipal solid waste and some agrowaste, Ege University Bioengineering Department, 75-86, Presentation of 1st Biogas Workshop İzmir
- Barros, R. M., Filho, G.L.T., Rodrigo da Silva, T. (2014). The electric energy potential of landfill biogas in Brazil. Energy Policy, 65: 150–164.
- Bauer, C., Korthals, M., Gronauer, A., Lebuhn, M. (2008). Methanogens in biogas production from renewable resources – a novel molecular population analysis approach. Water Sci. Tech., Vol: 58, No: 7, s. 1433–1439.
- Bellitürk, K., Kuzucu, M., Çelik, A., Baran, M. F. (2019). Antep Fıstığında (*Pistacia Vera* L.) kuru koşullarda gübrelemenin verim ve kaliteye etkileri. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(2), 251-259.

- Bhattacharya, S.C., Salam, P.A. (2002). Low Greenhouse Gas Biomass Options for Cooking in the Developing Countries, *Biomass and Bioenergy*, Vol:22, pp. 305-317.
- Bilir, M., Karabay, E., Deniz, Y., Katlı, N. (1982). Biyogazın önemi, yararları, kullanımı, biyogaz tesislerinin tasarımı ve Türkiye’de yaygınlaştırma olanakları, T.C. Köyişleri ve Kooperatifler Bakanlığı, Topraksu Genel Müd., Merkez Topraksu Araştırma Enst. Müd. Yayınları, Ankara.
- Boyd, R. (2000). Internalising environmental benefits of anaerobic digestion of pig slurry in Norfolk, University of East Anglia, [www.green-trust.org/PigSlurryADProject.pdf](http://www.green-trust.org/PigSlurryADProject.pdf).
- Braun, R. (1982). Biogas – Methangärung organischer abfallstoffe, *Springer Verlag Wien*, New York.
- Cheng-qiu, J., Tian-wei, L., Jian-li, Z. A. (1989). Study on compressed biogas and its application to the compression ignition dual-fuel engine, *Biomass*, s: 20, 53-59.
- Chevalier, C., Meunier, F. (2005). Environmental assessment of biogas co- or tri-generation units by life cycle analysis methodology, *Applied Thermal Engineering*, Vol: 25, pp. 3025–3041.
- Chynoweth, D.P., Jerger, D. (1988). Energy production from the methane fermentation of hardwoods, 5th International Symposium on Anaerobic Digestion, 913-916, Bologna, Italy.
- Crookes, R.J. (2006). Comparative bio-fuel performance in internal combustion engines, *Biomass and Bioenergy*, Vol: 30, pp. 461–468.
- Eliçin, A.K., Erdoğan, D. (2007). Fındık yağı metil ve etil esteri ile diesel yakıtı karışımlarının küçük güçlü bir diesel motorda yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 13 (2), 137-146.
- Eliçin, A.K., Gezici, M., Tutkun, M., Şireli, H.D., Öztürk, F., Eliçin, M.K., Gürhan, R. (2014) Potential of biogas from animal wastes of Turkey and determination

of suitable reactor size, Agriculture&Forestry, Vol:60 Issue:4, Page:189-197, Podgorica. (UDC 631.862:662.75.560) ISSN:0554-5579.

Eliçin, A.K., Bükün, B., Akıncı, C., Tekel, N., Tutkun, M., Gezici, M. (2019). Hayvansal atık kökenli model biyogaz tesisinin kurulması. T.C. Kalkınma Bakanlığı Güneydoğu Anadolu Projesi (Gap) Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı Gap Bölgesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji verimliliğinin artırılması projesi sonuç raporu, 73 s. Diyarbakır.

Eliçin, A.K. (2022). Biyogaz enerjisi. Farklı Yaklaşımlarla Enerji Kaynakları, s:219-245, Orient yayınları No:126, ISBN : 978-975-6124-96-3

Entürk E. (2004). Tavuk çiftliklerinden kaynaklanan gübre atıklarının incelenmesi ve uygun arıtma sisteminin önerilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Eryaşar, A., Koçar, G. (2006). Biyogaz depolama sistemleri ve farklı düşük basınçların biyogaz üretimi üzerine etkileri, III. Ege Enerji Sempozyumu, 24-25-26 Mayıs 2006, Muğla.

Eryaşar, A. (2007). Kırsal kesime yönelik bir biyogaz sisteminin tasarımı, kurulumu, testi ve performansına etki eden parametrelerin araştırılması, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 302 s.

Gustavsson, M. (2000). Biogas technology-solution in search of its problem – A Study of small-scale rural technology introduction and integration, Göteborg University, Göteborg.

Gürleyük, S. S., Akpınar, S. (2003). Yeni enerji kaynakları: Biodizel. Yenilenebilir Enerji Kaynakları II. Sempozyumu Bildiri Kitabı, YEKSEM 2003, Ekim, İzmir.

Hagen, M., Polman, E., Myken, A., Jensen, J., Jönsson, O., Dahl, A. (2001). Adding gas from biomass to the gas grid, Contract, Vol: XVII/4.1030/Z/99-412, Final Report, <http://uk.dgc.dk/pdf/altener.pdf>.



- Henham, A., Makkar, M.K. (1998). Combustion of simulated biogas in a dual-fuel diesel engine, *Energy Convers. Mgmt.*, Vol. 39, No.16-18, pp. 2001-2009.
- Jash, T., Basu, S. (1999). Development of a mini-biogas digester for lighting in India, *Energy*, Vol: 24, pp. 409-411.
- Jenangi, L. (1981). Producing methane gas from effluent, Adelaide University Diploma in Agricultural Production, [www.ees.adelaide.edu.au/pharris/biogas/project.pdf](http://www.ees.adelaide.edu.au/pharris/biogas/project.pdf).
- Jewell, W.J., Koelsch, R.K., Cummings, R.J. (1986). Cogeneration of electricity and heat from biogas, *SERI/STR*, s: 231-284.
- Kabir, H., Yegbemey, R.N., Bauer, S. (2013). Factors determinant of biogas adoption in Bangladesh. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28: 881– 889.
- Kaltschmitt, M., Hartmann, H. (2001). *Energie aus biomasse – Grundlagen, techniken und verfahren*; Springer Verlag Berlin, Heidelberg.
- Karakuşçu, M., Karabay, E., Bilir, M., Öztürkcan, C. (1981). Türk Hükümeti - Unicef ortak biyogaz projesi, Uluslararası Biyogaz Semineri, 118-157, 23-26 Kasım Ankara.
- Klein, J. (2002). *Anaerobic Wastewater Treatment – the Anaerobic Digestion of Lipids*, Tampere University of Technology, Department of Environmental Engineering, <http://studweb.studserv.uni-stuttgart.de>.
- Kocar, G., Eryasar, A., Illeez, B. (2007). Biogas feasibility in energy requirement of a rural house in Izmir/Turkey, The 3rd International Energy, Exergy and Environment Symposium, 1-5 July Evora, Portugal.
- Kroiss, H. (1985). *Anaerobe abwasserreinigung. Wiener Mitteilungen* , Bd. 62; Technische Universität Wien.
- Leggett, J.A., Graves, R.E., Lanyon, L.E. (2002). *Anaerobic digestion: Biogas production and odor reduction from manure*, <http://www.age.psu.edu/extension/factsheets/g/G77.pdf>.

- Maurer, M., Winkler, J.P. (1980). Biogas – theoretische grundlagen, bau und betrieb von anlagen, Verlag C.F. Müller, Karlsruhe.
- Mazza, P. (2002). Harvesting clean energy for rural development – Biogas, Climate Solutions Special Report, 2002; [http://www.harvestcleanenergy.org/documents/Biogas\\_Report.pdf](http://www.harvestcleanenergy.org/documents/Biogas_Report.pdf).
- McCabe, B.K., Hamawand, I., Harris, P., Baillie, C., Yusaf, T. (2014). A case study for biogas generation from covered anaerobic ponds treating abattoir wastewater: Investigation of pond performance and potential biogas production. *Applied Energy*, 114: 798–808.
- Mears, D.T. (2001). Biogas applications for large dairy operations: Alternatives to conventional engine-generators, Cornell Cooperative Extension Association of Wyoming Press, s: 326.
- Mitzlaff, K.Von. (1988). Engines for biogas, A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. 156-169.
- Mitzlaff, K.Von. (1988). Engines for biogas, a publication of the deutsches zentrum für entwicklungstechnologien, GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. s: 86-99.
- Monnet, F. (2003). An Introduction to anaerobic digestion of organic wastes, Project final report, [http://www.biogasmax.co.uk/media/introaerobicdigestion\\_0733230001011\\_24042007.pdf](http://www.biogasmax.co.uk/media/introaerobicdigestion_0733230001011_24042007.pdf), Erişim tarihi: 05.02.2022.
- Ozsoy, G., Alibas, I. (2015). GIS mapping of biogas potential from animal wastes in Bursa, Turkey. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(1): 74-83.
- Öztürk, H.H., Bascetincelik, A. (2006). Energy exploitation of agricultural biomass potential in turkey. *Energy Engineering, Energy Economics, Energy Policy and Oil & Gas Exploration*, Vol: 24, 1-2.

- Öztürk, İ. (2007). Anaerobik arıtma ve uygulamaları. Su Vakfı Yayınları. 480 s., ISBN: 978- 975-6455-30-2.
- Öztürk, İ., Demir, İ. (1989). Havasız çamur yataklı reaktörlerde granülasyona etki eden faktörlerin araştırılması. İTÜ Çevre ve Şehircilik Uygulama-Araştırma Merkezi, Araştırma-Geliştirme Projesi.
- Painuly, J.P., Rao, H., Parikh, J. A. (1995). Rural energy-agriculture interaction model applied to Karnataka State, Energy, Vol. 20, 3, pp. 219-233.
- Pınar, Y. ve Sessiz, A. (1998). Hayvansal Üretim Mekanizasyonu. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı No:14, Samsun,
- Roubaud, A., Favrat, D. (2005). Improving performances of a lean burn cogeneration biogas engine equipped with combustion prechambers, Fuel, Vol:84, pp. 2001–2007.
- Sasse, L., Kellner, C., Kimaro, A. (1991). Improved Biogas Unit for Developing Countries, A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, s:165-176.
- Seyfried, C.F. (1990). Anaerobe verfahren zur behandlung von industrieabwässern. Korrespondenz Abwasser, 37, 1247–1251.
- Siemons, R.V. (2002). How European waste will contribute to renewable energy, Energy Policy, 30, pp. 471–475.
- Stafford, D.A., Hawkes, D.L., Horton, R. (1981). Methane Production from Waste Organic Matter, CRC Press, Inc., ISBN 0-8493-5223- 1, Boca Raton, Florida.
- Verma, S. (2002). Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes, Columbia University, <http://www.seas.columbia.edu/earth/vermathesis.pdf>.
- Wandrey, C., Aivasidis, A. (1983). Zur reaktionskinetik der anaeroben fermentation. Chemie-In- genieur-Technik, 55, Nr.7, 516–524, Weinheim.

- Weiland, P. (2000). Stand und perspektiven der biogasnutzung underzeugung in Deutschland, Gül- zower Fachgespräche, Band 15: Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial, S. 8–27, Weimar.
- Weiland, P. (2001). Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte, Nr. 1620 Biogas als regenerative energie stand und perspektiven, 19-32; VDI-Verlag.
- Werner, U., Stöhr, U., Hees, N. (1989). Biogas plants in animal husbandry, A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, GATE, A Division of the Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Yenilenebilir Hammaddeler İhtisas Ajansı (FNR) (2010). Biyogaz Kılavuzu- Üretimden kullanıma. Gözden geçirilmiş 5. Baskı, OT Gülzow, Hofplatz 1, 18276 Gülzow-Prüzen.
- Zhang, C.L., Yang, G.H., Ren, G.X., Chu, L., Feng, Y.Z., Bu, D.S. (2008). Effects of temperature on biogas production efficiency and fermentation time of four manures. Transactions of the CSAE, 24(7): 209–212.



## BÖLÜM 3

### SÜRDÜRÜLEBİLİR DİKEY TARIM KAVRAMI

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep DUMANOĞLU<sup>1\*</sup>

---

<sup>1\*</sup>Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bingöl,  
Türkiye [zdumanoglu@bingol.edu.tr](mailto:zdumanoglu@bingol.edu.tr)\*



## GİRİŞ

Son yıllarda artan küresel sağlık problemleri ile birlikte kaliteli besin kaynaklarına olan ulaşımında sıkıntılar ortaya çıkmaktadır. Özellikle kentsel nüfusta yaşanan kontrol edilemeyen artış sebebiyle kullanılabilir arazi, su ve besin kaynaklarının yetersizliği giderek artmaktadır. Bu nedenle, kent yaşamı içerisinde kontrol edilebilir, aynı zamanda sağlıklı ve lezzetli ürünlerin üretimine yönelik yapılan araştırmalar hız kazanmıştır.

Günümüzde sürdürülebilirlik kavramı sadece tarımın ve üretimin devamlılığının da değil aynı zamanda kaliteli ve sağlıklı yaşam ifadelerini de kapsamaktadır.

Küresel ısınma ile artan çevre sorunları, iklim değişimleri, kirlenen toprak ve su kaynakları gibi olumsuz durumlara rağmen üretmeye, sağlıklı nesillerin yetişmesi için araştırma ve çalışmalar devam etmektedir. Bunların yanında şehirlerde düzensiz kentleşme sebebiyle, çevre ve yakın bölgelerdeki tarım arazilerinin yeterli olarak değerlendirilememesi sonucunda kapalı alanlarda, kontrol edilebilir ve sürdürülebilir üretim teknikleri geliştirilmektedir.

Gastronomi açısından bakıldığında ise; kapalı bitkisel üretim sistemlerine dair yapılan uygulamalar özellikle kısa zamanda, taze ve ulaşılabilir ürünlerin temin edilmesi sebebiyle son zamanlarda çok daha fazla tercih edilir duruma gelmiştir. Gıda güvenliğinin de önemi göz önüne alındığında restoran, kafe, otel ve hizmetlerinin bu tarz üretim yapan yerleri tercih etmeleri kaçınılmaz hale gelmiştir.



## **DİKEY TARIM**

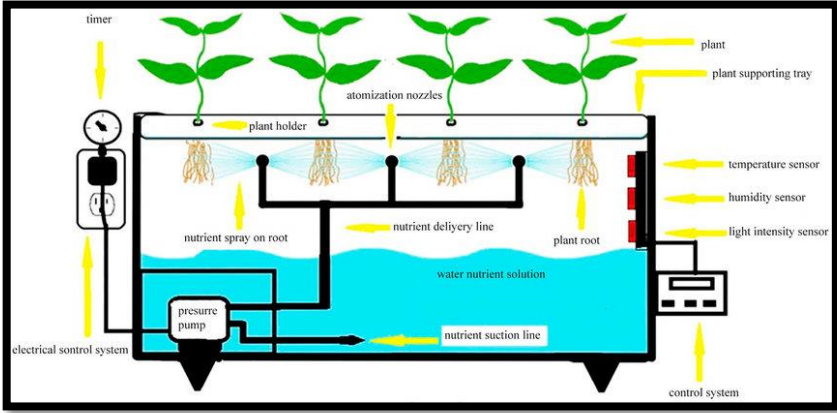
Kapalı bitkisel üretim sistemlerinde kendine bir yer edinen dikey tarım, terim olarak ilk defa 1915 yılında Gilbert Ellis Bailey tarafından kullanılmıştır. Daha sonra 1999’da Dr. Dikson Despommier ve öğrencilerinin Columbia Üniversitesinde bu konu hakkında çalışmalar yapmıştır. Üreticilere, gelecek yıllarda seralar gibi kapalı alanlarda yapılan üretimin yaygınlaşacağını belirten araştırmacı; sadece maliyetler anlamında değil aynı zamanda ekosistemin karşılaştığı problemler sonucunda sürdürülebilir üretimde yaşanabilecek sıkıntılara da dikkat çekmiştir (Bingöl, 2015).

Dikey tarım, şehirlerdeki yapılara da eklenebilme özelliğine sahip olduğundan, farklı özelliklere sahip malzeme ve sistemlerin bir arada kullanıldığı ve dikey olarak gerçekleştirilen bir üretim şekli olarak tanımlanabilmektedir (Bingöl, 2015). Topraksız üretim imkanının olması ise önem taşımaktadır (Karadağ vd., 2020).

Kendi içerisinde dikey tarım, açık (güneş ışığı ile temas eden), çevrelenmiş (korunan ancak gün ışığının ısınma ve aydınlatma için değerlendirildiği), kapalı (doğal gün ışığı almayan ancak kontrollü olarak aydınlatılan) ve diğer (doğal gün ışığı almayan ancak alternatif şekillerde aydınlatılan) olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bunlar ise, kendi üretim sistemleri açısından; aeroponik, akuaponik ve hidroponik olmak üzere üç ayrı başlık altında incelenmektedir.

- **Aeroponik sistemler**

Topraksız tarım teknikleri içerisinde yer alan bu sistemde hava kültürü ile bitkilerin büyüme ve gelişmeleri sağlanmaktadır (Managment, 2014; Şimsek & Gül, 2018). Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından 90'lı yıllarda uzayda bitki yetiştiriciliğinin alternatif yollarına dair yapılan araştırmalar sonucunda geliştirilen bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır (Birkby, 2016; Çılgınoğlu vd., 2022). Burada, havada bulunan bitki köklerine ihtiyaçları doğrultusunda besin maddesi verilmek, kontrollü ortamda nem (yaklaşık %70), karbondioksit, su ve ışık kaynakları faydalanılmaktadır (Seedtock, 2015).



Şekil1. Aeroponic sistem (Lakiar et al., 2018)

Bu sistemlerde su ve gübre kullanımının az olmasından dolayı üreticileri ekonomik anlamda rahatlatmaktadır. Diğer yandan, özellikle su kıtlığı yaşanan bölgelerde alternatif üretim tekniği olarak değerlendirilebilmektedir. Ancak nemli ve sıcak ortamların oluşması zararlı bakteri ve mantarlar gibi istenmeyen unsurların oluşmaması için bitkilerin buldukları alanların düzenli olarak dezenfekte edilmesi

gerekmektedir. Ayrıca, köklerin bulunduğu haznelerin ışık geçirmeyen bir alan olması özellikle kök bölgelerinin gelişimine olumlu yönde katkı yapmaktadır. Bitkinin üst kısmı için gerekli olan aydınlatma ise; yapay olarak sağlanmaktadır. Bu nedenle bu üretim sisteminde özellikle elektrik enerjisi yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu girdi maliyetinin düşürülmesine yönelik araştırmalara devam etmektedir (Bingöl, 2015).

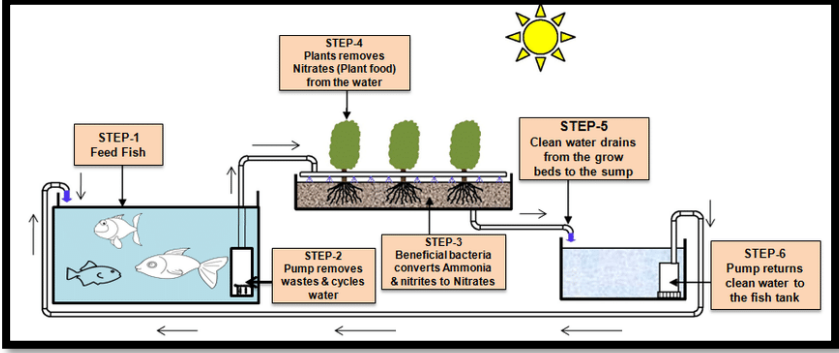


Şekil 2. Aeroponik sistem uygulamaları ([www.biocontrols.com](http://www.biocontrols.com))

- **Akuaponik sistemler**

Bu sistemler akua kültür ile hidroponik sistemlerin bir arada kullanımı ile ortaya çıkmıştır (Sfetcu ve ark., 2008; Kargın & Bilgüven, 2018). Akua kültürde, balık, kerevit, karides gibi deniz canlılarından faydalanılmaktadır. Bu canlılar sayesinde bitkinin köklerinin yer aldığı suyun temizlenmesi, sudaki oksijen miktarının artması amaçlanmaktadır. Bitkinin ihtiyacına bağlı olarak besin maddeleri de

bu ortama eklenmektedir. Akuakültür ortamındaki canlıların atıkları ayrıştırılarak hidroponik kısımda yer alan bitkilerin beslenmeleri sağlanmaktadır (Kargin & Bilgüven, 2018).



Şekil 3. Akuaponik sistem (Jena et al., 2017)

Bu sistemde bitkilerin ve su canlılarının bulunduğu tanklar arasında süregelen bir döngü gerçekleşmektedir. Örneğin, balıklar beslendikten sonra çıkan atıklar amonyak formunda olduğundan balıklar için toksit etki yaratmaktadır. Bu nedenle balık atıkları amonyak nitrosomona bakterileri tarafından nitrite ve nitrate çevrilmekte daha sonra azot açısından uygun şekilde gelen su, yeniden balıkların bulunduğu tanka verilmektedir. Buradaki atıklarda bitkiler için doğal besin kaynağı olarak görev yapmaktadır. Bu nedenle ayrıca hormon ve gübre takviyesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sistemlerdeki en önemli dezavantaj kurulum maliyeti ve sürekli-düzenli olarak gözlem ve kontrol gereksiniminin olmasıdır (Bingöl, 2015). Su sıcaklığının (yetiştirilen bitki ve su canlısına bağlı olarak) yaklaşık 24 °C, nitrifikasyonun sürdürülebilmesi ve besin devamlılığı için su pH değerinin 7.0 olması ve sudaki çözülmüş oksijen miktarının 6.2 mg/L

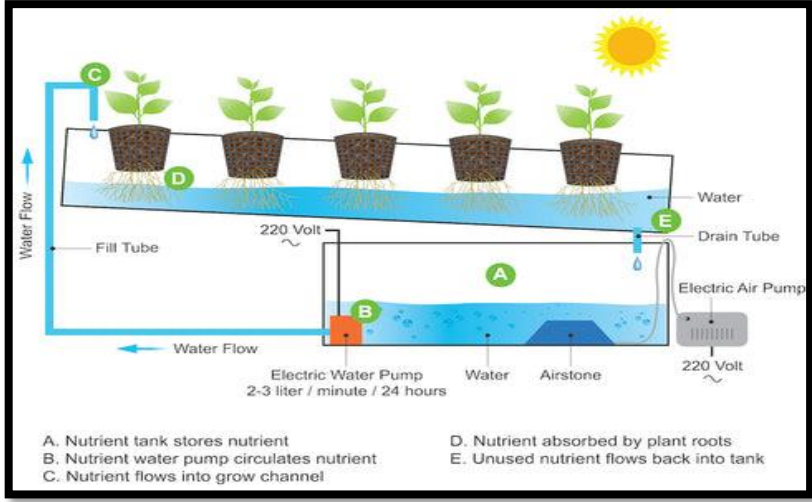
olacak şekilde ayarlarının yapılması gerekmektedir (Rocoky et al., 1992).



Şekil 4. Akuaponik sistem uygulamaları (www.forbes.com)

- **Hidroponik sistemler**

Bu sistemler, ilk olarak topraksız tarım uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır. Burada, besin çözeltisi içerisinde bitkilerin yetiştirilmesini amaçlanmaktadır. Yetiştirilen bitkilerin ihtiyacına göre eriyik halde besin maddeleri ortama verilmektedir (Şahin & Kendirli, 2016; Çılgınoğlu vd, 2022).



Şekil 5. Hidroponik sistem (<https://hydropros.com/>)

Hidroponik sistemler kendi içerisinde sıvı (Besleyici film tekniği (NFT); Modifiye NFT(Sabit kanallar, Hareketli kanallar, Borulu sistemler, Hareketli sistemler); Aeroponik (kök sisleme tekniği)) ve agregat (açık sistemler/Kanal kültürü=yatak kültürü, Torba kültürü, Kaya kültürü, Kum kültürü, Perlit; kapalı sistemler/Çakıl, NFT ya da Kaya yünü) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Ayrıca açık ve kapalı olmak üzere de hidroponik sistemler sınıflandırılmaktadır. Burada, açık olan sistemlerde yetiştirilen bitkiye bağlı olarak ihtiyaç duyulan besin maddeleri çözelti halinde hazırlanarak bitki köklerine bir defa uygulanmaktadır. Kapalı sistemlerde ise, bu uygulama çözeltinin birden fazla olmak şartıyla sistem içerisinde dolaştırılması şeklinde gerçekleşmektedir (Megep, 2008; Bingöl, 2019).



Şekil 6. Hidroponik sistem uygulamaları

([www.gardenandgreenhouse.net/hydroponic-systems-greenhouse/](http://www.gardenandgreenhouse.net/hydroponic-systems-greenhouse/) )

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Özellikle son yıllarda küresel ısınmaya bağlı olarak gerçekleşen iklim değişikliği nedeniyle alternatif üretim şekillerine olan ilgi son derece artmıştır. Bunlara ek olarak kentsel nüfusta yaşanan ve kontrol edilemeyen artış sebebiyle sağlık ve kaliteli gıda temininde sıkıntılar ortaya çıkmıştır. Kapalı bitkisel üretim sistemleri bu anlamda ulaşılabilirlik, şehirlere yakın ya da içerisinde oluşturulabilmesi bakımından önemli bir noktaya gelmiştir. Dikey tarım uygulamaları ise, artan bu ilgiyle beraber üreticiler için tüketiciye daha kolay, hızlı, kaliteli ve sağlıklı ürünleri yetiştirebilme olanağını sağlamaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilir üretim içerisinde dikey tarım kavramının yetiştiriciler ve tüketiciler için giderek daha önemli hale geleceği ve mevcut bu tarz üretim yapan işletmelerin giderek artacağı sonucu ortaya çıkmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Bingöl, B. (2015). Dikey tarım. *Ormançılık Dergisi*. 11(2):92-99.
- Bingöl, B. (2019). Alternatif Tarım Yöntemleri; Aeroponik, Akuaponik, Hidroponik. *Harman Time Dergisi*. 7(82), 34-42
- Birkby, J. (2016). Vertical farming. *ATTRA Sustainable Agriculture* 2, 1-12.
- Çılgınoğlu, H., Avcı, M. & Çılgınoğlu, Ü. (2022). Sürdürülebilir gastronomi açısından dikey tarımın önemi. *Journal of Humanities and Tourism Research*. 12(3): 455-467.
- Karadağ, Ş., Kasım, M.U. & Kasım, R. (2020). Kapalı bitkisel üretim sistemleri. *IJAAES International Journal of Anatolia Agricultural Engineering*. 2(4):30-38.
- Kargın, H. & Bilgüven, M. (2018). Akuakültürde Akuaponik Sistemler ve Önemi. *Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University*. 32(2): 159-173.
- Lakiar, İ.A., Gao, J., Syed, T.N., Chandio, F.A. & Buttor, N.A. (2018). Modern plant cultivation Technologies in agriculture under controlled enviroment: A review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*. 388-352.
- Jena, A.K., Biswas, P. & Saha, H. (2017). Advanced farming systems in aquaculture: strategies to enhance the production. *Inno.farm*. 1(1).84-89.
- Managment, (2014). Aeroponic. (<ftp://217.219.-170.14/Managment Group/ConferenceofEntrepreneurship/public/Aeroponic/annaphant>)
- Megep, (2008). T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), Bahçecilik, Hidroponik Sistemler, Ankara
- Rakocy, J.E., Losordo, T.M. a& Masser, M.P. (1992). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Integrating Fish and Plant Culture. SRAC Publication, No. 454. Southern Region Aquaculture Center, Mississippi State University, Stoneville, Mississippi, USA.
- Şahin, G. & Kendirli, B. (2016). Yeni bir zirai işletme modeli: Dikey çiftlikler. TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu (13-14 Ekim), Ankara.



- Seedstock, C.O. (2015). Startup profile: AeroFarms:Urban Agricultur Aeroponics Systems. (<http://seedstock.com/2011/03/29/startupprofile-aerofarms-systems-urban-agricultureaeroponics>)
- Sfetcu, L., Cristea, V. Oprea, L. (2008). Nutrients dynamic in an aquaponic recirculating systems for sturgeon and lettuce (*Lactuca sativa*) production. *Lucrari Științifice Zootehnie și Biotehnologii*, Vol. 41 (2).
- Şimsek, A. & Gül, A. (2018). Süs bitkisi fidanı üretiminde aeroponik (Aerofog) sistem ile diğer klasik köklendirme ortamlarının karşılaştırılması. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences* 22(2):760-767.

## BÖLÜM 4

### BAZI TAHİL SAP ATIKLARININ ENERJİ DEĞERLERİNİN ANALİZİ (DİYARBAKIR İLİ ÖRNEĞİ)

Doç. Dr. Ahmet Konuralp ELİÇİN<sup>1\*</sup>

Doç. Dr. Ferhat ÖZTÜRK<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Dicle Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye. konuralp.elicin@dicle.edu.tr, +90 533 449 1642 (ORCID: 0000-0003-3240-4547) (Sorumlu Yazar)

<sup>2</sup>Şırnak Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Şırnak, Türkiye. fozturk@sirnak.edu.tr, +90 532 254 0197 (ORCID: 0000-0002-2743-4285)



## GİRİŞ

Tarımsal kökenli atıklar olarak adlandırılan çeşitli ürün atıkları, çeşitli otlar, hayvan gübrelere, patates kabuğu, şeker pancarı yaprağı, meyve ve kabuk artıkları ile ormansal atıklar yenilenebilir enerji üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadırlar. Bu atıkların bir kısmının doğrudan yakıt olarak kullanılabilmesi enerji çiftliklerinin oluşturulması düşüncesini doğurmuştur. Tarımsal kökenli atıklar fermantasyon yolu ile diğer enerji kaynaklarına da dönüştürülebilir. Bu dönüşümler etanol, biyogaz, hidrokarbon üretimi şeklinde olabilir. Nişastalı ve selülozlu atıkların mikroorganizmalarla fermantasyona uğratılması sonucu üretilen etanol motor yakıtı olarak büyük önem kazanmaktadır. Bugün birçok ülkede benzin, % 10- 20 oranında etanol ilâve edilerek kullanılmaktadır. Organik maddelerin havasız ve sulu ortamda çürütülmesi ile oluşturulan biyogaz ortalama % 60 oranında metan içerir. Isıl değeri yaklaşık 4000 – 5000 kcal/m<sup>3</sup> olan bu gaz özellikle kırsal kesimde aydınlatma, yemek pişirme ve küçük motorları çalıştırma amacıyla kullanılabilir. Sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin hızlı bir şekilde artış göstermesi ile birlikte dünyada enerji tüketimi de hızlı bir şekilde artmaktadır. Ülkelerin çoğu enerji ihtiyacını azalmakta olan fosil yakıtları ile karşılamaktadır. Enerji üretiminde hala önemli ağırlığa sahip olan petrol, kömür ve doğal gaz kaynakları ile insanoğlunun tanışıklığı, çeşitli kaynaklarda bazı farklılıklar göstermekle birlikte; petrolle tanışıklık M.Ö. 3200 yıllarına kadar gitmekte ve Anadolu'nun bir parçası olan Mezopotamya'da, katranın

inşaat alanında harç katkı maddesi ve gemicilikte yalıtım maddesi olarak kullanılmasıyla başlamaktadır (Anonim 2022).

Enerji ihtiyacımızın kendi öz kaynaklarımız (yenilenemiyen ve yenilenebilen) ile karşılanması durumunda hem ülke ekonomimizin dışa bağımlılığının azaltılması hem de maliyetlerin azaltılması sağlanabilecektir. Türkiye bulunduğu coğrafya ve iklimden dolayı önemli miktarda yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiptir (Başçetinçelik, 2006; Gürel, 2020). Tarımda sürdürülebilirlik kavramının önemsendiği bir süreçte yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılan biyokütlenin dönüşümü ve atık yönetimi gibi konular ilgi çekmeye başlamıştır (Çelik ve ark., 2019). Biyokütle genel olarak bitki veya hayvan kaynaklı hidrokarbon içeren maddelerdir ve çoğunlukla organik içeriklidir (Demirel ve Gürdil, 2018). Biyokütle: kentsel çöpler, endüstriyel atıklar, tarımsal atıklar, odun, ormancılık atıkları, etanol, biodiesel vb. ürünlerin işlenmesi sonucu ortaya çıkan katı, sıvı ve gaz gibi yakıtların tümüne verilen addır (Özütemiz 2017). Hububat, sap ve saman, mısır atıkları, şeker pancarı yaprakları, fındık kapsülü, yabani otlar, bitkisel ürünlerin işlenmesi esnasında meydana gelen atıklar. Hayvanların bakıldığı barınaklarda bakım esnasında hayvan ve bakıcısı sağlığı açısından zararlı birçok gaz meydana gelmektedir. Bu gazlar içerisinde, karbondioksit, amonyak, metan, hidrojen sülfid, karbonmonoksit, vb. gazlar yer almaktadır. Bu gazların sağlığı olumsuz yönde etkilemesinin önüne geçebilmek için, hayvan barınağının düzenli temizlenmesi gerekmektedir. Barınaklardan çıkan gübre ve hayvan altlıklarının da düzenli ve düzgün depolanması hem insan sağlığına olumsuz etkileri ortadan kaldırmakta, hem zararlı gazların ortaya

çıkmasını önlemekte, hem de gübre kalitesinin artmasına olanak sağlamaktadır (Baran, 2022).

Başlıca biyokütle kaynaklarımız arasında; hayvansal atıklar, tarımsal atıklar, kentsel organik atıklar, kereste atıkları, endüstriyel odun üretimi atıkları, ahşap bazlı panel atıkları ve atık arıtma çamurları yer almaktadır. Türkiye'nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 8,6 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) ve üretilebilecek biyogaz miktarının 1,5-2 MTEP olduğu tahmin edilmektedir. 2021 yılı itibariyle biyokütleden elde edilen enerji miktarı 1.415 MW olup İzmir kurulu güç kapasitesi 27 MW'dır (Anonim, 2021).

Baran ve ark., (2021), Adıyaman İlinin bitkisel üretimden kaynaklanan kullanılabilir tarımsal atık miktarı ve bu atıkların enerji potansiyeli biyokütle açısından teorik olarak değerlendirilmişlerdir. Adıyaman'da 11 farklı meyve ağacı için budama atıklarının kuru biyokütle potansiyeli 39.325.858,11 ton/yıl ve toplam ısı kapasitesi 786.517.162,20 GJ/yıl olarak hesaplanmışlardır.

Baran (2021), Batman ilinde bazı tahıl (buğday, arpa, mercimek, nohut ve mısır) sap atık değerlerinden elde edilebilecek organik atık miktarı (ton/yıl), organik atıklardan elde edilebilecek kuru madde miktarı (ton/yıl), kuru maddeden temin edilebilecek uçucu kuru madde miktarı, toplam metan miktarı ( $m^3/yıl$ ) ve metan gazından elde edilebilecek enerji potansiyel değerleri belirlemiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda tahıl sap atık miktarı 5318,41 ton/yıl, ortalama kuru madde miktarı 4680,20 ton/yıl, uçucu kuru madde miktarı 4627,02 ton/yıl,

toplam metan üretim potansiyeli 1156,75 m<sup>3</sup>/yıl ve enerji potansiyeli 41643,15 MJ/yıl olarak belirlemiştir.

Baran ve Küçüker (2021), Tokat İlinin bitkisel üretimden kaynaklanan kullanılabilir tarımsal atık miktarı ve bu atıkların enerji potansiyeli biyokütle açısından teorik olarak değerlendirilmişlerdir. Tokat'ta tarla bitkileri için kuru biyokütle miktarı 993 527, 89 ton/yıl ve toplam ısıl kapasitesi 17 703 258,43 GJ/yıl, meyve ağaçları için budama atıklarının kuru biyokütle potansiyeli 7 845 124,67 ton/yıl ve toplam ısıl kapasitesi 156 902 493,40 GJ/yıl olarak hesaplamışlardır.

Bu çalışmada, Diyarbakır ili 2021 yılına ait kullanılabilir bazı tahıl (buğday, mısır, arpa, nohut, mercimek) sap atık değerlerinden elde edilebilecek organik atık miktarı (ton/yıl), organik atıklardan elde edilebilecek kuru madde miktarı (ton/yıl), kuru maddeden temin edilebilecek uçucu kuru madde miktarı, toplam metan miktarı (m<sup>3</sup>/yıl) ve metan gazından elde edilebilecek enerji potansiyel değerleri belirlenmiştir

## **MATERYAL ve METOT**

- **Çalışma alanının konumu**

Diyarbakır, Güneydoğu Anadolu Bölgesinin orta kısmında Mezopotamya'nın kuzey sonundadır. Doğudan Siirt, Muş; güneyden Mardin; batıdan Şanlıurfa, Adıyaman, Malatya; kuzeyden Elazığ ve Bingöl illeri ile çevrilmiştir. Yüzölçümü 1516200,00 kilometre kare, 37,905199 ve 40,231934 kuzey enlemleriyle, 40.37 ve 41.20 doğu boylamları arasında kalmaktadır. Etrafı fazla yüksek olmayan dağlarla

çevrili, ortası çukurcadır. % 37 oranında dağlar, %31 oranında ovalarla kaplıdır. Ovalar tarıma elverişli ve verimlidir. Bu verimli topraklar Dicle nehri ve kolları tarafından sulanmaktadır. Şehir, Karacadağ ile Dicle arasında uzanan geniş bazalt platonun doğu kenarında, Dicle vadisinin üzerinde ve nehir kavisinin tepesinde ufki bir satıh üzerinde kurulmuştur.. Denizden yüksekliği 650 metredir. Bu yükseklik bazı yerlerde 640 m bazı yerlerde 660 m'dir.

- **Dicle Havzası**

Dicle havzası içinde dağlarla çevrili, ortası çukurlaşmış bir alanda yer alan Diyarbakır, yüzey şekilleri bakımından düzenli bir yapı gösterir. Güneydoğu Torosların kuzey kesimi batıdan doğuya doğru, boydan boya engebelidir. Kuzey batısında Malatya dağlarının bir sırası olan Mağden dağları (2.230 m.), Kuzey doğusunda ise İnce burun ve Muş güneyi dağları uzun sıralar biçiminde uzanır. Bu sıraların biraz daha güneyinden başlayan uzunca eski dağ (1.576 m.) iç kesimlere doğru devam eder. Güney Doğu Torosların güneye gidildikçe alçalan sıraları, Diyarbakır-Urfa sınırında sönmüş bir yanardağdan Karacadağ'la yeniden yükselir. Bu küenin en yüksek noktası Kollubaba Doruğudur (1.957 m.). İlin güneyini boydan boya kuşatan Mardin eşiğinde daha alçak tepeler yer alır. İlin en yüksek noktası, Kulp'un Kuzey doğusunda bulunan 2.813 m. yüksekliğinde Tosun doruğudur. İl topraklarını Dicle ırmağı ve kolları, batı ucundaki küçük bir alanın sularını ise Fırat ırmağı toplar. Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultusunda ilin hemen hemen tümünü geçen Dicle, Kuzeyde Ambar Çayı ve Pamuk Çayı, Güneyde ise Ballıkaya Deresi, Göksu Çayı, Ollucak Deresi, Savur Çayı gibi kollar katılır.

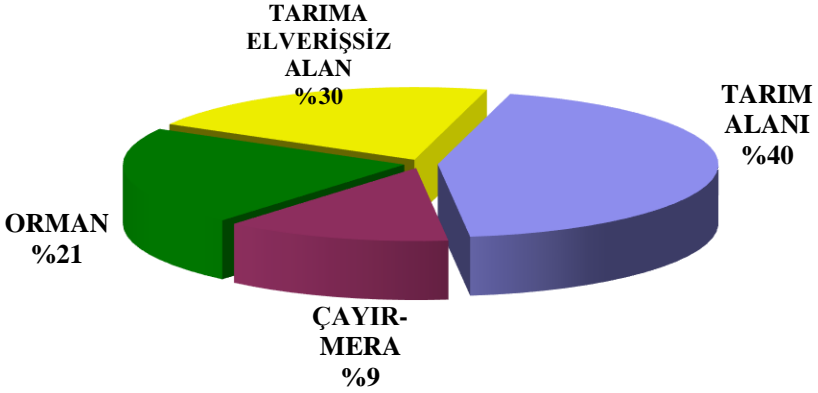


Kuzey doğudaki dağlardan doğan Kulp ve Sason (Büyük aydınlık) çayları da birleşerek Batman çayını oluşturur. Diyarbakır-Siirt sınırının bir bölümünü çizen Batman çayı, Hasankeyf önlerinde Dicle'ye dökülür.

## Tarım Alanlarının Yapısal Özellikleri

- **Tarım Arazilerin Dağılımı**

Diyarbakır ili tarımsal arazi dağılımı %21 orman, %9 çayır-mera, %40 tarım alanı ve %30 tarıma elverişsiz alanlar şeklindedir (Şekil 1) .Bu arazilerin %27'li bir kısmı devlet tarafından sulanırken, kalan kısım olan %73'lük kısımda ise halk kendi imkanları ile sulama yapabiliyor (Şekil 2).



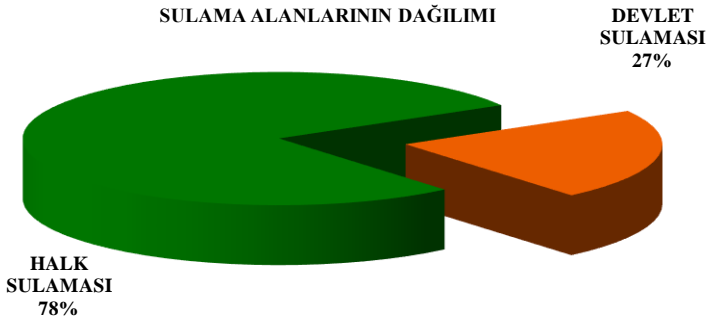
Şekil 1. Tarım arazilerinin dağılımı.

Tablo 1. Diyarbakır ili tarım arazisi dağılımı (TÜİK, 2021).

Tarım Arazilerinin Dağılımı	Alan (da)
Meyveler, İçecek Ve Baharat Bitkileri	219522
Nadas Alanı	82425
Sebze Alanı	126419
Tahıllar Ve Diğer Bitkisel Ürünlerin Alanı	5307776

Tablo 2. Toplam Tarım Alanının Sulama Durumu.

SULAMA DURUMU	ALAN ( ha )
Toplam Tarım Alanı	624.933
Toplam Sulama Alanı	166.005
Devlet Sulaması	37.614
Halk Sulaması	128.391



Şekil 2. Sulama Alanlarının Dağılımı.

- **Tarımsal Üretim Sistemi**

Diyarbakır ilindeki tarım işletmelerinin %25'sinde yalnız bitkisel üretim, %61'inde bitkisel ve hayvansal üretim, %14'inde ise sadece hayvansal üretim faaliyeti yapılmaktadır. Türkiye genelinde olduğu gibi Diyarbakır ilindeki tarım işletmeleri, hızlı nüfus artışı ve artan nüfusun tarım dışı sektörde istihdam edilmesi zorunluluğuna karşılık bu sektörlerde işgücü talebinin nüfus artışına uygun düzeyde arttırılamaması; tarımın gelişim hızının nüfus artışını karşılamada yetersiz kalması ve miras yoluyla arazilerin bölünmesi gibi nedenlerle giderek küçülmüştür.

- **Bitkisel Üretim**

Yağışın yıllık toplamının azlığı ve mevsimlere göre dağılışındaki dengesizlik nedeniyle, ilde kuru tarım sistemi hakimdir. Bitkisel üretim tahıllar üzerinde yoğunlaşmış olup, tahıl yetiştirilmede tahıl + ikinci ürün ekim sistemi uygulanmaktadır. Diyarbakır'da toplam 624.933ha tarım arazisi mevcut olup, tarım arazilerinin kullanım durumlarına göre dağılımı tablo 3te detaylandırılmıştır.

Tablo 3. Diyarbakır İli Tarım Arazileri Dağılım Oranı.

Arazinin Cinsi	Miktarı (ha)	Tarım Arazisine Oranı (%)
Tarla Alanı	582.485	93
Meyvelik	5.909	1
Sebzelik	1	3
Bağ	19.590	3
Toplam Tarım Alanı	624.933	100

Tablo 4. Diyarbakır ilinde üretilen tahıllar ve diğer bitkisel ürünler (TÜİK, 2021).

Tahıllar ve Diğer Bitkisel Ürünler	Verim (Ton)	Ekilen Alan (Da)
Durum Buğdayı	177948	768403
Buğday, Durum Buğdayı Hariç	400326	2141467
Mısır	290801	303458
Arpa Diğer	122582	812864
Darı	569	3711
Triticale	82	300
Kara Buğday	2	15
Fasulye, Kuru	571	2300
Nohut, Kuru	8526	89345
Mercimek, Kuru Kırmızı	46298	576051
Burçak Dane	539	3550
Soya Fasulyesi	900	2762
Pamuk Çekirdeği Çiğit	185538	552467
Susam Tohumu	25	906
Ayçiçeği Tohumu Yağlık	795	7122
Aspir Tohumu	3	33
Çeltik	4228	9734
Patates Tatlı Patates Hariç	7903	2025
Şeker Pancarı	56297	11910
Tütün, İşlenmemiş	895	2983
Pamuk, Çırcırlanmamış Kütlü	309229	552467
Pamuk, Çırcırlanmış Lifli	114413	552467
Fiğ Adi Yeşil Ot	18167	11725
Fiğ Macar Yeşil Ot	5488	4150
Fiğ Diğer Yeşil Ot	208	160
Burçak Yeşilot	720	1614

Yonca Yeşilot	16671	9126
Korunga Yeşilot	96	120
Mürdümük Yeşilot	292	158
Mısır Slaj	180878	42340
Bezelye Yemlik	68	17
Fiğ Adi Tohumu	536	3575
Fiğ Macar Tohumu	265	2050
Fiğ Diğer Tohumu	53	160
Lavanta	8	111
<b>TOPLAM</b>	<b>1951920</b>	<b>6471646</b>

- **Atık ve Enerji Potansiyellerinin Hesaplanması**

Verilen ekim alanı değerleri kullanılarak 2021 yılına ait ortalama atık potansiyeli belirlenirken, toplanabilirlik oranları dane buğday, arpa, kırmızı mercimek ve nohut için % 15, mısır için ise; % 60 olduğu ifade edilmektedir (Öztürk ve Başçetinçelik, 2006). Atıklardan elde edilebilecek kuru madde, uçucu kuru madde potansiyeli ve toplam metan potansiyel değerleri Sharma ve ark. (1988) tarafından kullanılan yöntemle göre belirlenmiştir. Uçucu kuru madde hesaplamasında gerekli parametreler literatür verileri kullanılmıştır. Bu ürünlerin atıklarından elde edilebilecek metan gazının enerji miktarı ise Aybek ve ark. (2015) tarafından kullanılan yöntemle göre belirlenmiştir. Belirtilen tahıl ürünleri tahıl atıklarından elde edilebilecek metan gazının enerji ise Aybek ve ark. (2015); Taşova ve Polatçı (2019) yöntemine göre belirlenmiştir.

Hesaplama da kullanılan eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$AP = ((EA \times 37 \times 15)/100)1000 \quad (1)$$

Burada;

AP: buğday atık miktarı potansiyeli (ton/yıl);

EA: buğday ekim alanı (da).

$$KM = ((AP \times 88)/100) \quad (2)$$

Burada;

KM: Elde edilebilir kuru madde potansiyeli (ton/yıl).

$$UKM = ((AP \times 87)/100) \quad (3)$$

Burada;

UKM: Ucu kuru madde potansiyeli (ton/yıl).

$$\ddot{O}MO = UKM \times 0.25 \quad (4)$$

Burada;

ÖMO: Özgül metan oranı (CH<sub>4</sub> kg).

$$ME = \ddot{O}MO \times 36 \quad (5)$$

Burada;

ME: Elde edilebilir metan gazının enerji değeri (MJ).

## ARAŞTIRMA BULGULARI

Diyarbakır ili 2021 yılında üretimi yapılan bitkisel ürünlerin enerji potansiyelleri ve eşdeğerleri aşağıda Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5'e göre Diyarbakır ili 2021 yılına ait toplam tahıl atık potansiyel değerinin ortalama 21773,677 ton/yıl ve bu değerden elde edilebilecek kuru madde potansiyel değerinin ise ortalama 19160,836 ton/yıl olduğu belirlenmiştir. Diyarbakır ili 2021 yılına ait toplam uçucu kuru madde

potansiyel değerinin ortalama 18943,099 ton/ yıl ve elde edilebilecek toplam metan oranı 4735,775 m<sup>3</sup>/yıl olduğu belirlenmiştir. Diyarbakır ili 2021 yılına ait bazı tahıl ürünleri atıklarından elde edilebilecek toplam enerji potansiyel değerinin ortalama 170487,889 MJ/yıl olarak saptanmıştır (Tablo 5) .

Tablo 5. Diyarbakır ilinde yetiştiriciliği yapılan bazı bitkisel ürünlerin kullanılabilir atık ve kuru madde potansiyeli, uçucu kuru madde, özgül metan oranı ve metan gazı enerji eşdeğerleri.

Ürün Adı	Atık Potansiyeli	Kuru Madde Potansiyeli	Uçucu Kuru Madde	Özgül Metan Oranı	Metan Gazı Enerji Eşdeğeri
Mısır (Dane)	1684,192	1482,089	1465,247	366,312	13187,223
Buğday	11885,142	10458,925	10340,073	2585,018	93060,661
Arpa	4511,395	3970,028	3924,914	981,228	35324,224
Kırmızı Mercimek	3197,083	2813,433	2781,462	695,366	25033,160
Nohut	495,865	436,361	431,402	107,851	3882,621
<b>Toplam</b>	<b>21773,677</b>	<b>19160,836</b>	<b>18943,099</b>	<b>4735,775</b>	<b>170487,889</b>

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Enerji ekonomik büyüme üzerinde anahtar bir rol oynamaktadır. Bu yüzden ekonomik büyüme ve enerji tüketimi arasındaki ilişkinin doğru bir şekilde ele alınıp incelenmesi, çalışmanın yapıldığı ülkeye oldukça önemli katkılar sunmakta fayda sağlayacaktır. Ülkemizde çoğunlukla klasik biyokütle üretimi yapmaktadır. Klasik biyokütle üretimi yerine modern biyokütle üretimine geçmesi, bu alanda daha fazla katma değer yaratacaktır. Bunu sağlamak için devletin enerji tarımını özendirici politikaları devreye alarak, biyoyakıt üreten üreticinin gelir kaybını önleyecek düzenlemeler yapması ve üreticiyi bu alana yönlendirmesi

gerekmektedir (Bayraç ve Özarlan,2018). Biyokütle enerjisi üzerinden kullanım alanları her geçen zaman artış göstermektedir. Özellikle daha düşük maliyet ve yenilenebilir enerji olanakları sebebiyle her geçen zaman kullanımı ve çevrede ikamet eden pek çok kişi de ek gelir elde etme şansı yakalamaktadır.

Ülkemizdeki neredeyse bütün tarımsal faaliyetlerde olduğu gibi, meyve yetiştiriciliğinde de her yıl tekrarlanan bir durum olan hasat ve budama sonrasında ortaya çıkan artıkların maalesef uygun şekilde değerlendirilememesi, hatta çoğu zaman yakılması nedeniyle büyük çapta organik artık-atık kaybı yaşanmaktadır.



## **KAYNAKLAR**

- Anonim, 2021. Biyokütle , erişim linki: <https://www.izenerji.com.tr/tr/icerik/biyokutle>, erişim tarihi: 10.10.2022
- Anonim, (2022). Yenilenebilir enerji, Erişim linki; <https://www.gmka.gov.tr/dokumanlar/yayinlar/Yenilenebilir-Enerji-Arastirmasi.pdf>, Erişim tarihi: 10.02.2022
- Aybek, A., Üçok, S., İspir, M.A., Bilgili, M.E., (2015). Türkiye’de kullanılabilir Hayvansal Gübre ve Tahıl Sap Atıklarının Biyogaz ve Enerji Potansiyelinin Belirlenerek Sayısal Haritalarının Oluşturulması. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi. 12 (03). 111-120.
- Baran, M.F., Çelik, A, Bellitürk, K., (2021). Some Agricultural Product Analysis Of The Energy Values Of Stalk Waste (A Case Study Of Adıyaman Province), 3rd International Conference on Food, Agriculture and Veterinary, 9-10 October 2021, Adana, Turkey, Conference Proceedings Book volume:1, Pages:648-647, ISBN: 978-625-7720-43-4
- Baran, M.F., (2021). Batman İlinde Bulunan Tahıl Sap Atıklarının Bazı Enerji Değerlerinin Analizi, 3rd International Conference on Food, Agriculture and Veterinary, 19 - 20 June 2021, Ege University, İzmir, Turkey, Conference Proceedings Book volume:1, Pages:648-647, ISBN: 978-625-7720-43-4
- Baran, M.F., Küçüker, E., (2021). Bitkisel Atıkların Enerji Potansiyelinin Teorik Analizi (Tokat İli Örneği) MAS Journal of Applied Sciences 6(2): 358–364, 2021
- Başçetinçelik, A., Öztürk, H.H., Karaca, C., Kaçıra, M., Ekinci, K., Kaya, D., Baban, A., Güneş, K., Komitti, N., Barnes, I., Nieminen, M., (2006). A Guide on Exploitation of Agricultural Residues in Turkey. Final Report Annex XIV, LIFE 03 TCY/ TR /000061, Adana.

- Bayraç H.N, ve Özarslan B, 2018, Biyokütle Enerjisi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Ampirik, Bir Analizi: Türkiye Örneği, Yalova Sosyal Bilimler Dergisi • Yıl: 8 • Sayı: 17 • Ekim 2018, e-ISSN 2146-1406, ss. 1-17
- Çelik, A., İnan, M., Sakin, E. (2019). Toprağa Uygulanan Tütün ve Badem Atıklarından Elde Edilen Biyokömürlerin Elementel Analizleri ve SEM Özelliklerinin Karşılaştırılması. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 23(4), 500-510.
- Gürel, B., (2020). Türkiye’deki Güncel Biyokütle Potansiyelinin Belirlenmesi ve Yakılmasıyla Enerji Üretimi İyi Bir Alternatif Olan Biyokütle Atıklar İçin Sektörel Açından ve Toplam Yanma Enerji Değerlerinin Hesaplanması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(2), 407-416.
- Öztürk, H.H., Başçetinçelik, A., (2006). Energy exploitation of agricultural biomass potential in Turkey. Energy Exploration and Exploitation Dergisi, 24 (5), syf: 313-330.
- Sharma, S.K., Mishra, I.M., Sharma, M.P., Saini, J.S. (1988). Effect of particle size on biogas generation from biomass residues. Biomass 17 (4): 251–263.
- Taşova, M., Polatçı, H. (2019). Tokat İlinde Bulunan Tahıl Sap Atıklarının Metan Gazı ve Enerji Değerlerinin Teorik Analizi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi , 8 (3) , 59-69 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/gbad/issue/50458/618860>



## BÖLÜM 5

### TÜRKİYE’NİN MARDİN İLİ TARIMINDA MAKİNE KULLANIM PROJEKSİYONU

<sup>1\*</sup>Doç.Dr. Osman GÖKDOĞAN

<sup>2</sup>Dr. Öğr.Üyesi Cihan DEMİR

---

<sup>1</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta, ORCID: 0000-0002-4933-7144

<sup>2</sup>Kırklareli Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Kırklareli, ORCID: 0000-0000-2866-4074



## GİRİŞ

Gül ve ark. (2022)'na göre Pellizzi (1992) tarımsal mekanizasyonun ana amacını, üretim maliyetlerinin minimizasyonu, ürün kalitesinin optimizasyonu, işyeri ve çevrenin korunumu ve çiftlik üretim esnekliğinin minimuma indirilmesi olarak belirtmiştir. Mekanizasyon kullanımı, birim alanda verimlilik üzerine etkili olmakla beraber, işgücü verimliliğini ve diğer kaynakların kullanım etkinliğini de artırmaktadır. Tarımsal mekanizasyon ile birlikte tarımsal faaliyetler daha hızlı yapılar hale gelmiş, tarıma elverişli alanlar kullanıma açılmış, sulanan araziler genişletilmiş, toprak daha etkin işlenebilir hale gelmiş ve sonuç olarak ürünün kalitesi ve verimi artmıştır (Ünsal, 2020).

Tarımsal uygulamalarda makine kullanımı ürün veriminde artışın yanında, alternatif olarak üretimde yeni tekniklerin de uygulanmasını sağlamakta olup, tarımsal uygulamaların çalışma şartlarını iyileştirmekte, ekonomikliğini ve etkinliğini de artırmaktadır (Demir ve Kuş, 2016; Altuntaş, 2020). Günümüzde tarımsal işlemlerin vaktinde ve ekonomik olarak yapılabilmesi için ilkel makinelerin yerine, iklim koşullarına, ürün desenine, arazi ve toprak yapısına uygun olan modern tarım alet ve makinelerin kullanılması gereklidir (Malaslı ve ark., 2015).

Tarım makinelerinin projeksiyonu ile ilgili yapılan bazı çalışmalar Çorum ilinde çeltik tarımında makine kullanım projeksiyonu (Bal ve Altuntaş, 2020), Çorum ilinde ayçiçeği tarımında makine kullanım projeksiyonu (Altuntaş ve Bal, 2021), Kayseri ilinde bitki koruma makineleri projeksiyonu (Cetin ve ark., 2020), Ardahan ilinde makine

kullanım projeksiyonu (Ertop ve ark., 2021), Tokat ilinde toprak işleme ve ekim makineleri kullanım projeksiyonu (Gül ve ark., 2022), İç Anadolu Bölgesinde bitki koruma makineleri projeksiyonu (Demir, 2015), Güneydoğu Anadolu Bölgesinin toprak işleme makineleri projeksiyonu (Malaslı ve ark., 2015), Türkiye’de tarım makineleri kullanım projeksiyonu (Baran ve ark., 2019; Altuntaş, 2020) vd. olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada Mardin ilinde tarımsal işlemlerde kullanılan bazı tarım makinelerinin kullanım projeksiyonu ele alınmıştır. Tarımsal işlemlerde kullanılan toprak işleme makineleri, ekim makineleri, gübreleme makineleri, ilaçlama makineleri ve hasat harman makinelerinin 2012-2021 yılları arasındaki değişim oranları ve projeksiyon katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan projeksiyon katsayıları kullanılarak 2022-2031 yılları için hesaplamalar yapılmıştır.

## **MATERYAL VE METOT**

Mardin ilinin toplam tarım alanı 3 174 625 dekadır (Anonim, 2022a). Mardin ili 36 55 - 38 51 kuzey enlemleri ve 39 56 - 42 54 doğu boylamları arasında yer almaktadır. Diyarbakır, Şanlıurfa, Batman, Siirt, Şırnak ve Suriye ile sınır komşusudur. İklim olarak Akdeniz iklimi ve karasal iklimin ortak özelliklerine sahiptir. Yazları çok sıcak ve kurak, kışları ise yağışlı ve soğuktur (Anonim, 2022b).

Bu çalışmanın ana materyalini Türkiye İstatistik Kurumunun 2012-2021 yıllarına ait Mardin ilinin tarım makineleri verileri oluşturmaktadır (Anonim, 2022c). Ek olarak çalışma için konu ile

yapılmış olan çalışmalardan yararlanılmıştır. Çalışmada kulaklı traktör pulluğu (KTP), diskli traktör pulluğu (DTP), diskli tırmık (DT), kültivatör (K), traktörle çekilen hububat ekim makinesi (TÇHEM), kombine hububat ekim makinesi (KHEM), kimyevi gübre dağıtma makinesi (KGDM), pnömatik ekim makinesi (PEM), atomizör (A), kuyruk milinden hareketli pülverizatör (KMHP), motorlu pülverizatör (MP), sırt pülverizatörü (SP), ot tırmığı (OT), biçer bağlar makinesi (BBM), traktörle çekilen çayır biçme makinesi (TÇÇBM), sapdöver harman makinesi (SDHM) hesaplama dahil edilmiştir.

Hesaplama dahil edilen tarım makinelerinin 10 yıllık üretim ve kullanım sayıları hesaplanarak sayılarındaki artışlar ve azalışlar yüzdeler oran olarak hesaplanmış ve yüzdeler oranların ortalama katsayıları belirlenmiştir. Bir önceki yıla ait makine sayısı ile o makineye ait katsayının çarpılıp katsayılarındaki azalış veya artış doğrultusunda hesaplama dahil edilmiş olan tarım makinelerinin projeksiyonları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda projeksiyon katsayılarının negatif sonucu azalışı ifade etmekte olup pozitif sonucu ise artışı ifade etmektedir (Anonim, 2011; Demir ve ark., 2013; Demir, 2013). Bu metot dahilinde Mardin ili tarımında kullanılan bazı tarım makinelerinin 2031 yılına kadar olan 10 yıllık projeksiyon hesaplamaları yapılmıştır.



## **BULGULAR VE TARTIŞMA**

KTP, DTP, DT ve K'ya ait olan geçmiş on yıllık makine sayısı, yıllara göre hesaplanan değişim oranları, makine sayılarına bağlı olarak hesaplanan projeksiyon katsayıları ve on yıllık süreçteki makine sayıları Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e göre geçmiş yıllara ait 2012 ve 2021 yıllarına göre son on yıllık makine sayısı KTP 3241 adetten 4083 adete, DTP 1058 adetten 1272 adete, DT 521 adetten 1035 adete, K 3173 adetten 3993 adete yükselmiştir. 2012-2021 yılları için hesaplanan değişim oranlarına göre projeksiyon katsayıları KTP, DTP, DT ve K için sırasıyla (%) 2.62, 2.09, 8.27 ve 2.59 olarak hesaplanmıştır. 2022 ve 2031 yılları için hesaplanan projeksiyona göre KTP'nin 4190 adetten 5288 adete, DTP'nin 1299 adetten 1564 adete, DT'nin 1121 adetten 2291 adete, K'nın ise 4096 adetten 5156 adete yükseleceği hesaplanmıştır.

TÇHEM, KHEM, KGDM ve PEM'e ait geçmiş on yıllık makine sayısı, yıllara göre hesaplanan değişim oranları, makine sayılarına bağlı olarak hesaplanan projeksiyon katsayıları ve on yıllık süreçteki makine sayıları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'ye göre geçmiş yıllara ait 2012 ve 2021 yıllarına göre son on yıllık makine sayısı TÇHEM 1732 adetten 1157 adete düşmüş olup, KHEM 1673 adetten 2660 adete, KGDM 2501 adetten 3137 adete, PEM 184 adetten 451 adete yükselmiştir. 2012-2021 yılları için hesaplanan değişim oranlarına göre projeksiyon katsayıları TÇHEM, KHEM, KGDM ve PEM için sırasıyla (%) -4.05, 5.34, 2.65 ve 10.71 olarak hesaplanmıştır. 2022 ve 2031 yılları için hesaplanan projeksiyona göre TÇHEM'in 1110 adetten 1031 adete düşeceği, KHEM'in 2802 adetten 4475 adete yükseleceği, KGDM'in

3220 adetten 4075 adete, PEM'in 499 adetten 1248 adete yükseleceği hesaplanmıştır.

Tablo 1. Toprak işleme makinelerinin projeksiyonu

Makine (Adet)		KTP	DTP	DT	K
Geçmiş yıllar*	2012	3241	1058	521	3173
	2013	3313	1059	556	3253
	2014	3407	1113	652	3302
	2015	3685	1139	743	3359
	2016	3795	1185	761	3514
	2017	3844	1242	752	3645
	2018	3879	1241	781	3788
	2019	3894	1279	800	3826
	2020	3942	1262	813	3932
	2021	4083	1272	1035	3993
Değişim oranları	2012-2013	2.22	0.09	6.72	2.52
	2013-2014	2.84	5.10	17.27	1.51
	2014-2015	8.16	2.34	13.96	1.73
	2015-2016	2.99	4.04	2.42	4.61
	2016-2017	1.29	4.81	-1.18	3.73
	2017-2018	0.91	-0.08	3.86	3.92
	2018-2019	0.39	3.06	2.43	1.00
	2019-2020	1.23	-1.33	1.63	2.77
2020-2021	3.58	0.79	27.31	1.55	
<b>Projeksiyon katsayısı (%)</b>		<b>2.62</b>	<b>2.09</b>	<b>8.27</b>	<b>2.59</b>
Projeksiyon	2022	4190	1299	1121	4096
	2023	4300	1326	1213	4203
	2024	4412	1353	1314	4311
	2025	4528	1382	1422	4423
	2026	4647	1411	1540	4538
	2027	4768	1440	1667	4655
	2028	4893	1470	1805	4776
	2029	5022	1501	1954	4899
	2030	5153	1532	2116	5026
	2031	5288	1564	2291	5156

\*: Anonim (2022c)

Tablo 2. Ekim makinelerinin projeksiyonu

Makine (Adet)		TÇHEM	KHEM	KGDM	PEM
Geçmiş yıllar*	2012	1732	1673	2501	184
	2013	1757	1715	2515	208
	2014	1809	1823	2552	223
	2015	1657	2010	2717	238
	2016	1669	2083	2799	248
	2017	1595	2186	2884	291
	2018	1312	2243	3180	318
	2019	1374	2511	3259	331
	2020	1381	2582	3401	352
	2021	1157	2660	3137	451
Değişim oranları	2012-2013	1.44	2.51	0.56	13.04
	2013-2014	2.96	6.30	1.47	7.21
	2014-2015	-8.40	10.26	6.47	6.73
	2015-2016	0.72	3.63	3.02	4.20
	2016-2017	-4.43	4.94	3.04	17.34
	2017-2018	-17.74	2.61	10.26	9.28
	2018-2019	4.73	11.95	2.48	4.09
	2019-2020	0.51	2.83	4.36	6.34
	2020-2021	-16.22	3.02	-7.76	28.13
<b>Projeksiyon katsayısı (%)</b>		<b>-4.05</b>	<b>5.34</b>	<b>2.65</b>	<b>10.71</b>
Projeksiyon	2022	1110	2802	3220	499
	2023	1065	2952	3305	553
	2024	1061	3109	3393	612
	2025	1057	3275	3483	678
	2026	1052	3450	3575	750
	2027	1048	3634	3670	830
	2028	1044	3829	3767	919
	2029	1040	4033	3867	1018
	2030	1035	4248	3970	1127
	2031	1031	4475	4075	1248

\*: Anonim (2022c)

A, KMHP, MP, SP'ye ait geçmiş on yıllık makine sayısı, yıllara göre hesaplanan değişim oranları ve bu sayılara bağlı olarak hesaplanan projeksiyon katsayıları Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'e göre geçmiş yıllara ait 2012 ve 2021 yıllarına göre son on yıllık süreçte A 46 adetten 68 adete, KMHP 773 adetten 1580 adete, MP 92 adetten 201 adete, SP 2540 adetten 3710 adete yükselmiştir. 2012-2021 yılları için hesaplanan değişim oranlarına göre projeksiyon katsayıları A, KMHP, MP ve SP için sırasıyla (%) 4.89, 8.53, 10.83 ve 4.43 olarak hesaplanmıştır. 2022 ve 2031 yılları için hesaplanan projeksiyona göre A'nın 71 adetten 110 adete, KMHP'nin 1715 adetten 3582 adete, MP'nin 223 adetten 562 adete, SP'nin 3874 adetten 5723 adete yükseleceği hesaplanmıştır.

OT, BBM, TÇÇBM, SDHM'ye ait geçmiş on yıllık makine sayısı, yıllara göre hesaplanan değişim oranları, makine sayılarına bağlı olarak hesaplanan projeksiyon katsayıları ve on yıllık süreçteki makine sayıları Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'e göre geçmiş yıllara ait 2012 ve 2021 yıllarına göre son on yıllık süreçte OT 424 adetten 479 adete yükselmiş, BBM 176 adetten 34 adete düşmüş, TÇÇBM 180 adetten 150 adete düşmüş olup SDHM 709 adetten 712 adete yükselmiştir. 2012-2021 yılları için hesaplanan değişim oranlarına göre projeksiyon katsayıları OT, BBM, TÇÇBM ve SDHM için sırasıyla (%) 1.39, -7.35, -1.95 ve 0.14 olarak hesaplanmıştır. 2022 ve 2031 yılları için hesaplanan projeksiyona göre OT'un 486 adetten 550 adete yükseleceği, BBM'nin 32 adetten 16 adete düşeceği, TÇÇBM'nin 147 adetten 123 adete düşeceği, SDHM'nin 713 adetten 722 adete yükseleceği hesaplanmıştır.

Tablo 3. Bitki koruma makinelerinin projeksiyonu

Makine (Adet)		A	KMHP	MP	SP
Geçmiş yıllar*	2012	46	773	92	2540
	2013	48	832	91	2545
	2014	49	853	156	2614
	2015	51	965	152	2626
	2016	53	1038	178	2706
	2017	53	1158	188	2890
	2018	53	1474	186	3442
	2019	53	1514	198	3560
	2020	51	1563	204	3653
	2021	68	1580	201	3710
Değişim oranları	2012-2013	4.35	7.63	-1.09	0.20
	2013-2014	2.08	2.52	71.43	2.71
	2014-2015	4.08	13.13	-2.56	0.46
	2015-2016	3.92	7.56	17.11	3.05
	2016-2017	0.00	11.56	5.62	6.80
	2017-2018	0.00	27.29	-1.06	19.10
	2018-2019	0.00	2.71	6.45	3.43
	2019-2020	-3.77	3.24	3.03	2.61
2020-2021	33.33	1.09	-1.47	1.56	
<b>Projeksiyon katsayısı (%)</b>		<b>4.89</b>	<b>8.53</b>	<b>10.83</b>	<b>4.43</b>
Projeksiyon	2022	71	1715	223	3874
	2023	75	1861	247	4046
	2024	78	2020	274	4225
	2025	82	2192	303	4412
	2026	86	2379	336	4608
	2027	91	2582	373	4812
	2028	95	2802	413	5025
	2029	100	3041	458	5248
	2030	104	3301	507	5480
	2031	110	3582	562	5723

\*: Anonim (2022c)

Tablo 4. Hasat-harman makinelerinin projeksiyonu

Makine (Adet)		OT	BBM	TÇÇBM	SDHM
Geçmiş yıllar*	2012	424	176	180	709
	2013	431	176	174	700
	2014	463	179	181	749
	2015	469	182	179	751
	2016	473	182	168	772
	2017	466	213	165	783
	2018	460	199	152	719
	2019	469	200	154	726
	2020	473	33	153	747
	2021	479	34	150	712
Değişim oranları	2012-2013	1.65	0.00	-3.33	-1.27
	2013-2014	7.42	1.70	4.02	7.00
	2014-2015	1.30	1.68	-1.10	0.27
	2015-2016	0.85	0.00	-6.15	2.80
	2016-2017	-1.48	17.03	-1.79	1.42
	2017-2018	-1.29	-6.57	-7.88	-8.17
	2018-2019	1.96	0.50	1.32	0.97
	2019-2020	0.85	-83.50	-0.65	2.89
2020-2021	1.27	3.03	-1.96	-4.69	
<b>Projeksiyon katsayısı (%)</b>		<b>1.39</b>	<b>-7.35</b>	<b>-1.95</b>	<b>0.14</b>
Projeksiyon	2022	486	32	147	713
	2023	492	29	144	714
	2024	499	27	141	715
	2025	506	25	139	716
	2026	513	23	136	717
	2027	520	22	133	718
	2028	528	20	131	719
	2029	535	18	128	720
	2030	542	17	126	721
	2031	550	16	123	722

\*: Anonim (2022c)

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmada ele alınan kulaklı traktör pulluğu, diskli traktör pulluğu, diskli tırmık, kùltivatör, traktörle çekilen hububat ekim makinesi, kombine hububat ekim makinesi, kimyevi gübre dağıtma makinesi, pnömomatik ekim makinesi, atomizör, kuyruk milinden hareketli pülverizatör, motorlu pülverizatör, sırt pülverizatörü, ot tırmığı, biçer bağlar makinesi, traktörle çekilen çayır biçme makinesi, sapdöver harman makinesi için hesaplanan projeksiyon katsayıları sırasıyla (%) 2.62, 2.09, 8.27, 2.59, -4.05, 5.34, 2.65, 10.71, 4.89, 8.53, 10.83, 4.43, 1.39, -7.35, -1.95, 0.14 olarak hesaplanmıştır.

2022 ve 2031 yılları için hesaplanan projeksiyona göre KTP'nin 4190 adetten 5288 adete, DTP'nin 1299 adetten 1564 adete, DT'nin 1121 adetten 2291 adete, K'nın ise 4096 adetten 5156 adete yükseleceği; TÇHEM'in 1110 adetten 1031 adete düşeceği, KHEM'in 2802 adetten 4475 adete yükseleceği, KGDM'in 3220 adetten 4075 adete, PEM'in 499 adetten 1248 adete yükseleceği; A'nın 71 adetten 110 adete, KMHP'nin 1715 adetten 3582 adete, MP'nin 223 adetten 562 adete, SP'nin 3874 adetten 5723 adete yükseleceği; OT'un 486 adetten 550 adete yükseleceği, BBM'nin 32 adetten 16 adete düşeceği, TÇÇBM'nin 147 adetten 123 adete düşeceği, SDHM'nin 713 adetten 722 adete yükseleceği hesaplanmıştır.

Bu çalışmada ele alınan 16 adet tarım makinesinden 13 adet tarım makinesi için hesaplanan projeksiyon katsayıları pozitif olarak hesaplanmış olup bu makinelerin 2031 yılına kadar artacağı; traktörle çekilir hububat ekim makinesi, biçer bağlar makinesi ve traktörle

çekilen çayır biçme makinesi için projeksiyon katsayıları negatif olarak hesaplanmış olup 2031 yılına kadar azalacağı sonucuna varılmıştır.

**Not:** Bu çalışma “2. Uluslararası Multidisipliner Bilimsel Çalışmalar ve Küresel Uygulamaları” Kongresi” nde 26-28 Temmuz 2022 tarihinde Batum, Gürcistan’da online sözlü özet bildiri olarak sunulmuştur.



## **KAYNAKLAR**

- Altuntaş, E. (2020). Türkiye'deki tarım makineleri kullanım projeksiyonunun tahmini. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 6(3): 506-516.
- Altuntaş, E., Bal, M. (2021). Çorum ilinde ayçiçeği tarımında makine kullanım projeksiyonu. *Akademik Ziraat Dergisi*, 10(2): 355-364.
- Anonim (2011). T.C. Mersin Valiliği, İl Tarım Müdürlüğü, Mersin. Tarım Master Planı, Mersin.
- Anonim. (2022a). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Tarımsal Yatırımcı Danışma Ofisi. Mardin Tarımsal Yatırım Rehberi. [https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/TARYAT/Belgeler/il\\_yatirim\\_rehberleri/mardin.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/TARYAT/Belgeler/il_yatirim_rehberleri/mardin.pdf) (Erişim tarihi: 18 Kasım 2022).
- Anonim. (2022b). T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Mardin İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. Coğrafya. <https://mardin.ktb.gov.tr/TR-56481/cografya.html> (Erişim tarihi: 18 Kasım 2022).
- Anonim. (2022c). Türkiye İstatistik Kurumu, Tarım Alet ve Makine İstatistikleri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim tarihi: 18 Kasım 2022).
- Bal M, Altuntaş E (2020). Çorum ilinde çeltik tarımında makina kullanım projeksiyonunun tahmini. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 1(2):233-247.
- Baran, M.F., Gökdoğan, O., Kaya, A.I., Oğuz, H.İ. (2019). Projection of technology equipment usage in agriculture in Turkey. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(1): 1-9.
- Demir, B. (2013). Mersin ilinin tarımda teknoloji kullanım projeksiyonu. *Alinteri*, 24(B): 29-34.
- Cetin, N., Demir, B., Sağlam, C. (2020). Projection for plant protection machinery of Kayseri province. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, 1: 104-110.

- Demir, B., Öztürk, İ., Sayıncı, B., Sakarya, A., (2013). Türkiyenin bitki koruma makineleri projeksiyonu. I. Bitki Koruma Ürünleri ve Makineleri Kongresi, 2-5 Nisan 2013, Antalya.
- Demir, B. (2015). İç Anadolu Bölgesinin bitki koruma makineleri projeksiyonu. Alınları, 28(B): 27-32.
- Demir, B., Kuş, E. (2016). İç Anadolu Bölgesinin tarımda teknoloji kullanım projeksiyonu. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi TARGİD Özel Sayı, 89-95.
- Ertop, H., Atılgan, A., Gökdoğan, O., Saltuk, B. (2021). Projection of machine usage in agriculture of Ardahan province. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (27): 259-266.
- Gül, E.N., Özgöz, E., Altuntaş, E. (2022). Tokat ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyi, toprak işleme alet ve makinaları ve ekim makinaları projeksiyonu. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 11(2): 12-24.
- Malaslı, M.Z., Çelik, A., Çelik, Ş. (2015). Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin toprak işleme alet ve makinaları projeksiyonunun regresyon analizi yöntemiyle belirlenmesi. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 2(1): 126-132.
- Pellizzi, G. (1992). Development and role of agricultural engineering. Machinery World No. 3 Sept-Oct., 1992, pg. III-XI. Rome, Italy.
- Ünsal, Y., 2020. Türkiye'nin coğrafi bölgelere göre tarımsal mekanizasyon düzeyinin belirlenmesi. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, s. 18.



## BÖLÜM 6

### SUSAM (*Sesamum indicum*) BİTKİSİNDE SULAMA ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

<sup>1</sup>Ziraat Müh. Mehmet FİDAN

<sup>1</sup>Ziraat Müh. Zeynep OBUT

<sup>1</sup>Ziraat Müh. Nurullah DEMİR

<sup>1</sup>Ziraat Müh. Gülcan ÜREN

<sup>1\*</sup>İnşaat Müh. Ruken KONUK

---

<sup>1</sup>Siirt Üniversitesi,Ziraat Fakültesi,Biyosistem Mühendisliği-Siirt/Türkiye  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0255-9727>

<sup>1</sup>Siirt Üniversitesi,Ziraat Fakültesi,Biyosistem Mühendisliği-Siirt/Türkiye  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2954-3749>

<sup>1</sup>Siirt Üniversitesi,Ziraat Fakültesi,Biyosistem Mühendisliği-Siirt/Türkiye  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3613-7397>

<sup>1</sup>Siirt Üniversitesi,Ziraat Fakültesi,Biyosistem Mühendisliği-Siirt/Türkiye  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8815-5389>

<sup>1\*</sup>Siirt Üniversitesi,Ziraat Fakültesi,Biyosistem Mühendisliği-Siirt/Türkiye  
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3060-8335>

\*corresponding author's e-mail: [konukruken@gmail.com](mailto:konukruken@gmail.com)



## GİRİŞ

Susam (*Sesamum indicum*) bitkisinin tohumları genel olarak %50 – 60 oranında yağa sahip olup, %25 oranında da protein içeren önemli yağ bitkilerinden bir tanesidir. Susam bitkisi bir sıcak iklim bitkisi olmamasına rağmen sıcaklık isteği de oldukça fazladır. Susam bitkisi tek yıllık otsu bir bitki olup, dikey yönde büyüme özelliği gösteren bitkilerden birisidir. Bitki boyu ise 30'den 125 cm'ye kadar ulaşabilmektedir. Susam bitkisinin gövde yapısı dikey yönde oluklu ve sık tüylü özelliğindedir. Susam bitkisinin olgunlaşma veya hasat olgunluğuna gelim süresi kısa olduğundan daha çok ikinci ürün olarak yetiştirilmesi öne çıkmaktadır. Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde sulu tarımı yapılan ön bitki olan serin iklim bitkilerinin harmanlanmasından sonra 2. ürün olarak ekimi yapılmaktadır (Tan, 2015). Susam bitkisi her ne kadar kurağa dayanıklı bir bitki olarak bilinsede özellikle yaz aylarında yüksek evapotranspirasyondan dolayı sulamadan yetiştirilmesi imkansız gibi görülmektedir. Öte yandan susam bitkisinin su stresinde bitki boyu, kök gelişimi, yaprak alanı ve stoma sayısının azaldığı, erken çiçeklendiği ve olgunlaştığı bildirilmiştir. Sulamanın susam bitkisinin tane verimi üzerine zarar etkisi açısından en kritik periyot Haziran-Temmuz ve Ağustos ayları olup, bu dönem kapsül oluşumundan başlayıp, tane dolumunu da içine almaktadır (Uçak ve ark., 2019).

Susam yetiştiriciliğinde düşük nem tansiyonunda (düzeyinde) sulanan susamın yağ oranı daha yüksek olmaktadır (Umar ve ark. 2015). Susam bitkisinde su stresinin doymamış yağ asitlerinden oleik asit içeriğini artırmakta linoleik asit içeriğini ise azaltmakta, uygulanan sulama suyu

arttıkça doymuş yağ asitlerinden olan stearik ve araşidik asitlerin azalmakta, palmitik asit ise artmamaktadır (Bastug et al. 2016). Susam yetiştiriciliğinde sulama düzeylerinin ve çeşitler arasındaki interaksiyonun önemli olduğunu bildirilmiştir (Uçak ve ark., 2019). Çiçeklenme dönemi, önemli miktarda verimde azalmaya neden olan su eksikliğine en duyarlı olduğu dönemdir (Geerts ve Raes, 2009; Janalizadeh ve ark., 2017; Scott, 2000; Baghel ve ark., 2017). Ayrıca, Janalizadeh ve ark. (2017) su stresi uygulamasının verim, bitki boyu, tohum sayısı, yaprak alan indeksi, yaprak bağıl su içeriğini önemli ölçüde azalttığını bildirmiştir. Öte yandan, Baghel ve ark., (2017) kısa vadeli bir su stresinin bile ürün veriminde önemli kayıplara neden olabileceğini bildirmiştir.

Nem eksikliğinin, bitkiden elde edilecek verimi olumsuz yönde etkileyebileceğini bildirmişlerdir (Scott, 2000), Susam çeşitlerinin kısıntılı sulama düzeylerinde yağ asitleri kompozisyonunun ortalama değerleri incelendiğinde farklı sulama düzeylerinin palmitik asit, oleik ve linoelik asit değerlerini istatistiksel olarak önemli düzeyde etki ettiğini, sulama miktarının artması ile palmitik asit değerinin düşmesinin aksine oleik ve linoleik yağ asitleri değerlerinin arttığı belirlenmiştir (Uçak ve ark., 2019).

Susamın çok önemli bir toprak seçiciliği olmayıp hemen her tür toprakta tarımı yapılmaktadır. Diğer bitkilere kıyasla daha az bitki besin elementlerine ihtiyaç duyması, kuraklığı mukavim olması, pazarlama yönünden bir sorun olmaması ve depolamanın kolaylığı gibi nedenlerden dolayı susam altın değerinde bir bitkidir (Yol, 2011). 2014 yılın da dünyada ortalama olarak 10.6 milyon ha alanda 5.5 milyon ton

susam üretimi yapılmıştır. Susam üretiminde önemli ülkeler sırasıyla Sudan, Myanmar, Hindistan, Nijerya, Tanzanya ve Çin'dir, Türkiye ise dünya susam üretim alanının sadece % 0.2'sine sahip olup dünyada otuz ikinci sırada gelmektedir. Türkiye'de, önemli susam üreticisi olan bölgelerimiz Ege ve Akdeniz Bölgeleridir.

Ekim alanının %48.6'sı Ege ve %39.3'ü Akdeniz Bölgesinde bulunmaktadır. Üretimde aldıkları paylar ise sırasıyla %43.2 ve %46.2'dir. (FAO, 2018)..Dünya susam üretiminde, ilk sırada Hindistan (%14.8), ikinci sırada Sudan (%13.2) ve üçüncü sırada Çin (%11.2) önemli pay almaktadır. Susamın dünyadaki dekadaki verimi 51.8 k'dır.(FAO, 2016). (Arioğlu, 2014). Dünyada Susam bitkisi ekim alanı, 1990'lı yıllarda toplam yağlı tohumlar arasında %11.8'ini oluştururken, 2014 yılındaki ise %2.0'ye düşmüştür. (TUİK, 1993; TUİK, 2016). Susam bitkisi kuraklığa dayanıklı bir bitki olduğundan, sulu tarım koşullarında daha iyi verim verir. İkinci ürün olarak susamda bitkisinin mutlaka sulaması gerekmektedir. Ülkemizin güney ve güneydoğu bölgelerinde daha çok ikinci ürün olarak yetiştirilen susam, optimum arazi kullanımı sayesinde ülke ekonomisine önemli katkılar sağlamaktadır (Yaşar ve ark., 2020). Susam çiçeklenme başlangıcı ve çiçeklenme ortasında sulama sık aralıklarla yapılması ile verimi artışı sağlanabilir. (Langham ve ark., 2008; Uçak ve ark., 2022).

### • Tarımda Sulamanın Önemi

Su bitkisel üretimin vazgeçilemez en önemli etmenlerinden birisidir (Uçak ve ark., 2020; Uçak, 2018). Bütün canlıların yaşaması için su hayati öneme sahiptir. Bitkide bitkiye değişmekle beraber genellikle bitkiler % 90 – 95 oranlarda sudan oluşmaktadırlar. Sulama tarımsal



üretimde en önemli girdilerden biri olup, su bitkiler için hayatı bir kaynaktır. Bitkiler için su hayatı bir önem sahip olmasından dolayı, sulamanın bitkiler için önemi ortaya çıkarmaktadır. Sulamayla birlikte farklı ürünler yetiştirilmesi, daha iyi kaliteli ürün ve birim alanda elde edilen ürün miktarı artar. Ülkemizde sulanabilen arazi miktarı 8.7 milyon hektardır. Ancak ülkemizde 4,7 milyon hektarı sulanabilmektedir. Türkiye'de sulamaya açılan tarım arazilerinin yaklaşık olarak %94 'ünde açık kanal sistemleri ile sulanmaktadır. Geriye kalan %6'lık kısmında ise basınçlı sulama sistemleri ile sulanmaktadır. Türkiye 'deki sulanan tarım arazilerinin %75 salma, %20 yağmurlama ve %5 oranında damla sulama kullanılmaktadır.

Günümüzde su kaynakların giderek azılması, az suyu ile, işçilik masraflar az ve tuzluluk sorunu oluşturmayacak, kaliteli ürün ve verimi arttıracak sulama sistemlerinin kullanılması önemi gün geçtikçe artmaktadır. Mevcut durumdaki su kaynaklarımız artan su ihtiyacımızı karşılayamamaktadır. (Kadioğlu 2008 ). Ülkemizde mevcut tarım arazilerinin giderek azaldığı günümüz koşullarında, birim alanda daha fazla ürün elde edebilmek için sulamaya daha fazla önem verilmelidir. Bitkilerden daha yüksek verimin alınabilmesi için, uygun zamanda, uygun sulama yöntemi, ve yeteri kadar su bitkiye verilmelidir. Sulama projeleri yapılırken, bitkilerin ihtiyaç duyacakları su göz önüne alınmalıdır. Ülkemiz, kurak ve yarı kurak iklim kuşağında bulunmaktadır. Bu sebeple sulamanın önem arz etmektedir. Ülkemizde yıllık yağış ortalama 300-450 mm olup , yağışın mevsimlere göre farklı olması ve düşen yağışın bitkinin su ihtiyacına uygun olmayabilir. Ülkemizde su kaynaklarının az olduğu bölgelerde getirisi yüksek

bitkiler ekilmesiyle beraber ve bu bitkilerin sulanmasında damla sulama yöntemi ile sulanmaya başlanmıştır (Şehirali ve ark. 2005). Kurak ve yarı kurak iklime sahip bölgelerde bitkinin gelişmesi için gerekli olan yağışın düzensiz ve yetersiz olması verim ve bitki yetişmesi açısından sulamayı önemli kılmaktadır. Tarımsal üretimde kullanılan su kaynakları her geçen gün azalmaktadır. Dünyada aratan nüfusa bağlı olarak su ihtiyacı ve suya olan gereksinimi giderek artmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yağışların az olduğu bölgelerde sulama suyunun maliyeti yüksektir.

Bitkinin ihtiyaç duyduğu ve yağışlarla karşılanamayan suyun toprakta bitkinin kök bölgesine kontrollü, gereken miktar ve bitkinin suyunun ihtiyaç duyduğu suyun zamanda verilmesine tarımsal sulama denir.. Tarım alanlarında bitkilerin yetişme döneminde bitki için gerekli olan suyun doğal yağışların yeterli olmadığı zamanlarda yüksek verim ve kalite ürün için en uygun yöntemle sulamanın yapılması gerekmektedir. Tarımsal faaliyetlerde su önemli bir rol oynamaktadır. Ülkemizde yapılan susuz, sulu tarımın, 80 milyonunun üzerinde olan nüfusumuzun ve gelişen sanayimizin tatlı su ihtiyacının karşılanması gerekmektedir. Bu nedenle yeraltı ile yerüstü tatlı su kaynaklarımızın daha verimli bir biçimde ve tasarruflu kullanılmasını gerektirmektedir.

Tarımsal üretimde tarlanın başına kadar getirilmiş olan suyun, minimum kayıpla, tarlanın tümüne eşit bir şekilde dağılması sağlanmalıdır. Tarlaya Sulama konusunda birçok sistem vardır. Bu sistemlerden herhangi birinin seçilmesinde tarlanın eğiminin düzgün olup olmamasına, yetiştirilen bitkinin cinsine, toprağın kimyasal ve

fiziksel özelliklerine, bölgenin iklim koşullarına, sulama suyunun miktarına ve kalitesine, çiftçi alışkanlıklarına, ve çiftçilerin ekonomik durumuna bağlıdır. Düz arazilerde bütün sulama sistemleri uygulanabildiği halde eğimli arazilerde yağmurlama sulama, damla sulama yada karık sulama daha uygun olmaktadır.

Türkiye’de son yıllarda yapılan sulu tarımda alanlarda damlama sulama yöntemi yoğun bir şekilde kullanılmaya başlamıştır. Damlama sulama yönteminin yaygınlaşmasında en önemli unsurlar, aynı su ile diğer sulama yöntemlerine göre daha fazla alan sulamakta, birim alanda verim artışlarının yüksek olması ve kaliteli ürün üretimi, gübre kullanımındaki azalış, gübrenin bitkiye her zaman verilmesi, bitki hastalıkların azalmalara bağlı olarak ilaç tüketiminin az olması üreticiye kar olarak kalmasıdır.

Tarımda sulama suyunun randımanının artırılması, kullanılan sulama suyunun oranının azaltılmasında, tarım alanların sulamaya açılması, bitkilerin gerekli suyun bir kısmından bitkinin verim ve ürün kalitesini düşürülmeden sulama suyunun kısıntıya giderek kısıntılı sulama uygulanmaktadır.. Sulama dönemlerde sulama bitki ihtiyacının belirli bir miktarının karşılanmasıyla sudan önemli miktarda tasarruf edilebileceği bir çok araştırmada belirtilmiştir (English, 1990; Pereira ve ark., 2002; Fereres ve Soriano, 2007; Karakaya ve Ödemiş, 2019).

- **Susam Bitkisinin İklim ve Toprak İstekleri**

Susam sıcak seven bir bitkidir. 90- 120 günlük yetiştirme dönemlerinde aylık ortalama sıcaklığın 20 Oc’nin altına düşmemesi ve tohumun çimlenmesi için toprağın sıcaklığının minimum 12-15 Oc en

fazla 20-25 0c olması gerekmektedir. Susam bitkisi çimlenme esnasında yağışlardan ve kuru rüzgarlardan zarar görür. Bitki gelişme süresince toplam 2500-2800 0c sıcaklığa ihtiyaç duyar. Gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farklılıkları bitki gelişim süresi etkilemekte ve verim düşmesine neden olur.

Susam bitkisi toprak isteği bakımında fazla seçici olmamakla beraber drenajı iyi olan, orta bünyeli, organik maddece zengin, kumlu-killi, alüvyal, hafif topraklarda iyi gelişir. Orta ağır humuslu topraklarda iyi gelişir. Fazla killi kireçli, çok çakıllı ve su tutan topraklarda iyi gelişmez.

- **Toprak Hazırlığı**

Susam bitkisinin tohumun çimlenme gücünün yüksek olmasına karşın, susamın tohumun küçük olmasından dolayı çıkış gücü zayıftır. Bundan dolayı susam tohumların ekimi için iyi bir toprak hazırlığı ve tohum yatağı gerekmektedir.

Birinci ürün ekilişlerinde nisan-mayıs aylarında ikinci ürün ekilişlerinde ise hububat hasadından sonra haziran veya temmuz aylarından yapılmalıdır.

- **Gübreleme**

Susam bitkisinin gelişimi kısa olması nedeniyle verilecek gübrenin tamamının ekimden önce atılması uygundur. Uygulanacak gübre miktarı, topraktaki bitki besin elementleri, toprak koşullarına tohum çeşidine sulu ve kuru yapılmasına bağlıdır.

Gübrelemenin susam bitkisinin verim üzerine etkisi üzerine yapılan GAP Eğitim, Yayım ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü'nün araştırma alanında, 2001-2002 yetiştirme sezonunda, 4 farklı fosfor ve 5 farklı azot dozlarının susam verimine etkileri araştırılmıştır. İki yıllık verimler dikkate alındığında ortalama en düşük verimin, 116,0 kg/da ve en yüksek verimin 166,5 kg/da olduğu gözlemlenmiştir. Bileşik varyans analiz sonuçlarına bakıldığında, susamın fosfora olan tepkisinin azota olan tepkisinden fazla olduğu, azota olan tepkisinin de çok olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak yapılan denemelerde 8 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> /da fosfor ve 4 kg N/da azot gübrelemenin Harran Ovası koşullarında yerli susam üretimi için uygundur.

- **Ekim Zamanı ve Yöntemleri**

Ekim zamanı toprağın sıcaklığına bağlı olarak tayin edilir. Susam bitkisi birinci ürün ekimi nisan – mayıs aylarında ikinci ürün olarak ekimlerde ise hububat hasadına takiben haziran veya temmuz ayının ilk haftası içinde yapılmalıdır.

Susam ideal ekim derinliği toprak yapısına tava durumuna göre 2,5-4 cm' dir. Ekim günün erken saatlerinde yapılmalıdır. Sıcak ve kuru havalarda ekim yapılmamalıdır. Kullanılacak tohumun sertifikalı, temiz, zararlı ve hastalıklara karşı dayanıklı ve çimlenme gücü yüksek tohum kullanılmalıdır. İkinci ürün susam ekiminde; sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin verim ve verimi etkileyen unsurlar için yapılan araştırmalar sonucunda, susam bitkisinin ekim sıklığının susam yüksek verim artışı sağlanabileceği öngörülmüştür.

Yapılan araştırma sonucularında; sap çapı ,yan dal sayısı ve ilk kapsül yüksekliği bakımından sıra üzeri ve sıra arası mesafeler, bitki başına kapsül sayısı ve tohum verimi bakımından sıra üzeri, bin tane ağırlığı bakımından sıra arası x sıra üzeri mesafeler interaksyonu önemlidir. Sıra arası ve sıra üzeri mesafeler genişledikçe, birim alandaki bitki sayısı azaldıkça, genel olarak tohum veriminin azaldığı tespit edilmiştir.

- **Bakım İşlemleri**

Susam bitkisi ekimi takiben sulamanın yapıldığı günden itibaren 4 ve 7 gün arasında çıkış yapılmaktadır. Bitki 20-25 gün sonra 10-15 cm seyretme yani tekleme yapılmalıdır. 35-45 günlerden sonra bitki boğaz doldurma yapılmalıdır.60-75 gün sonra çiçeklenmekte, 90-110 sonra fizyolojik oluma ulaşmakta yaklaşık olarak 100-120 gün sonra hasat edilmektedir.

- **Seyretme Ara Sürüm ve Çapalama**

Susam bir çapa bitkisidir. Çapalamanın zamanında yapılması, yabancı otlarla mücadele topraktaki nemin muhafazası ve verim açısında önem taşımaktadır. Bitki boyu 10-15 cm olunca sıra üzeri bitki mesafeleri 10-20 cm olacak şekilde tekleme yapılır. Sıra araları çapa yapılır.

- **Boğaz Doldurma**

Susam bitki boyu 30-35 cm olunca boğaz doldurma işlemi yapılır. Boğaz doldurma ile birlikte yabancı ot mücadelesi yapılmış olur. Toprak kabartılmış olup sulama için karıklar açılmış olur.

- **Susam Bitkisinde Sulama**

Susam bitkisi fazla su istememekle beraber yetiştirme döneminde yapılacak düzenli sulama ile verim artmaktadır (Uçak, 2021). İkinci ürün susam üretimlerinde mutlaka sulama yapılmalıdır. Çiçeklenme başlangıcında ve ortasında olmak üzere yapılacak 2-3 sulama verimi artmaktadır. Susam bitkisi karık usulü ile yapılmalı, aşır sulamada kaçınılmalıdır. Aşır sulama beraber solgunluk, bitki ölümlerine neden olur. Susam bitkisinin su tüketimi ve su verim ilişkisi konusunda hakkında ülkemizde ve dünyada yapılmış oldukça sınırlı çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan araştırmaların genellikle, fizyolojik ve morfolojik özelliklerine belirlemek amacıyla yapılmıştır . (Şimşek ve ark.,2003).

Derviş 1981, Çukurova bölgesinde yapılan çalışmalardan susam bitkisinin su tüketimini belirlemiştir. Çalışmada toprağın su tutma kapasitesinin %50'si tüketildiğinde sulama yapmıştır. Aylık bitki su tüketimini 396,4 mm ve tane verimini 164 kg da<sup>-1</sup> olarak tespit etmiştir. Derviş 1986, yılında Çukurova'da yaptığı çalışmada ikinci ürün susamın mevsimlik bitki su tüketimini saptamıştır. Sonuç olarak susamın mevsimlik su tüketimini 464,6 mm ve tane verimini ise 166,8 kg da<sup>-1</sup> olarak bulmuştur.

- **Ekim Nöbeti**

Susam bitkisi yetiştirme dönemin kısa olmasından dolayı bir çok kültür bitkisi ile ekim nöbetine girmektedir. Susam en çok pamuk, ayçiçeği, yerfıstığı çeltik tahıllar ve kanola ile ekim nöbetinde yer alır.

- **Hastalık ve Zararlılarla Mücadele**

Hastalık ve zararlılarla mücadele kültürel önlemler büyük önem taşımaktadır. Solgunluk ve kök çürüklüğüne karşı mücadelede tahıllarla münavebe büyük önem taşımaktadır.

Yabancı otlarla mücadelede tarla temizliği önem verilmeli, tarlada bitki artıkları bırakılmamalı ve iyi bir toprak işlem uygulamalıdır.

Susam bitkisinde en çok görülen zararlılar; bozkurt, susam güvesi, yaprak biti ve beyaz sinektir. Hastalıklar ise; solgunluk, kök çürüklüğü, susam bakteri solgunluğu yaprak leke hastalığı, susam bakteri solgunluğu ve altermaria dır.

Tarlada solgun görülen susam bitkilerin sökülüp hemen imha edilmeli, solgunluk hastalıklılarıyla mücadelelerde ekimden önce tohum ilaçlaması yapılmalıdır.

- **Olgunluk ve Hasat**

Susam bitkisinin kapsülleri hepsi aynı anda hasat olgunluğuna gelmez. Tamamın olgunluğa gelmesini beklenirse erken olgunlaşan kapsüllerde meydana gelen çatlama ile tohum dökülmesi ve bu nedenle verim kaybına neden olur. Bu nedenle çiçeklenmenin durması, bitkinin yapraklarının ve kapsüllerin sararması, alt yaprakların kısmen dökülmesi, alt kapsüllerdeki tohumlarının renk değişmesi ve alt kapsüllerinin uçlarının çatlamaya başlaması hasat olgunluğa geldiği gösterir.



## **SONUÇ ve ÖNERİLER**

İkinci ürün susam bitkisinde, kısıntılı sulama uygulamalarının, verim ve kalite özellikleri, verim tepki etmeni ve su kullanım etkinliği üzerine etkilerinin ortaya konulmasıyla birlikte en uygun sulama programının belirlenmesi amacıyla araştırmalar uzun süreli yürütülmelidir. En uygun sulama programı belirlenmelidir. Önerilen sulama damla sulama sistemi olup sık aralıklarla sulama yapılmalıdır. Sık aralıklarla yapılacak sulamann toprak nemini belirli düzeyde tutarak ikinci ürün susam bitkisinde verim ve kalite üzerinde olumlu yönde etkisi olacağı söylenebilir. Yürütülecek olan araştırma planlarında ikinci ürün susamda kısıntılı sulama işletmeciliğinin oldukça dikkatli planlanması gerektiği ve verim ve verim bileşenleri üzerinde önemli düzeyde etkili olacağı söylenilebilir.

## KAYNAKLAR

- Arnoğlu, 2014. Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı. ukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları. Genel Yayın No: 220, Yayın No: A-70. ADANA.
- Baghel L, Kataria S, Jain M 2019. Mitigation of adverse effects of salt stress on germination, growth, photosynthetic efficiency and yield in maize (*Zea mays* L.) through magnetopriming. *Acta Agrobot* 72(1).
- Bastug, R., Karaca, C., Byktas, D., Aydinsakir, K., & Dinc, N. (2016). In lysimeter conditions Plant water consumption of limited irrigation applications in sesame (*Sesamum indicum* L.) grown, effects on yield and quality characteristics. 13th National Culture-Technical Congress, 12-15 April Antalya- Turkey.
- Derviş , 1981. ukurova Koşullarında Susam Su Tknetimi. Tarsus Bölge Topraksu Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No: 103, Rapor No: 53, Tarsus.
- Derviş , 1986. ukurova Koşullarında Buğdaydan Sonra ikinci rn Susamın Su Tknetimi. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın no: 117, Rapor Seri No: 67, Tarsus
- English, M. (1990). Deficit irrigation. I. Analytical framework. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 116, 399–412.
- Eskandari H, Salmasi SZ, Golezan KG, Gharineh MH, 2009. Effects of water limitation on grain and oil yields of sesame cultivars. *J Food Agric Environ*, 7(2):339-342.
- FAO, 2016. [www.faostat.org](http://www.faostat.org). (Erişim tarihi: 12.06.2022)
- FAO,2018 . [www.faostat.org](http://www.faostat.org). (Erişim tarihi: 12.06.2022)
- Fereres, E., Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147-159.

- Geerts S., Raes D.. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agri. Water Manage.* 96: 1275– 1284. doi:10.1016/j.agwat.2009.04.009
- Janalizadeh GM, Nezami A, Khazaie HR, Goldani M, Feizi H 2017. Effect of magneto priming on seed germination of sesame (*Sesamum indicum*) seed under water stress conditions. *Iranian J Seed Res* 6(1): 165-176
- Kadioğlu, M., 2008. Kuraklık risk yönetimi. Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyu ve Kuraklık Konferansı, 11-12 Eylül, Konya.
- Karakaya, Z., Ödemiş, B. (2019). Farklı sulama düzeylerinde yetiştirilen bakteri aşılı ve aşızsızsoyanın su verim ilişkilerinin belirlenmesi. Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, e-ISSN: 2667-7733. 12/278-289.
- Kumraltekin, E. D. (2021). İkinci Ürün Susamda (*Sesamum İndicum L.*) Kısıntılı Sulamanın Verim Ve Kalite Özellikleri Üzerine Etkisi Yüksek Lisans Tezi Bursa-2021. Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Langham DR, Riney J, Smith G, Wiemers T, 2008. Sesame Grower Guide. SESACO, 31 p, USA
- Orta, A.H., Erdem, Y., Erdem, T., Şener, M. 2001. Trakya bölgesinde tarımı yapılan kültür bitkilerinin sulama programlarının oluşturulmasında açık su yüzeyi buharlaşmasından yararlanma olanakları. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 7(1): 97-104.
- Scott. H.D. 2000. Soil–plant–water relations. Soil physics. Agricultural and environmental applications. Iowa State University, 2121 South State Avenue, Ames, Iowa, pp 322– 355
- Seçer,A 2016,Çukurova Tarım Gıda Bil. Der. Çukurova J. Agric. Food Sci. 31: 27-36, 2016 Yayın Kuruluna geliş Tarihi: 20.03.2016 Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü. 01330, ADANA. Türkiye’de Susam Üretim ve Dış Ticaretinde Gelişmeler

- Sepaskhah AR, Andam M, 2001. Crop Coefficient of Sesame in a Semi-Arid Region of Iran, Agric Water Manage, 49:51-63
- Şehirali, S., Erdem, T., Erdem, Y., Kenar, D. 2005. Damla sulama yöntemi ile sulanan fasulyenin (*Phaseolus vulgaris* L.) su kullanım özellikleri. Tarım Bilimleri Dergisi, 11 (2): 212-216.
- Şimşek, M., Boydak, E., Kırnak, H., Gerçek, S., Kasap, A. 2003. Susam Bitkisinde Farklı Sulama ve Sıra Aralıklarında Yağmurlama Sulamanın Su-Verim ili ilişkisine Etkisi
- Tan, A. Ş., 2015. Susam Tarımı. T.C Goda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü. Yayın No: 135. Menemen, İZMİR.
- Tantawy MM, Ouda SA, Khalil FA, 2007. Irrigation Optimization for Different Sesame Varieties Grown Under Water Stress Conditions. J Appl Sci Res, 3(1):7-12.
- TÜİK. 1993 Tarımsal Yapı. ve Üretim-1990 T C Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü Matbaası. Ankara TÜİK. 2016 www.tuik.gov.tr.
- Uçak, A.B., Arslan, H., Arslan, D., Bayraktar, O.V. (2019). Determination of Sesame (*Sesamum Indicum* L.) Genotypes Tolerant To Water Stress And Stress Tolerance Indicators By Drip Irrigation In Semi-Arid Climate Conditions. Fresenius Environmental Bulletin journal 29 (01) : 434-444.
- Uçak A B, Arslan H, Özçınar A B, Arslan D, (2022). Determination of Irrigation Time by Utilizing Plant Water Stress Index (CWSI) Values of II. Crop Sesame Genotype in Siirt Conditions. International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR), 08 (01), 31-44. DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.5921767>
- Uçak A B, Arslan H, Arslan D, Bayraktar Ö V, Özçınar A B (2020). Determination Of Sesame (*Sesamum Indicum* L.) Genotypes Tolerant To Water Stress And Stress Tolerance Indicators By Drip Irrigation İn Semi-Arid Climate Conditions. Fresenius Environmental Bulletin, 29 (01), 437-447.

- Uçak A, (2018). Identification of Sunflower (*Helianthus annuus L.*) Genotypes Tolerant to Water Stress *Journal of Agricultural Sciences*, 24 (2018), 312-322.  
DOI: 10.15832/ankutbd.456645
- Uçak A B, In *Agriculture, Forestry And Aquaculture Sciences - I*, Bölüm adı: Gece Kitaplığı / Gece Publishing Türkiye , Editör:Bozdoğan A M, Bozdoğan Y N, Özrenk K, Uçak A B, Basım sayısı:1, Sayfa Sayısı 19, ISBN:ISBN • 978-625-8002-Volume Sertifika / Certificate No: 47083,İngilizce(Bilimsel Kitap), (Yayın No: 7349711)
- Uçan K, Kılılı F, Gençoğlan C, Merdun H, 2007. Effect of Irrigation Frequency and Amount on Water use Efficiency and Yield of Sesame (*Sesamum indicum L.*) Under Field Conditions. *Field Crops Res*, 101:249- 258
- Umar UA, Falaki AM, Abubakar IU, Mani H, 2015. Productivity of Sesame (*Sesamum indicum L.*) Varieties as Influenced by Irrigation Scheduling. *Pac J Sci Technol*, 16(1):262-269.
- Yaşar, M., Ekinci, R., Sezgin, M, 2020. Investigation of Change of Yield and Yield Components in Sesame (*Sesamum indicum L.*) According to Years and Locations. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 30(4), 852-857. 2020.
- Yol, E., 2011. Dünya Susam Koleksiyonunun Agro-Morfolojik ve Kalite Özellikleri Bakımından Karakterizasyonu Ve Genetik Çeşitliliğin Belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Antalya.

## BÖLÜM 7

### HASSAS ARICILIK TEKNOLOJİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Zekiye ŞENGÜL<sup>1</sup>

Prof.Dr. Banu YÜCEL<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Siirt, Türkiye Email: [zekiye.sengul@siirt.edu.tr](mailto:zekiye.sengul@siirt.edu.tr)

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye  
Email: [banu.yucel@ege.edu.tr](mailto:banu.yucel@ege.edu.tr)



## GİRİŞ

Tarım, insanlık için sürekli artan miktarda kaliteli gıda, lif, yem ve yakıt sağlamakta olup, bunu çevresel, ekonomik ve sosyopolitik olarak sürdürülebilir bir şekilde yapmayı hedeflemektedir. Hassas tarımın geliştirilmesi ve uygulanması, bu çok önemli görevi başarmada önemli bir etki göstermektedir. Hassas tarım teknolojileri, tarımsal arazide zamansal ve konumsal olarak değişkenlik gösteren faktörlerin belirlenmesi, analiz edilmesi ve yönetilmesi amacıyla son otuz yılda geliştirilmiş olup, hassas hayvancılık, hassas bahçecilik, hassas ormancılık gibi alt dallara ayrılmıştır (Güler ve Kara, 2005; Zhang, 2016; Gheibipour and Bagheri, 2018). Günümüzde sıcaklık, ses ölçüm sistemleri ve bilgi teknolojilerindeki hızlı gelişmeler hassas tarım teknolojilerinin arıcılıkta ekonomik olarak uygulanabilirliğine izin vermektedir. Tarımsal üretim dallarına paralel olarak gelişen teknoloji, arıcılık faaliyetlerinde de etkisini göstermeye başlamıştır. Farklı malzemelerden yapılmış kovanlar, çiftleştirme kutuları, nektar akışının takibi için kovan altı teraziler, konaklama için değişik özelliklerdeki karavanlar, güç kaynakları, çadırlar, yetiştiricilikte kullanılan arıcılık alet ve ekipmanları, meteoroloji takibi, koloni performans kayıt veri tabanları, koloniler için özel tasarlanmış araçlar, özel tasarlanmış arı kovani, arı ürünleri hasat makinaları, pazarlamada akıllı telefonların kullanımı ve daha birçok yeni teknoloji kullanılmaya ve yaygınlaşmaya başlamaktadır (Adanacıoğlu vd., 2020).

Bal arıları (*Apis mellifera L.*) doğal bitki tozlaşması, ekosistemin sürdürülebilirliği, çevre sağlığı ve yaşamın korunması ve arı ürünleri üretiminde rol oynar. Bu nedenle bal arılarının yaşamlarının korunması



ve desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Hassas arıcılık, arıcılığı en uygun şekilde yönetme ihtiyacına yönelik olarak ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda özellikle son yıllarda kaydedilen bal arısı (*Apis mellifera L.*) kolonilerinin sayısındaki azalmanın olası nedenleri belirlemek ve buna karşı önlemler geliştirmek amacıyla hassas tarım teknolojilerinin arıcılıkta uygulanmasına önem verilmiş, kolonilerin faaliyetlerini gözlemlemeye ve bu argüman hakkında daha detaylı bilgi sağlanmaya odaklanılmıştır (Cecchi et al., 2020). Hassas arıcılık, bir arılığı etkin bir şekilde yönetmeyi ve arı popülasyonu kayıplarına yol açabilecek durumların riskini azaltmayı amaçlayan teknoloji kullanımını ve istatistik bilgileri birleştirmektedir (Robustillo et al., 2022). Hassas tarımın alt dallarından biri olan hassas arıcılık, kaynak tüketimini en aza indirmek ve arıların üretkenliğini en üst düzeye çıkarmak için bireysel arı kolonilerinin izlenmesine dayanan bir arı kovana yönetimi stratejisi olarak tanımlanmaktadır (Zacepins et al., 2015). Hassas Arıcılığın temel amaçlarından biri, arı kolonilerinin yaşamları ve üretim aşamaları süresince bilgi teknolojilerine dayalı çözümleri kullanarak, kolonideki popülasyon düzeyini ve verim artırma hedefini izleyebilme yetisiyle gerçek zamanlı ve çevrimiçi araçlar geliştirmektir (Zacepins et al., 2012). Ayrıca, yetiştirilen arı kolonileriyle ilgili ihtiyaç duyulan tüm bilgiye hızlı bir şekilde ulaşılmasını ve bu bilgiyle en ekonomik ve etkili bakım çalışmasının planlanmasını sağlamaktır (Yıldız vd., 2022).

Bu arıcılık anlayışındaki ana hedef; arıcıların otomatik araçlara yönelmelerini sağlayarak iş yüklerini azaltmaktır. Arıcılık işletmelerinde bal arısı kolonilerinin düzenli izlenmesi özellikle polen ve nektar akım döneminde her arıcı için önem taşıyan bir uygulamadır.

Arı kovanlarının manuel olarak izlenmesi, arıcılar için zaman alıcı ve arı kolonileri için stresli bir süreç olup, uzak mesafeli arılıklarda nakliye masrafında da artışa neden olmaktadır. Hassas tarımın arıcılıkta uygulanmasıya arıcıların zamanda ve üretim maliyetlerinde tasarruf sağlanmaktadır. Örneğin kablosuz kurulumlar sayesinde seyahat etmeden, kovanlarla ilgili verilere gerçek zamanlı olarak doğrudan bir akıllı telefondan erişilebilmektedir (Wakjira et al., 2021; Hadjur et al., 2022). Hassas arıcılık uygulamaları arı kolonilerinin gelişim aşamaları, oğul / oğul öncesi durum, aşırı nektar akışı, anasızlık durumu, kuluçka gelişimi, ölüm, açlık gibi arıcının müdahalesini gerektirebilecek olayların ve koloni çökme bozukluğu (CCD) dahil tüm hastalıkların tespitinde avantaj sağlamaktadır (Stalidzans and Berzonis, 2013; Zacepins et al., 2015; Gheibipour and Bagheri, 2018 ).

Hassas arıcılık veri toplama, veri analizi ve uygulama olmak üzere üç evreli bir döngüden oluşmaktadır (Bumanis, 2020; Pejić et al., 2022). Veri toplama evresi bilgi teknolojileri ile yürütülebilir ve kablolu veya kablosuz ölçüm sistemleri kullanılarak arı kolonilerinde ve çevre koşullarında düzenli ölçümler yapılabilir. Veri toplama aşamasının temel amacı, arı kovanlarının sürekli izlenmesi için gerçek zamanlı ve çevrimiçi araçların geliştirilmesidir. Arıcı tarafından uzaktan da yapılabilir, ya da bir bilgisayar veya mobil cihaz üzerinde yüklenen karar destek yazılımı ile otomatik olarak da gerçekleştirilebilir. Hassas arıcılık uygulamalarında veri analizinde hedeflenen sonucu, kritik koloni durumlarının tespitidir. Yalnızca verilerin anlamı iyi anlaşıldıktan sonra, veri yorumlama için otomatik analiz ve tanıma algoritmaları geliştirilebilir ve bu veriler daha sonra arıcıyı koloni

durumu hakkında bilgilendirmek için kullanılabilir. Hassas arıcılığın pratik analiz yöntemlerinden biri ise elde edilen verilerin otomatik olarak analiz edilmesi ve yorumlanması için karar destek sistemlerinin (DSS) kullanılmasıdır. Uygulama aşamasında ise, veri analizine dayalı olarak arılık performansının iyileştirilmesine yönelik kararlar alınır ve aksiyonlar manüel olarak arıcı tarafından yürütülür (Zacepins et al., 2014; Albayrak, 2017; Zacepins et al., 2015; Gheibipour and Bagheri, 2018; Pejić et al., 2022).

## **HASSAS ARICILIKTA ÖLÇÜLEBİLEN KOLONİ PARAMETRELERİ**

Arı kolonisinin birçok parametresi otomatik sistemler tarafından izlenebilmektedir ancak hepsi amaca yönelik bilgiler sağlayamayabilir. Hassas arıcılık uygulamaları, arılık ve koloniler ile ilgili sıcaklık, nem, ağırlık, ses ve titreşim, üretilen gazlar, görüntü ve video kayıtları gibi farklı parametrelerin izlenmesine olanak tanımaktadır (Tablo 1). Kovan ağırlığı, bal üretimi ile meteorolojik koşulların farklı parametreleri arasındaki korelasyon ile bir koloninin üretkenliğini izlemek için yararlı bir ölçüdür. Ayrıca, arı kolonilerinin sesinin izlenmesi, oğul davranışı gibi bazı aktivitelerin tahmini için yararlı olabilmektedir (Komasilovs ve ark., 2019).

Tablo 1. Farklı koloni durumları, arıncılar için önemi, geleneksel tespit yöntemi ve olası ölçüm parametreleri.

No	Koloni durumu	Önem Düzeyi	Geleneksel teşhis yöntemi	Ölçülecek parametre
1	Anasızlık	Y	Günlük yumurta yokluğu, ana arının bulunmaması, ana arı yüksüğünün olması	Ses, video
2	Kuluçka eksikliği	O	Yumurta, larva ve pupa eksikliği	Sıcaklık, ses, video
3	Yaban arılarından , arıları korumak	D	Saldıran yaban arıları	Video, ses
4	Oğul öncesi/oğul	Y	ana arı yüksüğünün olması, arıların kümelenmesi, arıların bir kısmının kovayı terk etmesi	Sıcaklık, ses, video
5	Açlık	Y	Besin yetersizliği, hareketlerde yavaşlama	Video, ses, sıcaklık
6	Nektar akışı başlangıç/bitiş	O	Ağırlık değişiklikleri, uçuş aktivitesi	Ağırlık, video, sıcaklık, ses
7	polen toplama	D	Kovana polen girişini görüntülemek	Video
8	Arıların sıklığı	O	Görüntülü inceleme	ses
9	Hastalıklar	Y	Kanadı, bacağı gelişmemiş, yavaş hareketli arılar, ölü arılar	Video, sıcaklık
10	Ölüm	Y	Ölü arılar veya boş kovan	Sıcaklık, ses

H: Yüksek, M: Orta, L: düşük; Kaynak: Zacepins et al., 2015

### • Sıcaklık Değeri

Sıcaklık değeri, koloni sağlığında kritik bir faktör olup, bal arısı tarafından ısıtma ve soğutma davranışları yardımıyla ideal koloni sıcaklığı olan 35°C'ye yakın ve 32–36°C aralığında sabit tutularak sağlanmaktadır (Cook et al., 2022). Sıcaklık değerinin ölçümü kovanlara sensörler yerleştirilerek yapılmakta olup, elde edilen sıcaklık verisine dayanarak artan besin tüketimi, oğul verme öncesi davranışlar

ve arı kolonisinin ölümü, kuluçka durumu ve kış salkımı büyüklüğü gibi koloni parametreleri hakkında bilgi sağlanmaktadır (Zacepins et al., 2015). Kovan içindeki çeşitli noktalar arasındaki sıcaklık büyük ölçüde birbirinden farklı olabilmektedir. Diğer taraftan sensörün kovan içindeki konumu koloninin, dış ortam koşullarından ne ölçüde etkilendiğini belirleyecektir. Örneğin, genellikle kovanın en sıcak kısmı olan kuluçka kümesi içindeki sıcaklık sensörleri, dış koşullardan daha az etkilenirken, kovanın dışına yakın olanların daha fazla etkilenmesi beklenebilir (Pejić et al., 2022). Bazı ticari uygulamalarda sıcaklık algılama teknolojisi ile, kovan içinde tekli veya çoklu noktalara yerleştirilmiş dijital sensörler kullanılmaktadır (Cook et al., 2022).



Şekil 1. Sıcaklık ve nem sensörü (Kaynak: Broodminder, 2022)

- **Ağırlık**

Bir arı kovanının ağırlığı, bir koloninin aktivitesini göstermektedir. Nektar akım sezonu boyunca, kovandaki arıların koloni gelişiminin yanı sıra polen ve nektar toplama kapasitesini de yansıtmaktadır. Kış aylarında yazın göre daha az sayıda arı ve daha az besin stoğu bulunduğu için, bu metrik sayesinde arıların tükettiği bal miktarı tahmin edilebilmektedir. Kovandaki anormal ağırlık değişimleri de kovandan çıkan oğul ile ilişkilendirilebilmektedir (Hadjur et al., 2022).

Koloni ağırlığı, arı kolonisi ağırlığının sürekli olarak ölçülmesini sağlayan endüstriyel tartılarla veya manuel ölçümlerle izlenebilmektedir. Meikle et al. (2006) tarafından yapılan çalışmada bir arı kovanının ağırlığını değerlendirmek için 12 bit çözünürlüklü bir veri kaydediciye bağlı elektronik teraziler kullanılmıştır. Ticari olarak geliştirilen tartım cihazları bu ölçümün uygulanabilirliğini göstermektedir. Bu sistemler, SMS ve internet teknolojisi ile ağırlık değerleri iletilerek, kovanların uzaktan izlenmesinde kullanılabilir (BeeWatch, 2021).



Şekil 2. Kovan terazisi (Kaynak: BeeWatch, 2021)

- **Ses ve Titreşim**

Ses sinyalleri ve ses işleme teknikleri arı davranışını tahmin etmek amacıyla kullanılabilen diğer önemli parametrelerdir. Titreşim ve ses verileri, üst üste binen dalga biçimlerinin zengin spektrumlarını içerir ve biyolojik olarak anlamlı bilgilerin elde edilmesi için işlenmesini sağlamaktadır (Pejić et al., 2022). Bal arılarının çıkardığı sesler, bir koloninin durumunu birim olarak yansıtmaktadır (Tablo 2). Örneğin,

ses, oğul hazırlığı, ana arı tanımlama ve haşere istilası ile ilişkilendirilebilir (Hadjur et al., 2022).

Tablo 2. Arıların yaydığı titreşim ve ses türler

Eylem	Frekans aralığı	Gönderen	Önemi
Havalandırma	225–285 Hz	İşçi arılar	Kovan sıcaklığını düzenler ve nektardaki suyu buharlaştırır
Tıslama	0 ila birkaç bin Hertz	Koloni	Tehlikeye tepki
Korna çalma	300–500 Hz	Ana arı	Diğer ana arıların yumurtadan çıkmasını önleme ve çalışanları diğer ana arılar hakkında bilgilendirme
Vakvıklama	<500 Hz	Ana arı larvalarır	Kapalı ana arılardan gelen etkiye yanıt onların varlığı hakkında uyararak
Hareket etmek (Dans etmek)	200–350 Hz	Tarlacı	Besin lokasyonu ve kalitesini paylaşmak

Kaynak: Hadjur et al., 2022

Arıları ses üzerinden izleyen ilk elektronik sistemlerden birisi Apidictor'dur. Bu sistemde, oğul vermeden iki ila üç hafta öncesine kadar kovan içinde meydana gelen ses değişiklikleri algılayabilen frekans filtresi içeren bir alet bulunmaktadır (Gil-Lebrero et al., 2016).



Şekil 3. Apidictor (Kaynak: Bromenshenk et al., 2015)

Ferrari et al. (2008) tarafından yapılan çalışmada oğul verme dönemini tahmin etmek için seslerin etiketlenmesine dayanan bir akustik yöntem kullanılmıştır. Çalışmada Mikrofonlar, sıcaklık ve nem sensörü ile birlikte kovanların içine yerleştirilip, üç kovan 270 saat boyunca izlenmiştir. İzleme süresi boyunca 9 oğul faaliyeti gözlenmiştir. Oğul, yaklaşık 110 Hz'de spektral güç yoğunluğundaki bir artışla belirlenmiştir. Arılar oğul vermeye başladığında, ses genlik ve frekansta 300 Hz'e yükselmiştir. Bazen de 150 Hz'den 500 Hz'e hızlı bir değişim meydana gelmiştir. "The Swarmonitor" adlı bir diğer projede ise kovandaki titreşimler izlenerek bal arısı kolonileri için bir teşhis aracı geliştirilmesi amaçlanmıştır (Zacepins et al., 2015).



Şekil 4. a. Çıtalar arasındaki kovan içindeki nem ve sıcaklık algılama sensörünün konumu, b. mikrofonların kovandaki konumu (Kaynak: Ferrari et al., 2008)



- **Arı Sayısı**

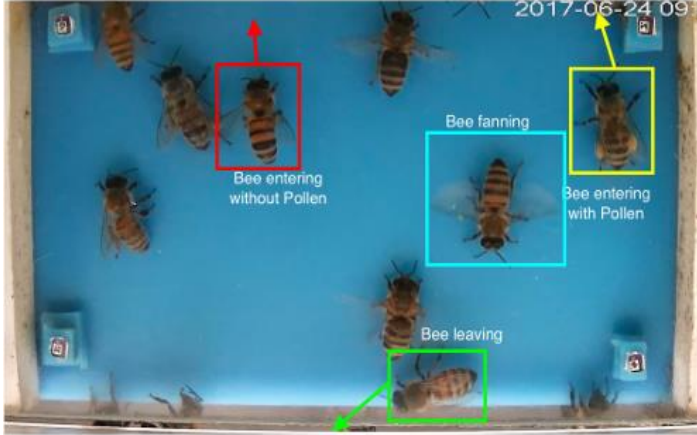
Kovanlara giriş ve çıkış yapan arı sayısı, besin toplayan arıların sayısı hakkında bilgi verebileceğinden, koloni davranışının değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer önemli parametredir. Bu parametre kovana getirilen polen ve nektar miktarını ortaya koymaktadır (Hadjur et al., 2022). Diğer taraftan arıların hareketliliği pestisitlerin bal arısı koloni sağlığı üzerindeki etkisini değerlendirmede önemli bir olarak değerlendirilmektedir (Pejic et al., 2022). Kovan girişinin etrafındaki arıların hareketlerini izlemek için video sistemleri ve arı sayarları (bee counters) kullanılmaktadır. Arı sayar, kovan girişinin önüne yerleştirilen ve kovanın tüm giriş çıkış faaliyetlerini izleyen mikroişlemcili bir kontrol cihazıdır. Mekanik veya elektronik sayaçlar, birden fazla arının büyüklüğünde açıklık açıklık içermekte olup, her açıklıkta sensörler bulunmaktadır. Bu cihaz, pik uçuş süreleri, pestisitler, hava koşullarının uçuş aktivitesi üzerindeki etkisi, oğul, kovana dönen arıların yüzdesi, kimyasalların etkisi ve diğer uçuş değişkenlerinin izlenmesine olanak sağlamaktadır (Zacepins et al., 2015).



Şekil 5. Arı Sayar (Kaynak: Worldbeeproject, 2022)

- **Görüntü ve Video**

Arı fotoğrafları ve videoları, bir koloninin etkinliğinin ve sağlık durumunun ortaya konulmasında yararlanılan önemli göstergelerdir (Hadjur et al., 2022). Geliştirilecek kameralı bir otomasyon sistemi ile arı hastalıkları tespit edilip, hasta arının kovana girişi engellenerek kolonideki diğer arılara hastalığın bulaştırılması engellenebilir veya hasta olan arıların hastalıkları tespit edilerek, iyileştirilmesi için uygun ilaç kullanımı sağlanabilir (Metlek ve Kayaalp, 2021). Öte yandan arılıktaki video kayıtları, koloni davranışındaki bazı değişimleri açıklayabilir (Şekil 6).



Şekil 6. Kovan girişinde kayıt yapan kamera tarafından çekilen bir görüntü (Kaynak: Rodriguez, 2019)

- **Hassas Arıcılıkla İlgili Çözümler**

Hassas arıcılıkla ilgili gerek ulusal gerekse uluslararası düzeyde çeşitli çözüm önerileri sunulmuştur. 2013-2016 yılında “ITApic: Hassas arıcılıkta bilgi teknolojilerinin uygulanması” adlı proje Avrupa Birliği’ndeki ICT-AGRI ERA-net konsorsiyumu tarafından desteklenmiştir. Bu proje Litvanya, Danimarka, Almanya ve Türkiye’den bilim adamları tarafından yürütülmüş olup, temel amacı,

mevcut endüstriyel kaynakları ve bilgi ve iletişim teknolojilerindeki en yeni kazanımları kullanarak arıcılıkta hassas tarım ilkelerini uygulamayı hedeflemiştir. Proje otomasyonlu ve uzaktan kumandalı koloni izlemesi için sıcaklık, ses ve video ölçümleri uygulamalarından yararlanılmıştır (Zacepins et al., 2014; ITAPIC, 2021). SAMS - Akıllı Arıcılık Yönetim Hizmetleri, Avrupa'daki hassas arıcılığa ve bunun Etiyopya ve Endonezya gibi ülkelerle olan bağlantılarına odaklanan Avrupa Birliği'nin Horizon 2020 araştırma ve yenilik kapsamındaki bir projedir (Hadjur et al., 2022). Bayır ve Albayrak (2012) tarafından yapılan çalışmada ağırlık, sıcaklık ve nem ölçümü, otomatik şerbetlik, güneş panelli enerji üretim sistemi ve haberleşme alt sistemlerinden oluşan denetimli kovan geliştirilmiştir. İlgili kovanda uzman sistem denetimi ile kovan içi nem ve sıcaklık değerlerinin koloni için en uygun olan değerlere ulaşması sağlanmıştır. Ayrıca zayıf arı kolonisinin ağırlık artışı izlenerek ihtiyaç duyulması durumunda otomatik olarak şerbet verilebilmektedir. Yıldız ve Tarhan (2018) tarafından yapılan çalışmada rutin arıcılık işlemlerine ait kayıtların standart bir formatta tutulmasını sağlayacak veri tabanı ve teknik arıcılık sorunlarına çözüm getirebilecek bir karar destek yazılımının (ARISOFT) geliştirilmesi amaçlanmıştır. Programın kullanımının getirdiği başarı bir sonraki kışlatmaya giren kolonilerin popülasyon büyüklüğü ve o yılki bal üretimi dikkate alınarak belirlenmiştir. Dönem sonunda deneme grubunun ortalama bal üretiminin ve mevcut popülasyon durumunun, kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Dönem boyunca yapılan uygulamalar değerlendirildiğinde karar destek yazılımının oluşturduğu iş planlarının çalışma zamanı açısından önemli düzeyde yarar sağladığı görülmüştür. Koçak vd. (2019) Arıların uygun gelişme ortamına sahip olmaları ile hem hastalıkların önlenebileceği, hem de arı ürünlerinde artış gözleneceği öngörüsüyle akıllı arı kovana tasarımı yapmışlardır. Yapılan arı kovanında sensörler yardımı ile

veriler alınarak bulanık mantık yaklaşımı ile işlenmiş bir ortam oluşturulmuştur. Akıllı arı kovanında dış ve iç sıcaklığa göre kendi kendine çalışan karar mekanizması geliştirilmiştir.

Yapılan araştırma çalışmalarına ek olarak ticarileştirilmiş bazı çözümler de bulunmaktadır. Ticari hassas arıcılık cihazlarının karşılaştırması Tablo’te verilmiştir.

Tablo 3. Hassas arıcılık için mevcut ticari çözümler

No	İsim	Ülke	Parametre			
			Ağırlık	Sıcaklık ve Nem	Ses ve Titreşim	Arı sayısı
1	Beehold	Srbistan	+	+	+	
2	Beewise	İsrail		+	+	
3	SMS Scale	Srbistan	+	+		
4	BuzzBox	USA		+	+	
5	ApisProtect	İrlanda		+	+	
6	Habeetat	B&H	+	+		
7	Beebot	Bulgaristan		+	+	
8	uHive	Bulgaristan	+	+	+	
9	hiveBase	Bulgaristan	+			
10	Beep	Hollanda	+	+	+	
11	SmartBee	BAE	+	+	+	
12	BeeAndMe	Avusturya	+	+	+	
13	Solutionbee	ABD	+	+	+	
14	BeeHero	İsrail		+	+	
15	Bee hive monitoring	Slovakya	+	+	+	+
16	IoBee	Fransa	+	+		
17	Arnia	İngiltere	+	+		
18	gobuzzr	Hindistan	+	+		
19	BeeMate	Avustralya	+	+		+
20	i-bee system	Ukrayna	+	+	+	
21	libelium	ispanya		+		
22	Intelligent Hives	Polonya	+	+		
23	Beesage	Letonya	+	+	+	

24	Hive mind	Avustralya	+	+		
25	Hyper Hyve	ABD		+	+	
26	Aranet	Letonya		+		
27	miBeez	Yunanistan	+	+		
28	ToBe	İsrail			+	

Kaynak: Pejić et al., 2022

## **SONUÇ ve ÖNERİLER**

Hassas arıcılık teknolojisi, geleneksel denetim süreçlerine alternatif olarak koloni gücünün değerlendirilmesinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ancak ticari olarak arıcılar tarafından yaygın olarak kullanılabilecek uygun fiyatlı bir sistem oluşturulmasına gereksinim bulunmaktadır. Hassas arıcılığın ölçümlerinin maliyetleri değişkenlik gösterdiğinden ekonomik olarak çözüm arayışları sınırlı düzeyde kalmaktadır. Fayda/yatırım oranının belirsizliği, kullarımdaki karmaşıklık, sensörler ve elektronikler ek işletme maliyetleri gerektirmesi mevcut olan hassas arıcılık sistemlerinin uygulamansının önündeki engeller arasında yer almaktadır.

Diğer taraftan arıcıların yaş ortalamasının fazla olması yeni teknolojilerin benimsenme düzeylerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Kırsal alanda gençlere yeterli ekonomik, sosyal ve kültürel olanaklar sağlayarak, temel arıcılık teknikleri uygulamalı olarak gösterilerek ve bu süreç yeterli dokümantasyon ile desteklenerek hassas tarım yöntem ve tekniklerinin arıcılığa uyarlanması ve bilgi teknolojilerinin arıcılık sürecine entegrasyonu mümkün olacaktır. Ayrıca hassas arıcılık uygulamalarını hayata geçirmek için çalışmalar artırılmalıdır, Bu da ancak mühendislik, matematik, fizik, etoloji gibi farklı araştırma disiplinlerinden araştırma ekiplerinin etkin şekilde birlikte çalışmasıyla mümkün olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Adanacıoğlu, H., Topal, E., ve Kösoğlu, M. (2020). Arıcılık İşletmelerinin Modernizasyona Yatkınlığı: İzmir İli Örneği. *Hayvansal Üretim*, 61(1), 1-8.
- Albayrak, A. (2017). Kablosuz Algılayıcı Ağlar ile Bal Arısı Kolonilerinin İzlenerek Arıcılık Potansiyelinin Tahmini için Zeki Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi, Karabük Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 138s.
- Bayır, R., ve Albayrak, A. (2012). Uzman Sistem Denetimli Arı Kovanı Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. *Uludağ Arıcılık Dergisi*, 12(4), 122-135.
- BeeWatch. (2021). <http://beewatch.de/scales/?lang=en> (Erişim 31 Mayıs 2021)
- Bromenshenk, J. J., Henderson, C. B., Seccomb, R. A., Welch, P. M., Debnam, S. E., and Firth, D. R. (2015). Bees as Biosensors: Chemosensory Ability, Honey Bee Monitoring Systems, and Emergent Sensor Technologies Derived from The Pollinator Syndrome. *Biosensors*, 5(4), 678-711
- Broodminder. (2022). <https://broodminder.com/> (Erişim 18 Aralık 2022)
- Bumanis, N. (2020). Data Fusion Hallenges in Precision Beekeeping: A Review. *Research for Rural Development*. VOLUME 35, 252-259.
- Cecchi, S., Spinsante, S., Terenzi, A., and Orcioni, S. (2020). A Smart Sensor-Based Measurement System for Advanced Bee Hive Monitoring. *Sensors*, 20(9), 2726.
- Cook, D., Tarlinton, B., McGree, J. M., Blackler, A., and Hauxwell, C. (2022). Temperature Sensing and Honey Bee Colony Strength. *Journal of Economic Entomology*, 115(3), 715-723.
- Ferrari, S., Silva, M., Guarino, M. and Berckmans, D. (2008). Monitoring of Swarming Sounds in Bee Hives for Early Detection of The Swarming Period, *Computers and Electronics in Agriculture*, 64 (1), 72-77.

- Gheibipour, M. and Bagheri, N. (2018). Introduction of Modern Technologies in Beekeeping (Precision Beekeeping), 2th National Congress on Advanced Research in Animal Science, 11-12 April, University of Birjand, Iran.
- Gil-Lebrero, S., Quiles-Latorre, F. J., Ortiz-López, M., Sánchez-Ruiz, V., Gámiz-López, V., and Luna-Rodríguez, J. J. (2016). Honey Bee Colonies Remote Monitoring System. *Sensors*, 17(1), 55.
- Güler, M. ve Kara, T. (2005). Hassas Uygulamalı Tarım Teknolojisine Genel Bir Bakış, *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 20 (3),110-117.
- Hadjur, H., Ammar, D., and Lefèvre, L. (2022). Toward An İntelligent And Efficient Beehive: A Survey Of Precision Beekeeping Systems And Services. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106604.
- ITAPIC. (2021). <http://itapic.eu/project-summary/> (Erişim 30 Mayıs 2021)
- Koçak, Ç., Işık, A. H., ve Köse, U. (2019). Ortam Zekâsı Örneği: Akıllı Arı Kovanı. UMYMK-ICAIAME (20-22 Nisan).
- Komasilovs, V., Zacepins, A., Kvišis, A., Fiedler, S., and Kirchner, S. (2019). Modular Sensory Hardware and Data Processing Solution for Implementation of The Precision Beekeeping. *Agronomy Research*,17(2), 509–517.
- Meikle, W. G., Holst, N. I. E. L. S., Mercadier, G., Derouané, F. R. A. N. C. K., and James, R. R. (2006). Using Balances Linked to Dataloggers to Monitor Honey Bee Colonies. *Journal of apicultural research*, 45(1), 39-41.
- Metlek, S., ve Kayaalp, K. (2021). Arı Hastalıklarının Hibrit Bir Derin Öğrenme Yöntemi ile Tespiti. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 36(3), 1715-1732.
- Pejić, J., Milovanović, M., Božilov, A., and Pejić, P. (2022). Impact of The Precision Beekeeping on The Living Environment. *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*, 049-061.
- Robustillo, M. C., Pérez, C. J., and Parra, M. I. (2022). Predicting Internal Conditions of Beehives Using Precision Beekeeping. *biosystems engineering*, 221, 19-29.

- Rodriguez, I. F. R. (2019). *Automatic Video Monitoring of Honeybee Foraging Behavior Using Convolutional Neural Networks*. University of Puerto Rico, Rio Piedras (Puerto Rico).
- Stalidzans, E. and Berzonis, A. (2013). Temperature Changes Above the Upper Hive Body Reveal the Annual Development Periods of Honey Bee Colonies, *Computers and electronics in agriculture*, 90,1-6.
- Wakjira, K., Negera, T., Zacepins, A., Kviesis, A., Komasilovs, V., Fiedler, S., ... and Brodschneider, R. (2021). Smart Apiculture Management Services for Developing Countries—The Case of SAMS Project in Ethiopia and Indonesia. *PeerJ Computer Science*, 7, e484.
- Worldbeeproject. (2022) [www.worldbeeproject.org](http://www.worldbeeproject.org) (Erişim tarihi: 18 Aralık 2022)
- Yıldız, A. K., Ulutaş, H., ve Altın, C. (2022). Hassas Arıcılıkta Kullanılması Amacıyla Elektronik Veri Toplama Özellikli Kovan Sisteminin Geliştirilmesi. *Bozok Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(2), 134-142.
- Yıldız, A. K., ve Tarhan, S. (2012). Arıcılıkta Kullanılacak Veri Tabanı Yönetimi ve Karar Destek Yazılımının (ARISOFT) Geliştirilmesi ve Denenmesi. 27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Samsun, 160-168.
- Zacepins, A., Brusbardis, V. and Meitalovs, J. (2015). Challenges in the Development of Precision Beekeeping , *Biosystem Engineering*, 30: 60-71.
- Zacepins, A., Stalidzans, E. and Meitalovs, J. (2012). Application of Information Technologies in Precision Apiculture, 11<sup>th</sup> International Conference on Precision Agriculture, Indianapolis, Indiana USA.
- Zacepins, A., Stalidzans, E., Richter, U., Ahrendt, P., Tekin, S., Durgun, M., Meitalovs, J., Brusbardis, V., Bulipopa, N., Liepniece, M., Kviesis, A. and Konak, F. (2014). ITAPIC Projesi- Hassas Arıcılık Ekipmanlarının Geliştirilmesi, 4. Uluslararası Muğla Arıcılık ve Çam Balı Kongresi, Muğla, Türkiye, 05 Kasım, 35-36.



Zhang, Q. (2016). *Precision Agriculture Technology for Crop Farming* (p. 374).  
Taylor & Francis.

## BÖLÜM 8

### PLAZMA TEKNOLOJİSİ VE BİYOTEKNOLOJİDE UYGULAMA ALANLARI

Öğr. Gör. Dr. Berat ÇINAR ACAR<sup>1\*</sup>

Prof. Dr. Zehranur YÜKSEKDAĞ<sup>1</sup>

---

<sup>1\*</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Biyoteknoloji ABD, 06500, Ankara \*E-mail: [beratcinar@gazi.edu.tr](mailto:beratcinar@gazi.edu.tr)  
ORCID ID: (0000-0003-4662-0865)

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Biyoteknoloji ABD, 06500  
Email: [zehranur@gazi.edu.tr](mailto:zehranur@gazi.edu.tr)  
ORCID ID: (0000-0002-0381-5876)



## GİRİŞ

İyonize bir gaz olarak ifade edilen plazma, yüklü parçacıklardan (elektronlar, pozitif ve negatif yüklü iyonlar), uyarılmış atomlar ve moleküllerden, radikallerden, metastabillerden, vakumlu ultraviyole (VUV) ve ultraviyole (UV) fotonlardan oluşmaktadır (Malyavko ve ark., 2020; Simeckova ve ark., 2020; Ansari ve ark., 2021). Plazma oluşturmak için gaza ve gazıiyonize edecek kadar bir enerjiye ihtiyaç vardır. Yeterli miktarda enerji verildiğinde, moleküler hâldeki türlerin atomlara ayrışmasıyla, atomik formda bulunan türlerin de elektronlarından bir ya da birkaçını kaybetmesiyle iyonlaşma prosesi yani plazma hâline geçiş başlamaktadır (İbrahimoğlu, 2014).

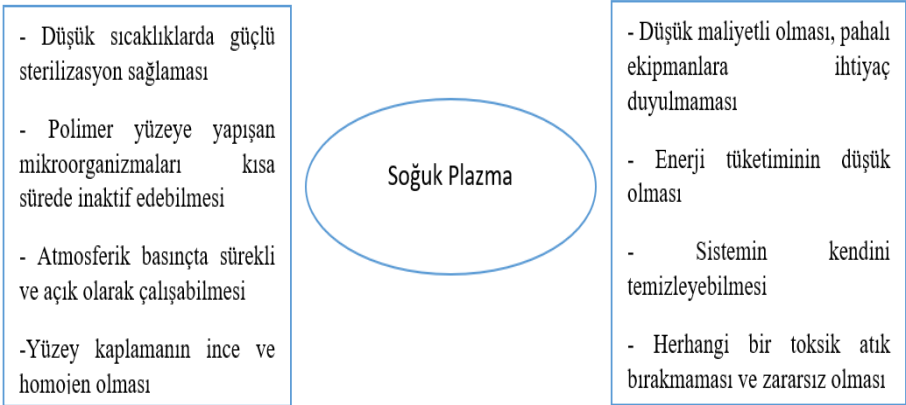
Gaz, valens elektronların atomlardan kaçmasına izin vermek için çok yüksek sıcaklıklarda ısıtılabilir. Elektron ve iyonize atomların, kademeli bir reaksiyon oluşturarak diğer atomlarla etkileşime girmesiyle üretilen plazma elektronların, iyonların ve nötr türlerin bir karışımını oluşturmaktadır. Plazma; yüklü türlerden oluşmasına rağmen, genel olarak nötrdür (Busco ve ark., 2020). Plazma sistemleri iki iletken elektrot, bu elektrotlar arasına yerleştirilmiş bir gaz girişi ve elektrik voltaj girişinden oluşmaktadır (Özdemir, 2021). Tamamen veya kısmen iyonize gaz olan ve maddenin dördüncü hâli olarak bilinen plazma sistemleri; termodinamik özelliklerine (yüksek ve düşük sıcaklık) ve çalışma basınçlarına (düşük basınç ve atmosferik basınç) göre kategorize edilmektedir. Termal plazmalar; elektronların ve iyon türlerinin termodinamik dengede bulunduğu koşullarda ve yüksek sıcaklıklarda gazın ısıtılmasıyla üretilmektedir. Sıcaklıkları ortam

basıncında birkaç bin Kelvin'dir (Xu ve diğerleri, 2020). Non-Termal (soğuk) plazmalar düşük sıcaklıklarda yüksek enerji içeren ve termodinamik olarak dengede olmayan iyonların ve hareketli moleküllerin varlığı ile karakterize edilmektedir (Bourke ve ark., 2018). Soğuk plazma; uygulama noktasında 40°C'den daha düşük olan özel bir plazma tipidir (Kandemir ve ark., 2021). Soğuk plazmayı oluşturan gazın iyonlaşması için gaza uygulanan enerjinin kaynağı elektrik akımı, radyasyon ya da lazer ışığı şeklinde olabilir (Singh ve ark., 2014). Soğuk atmosferik plazmalar temel olarak alternatif veya doğru elektrik akımlarından, radyo frekanslarından veya mikrodalgalardan gelen enerji vasıtasıyla üretilmektedir. Günümüzde bu iyonize gazları üretmek için hacim ve yüzey dielektrik bariyer deşarjı (DBD), atmosferik basınçlı plazma jetleri, plazma iğneleri ve plazma kalemleri gibi çeşitli konfigürasyonlar kullanılmaktadır. Kullanılan gaz karışımları oksijen (O<sub>2</sub>), azot (N<sub>2</sub>), hidrojen (H) ve karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) gibi normal atmosferik gazlar ile helyum (He) ve argon (Ar) gibi soy gazları içerebilir (Han ve ark., 2019). Uygulanan elektrik enerjisi, düşük kütleleri nedeniyle elektronları seçici olarak ısıtmaktadır ve ısınan elektron sıcaklığı; iyonların, nötr parçacıkların ve gazın sıcaklığından çok daha yüksek değerdedir. Gaz, plazmaya iyonlaştıktan sonra, yüklü türler temas ettikleri madde (hedef) ile reaksiyona girebilmektedir (Laroussi ve Akan, 2007; Hoffman ve ark., 2013).

Plazma uygulamaları, katı veya sıvı olmak üzere çeşitli hedef türleri üzerinde gerçekleştirilebilmektedir. Sıvıların içindeki ve sıvılarıyla olan plazma etkileşimlerine ayrı önem verilmektedir (Samkawa ve ark., 2012; Bruggeman ve ark., 2016). Plazmanın bu alandaki yaygın

uygulamaları, atık su arıtımı (Kozáková ve ark., 2010, 2018), hidrokarbonların yeniden şekillendirilmesi (Xin ve ark., 2020), nanoparçacıkların üretimi ve arıtılması (Kozáková ve ark., 2019; Sharma ve ark., 2017) katı malzemelerin yüzey işlemlerine odaklanmaktadır (Klima ve ark., 2006; Kravets ve ark., 2015).

Soğuk atmosferik plazmanın (CAP)'in özellikleri, cihazın voltaj, darbe frekansı, gaz tipi ve gaz akışı gibi çeşitli parametrelerine bağlıdır (Busco ve ark., 2020; Feizollahive ark., 2021). Soğuk plazma yönteminin uygulanmasında doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. Doğrudan uygulamada örnek plazmayla temas halindedir, dolaylı uygulamada ise örnek plazmadan biraz uzağa yerleştirilir ve sadece reaktif türlere maruz kalmaktadır (Misra ve ark., 2011). Soğuk plazma sistemlerinin avantajları Şekil 1'de verilmiştir (Yasuda, 1984; Niemira, 2012; Pankaj ve ark., 2014; Yangıç Yüksel ve Karagözlü, 2017).



Şekil 1. Soğuk plazma sistemlerinin avantajları

- **Plazmanın Uygulama Alanları**

Atmosfer basıncı ve oda sıcaklığı koşullarında plazma üretiminin yapılabilmesi nedeniyle, plazma teknolojileri biyoloji ve tıp uygulamalarında da yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Soğuk atmosferik plazma, kısa/uzun ömürlü reaktif oksijen türleri (ROS) ve reaktif nitrojen türleri (RNS) üreten çok sayıda reaktif kimyasal bileşene sahiptir (Fridman ve ark., 2008; von Woedtke ve ark., 2019). Çok sayıda önemli hücresel yanıt, reaktif türlerden ya da soğuk atmosferik plazmadan gelen diğer fiziksel faktörlerden etkilenebilmektedir. Bu nedenle, plazmanın kanser hastalıklarında tedavi amaçlı kullanımına yönelik artan bir ilgi bulunmaktadır. CAP'lar bakteriyel inaktivasyon, medikal cihaz, su ve paketlenme malzemelerinin sterilizasyonu ve dekontaminasyonu, diş uygulamaları, gıdaların sanitasyonu, yara iyileşmesi ve yanık tedavisi, doku yenilenmesi gibi birçok farklı alanda başarıyla kullanılmıştır ve kanser araştırmaları alanında da umut verici hale gelmiştir (Mir ve ark., 2016; Wang ve ark., 2020; Guo ve ark., 2021; Siadati ve ark., 2021). Ayrıca plazma teknolojisinin malzeme yüzeyini aşındırma, malzeme yüzeyinin etkinleştirilmesi, aydınlatma, plazmanın tekstil üzerine uygulamaları ve plazma ekran teknolojisi gibi sanayi sektörlerinde de etkin uygulama alanları bulunmaktadır (Baysal ve İçier, 2012). En yaygın kullanım alanları Tablo 1'de gösterilmiştir (Misra ve ark., 2016; Pankaj ve Keener, 2017; Gavahian ve Khaneghah, 2020).

Tablo 1. Soğuk plazma teknolojisinin kullanım alanları

Soğuk Plazma Teknolojisinin Kullanım Alanları				
Tıp	Gıda	Tarım	Su	Materyal
-Yara iyileşmesi ve yanık tedavisi -Kanser tedavisi -Doku yenilenmesi -Kan pıhtılaşması -Diş tedavisi -Biyomedikal uygulamalar	-Dekontaminasyon -Mikrobiyal inaktivasyon -Enzim inaktivasyonu -Gıda paketlenme	-Çimlenme durgunluğunun (dormansi) kırılması -Dekontaminasyon -Çimlendirme -Bitki büyümesi -Bitki direncinin artırılması	-Saflaştırma -Atık su sterilizasyonu	-Tekstil -Polimer -Elektrokimya -Nanomateriyal

- **Tıp alanındaki uygulamalar**

Plazma tıbbı; hücreler ve dokular dâhil biyolojik hedeflerle reaksiyona girmek üzere taşınan belirli reaktif türlerin kontrol edilebilir miktarlarda üretilmesi için düşük sıcaklıktaki atmosferik basınçlı plazmaların kullanılmasıyla ilgilidir (Laroussi, 2020). Soğuk plazmanın yalnızca abiyotik yüzeylerdeki patojen mikroorganizmaları inaktive etmekle kalmayıp aynı zamanda biyolojik dokuları dezenfekte etmek amacıyla da uygulanabileceği ve bu nedenle yara iyileşmesi tedavisinde kullanılabileceği bildirilmiştir (Isbary ve ark., 2010; Laroussi, 2020). Biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak iki tip plazma deşarjı kullanılmıştır: Dielektrik bariyer deşarjı (DBD) ve denge dışı atmosferik basınçlı plazma jeti (N-APPJ) (von Woedtke ve ark., 2022). DBD'lerin bakterileri inaktive etmek için başarılı bir şekilde kullanımlarından sonra biyotıpta; yara iyileşmesi, kanser hücrelerinin



ve tümörlerin yok edilmesi gibi çeşitli biyomedikal uygulamalarda kullanımı yaygınlaşmıştır (Fridman ve ark., 2008; Weltmann ve ark., 2010; Laroussi ve ark., 2017).

Soğuk plazma uygulaması doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki şekilde uygulanabilmektedir. Doğrudan uygulama modunda, plazma biyolojik hedef ile doğrudan temas hâlinindedir ve bu nedenle plazma tarafından üretilen tüm ajanlar hücreler/dokular üzerinde etki etmektedir. Dolaylı uygulamada, yalnızca plazmanın art ışınması kullanılır ya da plazmanın sıvı bir ortamı aktive etmek için kullanılmasının ardından, plazma ile aktive olan sıvı, hücrelerin/dokuların üzerine uygulanmaktadır. Plazmayla aktifleştirilmiş sıvının saklanabilmesi ve sonradan yeniden kullanılabilmesi önemli avantajlar sağlamaktadır (Laroussi, 2020). Soğuk atmosferik plazmanın biyolojik hücre ve dokular ile etkileşimi üzerine yapılan araştırmalar, CAP'nın etkilerine kimyasal olarak reaktif oksijen türleri (ROS) ve reaktif nitrojen türlerinin (RNS) aracılık ettiğini göstermektedir (Graves ve ark., 2012; Lu ve ark., 2016). Hem ROS hem de RNS'in, güçlü oksidatif özellikler göstermesi ve biyolojik hücrelerde sinyal yollarını tetikleyebilmesi nedeniyle bu türlerin kontrol edilebilir dozlarının hücrelere ve dokulara verilmesi, apoptozun başlaması, hücre proliferasyonunun artırılması veya baskılanması, modifiye hücre göçü gibi spesifik biyolojik sonuçlara yol açabilmektedir (von Woedtke ve ark., 2022).

Plazma tıbbında uygulamaya yönelik araştırmaların temel sebebi CAP'nın yara iyileşmesinde uygulanmasıdır (Lloyd ve ark., 2010). Plazma teknolojisinin, yarayı kontamine eden mikroorganizmaları inaktive etmesi ve doku rejenerasyonunu doğrudan uyarması

uygulamaya önemli bir potansiyel etki kazandırmıştır (Kramer ve ark., 2008). Stratmann ve ark (2020) tarafından yürütülen bir çalışmada, 62 diyabetik ayak ülseri, argon güdümlü plazma jet kINPen MED kullanılarak 14 gün boyunca CAP ile tedavi edilmiştir. Plasebo grubuna kıyasla plazma grubunda yara alanında önemli bir azalma gözlemlendiği tespit edilmiştir. Ayrıca, hem CAP hem de plasebo tedavisinin yaraların bakteri yükünü azalttığı bildirilmiştir. Başka bir klinik çalışmada, kronik ülserleri olan 37 hastaya, argonla çalışan plazma torcu SteriPlas ile on iki hafta boyunca haftada bir veya üç kez olarak CAP tedavisi uygulanmış ve tedavi edilen gruplarda yara alanında önemli bir azalma olduğu tespit edilmiştir (Moelleken ve ark., 2020).

Soğuk atmosferik plazma uygulaması yara iyileşmesinin yanı sıra çeşitli enfektif ve enflamatuvar cilt hastalıklarının tedavisinde de kullanılmaktadır. Isbary ve ark (2014) viral deri hastalığı olan ve lokalize bir bölgede kabarcık oluşumu ve ağrılı deri döküntüsü ile karakterize edilen Herpes Zoster (Zona) gözlenen 37 hastada randomize, plasebo kontrollü bir klinik çalışma yapmışlardır. Argon güdümlü mikrodalga plazma torcu MicroPlaSter ile haftada beş gün beş dakika süresince tedavi işlemi uygulanan grupta, ilk bir-iki günde, akut ağrılarda azalma ve Herpes Zoster lezyonlarında iyileşme durumunun gözlemlendiği bildirilmiştir. CAP'nın onikomikoz (tırnak mantar enfeksiyonu), akne ve siğiller üzerinde de başarılı etkisinin olduğu kanıtlanmıştır (Lipner ve ark., 2017; Friedman ve ark., 2019, 2020). CAP cildin uyarılması ve yenilenmesi için de uygulanabilir bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Plazma tedavisinin çoğu kozmetik endikasyonu cilt sıkılaştırma, kırışık giderme, yüz ve vücut germe, cilt

gençleştirme veya blefaroplasti (göz kapaklarının sıkılması) üzerine odaklanmıştır (King, 2017; Crofford, 2019).

Deneysel *in vitro* araştırmaların yanı sıra hayvan deneylerinde de çok umut verici sonuçlar elde edilmesi nedeniyle, kanser tedavisinde CAP uygulaması güncel araştırma konusu haline gelmiştir (Keidar, 2020). Cilt, meme, mesane, akciğer, pankreas, glioblastoma, nöroblastom, baş ve boyun kanseri gibi çeşitli kanser türlerinde kullanım alanı bulmaktadır (Yan ve ark., 2021). Metelmann ve ark (2018) orofarinksin lokal olarak ilerlemiş (pT4) skuamöz hücreli karsinoması olan ve açık enfekte ülserasyonları olan altı hastaya CAP tedavisi uygulamışlardır. Bazı hastalarda tümör büyümesinin belirgin şekilde engellendiğini, koku alma ve ağrı kesici kullanımında azalmaların olduğunu tespit etmişlerdir.

CAP tedavisinin başka bir uygulama alanı da ağız ve diş hekimliğidir. Burada implantoloji, periimplantitis tedavisi, diş ve diş kök kanallarının tedavisi, ağız yaraları ve enfeksiyonlarının tedavisi, diş beyazlatma gibi oldukça geniş uygulama alanları bulunmaktadır (Claiborne ve ark., 2014; Duarte ve Panariello, 2020; Borges ve ark., 2021). Tablo 2’de farklı soğuk plazma türlerinin diş uygulamalarındaki kullanımları yer almaktadır (Lata ve ark., 2022).

Tablo 2. Biyolojik modellerde termal olmayan plazma türlerinin dış uygulaması

<b>Kullanılan plazma cihazı</b>	<b>Biyolojik model</b>	<b>Uygulama alanı</b>	<b>Referans</b>
Plazma jet cihazı/He; He/O <sub>2</sub>	İnsan çekilmiş diş	Diş kanalı dezenfeksiyonu	(Jiang ve ark., 2009)
Plazma jet cihazı/Ar/O <sub>2</sub>	İnsan çekilmiş diş	Diş kanalı dezenfeksiyonu	Armand ve ark., (2019)
Plazma fırçası/Ar Düşük basınçlı plazma cihazı/O <sub>2</sub> , Ar, N <sub>2</sub> ve He+N <sub>2</sub> HDBD cihazı/Ar; plazma jet cihazı	İnsan çekilmiş diş	Diş yapılarının iyileştirilmesi	(Yavirach ve ark., 2009; Dong ve ark., 2014; Yang ve ark., 2018)
Kinpen MED ® plazma jeti/Ar	<i>In vitro</i> (Bakteri, laboratuvar koşulu)	Biyofilm azaltma	(Aparecida Delben ve ark., 2016)
Üç farklı tipte CAP cihazı: (a) kINPen plazma jet/Ar; (b) HDBD cihazı/Ar; (c) VDBD cihazı/Ar	<i>In vitro</i> (Bakteri, laboratuvar koşulu), Çekilmiş diş	Titanyum disklerde biyofilm azaltma	(Koban ve ark., 2011)

- **Gıda uygulamaları**

Hızla artan dünya nüfusu, beslenme düzenindeki değişiklikler, sınırlı tarım arazileri, iklim değişikliği ve artan su eksikliği nedeniyle küresel gıda talebi önemli ölçüde artmaktadır. Günümüz tüketicileri besleyici, taze, güvenli ve minimum düzeyde işlenmiş yiyecek ve içecekleri arzuladıkları için tarım ve gıda endüstrisi yoğun bir baskıyla karşı karşıyadır. Gıdaları muhafaza etmek ve raf ömrünü uzatmak ve için mikroorganizmaların gelişimini durdurmak ve/veya yok etmek amacıyla uygulanan pastörizasyon, yüksek basınçlı işleme, damıtma, ozonlama, ışınlama (ultraviyole ışık tedavisi, darbeli ışık tedavisi), ultrasonikasyon, tütsüleme ve kimyasal işlemler (örn. klor, hidrojen peroksit, peroksiasetik asit) gibi çok sayıda yöntem mevcuttur (Yanğış Yüksel ve Karagözlü, 2017; Asl ve ark., 2022). Gıdaların korunması için termal ve termal olmayan plazma teknolojileri de uygulanmıştır (Liao ve ark., 2017).

Isıl işlem uygulamaları gıdaların besin ve fonksiyonel özellikleri üzerinde olumsuz etki gösterdiğinden dolayı düşük sıcaklık aralığında çalışan soğuk plazma sistemlerinin gıda sterilizasyonunda kullanımı daha uygundur (Meidanshahi ve ark., 2012; Güleç, 2021). Soğuk plazma teknolojisi, ortam sıcaklıklarında ve atmosferik basınç koşullarında mikroorganizmaları hızlı şekilde dekontamine edebilme yetenekleri nedeniyle gıda muhafazasında tercih edilmektedir. Ayrıca, bu teknoloji, çalışma gazı olarak ortam havası kullanıldığında, gıda kalitesinde hissedilir değişikliklere neden olmadan etkinlik ve ardından makul maliyetler sağlamaktadır. Dezenfeksiyon yöntemi olarak soğuk plazma uygulaması, ham veya taze ürünler ve ambalaj malzemeleri

üzerindeki mikrobiyal yükleri azaltmak için tamamlayıcı bir yöntem olarak da kullanılabilir (Asl ve ark., 2022). Termal olmayan plazma teknolojisi, mikroorganizmaları ve enzimleri devre dışı bırakmak, toksinleri uzaklaştırmak ve pestisitleri parçalamak gibi özellikleriyle gıda endüstrisi için yeşil bir teknik olarak görülmektedir (Pan ve ark., 2019; Gavahian ve ark., 2020). Termal plazmaların yüksek ısı etkisiyle bakteriler üzerindeki öldürücü etkisi kaçınılmazdır. Ancak soğuk plazmaların bakteriler üzerindeki lethal etkisi daha yeni bir yöntemdir. Kimyasal yöntemlerle sterilizasyon işleminden farklı olarak ne fiziksel ne de kimyasal zararlı bir etki oluşturmadan, vakit ve iş gücü kaybı olmadan sterilizasyon gerçekleştirilebilmektedir (İbrahimoglu, 2014).

Gıda kontaminasyonu ve gıda kaynaklı hastalıkların bulaşmasının önde gelen nedenlerinden biri olan biyofilmler, karmaşık yapıları, artan metabolik stabiliteleri ve antimikrobiyal direnç özellikleriyle, gıda endüstrisinde önemli sorunlara neden olmaktadır (Borges ve ark., 2014). Biyofilmler, canlı veya cansız bir yüzeye bağlı olan ve kendi ürettiği hücre dışı polimerik maddeler (EPS) içinde bulunan karmaşık mikrobiyal hücre topluluklarıdır (Flemming ve ark., 2016). Biyofilmler, yüksek hücre sayısı, kolay genetik değişime izin vermek için yakın hücre yakınlığı (örneğin, direnç genleri için), hücre iletişimi ve bir ekzopolisakkarit matrisi üretimi yoluyla koruma gibi çeşitli özellikleri sayesinde olumsuz çevre koşullarına karşı hayatta kalabilmektedir (Mai-Prochnow ve ark., 2021). Biyofilmlerin benzersiz özelliklerinin çoğu EPS ile bağlantılıdır (Flemming ve ark., 2010). Mikrobiyal enfeksiyonların %65'inin ve kronik enfeksiyonların

%80'inin biyofilm oluşumu ile ilişkili olduğu tahmin edilmektedir (Miquel ve ark., 2016). Biyofilm konsorsiyumlarının yiyecek ve su yüzeylerini kontamine ettiği ve temizleme işlemlerine karşı oldukça dirençli olduğu bulunmuştur. *Listeria monocytogenes* ve *Salmonella Typhimurium* gibi patojenlerin gıda yüzeylerinde biyofilm oluşturarak çapraz kontaminasyona neden oldukları bildirilmiştir (Niemira ve ark., 2014).

Soğuk plazma tedavisinde serbest radikaller, yüklü parçacıklar ve UV radyasyonu üretilir ve protein denatürasyonuna, mikroorganizma hücre zarlarının bozulmasına ve bakteriyel DNA hasarlarına neden olmaktadır. Hidroksil radikalının DNA ve nişasta gibi diğer maddelerle hızlı reaksiyona girmesi, mikrobiyal hücrelerin dışında emilen serbest radikaller tarafından uçucuların oluşumu, DNA eklentisinin gelişmesinden ve mikroorganizmanın zarar görmesinden sorumlu olan plazma kaynaklı malondialdehit (MDA) oluşumu, gıdalardaki mikroorganizmaların deaktivasyonu için önerilen mekanizmalardır (Niveditha ve ark., 2021). Farklı plazma kaynaklarının mikroorganizma aktivasyonu üzerindeki engelleyici etkileri Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Farklı plazma prosesleri ile mikroorganizmaların inaktivasyonu

Mikroorganizma	İşlenmiş gıda	Plazma kaynağı	Sonuç	Referans
<i>Listeria innocua</i>	Gıda modeli sistemi	APP + nisin	CAP işleminden önce nisin kullanıldığında, CAP + nisin'in etkinliği daha fazla	Costello ve ark (2021)
<i>Salmonella</i>	Karabiber	UV ve helyum soğuk plazma	9,7 kV–22,1 dakika içinde 3,7 log CFU/g azalması, UV-CP tedavisinin önemli bakterisidal aktivitesi	Bang ve ark (2021)
<i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	Elma suyu	Elektrik boşalması plazması	21 kV'da 30 dakika sonra 5,6 log <sub>10</sub> 'luk azalma	Wang ve ark (2020)
<i>Pseudomonas floresan</i>	Balık	APP jet (30 kV - 5 dak, 4°C'de 24 saat bekletme)	İşlemden sonra inaktivasyon tamamen yapıldı, 0,4 log'luk azama	Zhao ve ark (2020)
Mezofilik aerobik bakteriler ve <i>Bacillus tequilensis</i> sporları	Karabiber	UV ve soğuk plazma	10,3 kV ve 22,1 dakikada inaktive etme sırasıyla 3,4 log CFU/g ve 1,7 log sporlar/g	Bang ve ark (2020)
Aerobik bakteri, mayalar ve küfler	Kamkat meyveleri	Korona deşarj plazma jeti	0,77–1,04 log CFU/g azalma	Puligundla ve ark (2018b)
<i>Zygosaccharomyces rouxii</i> LB ve 1130	Elma suyu	Sprey reaktörlü gaz fazlı yüzey deşarjlı plazma sistemi	30 dakikada 6,58 ve 6,82 log azalma	Wang ve ark (2018)
<i>Escherichia coli</i>	Arpa taneleri ve buğday	HVCP + DBD	2 saatlik depolama süresinden sonra <i>E. coli</i> 'de 3,5 log <sub>10</sub> CFU/g ve 3,3 log <sub>10</sub> CFU/g azalma	Los ve ark (2018)
<i>Z. rouxii</i>	Elma suyu	DBD plazma	Yaklaşık 5 log azalma	Xiang ve Farid (2016)
<i>E. coli</i> <i>S. enterica</i> serovar <i>Typhimurium</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	Kiraz, domates, çilek	DBD atmosferik soğuk plazma	Tedaviden sonraki 300 saniye içinde sırasıyla 3,5; 3,8 ve 4,2 log <sub>10</sub> CFU/numune azalma	Ziuzina ve ark (2014)
<i>Aspergillus flavus</i>	Esmer pirinç	CAP	25 dakika içinde plazma jeti ile <i>A. flavus</i> 'ta önemli azalma	Sühem ve ark (2013)

APP: Atmosferik basınç plazması, CAP: Soğuk atmosferik plazma, DBD: Dielektrik bariyer deşarjı



Plazma uygulamaları düşük sıcaklıklarda bile yüksek sterilizasyon sağlaması, enerji tüketiminin düşük, etkinliğinin yüksek olması, sistemin çalışırken aynı zamanda kendisini de temizleyebilmesi, gıdalarda herhangi bir olumsuz değişiklik (koku, tat, görünüş) oluşturmaması, erişilebilirliğinin kolay ve ucuz olması, herhangi bir toksik yan etki oluşturmaması gibi avantajlarından dolayı gıdaların korunmasında kullanılan bir yöntem haline gelmiştir (Yangılar ve Oğuzhan, 2013).

- **Tarım Uygulamaları**

Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte tarım ürünlerine olan talep de önemli ölçüde artış göstermektedir (Caicedo-Solano ve ark., 2020). Bitkilerin de su kıtlığı, su basması, toksisite, yüksek tuzluluk ve aşırı sıcaklıklar gibi çeşitli nedenlerden dolayı stres faktörlerine maruz kalması durumunda da mahsul veriminde ciddi azalmalar gözlenmektedir (Attri ve ark., 2020). Tarımsal ürünlerin çıktısını iyileştirmenin klasik yolu, kimyasal gübre ve insektisit, pestisit vb. uygulamaktır. Her ne kadar bu uygulamalar bitkiye zarar veren organizmaları yok etmek, istenmeyen yabancı otları kontrol altına almak ve zararlı etkilerini azaltmak amacıyla kullanılıyor olsa da uzun vadede tarım sektöründe kullanılması çevre ve canlı sağlığı açısından önemli sorunlar oluşturduğu için kimyasal bazlı yöntemler daha az tercih edilmektedir (Özalp ve Güldal, 2017). Bunun yanında pek çok zararlı böcek ilaçlara karşı direnç geliştirmiştir ve çiftçilerin gereğinden daha fazla ilaç kullanmasına neden olmaktadır. Bundan ötürü bilim insanlarının hasat öncesi tarım alanlarındaki zararlılarla mücadele ve hasat sonrası ürünlerin korunması için sürdürülebilir gıda üretim ve

işleme teknolojileri geliştirmeleri gerekmektedir. Bu yeni teknolojiler; ekinler ve gıda üzerinde herhangi bir kimyasal atık bırakmamalı, mantar gelişimini inhibe etmeli, hasat sonrası oluşan kayıpları azaltıp çimlenme yeteneğini arttırmalı, daha az su ve enerji tüketmeli, gıda kontrol-güvenliğini sağlamalı ve çevre dostu olmalıdır (Kasım ve Kasım, 2007; Çoruhlu, 2017).

Plazma teknolojisi; tohum ve ekinlere zarar vermeden, düşük sıcaklıklarda ve kısa işlem sürelerinde çalışabilmeleri sayesinde, yenilikçi ve gelecek vadeden çözümler sunmakta ve tarım uygulamalarında araştırmacılar tarafından ilgi görmeye başlamaktadır. Soğuk plazma sistemleri, düşük ve atmosferik basınçlarda üretilebilen zayıf iyonize gazlardır ve biyomedikal, gıda, su ve tarım alanlarında kullanım alanları bulunmaktadır (Al-Sharif ve diğerleri, 2020, Sruthi ve diğerleri, 2022). Sıcak plazma sistemleri ise, çelik kesme, nükleer reaksiyonun ilk aşaması, ark deşarjı, yıldırımın doğasında ve yıldızların içinde kullanım alanı bulmaktadır (Scholtz ve diğerleri, 2007).

Soğuk plazma teknolojisi, tohum kalitesi ve depolanabilirlik ile ilgili birçok ciddi sorunu ele alan yenilikçi ve gelişen teknolojidir. Uygulaması hızlı ve ekonomiktir, herhangi bir kirlilik içermez ve aynı zamanda tohum performansını ve mahsul verimini artırma etkileriyle bitkilerin gelişimsel ve fizyolojik süreçlerinde önemli rol oynamaktadır (Adhikari ve ark., 2020; Song ve ark., 2020; Staric ve ark., 2020).

Tarımsal ürünler (meyveler, sebzeler) genellikle hasat ve hasat sonrası (nakliye, depolama, temizleme, paketlenme, gıda işleme) aşamalarında toz, böcek, hayvan dışkı, işçi ve ekipman kaynaklı etkenlerden dolayı

kontaminasyona uğrayabilmektedir (Sakudo ve ark., 2019; Adhikari ve ark., 2020). Bu nedenle tarımda plazma uygulamaları hasat öncesi ve hasat sonrası olarak sınıflandırılmaktadır. Hasat öncesi dönemde tohumların sterilizasyonu, tohum çimlenmesinin iyileştirilmesi, toprak iyileştirme ve toprakta patojen istilasının azaltılması amacıyla uygulanırken, hasat sonrası dönemde gıda işleme ve koruma amacıyla kullanılmaktadır (Attri ve ark., 2020).

Soğuk plazma teknolojileri; ekim veya depolama amaçlı tohumların veya mahsullerin dekontaminasyonu, tohum çimlenmesinin ve büyümesinin artırılması, patojen kontaminasyonunun azaltılması, azot bazlı gübrelerin üretimi, toprak iyileştirme, işleme yüzeylerinin ve aletlerin dezenfeksiyonu, bitki büyümesini teşvik eden bakterilerin aktivasyonu gibi tarım uygulamaları için oldukça önemli katkılar sağlamaktadır (Panka ve ark., 2022).

- **Tohum çimlenmesi ve bitki büyümesine etkisi**

Azot, koyu yeşil yaprakların gelişiminde önemli bir rol oynayan ve mahsulün kök, gövde ve yapraklarının büyümesini teşvik ederek verim artışına yol açan önemli bir bitki besin maddesidir (Leghari ve ark., 2016). Geleneksel azotlu gübrelerin üretimi, önemli miktarda fosil yakıt tedariği gerektirmektedir. Azotlu gübre üretmek için fosil yakıtların kullanılması da küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olan önemli etmenler arasında yer almaktadır. Üre ve amonyum nitrat, topraktaki bakteriler tarafından bitkilerin tüketebileceği nitratlara dönüştürülebilen azotlu gübrelerin en yaygın formlarıdır. Eklenen azotun yaklaşık %50'si bitkiler tarafından tüketilebilir besine dönüştürülürken, geri kalanı yüzey ve yer altı sularına karışarak kirletici

etmen olarak rol oynamaktadır (Miller, 2005). Bu nedenle bitki beslemede uygulanabilir, ekosistem için zararsız alternatif azot kaynaklarının bulunması gerekmektedir.

Çeşitli bitkilerin tohum çimlenmesinin düşük olmasının başlıca nedeni tohum yüzeyi ve toprağın bakteri, mikroorganizma ve mantarlarla kontamine olmasıdır. Mahsul verimini artırmak için kullanılan gübreleme ve sulama gibi geleneksel yöntemler de ekonomik ve çevresel sorunlar oluşturmaktadır (Sivachandiran ve Khacef, 2017). Bitki büyümesini teşvik edecek, tohumların patojen ve kimyasal kontaminasyonunu azaltacak, ürün verimini arttıracak alternatif/tamamlayıcı yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Plazma teknolojisi, tohum çimlenme süreçlerini etkinleştirmek için verimli, basit ve çevre dostu bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Araştırmaların birçoğu, tohumların yüzey durumu üzerindeki morfolojik ve ıslatma etkilerine odaklanmıştır. Ayrıca, çimlenmedeki artış indüklenmiş hidrofiliğe ve daha yüksek su emme oranına bağlanmıştır (Arroyo ve ark., 2021). Domonkos ve ark. (2021) tohum çimlenme verimliliğinin (hız, yüzde) plazma kaynağı, bitki türü ve nem içeriğine bağlı olduğunu ve tohum kabuğunun ya da yüzeyinin özelliklerinde plazma kaynaklı fizikokimyasal değişikliklerin (yüksek hidrofiliklik ve su geçirgenliği), tohum çimlenmesi için gerekli olan su emilimini arttırdığını bildirmişlerdir. Son zamanlarda, reaktif oksijen ve azot türlerinin de çimlenme sürecine etkileri de inceleme konuları arasında yer almaktadır (Arroyo ve ark., 2021).

Tarım uygulamalarında soğuk plazmanın doğrudan kullanılabilirdiği gibi plazma ile aktifleştirilmiş su (PAW) işlemi ile dolaylı olarak uygulanabilmektedir. Son birkaç on yılda, plazma ile aktive edilmiş su (PAW), tarım ve gıda endüstrisinde potansiyel uygulama göstermiştir (Bruggeman ve ark., 2016; Bourke ve ark., 2018; Yong ve ark., 2018; Schnabel ve ark., 2019). Suya maruz kalan plazma, farklı reaktif oksijen (ROS) ve nitrojen türlerinin (RNS) üretilmesine neden olmaktadır (Liu ve ark., 2016). ROS'un ana bileşenleri hidroksil radikalleri, hidrojen peroksit, singlet oksijen, süperoksit anyonları ve ozon içerirken, RNS esas olarak nitrat, nitrit, peroksinitrit, nitrik oksit radikali, amonyak ve nitrojeni içermektedir (Thirumdas ve ark., 2018). PAW, tohum çimlenmesini, bitki büyümesini ve biyotik ve abiyotik streslere karşı toleransı arttırmak için uygulanan sürdürülebilir bir teknolojidir (Gao ve ark., 2022).

Aktivasyon yöntem ve süresi, depolama süresi, kullanılan plazma cihazı, uygulanan gerilim miktarı, çalışılan gaz türü, plazma ile muamele süresi gibi çeşitli kontrol faktörleri PAW'ın üretim süreci için önemli parametrelerdir (Guo ve ark., 2021). Azot içeriği bakımından zengin, antibakteriyel ve mantar öldürücü özellikleri bulunan PAW kullanımı, geleneksel azotlu gübrelere alternatif olarak görülmektedir (Simeckova ve ark., 2020). Hem çevre dostu gübre hem de sterilizasyon ortamı olarak PAW'ın sinerjik etkisinin, tarımda uygulanmaları için oldukça verimli görünmektedir. Birçok çalışmada, PAW'ın tohum çimlenme oranını artırmada oldukça verimli etki gösterdiği bildirilmiştir ve sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. PAW uygulaması ile tohum çimlenmesinde gözlenen artış (Guo ve ark., 2021).

Tohum	Plazma cihazı	Gerilim Güç	Çalışma gazı	Aktivasyon süresi (dk/mL <sup>1</sup> )	Aktivasyon yöntemi	Depolama süresi	Muamele süresi	Çimlenme oranı	Referans
Buğday	Kıvılcım Deşarjı	6 W	Hava	0,5	a	-	3 saat	% 100	Kucerova ve ark (2019)
Siyah gram	Yüksek voltaj deşarjı	6 W	O <sub>2</sub>	0,12	b	30 dk.	24 saat	%10-15 arttı	Sajib ve ark (2020)
Mercimek	Dielektrik deşarj plazma (DBD)	12 kV	Hava	0,3	a	-	3 saat	%99	Judee ve ark (2018)
Maş fasulyesi	Plazma jet	30 mA	N <sub>2</sub> , O, O <sub>2</sub> , Hava	0,2	a	-	Günde 20 mL	%90-97	Zhou ve ark (2019)
Soya fasulyesi	DBD	80 kV	Hava	0,25	a	-	Günde 2 mL	% 100	Chiara ve ark (2018)
Turp	DBD	40 kV	Hava	0,12	a	-	Günde 1 mL	%60 arttı	Sivachandim, Khacef (2017)
Kolza tohumu	Ark deşarjı	30 W	Ar, O <sub>2</sub>	0,2	b	-	4 gün	%16-18 arttı	Islam ve ark (2019)

a: Su yüzeyinin üzerindeki suyun plazma aktivasyonu

b: Su yüzeyinin altındaki suyun plazma aktivasyonu

Sivachandiran ve Khacef (2017) atmosferik basınç ve oda sıcaklığı altında PAW ile muamele ettikleri turp (*Raphanus sativus*) tohumlarının, çimlenme oranı ve bitki büyümesi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Su aktivasyonu için silindirik bir çift dielektrik bariyer deşarj (DBD) reaktörü kullanılırken, tohum muamelesi için plakadan plakaya bir çift DBD reaktörü kullanılmıştır. Deiyonize su örneği plazma ile 15 ve 30 dakika aktive edilirken (PAW-15, PAW-30), tohum numuneleri 10 ve 20 dakika süresince muamele edilmiştir. Bitki büyüme çalışmaları için, tohum örnekleri, 30 g toprak substratı içeren saksılarına ekilmiştir. Toprağa musluk suyu ve PAW (PAW-15 ve PAW-30, ayrı ayrı) örneklerinden her gün 5 mL eklenmiştir. Analiz sonucuna göre; musluk suyu, PAW-15 ve PAW-30 kullanımı sonrası sırasıyla %40, %60 ve %100 çimlenme oranına ulaşıldığı rapor edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, PAW uygulamasının tohumların

çimlenmesi ve bitki büyümesi üzerinde önemli bir etki gösterdiğini bildirmiştir.

Atmosferik basınçlı plazma jeti (APPJ) kullanılarak, musluk suyu, demineralize su ve sıvı gübrenin, mercimek çimlenme oranı ve gövde uzaması üzerine etkilerinin araştırıldığı başka bir çalışmada, musluk suyu ile %30 oranında çimlenme gözlenirken, plazma ile aktive edilen musluk suyunda %80'e varan çimlenme oranları elde edilmiştir. Ticari gübre ile karşılaştırıldığında, plazma ile aktive edilmiş musluk suyu kullanımı sonucu daha yüksek gövde uzama oranlarının elde edildiği ve bu çimlenme, gövde büyümesi oranlarının, plazma tarafından sıvılarda üretilen iki radikal (hidrojen peroksit ve nitrat) kombinasyonuna büyük ölçüde bağlı olduğu bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2017).

- **Hastalıklar ve zararlılar ile mücadele**

Bitki hastalıklarının birincil kaynağı tohumlarda gözlenen patojen mikroorganizma kontaminasyondur. *Alternaria*, *Aspergillus*, *Bipolaris*, *Botrytis*, *Colletotrichum*, *Fusarium*, *Sclerotinia* cinsleri gibi çok sayıda mantar patojenin ve *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Dickeya* ve *Ralstonia solanacearum* gibi patojen bakterilerin tohumlara bulaşması sonucu, bitkilerin çimlenmesi ve gelişimi sınırlanmakta, ürün verimi ve gıda güvenliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Amza, 2018; Silva ve ark., 2021; Panka ve ark., 2022). Hem çevreye hem de tüketiciye zararlı olan patojenleri, pestisit gibi ekosisteme zarar veren kimyasal maddeler kullanmadan yok etmek ve/veya azaltmak için yenilikçi, verimli ve çevre dostu bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır. Soğuk plazma sistemleri uygulama kolaylığı, çeşitli patojenlere karşı etkinliği, canlı

ve çevre için herhangi bir toksik etki oluşturmaması gibi özellikleriyle bu talebe karşılık vermektedir (Akişev ve ark., 2008; Jo ve ark., 2014).

Bitki patojenleri esas olarak tohum kabuğunda meydana gelmektedir (Tsedaley, 2015). Düşük sıcaklıktaki plazma sistemlerin, tohumların dış yapısında değişikliklere neden olmasının yanı sıra patojen mikroorganizmaların gelişme olasılığını da engellemektedir (Rusu ve ark., 2018). Ayrıca, soğuk plazma uygulamasının patojenler üzerinde doğrudan etkisi olduğu için tohum yüzeyinin sterilizasyonu için yararlı bir etki oluşturabilmektedir (Panka ve ark., 2022). Nishioka ve ark (2014) 10 dakikalık atmosferik basınçlı ve düşük basınçlı plazma sistemleri uygulaması ile patojen *Rhizoctonia solani* üzerindeki inaktivasyon etkisini incelemişler ve mantarın hayatta kalma oranının sırasıyla %100 ve %83'ten %3 ve %1,7'ye düştüğünü bildirmişlerdir. *Pak choi* filiz tohumlarında mikrobiyal inaktivasyon için korona deşarj plazma jetinin (CDPJ) kullanıldığı başka bir çalışmada, aerobik bakteri, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. ve tohumlarda kontaminant olarak küf ve mayalar tespit edilmiştir. Tohumların tespit edilen tüm mikroorganizmaları, 3 dakika boyunca CDPJ kullanılarak muamelede 1,3-2,1 log CFU/g aralığında azalttığı bildirilmiştir (Puligundla ve ark., 2018a).

Plazmanın mantar öldürücü etkisi bakterilere kıyasla daha zayıftır. Bu durum temel olarak prokaryotik ve ökaryotik hücrelerin yapısındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır (Ambrico ve ark., 2020). Kitin,  $\alpha$  ve  $\beta$ -bağlı glukanlar, glikoproteinlerin bileşimi nedeniyle, mantar hücrelerini dış etkenlerle yok etmek nispeten zordur. Ayrıca, melanin, mantarları UV, iyonlaştırıcı, aşırı sıcaklıklar, hidrolitik enzimlerin



etkisi, mantar önleyici maddeler ve serbest oksijen radikalleri gibi zararlı ajanlardan da korumaktadır (Latgé ve Beauvais, 2014; Belozerskaya ve ark., 2015; Panka ve ark., 2022).

Antimikrobiyal özelliklerinin yanı sıra, termal olmayan plazma ile aktive olan su, çeşitli mikroorganizmaları da etkisiz hale getirebilmektedir. PAW'ın bakterisidal aktivitesinin, yüksek pozitif oksidasyon-redüksiyon potansiyeli (ORP) ve düşük pH'ın birleşik etkisinden kaynaklandığı yaygın olarak kabul edilmektedir (Oehmigen ve ark., 2010). Bitki hastalıkları ve zararlı böcekler için PAW kontrolü esas olarak iki şekilde gerçekleşebilir. Birincisi, bakteri hücrelerine girebilen RON ve ROS içeren PAW'ın, bitkilerin yüzeyindeki patojenik bakterileri öldürerek bitkileri zararlılardan ve hastalıklardan koruyabilir. Bunlar, DNA, protein ve lipidleri oksitleyerek, DNA'yı ve proteinleri parçalayabilir ve lipid peroksidasyonunu tetikleyerek bakterinin ölmesine neden olabilir (Zhang ve ark., 2016). İkincisi, PAW, bitkiler için zararlılara ve hastalıklara karşı savunmalarını tetikleyen bir direnç indükleyici görevi görebilmesidir (Sarinont ve ark., 2017).

- **Sterilizasyon**

Arındırma ve sterilizasyon aracı olarak kullanılan atmosferik basınç plazmalar, diğer sterilizasyon yöntemlerine kıyasla mikroorganizmaları daha kısa sürede etkisiz hale getirebilmektedir (Laroussi ve ark., 2000). Plazma sistemlerinde uygulanan elektrik enerjisi, düşük kütleleri nedeniyle elektronları seçici olarak ısıtır ve ısınan elektron sıcaklığı; iyonların, nötr parçacıkların ve gazın sıcaklığından çok daha yüksektir. Ayrıca elektron sıcaklığı, özellikle reaktif oksijen ve azot türleri (ROS

ve RNS) ile UV radyasyonu gibi çeşitli türleri üretecek kadar aktifleşir. Bu durum soğuk plazmanın temas ettiği yüzeylerde, dekontaminasyon ve sterilizasyonun gerçekleştirilmesini sağlar (Bogaerts ve Neyts, 2018). Soğuk atmosferik plazma kontamine olan yüzeylerin dekontaminasyonu, materyallerin yüzey işlenmesi, tıbbi aletlerin sterilizasyonu, gıda güvenliğinin sağlanması gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Yangıç Yüksel ve Karagözlü, 2017; Çoban ve ark., 2021).

Soğuk atmosferik plazma sistemleri birçok vejetatif Gram negatif ve Gram pozitif bakteriler, mayalar, küfler ve endosporların dekontaminasyonunda başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Rod ve ark., 2012). Plazma yönteminin suda *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus mutans*, *Aspergillus niger*, *Candida albicans* ve yeşil alg de dahil olmak üzere birçok mikroorganizmanın etkin dekontaminasyonu için uygun olduğu tespit edilmiştir (Yangıç Yüksel ve Karagözlü, 2017). Yöntem bakteri türü ve kullanılan plazma sistemine göre değişiklik göstermekle birlikte, Gram negatif bakterilerin murein tabakasının Gram pozitif bakterilere göre daha ince olması nedeniyle, plazmanın reaktif oksijen türlerine karşı daha duyarlı olduğu saptanmıştır (Baysal ve İçier, 2012). Soğuk atmosferik plazma uygulamasında ve antimikrobiyal etkinin belirlenmesinde gaz cinsi ve kompozisyonu, yüzey özellikleri, bağıl nem, işlem süresi, uygulama yöntemi, akış hızı gibi proses parametrelerine ek olarak bakteriyel yük, bakterinin bulunduğu substrat, sıcaklık, pH, büyüme ortamının kompozisyonu gibi etkenlerde oldukça önemlidir (Fernández ve Thompson, 2012; Fernández ve ark.,

2013). Soğuk plazmaların bakteri ölümüne neden olduğu mekanizma yolları şu şekildedir; *i)* Enerji kaynağı olarak UV kullanıldığında DNA'nın yıkımı, *ii)* Gaza dönüşebilen atomik bileşiklerin uçurulması, *iii)* Oksijen atomlarından yararlanılarak, yavaş yanma sonucu oluşan gaza dönüşebilen bileşenlerden yüzeyden kopma etkisi (etching) sonucu mikroorganizmanın atomik düzeyde aşınmasıdır (Moisan ve ark., 2001).

Plazma sistemleri ile yapılan sterilizasyon işlemi, etilen oksit veya formaldehit ile yapılan sterilizasyona göre daha az malzeme gerektirmesi nedeniyle daha kısa sürede gerçekleşmektedir. Ayrıca ön hazırlık ve kimyasal kullanımı gerektirmediği ve atık oluşumuna neden olmadığı için çevre dostu teknoloji olarak kabul edilmektedir (Yangılar ve Oğuzhan, 2013). Ayrıca yüksek ısı fırınlarında steril edilemeyen birçok tıbbi, biyomedikal cihaz soğuk plazmalar ile ekonomik ve zararsız bir şekilde steril edilebilmektedir (İbrahimoglu, 2014).

## **SONUÇ ve ÖNERİLER**

Soğuk atmosferik plazma teknolojisi, düşük işletme maliyeti, uygulama kolaylığı, çevre dostu, etkili, yenilikçi bir yöntemdir. Farklı gaz (hava, nitrojen, helyum, argon) ve teknikler (korona deşarjı, dielektrik bariyer deşarjı, plazma jeti) kullanılarak, çeşitli patojenlerin inaktive edilmesi, gıda raf ömrünün uzatılması, tarım uygulamalarında tohumların çimlenme oranlarının artırılması, fide ve bitki gelişiminin desteklenmesi, gübre, su ve toprağın dezenfeksiyonu, tıbbi ekipmanların sterilizasyonu, yara iyileşmesi ve kanser hastalıklarında

terapötik tedavi sağlamak amacıyla çeşitli uygulama alanları bulunmaktadır (Domonkos ve ark., 2021; Panka ve ark., 2022). Bu derleme çalışmasında da soğuk atmosferik plazma uygulamalarının farklı alanlardaki (tıp, gıda, tarım) uygulanabilirliği ve etkinliği incelenmiştir.

Soğuk atmosferik plazma ile ilgili *in vitro* çalışmaların yanı sıra *in vivo* çalışmalar yapılmış olsa da, sistemin insan ve hayvan hücreleri üzerindeki etkilerini kapsamlı olarak anlayabilmek için eldeki mevcut veriler yeterli olarak görülmemektedir. Bu nedenle, daha detaylı ve kapsamlı araştırmaların yürütülmesiyle birlikte, plazma sistemlerinin daha fazla alanda yaygınlaşp, uygulama alanlarını genişletebilir.

### **Çıkar Çatışması/Çakışması Bildirimi**

Yazarlar arasında çıkar çatışması/çakışması bulunmamaktadır.

## KAYNAKLAR

- Adhikari, B., Adhikari, M., Park, G. (2020). The effects of plasma on plant growth, development, and sustainability. *Applied Sciences*. 10(17): 6045. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10176045>.
- Akischev, Y., Grushin, M., Karalnik, V., Trushkin, N., Kholodenko, V., Chugunov, V., Kobzev, E., Zhirkova, N., Irkhina, I., Kireev, G. (2008). Atmospheric-pressure, nonthermal plasma sterilization of microorganisms in liquids and on surfaces. *Pure and Applied Chemistry*. 80(9): 1953-1969. DOI: <https://doi.org/10.1351/pac200880091953>.
- Al-Sharif, Z.T., Al-Sharif, T.A., al-Obaidy, B.W., Ameer M. al-Azawial Azawi, A.M. (2020). Investigative study on the interaction and applications of plasma activated water (PAW). In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 870, 012042. DOI: 10.1088/1757-899X/870/1/012042.
- Ambrico, P.F., Šimek, M., Rotolo, C., Morano, M., Minafra, A., Ambrico, M., Polastro, S., Gerin, D., Faretra, F., Angelin, R.M.D.M. (2020). Surface Dielectric Barrier Discharge plasma: A suitable measure against fungal plant pathogens. *Nature*. 10, 3673. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60461-0>.
- Amza, J. (2018). Seed borne fungi; food spoilage, negative impact, and their management: A review. *Food Science and Quality Management*. 81, 70-79. ISSN 2224-6088.
- Ansari, M., Sharifian, M., Ehrampoush, M.H., Mahvi, A.H., Salmani, M.H., Fallahzadeh, H. (2021). Dielectric barrier discharge plasma with photocatalysts as a hybrid emerging technology for degradation of synthetic organic compounds in aqueous environments: A critical review. *Chemosphere*. 263, 128065, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.128065.
- Aparecida Delben, J., Evelin Zago, C., Tyhovych, N., Duarte, S., Eduardo Vergani, C. (2016). **Effect of atmospheric-pressure cold plasma on pathogenic oral biofilms and *in vitro* reconstituted oral epithelium.** *PLoS One*. 11. DOI: 10.1371/journal.pone.0155427.

- Armand, A., Khani, M., Asnaashari, M., AliAhmadi, A., Shokri, B. (2019). Comparison study of root canal disinfection by cold plasma jet and photodynamic therapy. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. 26, 327-333. DOI: 10.1016/j.pdpdt.2019.04.023.
- Arroyo, E., De Navascues, P., Gómez-Ramírez, A., Molina, R., Perea, A., García, J.L., Cotrino, J., Cantos, M., González-Elipe, A.R., López-Santos, C. (2021). Factors triggering germination in plasma-activated cotton seeds: water imbibition vs. reactive species' formation. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 54, 325205. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6463/abfetc>.
- Asl, P.J., Rajulapati, V., Gavahian, M., Kapusta, I., Putnik, P., Khaneghah, A.M., Marszałek, K. (2022). Non-thermal plasma technique for preservation of fresh foods: A review. *Food Control*. 134, 108560. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108560>.
- Attri, P., Ishikawa, K., Okumura, T., Koga, K., Shiratani, M. (2020). Plasma agriculture from laboratory to farm: A Review. *Processes*. 8(8): 1002. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr8081002>.
- Bang, I.H., Kim, Y.E., Young Lee, S., Min, S.C. (2020). Microbial decontamination of black peppercorns by simultaneous treatment with cold plasma and ultraviolet C *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 63(3): 102-392. DOI: 10.1016/j.ifset.2020.102392.
- Bang, I.H., Jiwon, I., Sea Cheol, M. (2021). **Inactivation of *Salmonella* on black peppercorns using an integrated ultraviolet-C and cold plasma intervention.** *Food Control*. 119(4): 107-498. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107498.
- Baysal, T. ve İçier, F., 2012. Gıda mühendisliğinde ısı olmayan teknolojiler. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 261-280.
- Belozerskaya, T.A., Gessler, N.N., Averyanov, A.A. (2015). Melanin pigments of fungi. In *Fungal Metabolites; Reference Series in Phytochemistry*; Merillon, J.M., Ramawat, K., Eds.; Springer: Cham, Switzerland. 1-29.
- Bogaerts, A. and Neyts, E. C. 2018. Plasma technology: An emerging technology for energy storage. *ACS Energy Letters*. 3(4): 1013-1027.

- Borges, A.C., Kostov, K.G., Pessoa, R.S., de Abreu, G.M.A., Lima, G d M G, Figueira, L.W., Koga-Ito, C.Y. (2021). Applications of cold atmospheric pressure plasma in dentistry. *Applied Science*. 11(5): 1975. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11051975>.
- Bourke, P., Ziuzina, D., Boehm, D., Cullen, P.J., Keener, K. (2018). The potential of cold plasma for safe and sustainable food production. *Trends in Biotechnology*. 36(6): 615-626. DOI: 10.1016/j.tibtech.2017.11.001.
- Busco, G., Robert, E., Chettouh-Hammas, N., Pouvesle, J.M., Grillon, C. (2020). The emerging potential of cold atmospheric plasma in skin biology. *Free Radical Biology and Medicine*. 161, 290-304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.10.004>.
- Bruggeman, P.J., Kushner, M.J., Locke, B.R., Gardeniers, J.G.E., Graham, W.G., Graves, D.B., Hofman-Caris, R.C.H.M., Maric, D., Reid, J.P., Ceriani, E., et al. (2016). Plasma-liquid interactions: A review and roadmap. *Plasma Sources Science and Technology*. 25, 053002. DOI: 10.1088/0963-0252/25/5/053002.
- Caicedo-Solano, N.E., García-Llinás, G.A., Montoya-Torres, J.R. (2020). Towards the integration of lean principles and optimization for agricultural production systems: A conceptual review proposition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 100(2): 453-464. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.10018>.
- Chiara, L.P., Dana, Z., Agata, L., Daniela, B., Fabio, P., Pietro, F. et al. (2018). Plasma activated water and airborne ultrasound treatments for enhanced germination and growth of soybean. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 49, 13-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.07.013>.
- Claiborne, D., McCombs, G., Lemaster, M., Akman, M.A., Laroussi, M. (2014). Low-temperature atmospheric pressure plasma enhanced tooth whitening: The next-generation technology. *International Journal of Dental Hygiene*. 12(2): 108-114. DOI: 10.1111/idh.12031.
- Costello, K.M., Smet, C., Gutierrez-Merino, J., Bussemaker, M., Van Impe, J.F., Velliou, E.G. (2021). The impact of food model system structure on the inactivation of *Listeria innocua* by cold atmospheric plasma and nisin combined treatments. *International Journal of Food Microbiology*. 16(337):108-948. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108948.

- Crofford, R. (2019). A review of plasma medicine. *PMFA Journal*. 6(3): 1-3. DOI: <https://thepmfajournal.com/features/post/a-review-of-plasma-medicine>.
- Çoban, E.İ., Arslan, G., Keven Karademir, F., Ayhan, F., Ayhan, H. (2021). Atmosferik Plazma Teknolojisi Kullanılarak Cep Telefonu Koruma Malzemelerine Antimikrobiyal Özellik Kazandırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 21, 53-66. DOI: 10.31590/ejosat.798436.
- Çoruhlu, T. (2017). Tarım Sektöründe Soğuk Atmosferik Plazma Teknolojilerinin Kullanımı. *İleri Teknolojiler V. Çalıştayı*. Pîrî Reis Üniversitesi/Tuzla-İstanbul.
- Domonkos, M., Ticha, P., Trejbal, J., Demo, P. (2021). Applications of cold atmospheric pressure plasma technology in medicine, agriculture and food industry. *Applied Sciences*. 11(11): 4809. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11114809>.
- Dong, X., Chen, M., Wang, Y., Yu, Q. (2014). **A mechanistic study of plasma treatment effects on demineralized dentin surfaces for improved adhesive/dentin interface bonding**. *Clinical Plasma Medicine*. 2, 11-16. DOI: 10.1016/j.cpme.2014.04.001.
- Duarte, S. and Panariello, B.H.D. (2020). Comprehensive biomedical applications of low temperature plasmas. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 693, 108560. DOI: 10.1016/j.abb.2020.108560.
- Feizollahi, E., Misra, N.N., Roopesh, M.S. (2021). Factors influencing the antimicrobial efficacy of Dielectric Barrier Discharge (DBD) Atmospheric Cold Plasma (ACP) in food processing applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 61(4): 666-689. DOI: 10.1080/10408398.2020.1743967.
- Fernández, A., Thompson, A. (2012). The inactivation of *Salmonella* by Cold Atmospheric Plasma treatment. *Food Research International*. 45(2): 678-684. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.04.009>.
- Fernández, A., Noriega, E., Thompson, A. (2013). Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on Fresh Produce by Cold Atmospheric Gas Plasma Technology. *Food Microbiology*. 33(1): 24-29. DOI: 10.1016/j.fm.2012.08.007.



- Flemming, H. C., Wingender, J. (2010). The biofilm matrix. *Nature Reviews Microbiology*. 8, 623-63. DOI: 10.1038/nrmicro2415.
- Flemming, H.C., Wingender, J., Szewzyk, U., Steinberg, P., Rice, S.A., Kjelleberg, S. Biofilms: An emergent form of bacterial life. *Nature Reviews Microbiology*. 14, 563-575. DOI: doi:10.1038/nrmicro.2016.94.
- Fridman, G. Friedman, G., Gutsol, A., Shekhter, A.B., Vasilets, V.N., Fridman, A. (2008). Applied plasma medicine. *Plasma Processes and Polymers*. 5(6): 503-533. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppap.200700154>.
- Friedman, P.C., Miller, V., Fridman, G., Fridman, A. (2019). Use of cold atmospheric pressure plasma to treat warts: A potential therapeutic option. *Clinical and Experimental Dermatology*. 44(4): 459-61. DOI: 10.1111/ced.13790.
- Friedman, P.C., Fridman, G., Fridman, A. (2020). Using cold plasma to treat warts in children: A case series. *Pediatric Dermatology*. 37(4): 706-9. DOI: <https://doi.org/10.1111/pde.14180>.
- Gao, Y., Francis, K., Zhang, X. (2022). Review on formation of cold plasma activated water (PAW) and the applications in food and agriculture. *Food Research International*. 57, 111246. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111246>.
- Gavahian, M., Khaneghah, A. M. (2020). Cold plasma as a tool for the elimination of food contaminants: Recent advances and future trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 60(9): 1581-1592. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1584600>.
- Gavahian, M., Meng-Jen, T., A., Khaneghah, A. M. (2020). Emerging techniques in food science: The resistance of chlorpyrifos pesticide pollution against arc and dielectric barrier discharge plasma. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. 12(SP1). 9-17. DOI: 10.15586/qas.v12iSP1.807.
- Graves, D.B. (2012). The emerging role of reactive oxygen and nitrogen species in redox biology and some implications for plasma applications to medicine and biology. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 45, 263001. DOI: 10.1088/0022-3727/45/26/263001.

- Guo, D., Liu, H., Zhou, L., Xie, J., He, C. (2021). Plasma-activated water production and its application in agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 101, 12, 4891-4899 DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11258>.
- Han, Y., Cheng, J.H., Sun, D.W. (2019). Activities and conformation changes of food enzymes induced by cold plasma: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 59(5): 794-811. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1555131>.
- Hoffman, C., Berganza, C., Zhang, J. (2013). Cold Atmospheric Plasma: Methods of production and application in dentistry and oncology. *Medical Gas Research*. 3(1): 21. DOI: 10.1186/2045-9912-3-21.
- Isbary, G., Morfill, G., Schmidt, H.U., Georgi, M., Ramrath, K., Heinlin, J., et al. (2010). A first prospective randomized controlled trial to decrease bacterial load using cold atmospheric argon plasma on chronic wounds in patients. *British Journal of Dermatology*. 163(1): 78-82. DOI: 10.1111/j.1365-2133.2010.09744.x.
- Isbary, G., Shimizu, T., Zimmermann, J.L., Heinlin, J., Al-Zaabi, S., Rechfeld, M., Morfill, G.E., Karrer, S., Stolz, W. (2014). Randomized placebo-controlled clinical trial showed cold atmospheric argon plasma relieved acute pain and accelerated healing in herpes zoster. *Clinical Plasma Medicine* 2(2): 50-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpme.2014.07.001>.
- Islam, S., Omar, F.B., Sajib, S.A., Roy, N.C., Reza, A., Hasan, M., et al. (2019). Effects of LPDBD plasma and plasma activated water on germination and growth in rapeseed (*Brassica napus*). *Gesunde Pflanzen*. 71(3): 175-185. ISSN: 0367-4223.
- İbrahimoğlu, B. *Plazma Teknolojileri. Ürün Yayınları*, Ankara, 2014. ISBN: 978-605-4938-12-4.
- Jiang, C., Chen, M.T., Gorur, A., Schaudinn, C., Jaramillo, D.E., Costerton, J.W., Sedghizadeh, P.P., Vernier, P.T., Gundersen, M.A. (2009). Nanosecond pulsed plasma dental probe. *Plasma Processes and Polymers*. 6, 479-483. DOI: 10.1002/ppap.200800133.
- Jo, Y.K., Cho, J., Tsai, T.C., Staack, D., Kang, M.H., Roh, J.H., Shin, D.B., Cromwell, W., Gross, D. (2014). A non-thermal plasma seed treatment method for

- management of a seedborne fungal pathogen on rice seed. *Crop Science*. 54(2): 796-803. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.05.0331>.
- Judee, F., Simon, S., Bailly, C., Dufour, T. (2018). Plasma-activation of tap water using DBD for agronomy applications: Identification and quantification of long lifetime chemical species and production/consumption mechanisms. *Water Research*. 133, 47-59. DOI: 10.1016/j.watres.2017.12.035.s.
- Kandemir, H., Aydın Kandemir, F., Güler, B., Gürel, A. (2021). Cold Plasma Technology and various applications areas in plants. *Journal of Agricultural Faculty of Bursa Uludag University*. 35(1): 217- 245. e-ISSN 2651-4044.
- Kasım, M.U., and Kasım, R. (2007). Sebze ve Meyvelerde Hasat Sonrası Kayıpların Önlenmesinde Alternatif Bir Uygulama: UV-C. *Tarım Bilimleri Dergisi*. 13(4): 413-419.
- Keidar, M. (2020). *Plasma Cancer Therapy*. Cham, Switzerland: Springer Nature. Springer Series on Atomic, Optical and, Plasma, Physics, 115.
- King, M. (2017). Focus on Plasma: The application of plasma devices in aesthetic medicine. *PMFA Journal*. 4(5): 1-3.
- Klíma, M., Slavíček, P., Šíra, M., Čížmár, T., Vaněk, P. (2006). HF plasma pencil and DC diaphragm discharge in liquids-diagnostics and applications. *Czechoslovak Journal of Physics*. 56, B1051-B1056.
- Koban, I., Holtfreter, B., Hübner, N.O., Matthes, R., Sietmann, R., Kindel, E., Weltmann, K.D., Welk, A., Kramer, A., Kocher, T. (2011). Antimicrobial efficacy of non-thermal plasma in comparison to chlorhexidine against dental biofilms on titanium discs *in vitro* - proof of principle experiment. *Jornal of Clinical Periodontology*. 38, 956-965. DOI: 10.1111/j.1600-051X.2011.01740.x.
- Kozáková, Z., Nejezchleb, M., Krčma, F., Halamová, I., Čáslavský, J., Dolinová, J. (2010). Removal of organic dye Direct Red 79 from water solutions by DC diaphragm discharge: Analysis of decomposition products. *Desalination*. 258(1): 93-98. DOI: 10.1016/j.desal.2010.03.038.
- Kozáková, Z., Klimova, E.J., Obradovic, B.M., Dojcinovic, B.P., Krčma, F., Kuraica, M.M., Olejnickova, Z., Sykora, R., Vavrova, M. (2018). Comparison of liquid and liquid-gas phase plasma reactors for discoloration of azo dyes: Analysis of

- degradation products. *Plasma Processes Polymers*. 15(6): 1700178. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppap.201700178>.
- Kozáková, Z., Krčma, F., Čechová, L., Simić, S., Doskočil, L. (2019). Generation of silver nanoparticles by the pin-hole DC plasma source with and without gas bubbling. *Plasma Physics and Technology*. 6(2): 180-183. DOI: <https://doi.org/10.14311/ppt.2019.2.180>.
- Kramer, A., Hübner, N.O., Weltmann, K.D., Lademann, J., Ekkernkamp, A., Hinz, P., Assadian, O. (2008). GMS Krankenhaushygiene Interdiszip. 3 Doc13 (<https://egms.de/en/journals/dgkh/2008-3/dgkh000111.shtml>)
- Kravets, L.I., Gilman, A.B., Dinescu, G. (2015). Modification of polymer membrane properties by low-temperature plasma. *Russian Journal of General Chemistry*. 85(5): 1284-1301. ISSN 1070-3632.
- Kucerova, K., Henselova, M., Slovakova, L., Hensel, K. (2019). Effects of plasma activated water on wheat: germination, growth parameters, photosynthetic pigments, soluble protein content, and antioxidant enzymes activity. *Plasma Processes and Polymers*. 16(3): 1800131. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppap.201800131>.
- Lacombe, A., Niemira, B.A., Gurtler, J.B., Fan, X., Sites, J., Boyd, G., Chen, H. (2015). Atmospheric Cold Plasma Inactivation of Aerobic Microorganisms on Blueberries and Effects on Quality Attributes. *Food Microbiology*. 46: 479-484. DOI: 10.1016/j.fm.2014.09.010.
- Laroussi, M., Alexeff, I., Kang, W.L. (2000). Biological Decontamination by Nonthermal Plasmas. *IEEE Transactions On Plasma Science*. 28(1): 184-188. DOI: 10.1109/27.842899.
- Laroussi, M., Akan, T. (2007). Arc-Free Atmospheric Pressure Cold Plasma Jets: A Review. *Plasma Processes and Polymers*. 4(9): 777-788. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppap.200700066>.
- Laroussi, M., Lu, X.P., Keidar, M. (2017). Perspective: The physics, diagnostics, and applications of atmospheric pressure low temperature plasma sources used in plasma medicine. *Journal of Applied Physics*. 122:020901. DOI 10.1063/1.4993710.

- Laroussi, M. (2020). Cold Plasma in Medicine and Healthcare: The New Frontier in Low Temperature Plasma Applications. *Frontiers in Physics*. 8, 1-7. DOI: 10.3389/fphy.2020.00074.
- Lata, S., Chakravorty, S., Mitra, T., Pradhan, P.K., Mohanty, S., Patel, P., Jha, E., Panda, P.K., Verma, S.K., Suar, M. (2022). Aurora Borealis in dentistry: The applications of cold plasma in biomedicine. *Materials Today Bio*. 13, 100200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2021.100200>.
- Latgé, J.P. and Beauvais, A. (2014). Functional duality of the cell wall. *Current Opinion in Microbiology*. 20, 111-117. DOI: 10.1016/j.mib.2014.05.009.
- Leghari, S.J., Wahocho, N.A., Laghari, G.M., Laghari, A.H., Bhabhan, G.M., Talpur, K.H., Bhutto, T.A., Wahocho, S.A., Lashari, A.A. (2016). Role of nitrogen for plant growth and development: A review. *Advances in Environmental Biology*. 10(9): 209-218.
- Liao, X., Liu, D., Xiang, Q., Ahn, J., Chen, S., Ye, X., Ding, T. (2017). Inactivation mechanisms of non-thermal plasma on microbes: A review. *Food Control*. 75(5): 83-91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.12.021>.
- Liu, D.X., Liu, Z.C., Chen, C., Yang, A.J., Li, D., Rong, M.Z., et al. (2016). Aqueous reactive species induced by a surface air discharge: heterogeneous mass transfer and liquid chemistry pathways. *Scientific Reports*. 6, 23737. DOI: 10.1038/srep23737.
- Lipner, S.R., Friedman, G., Scher, R.K. (2017). Pilot study to evaluate a plasma device for the treatment of onychomycosis. *Clinical and Experimental Dermatology*. 42(3): 295-8. DOI: 10.1111/ced.12973.
- Lloyd, G., Friedman, G., Jafri, S., Schultz, G., Fridman, A., Harding, K. (2010). Gas Plasma: Medical uses and developments in wound care. *Plasma Processes and Polymers*. 7(3-4): 194-211. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppap.200900097>.
- Los, A., Ziuzina, D., Akkermans, S., Boehm, D., Cullen, P.J., Van Impe, J., Bourke, P. (2018). Improving microbiological safety and quality characteristics of wheat and barley by high voltage atmospheric cold plasma closed processing. *Food Research International*. 106(11): 509-521. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.01.009.

- Lu, X., Naidis, G.V., Laroussi, M., Reuter, S., Graves, D.B., Ostrikov, K. (2016). Reactive species in non-equilibrium atmospheric-pressure plasmas: Generation, transport, and biological effects. *Physics Reports*. 630, 1-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2016.03.003>.
- Mai-Prochnow, A., Zhou, R., Zhang, T., Ostrikov, K., Mugunthan, S., Rice, S.A., Cullen, P.J. (2021). Interactions of plasma-activated water with biofilms: inactivation, dispersal effects and mechanisms of action. *Njp Biofilms and Microbiomes*. 7, 11. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41522-020-00180-6>.
- Malyavko, A., Yan, D., Wang, Q., Klein, A.L., Patel, K.C., Sherman, J.H., Keidar, M. (2020). Cold atmospheric plasma cancer treatment, direct versus indirect approaches. *Materials Advances*. 1, 1494-1505. DOI: 10.1039/D0MA00329H.
- Metelmann, H.R., Seebauer, C., Miller, V., Fridman, A., Bauer, G., Graves, D.B., Pouvesle, J.M., Rutkowski, R., Schuster, M., Bekeschus, S., et al. (2018). Clinical experience with cold plasma in the treatment of locally advanced head and neck cancer. *Clinical Plasma Medicine*. 9, 6-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpme.2017.09.001>.
- Miller, R.O. (2005). The 8th International Symposium on Soil and Plant Analysis: Part One-Foreword. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 36, 37.
- Miquel, S., Lagrèfeuille, R., Souweine, B., Forestier, C. (2016). Anti-biofilm activity as a health issue. *Frontiers in Microbiology*. 7, 592. DOI: 10.3389/fmicb.2016.00592.
- Mir, S.A., Shah, M.A., Mir, M.M. (2016). Understanding the Role of Plasma Technology in Food Industry. *Food and Bioprocess Technology*. Review. 9(5): 734-750. DOI: 10.1007/s11947-016-1699-9.
- Misra, N.N., Tiwari, B.K., Raghavarao, K.S., Cullen, P.J. (2011). Nonthermal Plasma Inactivation of Food-Borne Pathogens. *Food Engineering Reviews*. 3(3-4): 159-170. DOI: 10.1007/s12393-011-9041-9.
- Misra, N.N., Schlüter, O.K., Cullen, P.J. (2016). *Cold plasma in food and agriculture: Fundamentals and applications*. Academic Press. ISBN: 9780128014899.
- Moelleken, M., Jockenhöfer, F., Wiegand, C., Buer, J., Benson, S., Dissemmond, J. (2020). Pilot study on the influence of cold atmospheric plasma on bacterial

- contamination and healing tendency of chronic wounds. Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft. 18(10): 1094-101. DOI: 10.1111/ddg.14294.
- Moisan, M., Barbeau, J., Moreau, S., Pelletier, J., Tabrizian, M., Yahia, L.H. (2001). Low-temperature sterilization using gas plasmas: a review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms. International Journal of Pharmaceutics. 226, 1-2, 1-21. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-5173\(01\)00752-9](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(01)00752-9).
- Niemira, B.A. (2012). Cold plasma decontamination of foods. Annual Review of Food Science and Technology. 3, 125-142. DOI: 10.1146/annurev-food-022811-101132.
- Niemira, B.A., Boyd, G., Sites, J. (2014). Cold plasma rapid decontamination of food contact surfaces contaminated with *Salmonella* biofilms. Journal of Food Science. 79(5): M917-M922. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12379>.
- Nishioka, T., Takai, Y., Kavaradani, M., Okada, K., Tanimoto, H., Misava, T., Kusakari, S. (2014). Seed disinfection effect of atmospheric pressure plasma and low-pressure plasma on *Rhizoctonia solani*. Biocontrol Science. 19(2): 99-102. DOI: 10.4265/bio.19.99
- Niveditha, A., Pandiselvam, R., Arun Prasath, V., Kumar Singh, S., Gul, K., Kothakota, A. (2021). Application of cold plasma and ozone technology for decontamination of *Escherichia coli* in foods- a review. Food Control. 130, 108-338. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108338
- Oehmigen, K., Hahnel, M., Brandenburg, R., Wilke, Ch., Weltmann, K.D., von Woedtke, T. (2010). The role of acidification for antimicrobial activity of Atmospheric Pressure Plasma in liquids. Plasma Processes Polymers. 7(3-4): 250-257. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppap.200900077>.
- Özalp, B., and Güldal, H.T. (2017). Tohum, Kimyasal Gübre ve İlaç Kullanımı Açısından Mısır Üreticilerinin Çevre ve İnsan Sağlığı Üzerine Duyarlılığı: Adana İli Örneği. Tarım Ekonomisi Dergisi. 23(1): 13-24. ISSN 1303-0183. DOI: 10.24181/tarekoder.315313.
- Özdemir, A. (2021). Cold Atmospheric Plasma and cancer. Ankara Science University, Researcher. 1, 2.

- Pan, Y., Cheng, J.H., Sun, D.W. (2019). Cold plasma-mediated treatments for shelf life extension of fresh produce: A review of recent research developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 18(5): 1312-1326. DOI: 10.1111/1541-4337.12474
- Panka, D., Jeske, M., Lukanowski, A., Baturo-Ciesniewska, A., Prus, P., Maitah, M., Maitah, K., Malec, K., Rymarz, D., Muhire, J.D., Szwarc, K. (2022). Can Cold Plasma be used for boosting plant growth and plant protection in sustainable plant production? *Agronomy*. 12(4): 841. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12040841>.
- Pankaj, S.K. et al. (2014). Applications of cold plasma technology in food packaging. *Trends in Food Science & Technology*. 35(1): 5-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.10.009>.
- Pankaj, S.K., Keener, K.M. (2017). Cold plasma: Background, applications and current trends. *Current Opinion in Food Science*. 16, 49-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.07.008>.
- Puligundla, P., Kim, J.W., Mok, C. (2018a). Effect of atmospheric pressure plasma treatment on seed decontamination and sprouting of pak choi (*Brassica rapa* L. subsp. *chinensis* (L.) Hanelt). *Chiang Mai Journal of Science*. 45(7): 2679-2690. ISSN: 0125-2526.
- Puligundla, P., Lee, T., Mok, C. (2018b). Effect of intermittent corona discharge plasma treatment for improving microbial quality and shelf life of kumquat (*Citrus japonica*) fruits. *LWT*. 91, 8-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.019>.
- Rod, S.K., Hansen, F., Leipold, F., Knochel, S. (2012). Cold Atmospheric Pressure Plasma treatment of ready-to-eat-meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. *Food Microbiology*. 30(1): 233-238. DOI: 10.1016/j.fm.2011.12.018.
- Rusu, B.G., Postolache, V., Cara, I.G., Pohoata, V., Mihaila, I., Topala, I., Jitareanu, G. (2018). Method of fungal wheat seeds disease inhibition using direct exposure to air cold plasma. *Romanian Journal of Physics*. 63, 905, 1-13.
- Sajib, S.A., Billah, M., Mahmud, S., Miah, M., Reza, M.A. (2020). Plasma activated water: the next generation eco-friendly stimulant for enhancing plant seed



- germination, vigor and increased enzyme activity, a study on black gram (*Vigna mungo* L.). *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 40:119-143. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11090-019-10028-3>.
- Sakudo, A., Yagyu, Y., Onodera, T. (2019). Disinfection and sterilization using plasma technology: Fundamentals and future perspectives for biological applications. *International Journal of Molecular Sciences*. 20(20): 5216. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms20205216>.
- Samukawa, S., Hori, M., Rauf, S., Tachibana, K., Bruggeman, P., Kroesen, G., Whitehead, J.C., Murphy, A.B., Gutsol, A.F., Starikovskaia, S., et al. (2012). The 2012 plasma roadmap. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 45, 253001.
- Sarinont, T., Katayama, R., Wada, Y., Koga, K., Shiratani, M. (2017). Plant growth enhancement of seeds immersed in plasma-activated water. *MRS Advances*. 2(18): 995-1000. DOI: 10.1557/adv.2017.178.
- Schnabel, U., Handorf, O., Yarova, K., Zessin, B., Zechlin, S., Sydow, D., Zellmer, E., Stachowiak, J., Andrasch, M., Below, H., Ehlbeck, J. (2019). Plasma-treated air and water-assessment of synergistic antimicrobial effects for sanitation of food processing surfaces and environment. *Foods*. 8(2): 55. DOI: 10.3390/foods8020055.
- Scholtz, V., Julák, J., Kriha, V., Mosinger, J. (2007). Decontamination effects of low-temperature plasma generated by corona discharge. part I: An overview. *Prague Medical Report*. 108(2): 115-127. PMID: 18225639.
- Sharma, G., Kumar, D., Kumar, A., Al-Muhtaseb, A.H., Pathania, D., Naushad, M., Mola, G.T. (2017). Revolution from monometallic to trimetallic nanoparticle composites, various synthesis methods and their applications: A review. *Materials Science & Engineering C Materials for Biological Applications*. 71, 1216-1230. DOI: 10.1016/j.msec.2016.11.002.
- Siadati, S., Pet'kova, M., Kenari, A.J., Kyzek, S., Galova, E., Zahoranova, A. (2021). Effect of a non-thermal atmospheric pressure plasma jet on four different yeasts. *Journal of Physics D-Applied Physics*. 54, 2, 025204. DOI: 10.1088/1361-6463/abb624.
- Silva, J.J., Bertoldo, R., Fungaro, M.H.P., Massi, F.P., Taniwaki, M.H., Sant'Ana, A.S., Iamanaka, B.T. (2021). Black aspergilli in Brazilian onions: From field

- to market. International Journal of Food Microbiology. 337, 108958. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108958.
- Simeckova, J., Krcma, F., Klofac, D., Dostal, L., Kozakova, Z. (2020). Influence of Plasma-Activated Water on physical and physical-chemical soil properties. 12(9): 2357. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12092357>.
- Singh, S., Chandra, R., Tripathi, S., Rahman, H., Tripathi, P., Jain, A. and Gupta, P. 2014. The bright future of dentistry with cold plasma-review. IOSR Journal of Dental and Medical Sciences. 13(10): 6-13.
- Sivachandiran, L., Khacef, A. (2017). Enhanced seed germination and plant growth by atmospheric pressure cold air plasma: Combined effect of seed and water treatment. RSC Advances. 7, 1822-1832. DOI: 10.1039/c6ra24762h.
- Song, J.S., Kim, S.B., Ryu, S., Oh, J., Kim, D.S. (2020). Emerging plasma technology that alleviates crop stress during the early growth stages of plants: A review. Frontiers in Plant Science. 11, 988. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00988>.
- Sruthi, N., Josna, K., Pandiselvam, R., Kothakota, A., Gavahian, M., Khaneghah, A.M. (2022). Impacts of cold plasma treatment on physicochemical, functional, bioactive, textural, and sensory attributes of food: A comprehensive review. Food Chemistry. 368, 130809. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130809>.
- Starič, P., Vogel-Mikuš, K., Mozetič, M., Junkar, I. (2020). Effects of nonthermal plasma on morphology, genetics, and physiology of seeds: A review. Plants. 9(12): 1736. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9121736>.
- Stratmann, B., Costea, T.C., Nolte, C., Hiller, J., Schmidt, J., Reindel, J., Masur, K., Motz, W., Timm, J., Kerner, W., Tschoepe, D. (2020). Effect of Cold Atmospheric Plasma Therapy vs Standard Therapy Placebo on Wound Healing in Patients With Diabetic Foot Ulcers. JAMA Network Open. 3(7): e2010411. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2020.10411.
- Suhem, K., Matan, N., Nisoa, M., Matan, N. (2013). Inhibition of *Aspergillus flavus* on agar media and brown rice cereal bars using cold atmospheric plasma treatment. International Journal of Food Microbiology. 161(2): 107-111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.12.002>.

- Thirumdas, R., Kothakota, A., Annapure, U., Siliveru, K., Blundell, R., Gatt, R., Valdramidis, V.P. (2018). Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture. *Trends in Food Science & Technology*. 77, 21-31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.007>.
- Tsedaley, B. (2015). Review on seed health tests and detection methods of seedborne diseases. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 5(5): 176-184. ISSN 2224-3208.
- von Woedtke, T., Schmidt, A., Bekeschus, S., Wende, K., Weltmann, K.D. (2019). Plasma Medicine: A field of applied redox biology. *In Vivo*. 33(4): 1011-1026. DOI: <https://doi.org/10.21873/invivo.11570>.
- von Woedtke, T., Laroussi, M., Gherardi, M. (2022). Foundations of plasmas for medical applications. *Plasma Sources Science and Technology*. 31, 054002. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6595/ac604f>.
- Wang, Y., Wang, Z., Yuan, Y., Gao, Z., Guo, K., Yur, T. (2019). Application of electrical discharge plasma on the inactivation of *Zygosaccharomyces rouxii* in apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technology*. 52, 450-456. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.02.008>.
- Wang, Y., Wang, Z., Yang, H., Zhu, X. (2020). Gas phase surface discharge plasma model for yeast inactivation in water. *Journal of Food Engineering*. 286, 110117. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110117.
- Weltmann, K.D., Kindel, E., von Woedtke, T., Hähnel, M., Stieber, M., Brandenburg, R. (2010). Atmospheric-pressure plasma sources: prospective tools for plasma medicine. *Pure and Applied Chemistry*. 82:1223. DOI: 10.1351/PAC-CON-09-10-35.
- Xiang, L., Farid, M. (2016). A review on recent development in non-conventional food sterilization Technologies. *Journal of Food Engineering*. 182(39): 33-45. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.02.026>.
- Xin, Y., Sun, B., Zhu, X., Yan, Z., Zhao, X., Sun, X., Ohshima, T. (2020). Characteristics and pathways of hydrogen produced by pulsed discharge in ethanol-water mixtures. *International Journal of Hydrogen Energy*. 45(3): 1588-1596. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.101>.

- Xu, S., Wang, Y., Que, Y., Ma, C., Cai, S., Wang, H., Yang, X., Yang, C., Cheng, C., Zhao, G., Hu, Y. (2020). Cold atmospheric plasma-activated ringer's solution inhibits the proliferation of osteosarcoma cells through the mitochondrial apoptosis pathway. *Oncology Reports*. 43(5): 1683-1691. DOI: <https://doi.org/10.3892/or.2020.7518>.
- Yan, D., Malyavko, A., Wang, Q., Lin, L., Sherman, J.H., Keidar, M. (2021). Cold atmospheric plasma cancer treatment, a critical review. *Applied Science*. 11, 7757. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11167757>.
- Yang, Y., Guo, J., Zhou, X., Liu, Z., Wang, C, Wang, K., Zhang, J., Wang, Z. (2018). **A novel cold atmospheric pressure air plasma jet for peri-implantitis treatment: an *in vitro* study.** *Dental Materials Journal*. 37, 157-166. DOI: 10.4012/dmj.2017-030.
- Yangılar, F., Oğuzhan, P. (2013). Plazma teknolojilerinin gıda endüstrisinde kullanımı. *Gıda*. 38(3): 183-189.
- Yangıç Yüksel, Ç., Karagözlü, N. (2017). Soğuk atmosferik plazma teknolojisi ve gıdalarda kullanımı. *ADÜ Ziraat Dergisi*. 14(2): 81-86. DOI: 10.25308/aduziraat.332684.
- Yasuda, H. (1984). Plasma polymerization for protective coatings and composite membranes. *Journal of Membrane Science*. 18: 273-284. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(00\)85039-5](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(00)85039-5).
- Yavirach, P., Chaijareenont, P., Boonyawan, D., Pattamapun, K., Tunma, S., Takahashi, H., Arksornnukit, M. (2009). Effects of plasma treatment on the shear bond strength between fiber reinforced composite posts and resin composite for core build-up. *Dental Materials Journal*. 28, 686-692. DOI: 10.4012/dmj.28.686.
- Yong, H.I., Park, J., Kim, H.J., Jung, S., Park, S., Lee, H.J., Choe, W., Jo, C. (2018). An innovative curing process with plasma-treated water for production of loin ham and for its quality and safety. *Plasma Processes and Polymers*. 15(2): 1700050. DOI: <https://doi.org/10.1002/ppap.201700050>.
- Zhang, Q., Ma, R., Tian, Y., Su, B, Wang, K., Yu, S. et. al., (2016). Sterilization efficiency of a novel electrochemical disinfectant against *Staphylococcus*

- aureus*. Environmental Science & Technology. 50(6): 3184-3192. DOI: 10.1021/acs.est.5b05108.
- Zhang, S., Rousseau, A., Dufour, T. (2017). Promoting lentil germination and stem growth by plasma activated tap water, demineralized water and liquid fertilizer. RSC Advances. 7, 31244-31251.
- Zhao, Y.M., Ojha, S., Burgess, C.M., Sun, D.W., Tiwar, B.K. (2020). Influence of various fish constituents on inactivation efficacy of plasma-activated water. International Journal of Food Science and Technology. 55(6): 2630-2641. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14516>.
- Zhou, R., Li, J., Zhou, R., Zhang, X., Yang, S. (2019). Atmospheric-pressure plasma treated water for seed germination and seedling growth of mung bean and its sterilization effect on mung bean sprouts. Innovative Food Science & Emerging Technology. 53, 36-44. DOI: 10.1016/J.IFSET.2018.08.006.
- Ziuzina, D., Patil, S., Cullen, P.J., Keener, K., Bourke, P. (2014). Atmospheric cold plasma inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* serovar Typhimurium and *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh produce. Food Microbiology. 42(6): 109-116. DOI: 10.1016/j.fm.2014.02.007.

## BÖLÜM 9

# TÜRKİYE’NİN MARDİN İLİNİN MEKANİZASYON DURUMU

Dr. Öğr.Üyesi Cihan DEMİR<sup>1\*</sup>

Doç.Dr. Osman GÖKDOĞAN<sup>2</sup>

---

<sup>1\*</sup>Kırklareli Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Kırklareli, ORCID: 0000-0000-2866-4074

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Isparta, ORCID: 0000-0002-4933-7144



## GİRİŞ

İnsanlar ihtiyaçlarının karşılanmasında her zaman tabii kaynaklardan günlük yaşam kadar yararlanmışlardır. Nüfus artımı ile birlikte dünya üzerindeki tabii kaynaklar da azalmaktadır (Baran ve ark., 2019). Birim alandan daha fazla ve nitelikli üretim yapmak günümüz tarımsal üretiminin temel hedeflerindedir. Bu hedef yeni teknolojilerden yararlanılarak gerçekleştirilebilir (Bilim ve ark., 2014; Aslantürk ve Altuntaş, 2018). Dünya nüfus artışı ile beraber gelişmiş ülkelerde sosyo ekonomik refahın getirisi ile tüketim çeşitliliği tarım ürünlerine talebi artırmıştır. Artan talebin karşılanmasında yapılabilecek üretim artışının iki kaynağı vardır. Tarım alanlarının genişletilmesi ve birim alandan daha fazla verim almaktır. Tarımsal üretimde mekanizasyonun kullanımı birim alanda verimlilik üzerine etkilidir. Mekanizasyon kullanımıyla birlikte işgücünün verimliliği ve diğer kaynakların kullanım etkinliği artar (Oğuz ve ark., 2017).

Türkiye’de tarım sektörünün beslenme ve iş gücüne olan etkisi, milli gelire olan katkısı ve sanayi sektörüne sağlamış olduğu hammadde ile ekonomik ve sosyal bir sektördür. Hızla artan insan topluluklarının ihtiyaçlarının karşılanması için, tarım alanlarından daha kaliteli ve nicelikli üretim günümüzdeki tarımsal üretimin ana hedeflerindedir. Bu hedef tarımsal faaliyetlerde teknolojik imkanlardan faydalanılmasını kaçınılmaz yapmaktadır (Sümer ve ark., 2003; Sümer ve ark., 2004; Yılmaz ve Sümer, 2018). Alternatif tarım, tabii kaynakları ve çevreyi koruyarak geleneksel tarımdan daha sağlıklı ve daha güvenilir üretim yaratmayı amaçlamaktadır. Bu amaca ulaşmak için



etkin ve karlı üretim yapabilecek alternatif yöntemlerin benimsenmesi gerekmektedir (Sessiz ve ark., 2008; Bayhan, 2016; Akdağoğlu ve ark., 2020). Son yıllarda yoğun makine kullanımı, tarım traktörlerinin güçlerindeki artışlar, tarlalarda ağır aletlerin kullanılmasına neden olmuştur (Bayhan ve ark., 2002).

Tarımsal mekanizasyon ve yıllara göre tarımsal mekanizasyon ile ilgili yapılan bazı çalışmalar sera sebzeçiliği (Çanakcı ve Akıncı, 2004), bağcılık (Durgut ve Arın, 2005), süt sığırcılığı (Güzel ve Aybek, 2017), ayçiçeği (Bal ve Altuntaş, 2018), dane mısır (Kipritçi ve ark., 2018), Tokat ili (Kasap ve ark., 1997), Bursa ili (Işık ve ark., 2003), Diyarbakır ili (Sessiz ve ark., 2006), Sivas ili (Altuntaş ve Aslan, 2009), Iğdır ili (Altıkata ve Çelik, 2011), Adıyaman ili (Lüle ve ark., 2012), Batman ili (Gürsoy, 2013), Gaziantep ili (Bilim ve ark., 2014), Konya ili (Oğuz ve ark., 2017), Şanlıurfa ili (Bozkurt ve Aybek, 2016), Kırklareli ili (Kayhan ve ark., 2017), Batı Marmara Bölgesi (Baran ve ark., 2014), Trakya Bölgesi (Abdikoğlu, 2019), KOP Bölgesi (Malaslı ve ark., 2020), Türkiye (Özgüven ve ark., 2010), Orta Asya Ülkeleri (Esenali Uulu ve Öğüt, 2018) vd. olarak sıralanabilir. Bu çalışmada 2012-2021 yılları arasında Mardin ilinin bazı tarımsal mekanizasyon göstergelerinin belirlenmesi amaçlanmış ve Mardin ilinin yıllara göre tarımsal mekanizasyon durumu incelenmiştir.

## **MATERYAL VE METOT**

Mardin ili 3 174 625 dekar toplam tarım alanına sahiptir (Anonim, 2022a). Mardin ili 36 55 - 38 51 kuzey enlemleri ve 39 56 - 42 54 doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Akdeniz iklimi ve karasal iklimin ortak özelliklerine sahip olmakla birlikte yazları çok sıcak ve kurak, kışları ise yağışlı ve soğuktur (Anonim, 2022b).

Bu çalışmanın materyalini Türkiye İstatistik Kurumunun 2012-2021 yıllarına ait Mardin ilinin sahip olduğu traktör, biçerdöver ve tarım makineleri verileri oluşturmaktadır (Anonim, 2022c). Ortalama traktör gücü hesaplanmasında Lüle ve ark. (2012)'dan ve çalışma konusu ile ilgili yapılmış olan diğer çalışmalardan da faydalanılmıştır. Çalışmada Mardin ilinin istatistiksel olarak traktör sayısı, tarımsal makineleri, bazı tarımsal mekanizasyon düzeyi göstergeleri hesaplanarak özetlenmiştir. Ayrıca traktör ve tarım makinelerindeki 10 yıllık değişim incelenmiştir. Tarımsal mekanizasyon ile ilgili değerlendirmeler yapılmış olup Tablolar oluşturulmuştur.

## **BULGULAR VE TARTIŞMA**

Mardin ilinin son on yıllık traktör sayıları güç gruplarına göre Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e göre Mardin ilinde 2016 yılından sonra paletli traktörün bulunmadığı görülmektedir. 1 ... 70+ BG gruplarındaki traktör sayısı 2012 yılında 5016 adet iken 2014 yılında 5094 adet olup 2021 yılına kadar yükselerek 6530 adete ulaşmıştır. Traktör çoğunluğu 51-70 BG grubunda toplanmıştır.

Tablo 1. Mardin ilinin son on yıllık traktör sayıları (Anonim, 2022c)

Yıllar	Paletli	1-5 (BG)	5+ (BG)	1-10 (BG)	11- 24 (BG)	25- 34 (BG)	35- 50 (BG)	51- 70 (BG)	70+ (BG)	Toplam 1 ... 70+ BG* (Adet)
2012	3	-	825	-	-	472	1118	1874	727	5016
2013	3	4	800	-	-	498	1154	1928	923	5307
2014	3	7	4	1	1	493	1061	2476	1051	5094
2015	4	7	4	1	1	500	1070	2510	1191	5284
2016	5	7	4	1	1	508	1099	2523	1193	5336
2017	-	6	4	1	3	517	1219	2770	1353	5873
2018	-	6	4	1	3	526	1306	2878	1475	6199
2019	-	6	4	1	3	526	1304	2893	1549	6286
2020	-	6	4	1	3	527	1304	2930	1634	6409
2021	-	6	4	1	3	529	1313	2974	1700	6530

\*: Hesaplandı.

Mardin ilinin son on yıllık biçerdöver sayıları güç gruplarına göre Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’ye göre Mardin ilinde 0 ... 20 yaş arasındaki biçerdöver sayısı 2012 yılında 94 adetten 2021 yılına kadar yükselerek 182 adete ulaşmıştır. Biçerdöver çoğunluğu 0-5 yaş aralığında toplanmıştır.

Tablo 2. Mardin ilinin son on yıllık biçerdöver sayıları (Anonim, 2022c)

Yıllar	0-5 Yaş	6-10 Yaş	11-20 Yaş	Toplam 0 ... 20 Yaş*
2012	57	21	16	94
2013	56	22	18	96
2014	61	27	14	102
2015	66	27	12	105
2016	67	27	14	108
2017	75	28	25	128
2018	81	28	21	130
2019	82	29	21	132
2020	89	34	22	145
2021	103	52	27	182

\*: Hesaplandı.

Mardin ilindeki 2012 ve 2021 yıllarındaki tarım makineleri sayıları Tablo 3’de verilmiştir. Tablo 3’e göre incelenen makinelerden karasaban, hayvan pulluğu, ark açma pulluğu, hayvanla çekilen hububat ekim makinesi, traktörle çekilen hububat ekim makinesi, biçer bağlar makinesi, tınaz makinesi, döven, traktörle çekilen çayır biçme makinesi, pamuk toplama makinesi, mısır hasat makinesi, sedyeli, motorlu pülverizatör, tozlayıcı, kombine atomizör, tozlayıcı, motopomp (termik), krema makinesi, hayvanla ve traktörle çekilen ara çapa makinesi, universal ekim makinesi (mekanik) (pancar mibzeri dahil), sap toplamalı saman yapma makinesi ve yayık makinelerinde azalışlar olmuş, toprak tesviye makinesinde değişme olmamış ve diğer makinelerde artışlar olmuştur.

Tablo 3. Mardin ilinin tarım makineleri sayıları (Anonim, 2022c)

Makineler	2012 Yılı	2021 Yılı
Karasaban	3857	3273
Hayvan Pulluğu	2790	1956
Kulaklı Traktör Pulluğu	3241	4083
Ark Açma Pulluğu	511	474
Diskli Traktör Pulluğu	1058	1272
Diskli Anız Pulluğu (Vanvey)	327	366
Kulaklı Anız Pulluğu	57	120
Toprak Frezesi (Rotovator)	115	250
Kültivatör	3173	3993
Merdane	698	772
Diskli Tırmık (Diskarolar)	521	1035
Dişli Tırmık	99	133
Ot Tırmığı	424	479
Hayvanla Çekilen Hububat Ekim Makinesi	7	0
Traktörle Çekilen Hububat Ekim Makinesi	1732	1157
Kombine Hububat Ekim Makinesi	1673	2660
Çiftlik Gübresi Dağıtma Makinesi	4	18
Kimyevi Gübre Dağıtma Makinesi	2501	3137
Orak Makinesi	14	80
Bıçer Bağlar Makinesi	176	34
Balya Makinesi	6	97
Tınaz Makinesi	16	9
Döven	675	424
Traktörle Çekilen Çayır Bıçme Makinesi	180	150
Ot Silaj Makinesi	2	6
Mısır Silaj Makinesi	8	15
Pamuk Toplama Makinesi	39	26
Mısır Hasat Makinesi	19	13
Selektör (Sabit veya Seyyar)	81	159
Yem Hazırlama Makinesi	42	83
Sap Parçalama Makinesi	32	50
Sırt Pülverizatörü	2540	3710
Sedyeli, Motorlu Pülverizatör, Tozlayıcı, Kombine Atomizör	67	4
Kuyruk Milinden Hareketli Pülverizatör	773	1580
Motorlu Pülverizatör	92	201
Tozlayıcı	7	6
Atomizör	46	68
Santrifüj Pompa	208	307

Elektropomp	229	301
Motopomp (Termik)	104	63
Derin Kuyu Pompa	3803	4540
Yağmurlama Tesisi	2626	3708
Krema Makinesi	141	2
Süt Sağım Tesisi	1	70
Süt Sağım Makinesi (Seyyar)	33	331
Römork (Tarım Arabası)	5124	7856
Su Tankeri (Tarımda Kullanılan)	1018	1308
Dip Kazan (Subsoiler)	69	165
Rototiller	16	281
Taş Toplama Makinesi	12	46
Toprak Tesviye Makinesi	3	3
Set Yapma Makinesi	7	27
Toprak Burgusu	18	55
Hayvanla ve Traktörle Çekilen Ara Çapa Makinesi	139	132
Pnömatik Ekim Makinesi	184	451
Üniversal Ekim Makinesi (Mekanik) (Pancar Mibzeri Dahil)	17	0
Anıza Ekim Makinesi	5	24
Sap Döver ve Harman Makinesi (Batöz)	709	712
Sap Toplamalı Saman Yapma Makinesi	138	115
Saman Aktarma-Boşaltma Makinesi	12	29
Ürün Kurutma Makinesi	1	15
Yem Dağıtıcı Römork	4	11
Damla Sulama Tesisi	185	1404
Yayık	590	410
Kepçe (Tarımda Kullanılan)	12	20
Patates Dikim Makinesi	0	30
Patates Sökme Makinesi	0	29
Kombine Patates Hasat Makinesi	0	3
Kuluçka Makinesi	0	16
Motorlu Tırpan	0	10

Mardin ilinin traktör güç grupları ve ortalama traktör güçleri Tablo 4’de verilmiştir. Tablo 4’e göre 2012 yılındaki toplam 5016 adet traktörün traktör gücü toplamı 229831 BG, 2021 yılındaki toplam 6530 adet traktörün traktör gücü toplamı 370431 BG’dir.

Tablo 4. Mardin ilinin traktör güçleri

Güç Grupları (BG)									Toplam
Traktör Güçleri	1-5	5+	1-10	11-24	25-34	35-50	51-70	70+	-
Ort. Traktör Gücü	3	5	5.50	17.50	29.50	42.50	60.50	70	-
Yıllar	Güç Gruplarına Göre Traktör Sayıları (Adet)								
2012	-	825	-	-	472	1118	1874	727	5016
2021	6	4	1	3	529	1313	2974	1700	6530
Yıllar	Toplam Traktör Güçleri (BG)								
2012	-	4125	-	-	13924	47515	113377	50890	229831
2021	18	20	5.50	52.50	15605.50	55802.50	179927	119000	370431
Yıllar	Toplam Traktör Gücü (BG)					Ortalama Traktör Gücü (BG)			
2012	229831					45.82			
2021	370431					56.73			

\*: (Anonim, 2022c)

Anonim (2022d)'ye göre Mardin ilinin 2012 yılı itibari ile toplam tarım alanı 322524.2 hektar, 2021 yılı itibari ile toplam tarım alanı 317462.5 hektardır. Mardin ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyi ile ilgili hesaplanan bazı göstergeler Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'e göre 2012 yılındaki traktör/1000 ha göstergesine göre 15.55 olan değer 2021 yılında 20.56'ya yükselmiştir. 2012 yılındaki ha/traktör göstergesine göre 64.29 olan bu değer 2021 yılında 48.61'e düşmüştür. 2012 yılındaki kW ha<sup>-1</sup> değeri 0.52 iken 2021 yılında 0.85'e yükselmiştir.

Tablo 5. Mardin ilinin hesaplanan bazı tarımsal mekanizasyon düzeyi göstergeleri

Yıllar	traktör/1000 ha	ha/traktör	kW/ha	Ortalama Traktör Gücü (kW)
2012	15.55	64.29	0.52	33.73
2021	20.56	48.61	0.85	41.75

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Mardin ilinin 2012 yılındaki toplam traktör sayısı 5016 adet olup 2021 yılında 6530 adede yükselmiş ve ortalama traktör gücü 33.73 kW'tan 41.75 kW'a yükselmiştir. Traktörlerde genel olarak 51-70 BG ve 70+ BG güç gruplarındaki traktör sayılarında önemli artışlar olmuştur. 2012 ve 2021 yılları verileri sırasıyla ortalama traktör gücü 33.73 kW ve 41.75 kW, işlenen alana düşen traktör gücü 0.52 kW ha<sup>-1</sup> ve 0.85 kW ha<sup>-1</sup>, 1000 ha alana düşen traktör sayısı 15.55 adet ve 20.56 adet, bir traktöre düşen işlenen alan 64.29 ha ve 48.61 ha olarak hesaplanmıştır. 2012 yılında toplam 94 adet olan biçerdöver sayısında artış olmuş olup 2021 yılında toplam biçerdöver sayısı 182 adet olmuştur.

Tablo 3'te incelenen makinelerden karasaban, hayvan pulluğu, ark açma pulluğu, hayvanla çekilen hububat ekim makinesi, traktörle çekilen hububat ekim makinesi, biçer bağlar makinesi, tınaz makinesi, döven, traktörle çekilen çayır biçme makinesi, pamuk toplama makinesi, mısır hasat makinesi, sedyeli, motorlu pülverizatör, tozlayıcı, kombine atomizör, tozlayıcı, motopomp (termik), krema makinesi, hayvanla ve traktörle çekilen ara çapa makinesi, universal ekim makinesi (mekanik) (pancar mibzeri dahil), sap toplamalı saman yapma



makinesi ve yayık makinelerinde azalışlar olmuş, toprak tesviye makinesinde değişme olmamış ve diğer makinelerde ise artışlar olmuştur.

İl ve ilçelerde artışın arzu edilen düzeye ulaşması, tarımsal işlemlerde mekanizasyonun yaygınlaştırılması hedefiyle teşviklerin artırılması, tarımsal işlemlerde birim tarım alanı ile traktör ve tarım makinesi uyumunun sağlanması, tarımsal işlemlerde ortak makine kullanımının arttırımı, arazi toplulaştırması ile tarım alanlarının daha etkin kullanımının ve alternatif ürün deseninin ve üretim modellerinin geliştirimi, tarım makineleri üretim ve sanayisinde Ar-Ge çalışmalarına önem verilmesinin yanı sıra çiftçilerimizin tarımsal işlemler ve makine kullanımı konusunda eğitimlerinin yaygınlaştırılması önem arz etmektedir (Aslantürk ve Altuntaş, 2018).

**Not:** Bu çalışma “2. Uluslararası Multidisipliner Bilimsel Çalışmalar ve Küresel Uygulamaları” Kongresi” nde 26-28 Temmuz 2022 tarihinde Batum, Gürcistan’da online sözlü özet bildiri olarak sunulmuştur.

## KAYNAKLAR

- Abdikoğlu, D.İ. (2019). Trakya Bölgesinde tarımsal mekanizasyon düzeyinin illere göre belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Derg.*, 22(6): 865-871.
- Akdağoğlu, M., Bayhan, Y., Baran, M.F. (2020). II. ürün ayçiçeği üretiminde uygulanabilecek farklı toprak işleme yöntemlerinin teknik olarak değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20: 334-342.
- Altıkat, S., Çelik, A. (2011). Iğdır ilinin tarımsal mekanizasyon özellikleri. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, 1(4): 99-106.
- Altuntaş, E., Aslan, İ. (2009). Sivas ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyinin 1997-2007 yılları arasındaki değişiminin incelenmesi. *GOÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(2): 87-95.
- Anonim. (2022a). T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Tarımsal Yatırımcı Danışma Ofisi. Mardin Tarımsal Yatırım Rehberi. [https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/TARYAT/Belgeler/il\\_yatirim\\_rehberleri/mardin.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/TARYAT/Belgeler/il_yatirim_rehberleri/mardin.pdf) (Erişim tarihi: 18 Kasım 2022).
- Anonim. (2022b). T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı, Mardin İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. Coğrafya. <https://mardin.ktb.gov.tr/TR-56481/cografya.html> (Erişim tarihi: 18 Kasım 2022).
- Anonim. (2022c). Türkiye İstatistik Kurumu, Tarım Alet ve Makine İstatistikleri. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=92&locale=tr> (Erişim tarihi: 25 Temmuz 2022, 18 Kasım 2022, 22 Aralık 2022).
- Anonim. (2022d). Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri, Tarım Alanı. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/> (Erişim tarihi: 25 Temmuz 2022, 18 Kasım 2022).
- Aslantürk, B., Altuntaş, E. (2018). Malatya ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7(2): 15-26.

- Bal, M., Altuntaş, E. (2018). Çorum ilinin ayçiçeği tarımı yapan işletmelerinin yapısal durumu ve mekanizasyon düzeylerinin belirlenmesi. *Selcuk J Agr Food Sci.*, 32(3): 381-393.
- Baran, M.F., Gökdoğan, O., Durgut, M.R. (2014). Batı Marmara Bölgesi'nin tarımsal mekanizasyon özellikleri. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(4): 561-567.
- Baran, M.F, Gökdoğan, O., Eren, Ö., Bayhan, Y. (2019). Determination of ecological and carbon footprints of Adıyaman Directorate of Provincial Agriculture and Forestry Staffs. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15: 280-288.
- Bayhan, Y. (2016). Comparison of energy use efficiency of different tillage methods and no-tillage on the secondary crop sunflower production. *Namık Kemal University Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*. 13(2): 102-109.
- Bayhan, Y., Kayisoglu, B., Gonulol, E. (2002). Effect of soil compaction on sunflower growth. *Soil & Tillage Research* 68: 31-38.
- Bilim, C., Korucu, T., Semerci T. (2014). Gaziantep ilinin tarımsal mekanizasyon özellikleri, *KSÜ Doğa Bilim Dergisi*, 17(2): 14-23.
- Bozkurt, M., Aybek, A. (2016). Şanlıurfa ili harran ovasının tarımsal yapı ve mekanizasyon özellikleri. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 19(3): 319-331.
- Çanakcı, M., Akıncı, İ. (2004). Antalya Bölgesi sera sebzeçiliği işletmelerinde tarımsal altyapı ve mekanizasyon özellikleri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 17(1): 101-108.
- Durgut, M.R., Arın, S. (2005). Trakya yöresi bağcılığının mekanizasyon düzeyi ve sorunları. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(3): 287-297.
- Esenali Uulu, T., Öğüt, H. (2019). Orta Asya ülkelerinin tarımsal mekanizasyon düzeylerinin incelenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 15(1): 1-5.
- Güzel, M., Aybek, A. (2017). Kahramanmaraş İli Süt Sığırcılığı İşletmelerinin Mekanizasyon Yapısı. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 20(2): 148-159.

- Gürsoy, S. (2013). Batman ilinin tarımsal mekanizasyon düzeyinin ilçeler bazında değerlendirilmesi. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 3(2): 146-158.
- Işık, E., Güler, T., Ayhan, A. (2003). Bursa iline ilişkin mekanizasyon düzeyinin belirlenmesine yönelik bir çalışma. *Ulud. Üniv. Zir. Fak. Derg.*, 17(2): 125-136.
- Kasap, A., Demir, A., Dilmaç, M. (1997). Tokat ilinde tarımda makineleşmenin genel yapısı ve sorunları üzerine bir araştırma. *Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi, Tokat*, 35-44.
- Kayhan, İ.E., Aydın, B., Baran, M.F. (2017). Kırklareli ili tarım işletmelerinin tarımsal yapısı ve mekanizasyon düzeyi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 4(3): 263-270.
- Kipritçi, D.A., Bayhan, A.K., Baran, M.F. (2018). Karaman ilinde dane mısır üreten işletmelerin tarımsal mekanizasyon düzeyinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14(1): 57-65.
- Lüle, F., Koyuncu, T., Engin, K.E. (2012). Adıyaman ilinin tarımsal mekanizasyon durumu. *27. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, 5-7 Eylül, Samsun*, 48-54.
- Malaslı, M.Z., Palta, Ç., Üstün Argon, Z. (2020). Agricultural mechanization properties of KOP Region. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(4): 826-832.
- Oğuz, C., Bayramoğlu, Z., Ağızan, S., Ağızan, K. (2017). Tarım işletmelerinde tarımsal mekanizasyon kullanım düzeyi, Konya ili örneği. *Selcuk J Agr Food Sci.*, 31(1): 63-72.
- Özgüven, M.M., Türker, U., Beyaz, A. (2010). Türkiye'nin tarımsal yapısı ve mekanizasyon durumu. *GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(2): 89-100.
- Sessiz, A., Turgut, M.M., Pekitkan, F.G., Esgici, R. (2006). Diyarbakır ilindeki tarım işletmelerinin tarımsal yapı ve mekanizasyon özellikleri. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2(1): 87-93.

- Sessiz, A., Sogut, T., Alp, A., Esgici, R. (2008). Tillage effects on sunflower (*helianthus annuus*, l.) emergence, yield, quality, and fuel consumption in double cropping system. *Journal of Central European Agriculture*, 9(4): 697-710.
- Sümer, S.K., Say, S.M. Has, M., Sabancı, A. (2003). Türkiye’de ekonomik traktör parkı ve gelişimi. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18: 45-52.
- Sümer, S.K., Has, M., Sabancı, A. (2004). Türkiye’de üretilen tarım traktörlerine ait teknik özellikler. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19: 17-26.
- Yılmaz, S., Sümer, S.K. (2018). Türkiye’de traktör parkı yenilenme oranları ve mekanizasyon düzeyinin belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14 (2): 79-87.

## BÖLÜM 10

### TARIM MAKİNALARINDA KULLANILAN KARDAN ŞAFTLAR VE ARIZA ÇEŞİTLERİ

Mak.Yük.Müh. Sercan AKIN<sup>1</sup>

Dr.Öğr.Üyesi Aytaç MORALAR<sup>2</sup>

---

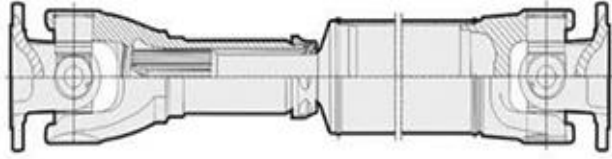
<sup>1</sup>Hak-Kardan Oto Mak. San. ve Tic. Ltd. Şti. Çorlu - Tekirdağ, TÜRKİYE  
sercanakin57@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1250-732X>

<sup>2</sup>Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Makine  
Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ, TÜRKİYE amoralar@nku.edu.tr  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3964-4909>



## GİRİŞ

Hareket ve güç aktarım organı olarak kullanılan kardan şaftlar endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanıldıkları makinalarda çok büyük kolaylıklar sağlayan şaftlar, arıza durumunda ciddi iş kayıplarına, büyük maddi hasarlara ve iş sağlığı kurallarına uyulmadığında yaralanma ve ölümlü kazalara sebep olabilmektedirler. Bu çalışmada, tarım aletlerinde de güç aktarım organı olarak kullanılan endüstriyel kardan şaftlar ve karşılaşılan problemler incelenmiştir. Şekil 1 de kardan şafta ait bir detay resim görüntüsü ve şekil 2 de kardan şaftlara ve bağlantı mafsallarının görüldüğü örnek bir resim verilmiştir.



Şekil 1. Detay Resim (Akın, 2019)

Kardan şaftlar çok çeşitli ölçülerde ve farklı imalat yöntemleri ile üretilmektedir. Kullanılan ölçüler ve imalat şekilleri bu ekipmanların mukavemet değerlerinde farklılıklar göstermektedir. Kullanılacakları makinaların tork ihtiyaçlarına bağlı olarak kullanıcılar



tarafından seçim yapılarak doğru montaj yöntemleri ile bağlantıları yapılabilmektedir.

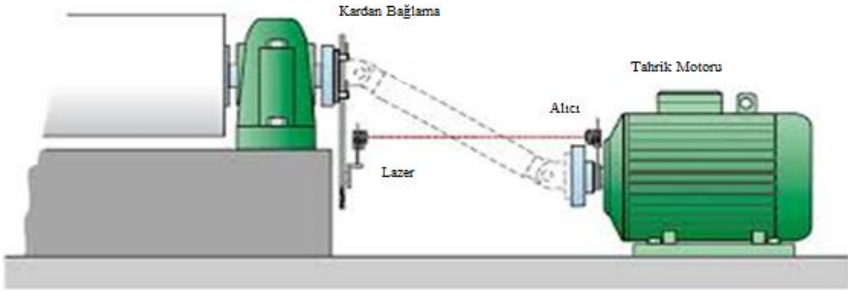


Şekil 2. Kardan Şaftlar (Akın, 2019)

## **KARDAN ŞAFTLAR**

Kardan şaftlar, radyal hareketi bir hareket kaynağından alarak hareketin iletilmesinin istenildiği başka bir kaynağa ileten aktarma parçalarıdır. Hareket kaynağı olarak endüstriyel uygulamalarda başta elektrik motorları olmak üzere hidrolik motorlar, kayış kasnak mekanizmaları, alternatif enerji kaynakları kullanılabilir. Otomotiv endüstrisi, iş makinaları ve tarım makinalarında ise direk motor veya dişli kutuları hareket kaynağı olarak kullanılmaktadır. Kardan şaftın düz mil den farkı mafsal istavrozunu bulundurmasıdır. Bu mafsal istavrozunu, şaftın hareketi aldığı ve aktardığı sistemler arasındaki eksen kaçıklığını tolere etmesini sağlamaktadır. Böylece iki sistemin birbiri ile sorunsuz bir şekilde çalışabilmesine olanak sağlamaktadır (Akın, 2019). Şekil 3 te

açısız olarak farklı iki eksendeki sistemlerin kardan şaft ile eş olarak çalışabilmesi gösterilmektedir.



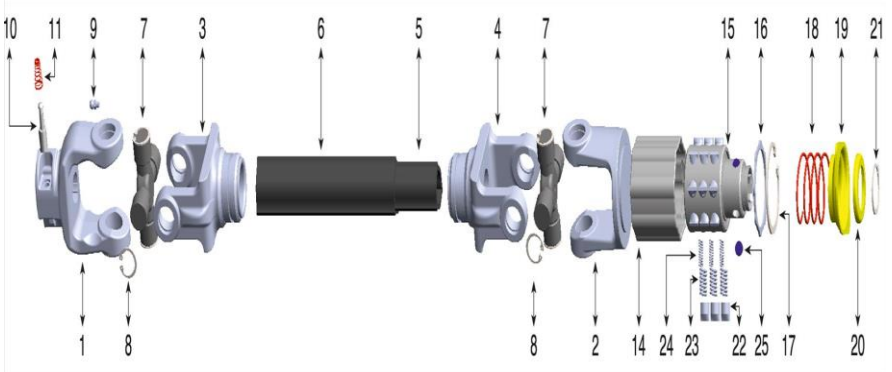
Şekil 3. Açılı Bağlanmış Kardan Şaft

- **Şaftların Kullanım Alanları**

Kardan şaftlar arkadan itişli araçların tamamına yakınında, 4x4 araçlarda, minibüs, otobüs, kamyon, tır, kepçe, ekskavatör, greyder, traktör, tarım makinelerinin tamamına yakınında, haddehanelerde, kum, çakıl, taş ve kömür eleme tesislerinde, kağıt fabrikalarında, sondaj makinelerinde ve daha bir çok sistem de kullanılmaktadır.

Günümüzde her ne kadar arkadan itişli araçların sayısı azalmakta olsa da ticari araçların çoğunda ve iş makinesi gruplarında halen kullanılmaya devam edilmektedir.

• Şaftın Ana Elemanları



Şekil 4. Kardan Şaft Bileşenleri

Şekil 4 te tarım alet ve makinalarında kullanılan kardan şaftların kısımları ayrıntılı olarak görülmektedir.

- 1 Traktör tarafı mafsalsal - Dış
- 2 Flanşlı mafsalsal
- 3 Küçük boru mafsalsal - İç
- 4 Büyük boru mafsalsal - Dış
- 5 Üçgen boru - İç
- 6 Üçgen boru - Dış
- 7 İstavroz
- 8 Sekman
- 9 Gresörlük
- 10 Pim
- 11 Yay
- 14 Cırcır borusu
- 15 Cırcır topu
- 16 Aşınma halkası
- 17 Cırcır topu sekmanı
- 18 Basma yayı
- 19 Cırcır topu kilitleme sacı
- 20 Bilya tutucu
- 21 Sekman
- 22 Susta
- 23 Susta dış basma yayı
- 24 Susta iç basma yayı
- 25 Bilya

## Flanşlı mafsalsal

Flanşlı mafsalsal flanşlı çatal olarak anılmaktadır. Flanşlı çatal, mafsalsal istavrozuna bağlanan bir ara elemandır. Standart şaftlarda iki adet bulunmaktadır. Şaftın iki ucunda, şaftın diğer elemanlar ile bağlantısını sağlamak için kullanılmaktadır. Merkezinde iki parçayı birbirine merkezleyen bir faturası ve yüzeyinde cıvata bağlantı delikleri bulunmaktadır. Döküm ve dövme çelikten üretilmektedirler. Şekil 5 de flanşlı çatala ait örnek bir gösterilmektedir.



Şekil 5. Flanşlı Çatal

- **Mafsalsal istavroz**

Mafsalsal istavrozunu şaftın ana elemanıdır. Şaftı düz bir boru ya da milden ayıran parçadır. Şafta açılı çalışabilme kabiliyeti katmaktadır. İsmi artı şeklinde olmasından almaktadır. Artı şeklinde, çelik ana gövde ve uçlarında masura rulmanlı 4 fincandan meydana gelmektedir. Şekil 6 de mafsalsal istavrozlarının çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 6. Mafsal İstavrozları

- **Dıştan segmanlı istavroz**

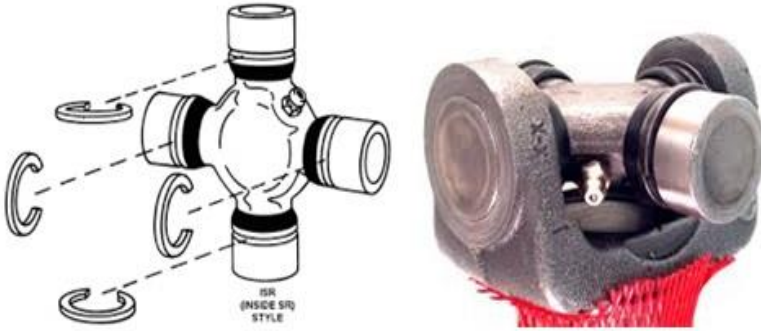
Mafsal istavrozları, montaj şekillerine göre çeşitlilik göstermektedir. En yaygın olarak dıştan segmanlı istavrozlar kullanılmaktadır. Fincanlar yuvasına monte edildikten sonra üstüne segman takılarak monte edilmektedir. Genellikle Avrupa üretimi olan şaftlarda dıştan segmanlı mafsallar kullanılmaktadır. Şekil 7 de mafsal ve montajı gösterilmektedir.



Şekil 7. Dıştan Segmanlı İstavroz ve Montajı

- **İçten segmanlı istavroz**

İçten segmanlı mafsaldan dıştan segmanlı mafsaldan tek farkı segmanları fincanların üstüne değil fincanlarda bulunan kanallara segman takılarak monte edilmesidir. Bu mafsallar genellikle Japonya, Güney Kore gibi uzak doğu üretimi shaftlarda kullanılmaktadır. Şekil 8 de mafsaldan istavroz ve montaj hali gösterilmektedir.



Şekil 8. İçten Segmanlı Mafsaldan İstavroz ve Montajı

- **Cıvata bağlantılı mafsallar**

Bu tip mafsallarda segman yerine monte etmek için cıvata kullanılmaktadır. Segmanlı mafsallara göre montaj ve demontaj işlemi daha basittir. Bu tip mafsallarda kendi arasında farklı çeşitler içermektedir.



Şekil 9. Yandan Cıvatalı Mafsal İstavrozu

Şekil 9 da gösterilen yandan cıvatalı mafsal istavrozu yüksek mukavemet özelliğinden genellikle ağır iş yapan makinelerde kullanılmaktadır. Fincan şekilleri cıvata delikli ve kamalıdır. Bu sayede cıvata yük binmemektedir. Karmaşık yapısından dolayı ağır olması en büyük dezavantajını oluşturmaktadır.



Şekil 10. Üstten Cıvatalı Mafsal İstavrozu

Şekil 10 da üstten cıvatalı mafsal istavrozu gösterilmektedir. Bu tip mafsalarda fincanların üstüne kaynaklanan saclara cıvata sıkılarak monte edilmektedir. Diğer mafsala göre daha hafif olarak

üretilmektedir. Genellikle Amerikan ticari araçlarında kullanılmaktadırlar.

- **Kepli mafsal istavroz**

Bu tip istavrozlar dıştan segmanlı istavroz ile aynıdır. Sadece segman yerine kep ve cıvatalar kullanılarak monte edilmektedir. İstavroz fincanının geçeceği bir yuva ve dıştan tutan bir tırnak mevcuttur. Fincanın üstünden cıvata ile sıkılan kepler sadece fincanın yerinden çıkmasını engellemektedir. Fincanların yuvalarında aşınma olmadığı sürece kep ve cıvatalara yük binmemektedir. Şekil 11 de kepler, cıvatalar ve montaj hali gösterilmiştir.



Şekil 11. Kep Bağlantılı İstavroz ve Kepler

- **Tüp Çatal**

Şaftın istavroza bağlanan bir diğer parçası ise tüp çataldır. Tüp çatal flanşlı çatala istavroz ile boruyu birbirine bağlayan parçadır. Genellikle kaynak yapıldığı için dökümden yapılmamakta, dövme çelikten üretilmektedir. Zirai şaftlarda kullanılan tüp çatalar ise dökme demirden üretilmektedir. Normal şaftlardan farklı olarak zirai



şaftlarda hem kayıcı hem boru görevi gören profilli shaft boruları kullanılmaktadır. Borunun formu tüp çatal içerisine broş çekilerek açılmaktadır. Bu sayede tüp çatal boruya geçirilerek çelik pim ile boruya sabitlenmekte ve kaynak gerektirmemektedir. Şekil 12 de dövme tüp çatalar ve döküm çatal gösterilmektedir.



Şekil 12. Tüp Çatal Çeşitleri

- **Kayıcı Takım**

Kayıcı, bir biri içinde rahatlıkla hareket edebilen bir mil ve karşıtı olarak bir kovana freze açılmasından oluşan dişi ve erkek kayıcı bütününe kayıcı takım denilmektedir. Bazı kardan şaftlar da özellikle otomotiv sektöründe kullanılanlar da kayıcı takım zorunlu olarak kullanılmaktadır. Kayıcı takım shaftta belirli ölçüde uzayabilme ve kısalabilme kabiliyeti kazandırmaktadır. Otomobillerde araç kasislerden geçerken, çukura girince veya yüklenince makas veya helezonlardan dolayı şanzıman ile diferansiyel arasındaki mesafe yani shaft mesafesi değişkenlik göstermektedir. Araçlarda kayıcı sistem kullanılmadığında araç bahsedilen bu durumlarda çalıştığında ya shaftın cıvatalarını koparmakta ya da diğer parçalarından birisini

koparmaktadır. Kayıcı sistem araçların farklı çalışma şartlarında şaftların ömrünü uzatmak için kullanılmaktadır.

Endüstride kullanılan şaftlarda ise şaftın bağlantısını yaptığı sistemler sabit ise kullanılmayabilir. Ancak kullanılması şaftın montaj ve demontaj işlemini oldukça kolaylaştırmaktadır. Şekil 13 te kayıcı sistemin demontaj hali gösterilmektedir.



Şekil 1. Kayıcı Takım

- **Şaft Borusu**

Kardan şaftlarda yüksek mukavemet sağladığı için genellikle yüksek kalite dikişsiz çelik çekme boru kullanılmaktadır. Genellikle endüstriyel şaft kullanımlarında silindirik şaft borusu kullanılmaktadır. Zirai makine uygulamalarında ise çeşitli şekillerde üretilen profilli borular kullanılmaktadır. Bu profilli borular aynı forma sahip ve birbiri içine girip çıkabilen iki adet borudan oluşmaktadır. Bu profil şekilleri limon, üç köşeli, dört köşeli ve beş köşeli olabilmektedir. Şekil 14 te farklı profillerde üretilmiş şaftlara ait örnek resimler gösterilmektedir.

Şaftlarda içi boş boru kullanılmasının sebebi şaftta olabildiğince hafiflik ve yüksek mukavemet kazandırmaktır. Eğer boru yerine dolu mil kullanılırsa şaftın bağlandığı sistemler de kısa sürede sıkıntılar yaşanabilmektedir. Aynı zamanda şaftın ağırlığından dolayı döndürmek ve durdurmak çok zor olmaktadır. Şaftın çok yüksek devirlerde çalışması, yüksek atalet momenti oluşturmaktadır. Böyle sorunlar meydana getirdiği için şaftlarda dolu mil değil içi boş boru kullanılmaktadır. Genellikle borunun bir ucuna tüp çatal diğer ucuna ise kayıcı kaynatılmaktadır.

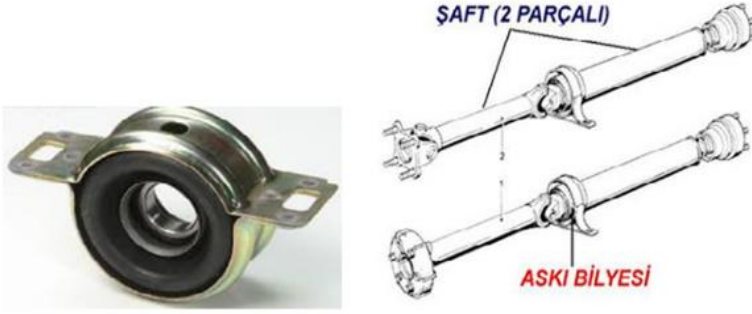


Şekil 14. Kardan Şaft Boruları

- **Ara Yatak – Askı Bilyesi**

Askı bilyesi en içte rulman ortada kauçuk lastik en dışta ise demir veya alüminyumdan yapılmış sacdan meydana gelen bir parçadır. Genellikle boyu 1500 mm üzerinde olan kardan şaftlar tek parça olarak üretilmemektedirler. Bunun sebebi şaftın borusu uzadıkça burulma momenti azalmakta ve tek parça olan uzun şaft da yüksek devirlerde boruda salınım meydana gelmektedir. Bu durum araç ve kullanıcılar

için büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Bu sebeple iki veya daha fazla parçadan oluşan şaftlar askı bilyesi ile şaseye bağlanmaktadır.



Şekil 15. Askı Bilyesi

## Şaftlarda Meydana Gelen Arızalar

- **Mafsal istavrozu dağılması veya kırılması**

Kardan şaftların en çok arıza verdiği yer istavrozdur. Çünkü istavrozda bulunan 4 adet masura rulmanlarda zamanla yağsızlıktan oksitlenme meydana gelir ve aşınmalar oluşur. Bu aşınmalar daha sonra iyice artar ve müdahale edilmezse kırılmalar meydana gelir. Şekil 14 de mafsal istavrozunun yağsızlık sonucu aşınması ve dağılmasını, şekil 15 te ise ani bir darbe sonucu kırılmış bir istavroz gösterilmiştir.



Şekil 16. Yağsızlık Sonucunda Mafsalın Dağılması



Şekil 07. Mafsal İstavrozu Kırılması

Şekilde de görüldüğü gibi fincanın içindeki masura bilyeler dağılmış müdahale edilmediği için demir demire sürterek aşınmış ve kopma meydana gelmiştir.

İstavrozlarda görülen bir diğer problem ise istavroz göbeğinin kırılmasıdır. Bu genellikle araç çok zorlandığında meydana gelen bir olaydır. Çok fazla görünen bir problem değildir. Özellikle binek

araçlarda çok nadir görülür. Genellikle ağır ticari araçlarda fazla tonaj veya yumuşak zeminde kullanılmasından meydana gelir.

- **Askı bilyesi arızası**

Şaftlarda en sık görülen ikinci problem askı bilyesinin dağılması veya lastiğinin kopmasıdır. Askı bilyesinin bozulmasının en büyük sebebi sudur. Altı açık olan araçlarda askı bilyesi direkt olarak suya maruz kalmaktadır. Her ne kadar koruma sacı ve keçesi olsa da bilye zamanla oksitlenir ve dağılır. Askı lastiğinin kopma sebebi ise balanstır. Eğer şaftta balans varsa oluşan vibrasyondan dolayı askı bilyesinin lastiğinde yırtılma meydana gelir. Askı lastiği her ne kadar kauçuktan yapılsa da lastikte yorulma meydana gelir ve yırtılma olur. Aşağıda askı bilyesinin dağılması ve askı lastiğinin kopması şekil 16 ve şekil 17 de gösterilmiştir.



Şekil 18. Askı Bilyesinin Dağılması



Şekil 19. Askı Lastiğinin Yırılması

- **Borunun veya kayıcı milin kopması veya burulması**

Şaftlarda görülen bir diğer problem ise borunun kopması ya da burulmasıdır. Bu problem de genellikle ağır ticari araçlarda meydana gelen bir problemdir. Kopma genellikle kaynağın olduğu kısımlarda meydana gelir. Bunun sebebi kaynak yapımı esnasında oluşan yüksek ısı nedeniyle malzemenin yapısında meydana gelen değişimdir (şekil 18).



Şekil 20. Kopan Şaft Borusu

Boru içi boş bir yapıda olduğu için esneme yapabilir. Eğer bu esneme malzemenin elastik sınırı içerisinde gerçekleşirse boru kopmaz ve esneme yapar. Zorlanan şaft boruyu koparamayınca kayıcı mili zorlar. Kayıcı mil sert bir malzeme olduğu için fazla esneyemez ve kırılır (şekil 19).



Şekil 21. Kayıcı Milin Kırılması

Eğer boru kopmaz ve kayıcı mil kırılmaz ise şaft iyice zorlanınca boru burulur. Bu problem de çok sık görülmez. Şekil 20 de burulmuş bir şaft borusu gösterilmiştir.



Şekil 22. Burulan Şaft Borusu



## **SONUÇ**

Şaftlar günümüzde modern kaynak yöntemleri, bağlama teknikleri gibi son teknoloji ile çok dayanıklı olarak üretilmekte ve kullanılmadan önce mutlaka kalite kontrolden geçirilmektedir. Fakat aşırı yükleme, yapısal yorulma ve burulma yorulması gibi kullanım kaynaklı hatalar şaftlarda zamanla arızalar yaşanabilmesine sebep olmaktadır. Şaft koruyucu plastiklerin deforme olması veya operatör tarafından kullanılması, traktör ile ekipman bağlantısını yaparken operatörü sıkıştırarak ölümcül kazalara neden olabilmektedir. Talimatlara uyulmadan kullanılan şaftlar tam ekim dikim döneminde arıza vererek sezonda ciddi kayıplara sebebiyet verebilmektedir. Bu sebeple, şaftların uzun ömürlü ve güvenli kullanılabilmesi için üretici firmaların kullanım talimatlarına mutlaka uyulması gerekmektedir.

Bu çalışma, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümünde hazırlanmış “Endüstriyel Alanlarda Kullanılan Kardan Şaftların Statik Yorulma Testleri İçin Hidrolik Test Düzenegi Tasarımı” isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akkurt T., (2013). Ağır Ticari Araçlarda Kardan Şaftına Etkiyen Tork Değerlerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul-Türkiye
- Akın S., (2019). “Endüstriyel Alanlarda Kullanılan Kardan Şaftların Statik Yorulma Testleri İçin Hidrolik Test Düzenegi Tasarımı” Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, TÜRKİYE
- Anonim (2016). <http://teknikressamm.blogspot.com/2016/12/surtunme-kaynagi- nedir-hakkinda-bilgi.html>, Erişim Tarihi: 20.04.2019
- Anonim (2016). <https://www.makinaegitimi.com/kaynak-teknolojisi/gazalti-ark- kaynagi.html>, Erişim Tarihi: 25.04.2019
- Fischer ve Freudenstein (1984). “Internal Force and Moment Transmissions in a Cardan Joint with Manufacturing Tolerances” 1984, ASME J. Mech. Transm. Autom. Des. 106, pp 301-312
- Pınar E.H., (2011). Hibrit Kompozit Kardan Şaftı Tasarım Ve Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir Türkiye
- Sathasivam G., Thamotharan C., Naveenchandran P., Jagadeesh Vikram C., (2018). Modeling and Analysis Of Propeller Shaft With Universal Joints, International Journal of Pure and Applied Mathematics, Volume 119 No. 12 2018, 10191-10200, India
- Taşdelen M.E., (2014). Çelik ve Kompozit Malzemelerden Üretilen Kardan Millerinde Mekanik Ve Malzeme Ömür Verimliliğinin Artırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ-Türkiye
- Uzunoğlu B., (2006).\_Kardan Şaftının Geometrik Modellenmesi Ve Sonlu Elemanlar Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul-Türkiye

Yeşilyurt H., (2016). Improving Mechanical Properties Of Cardan Shafts Manufactured From Aısı 4140 Steel Materials, Yüksek Lisans Tezi, Melikşah Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri-Türkiye

## BÖLÜM 11

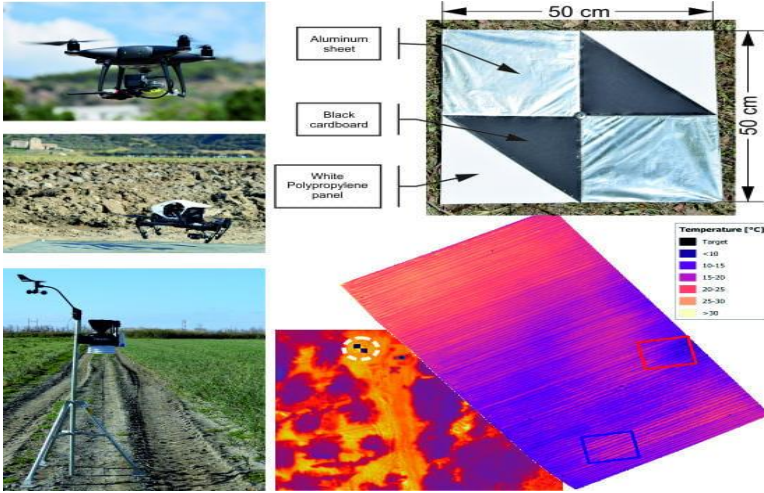
# YAPAY ZEKA UYGULAMALARININ TARIM SEKTÖRÜNE UYGULANABİLİRLİĞİ

Dr.Öğr.Üyesi Aytaç MORALAR



## GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusu ve hızla azalan tarım alanları, ziraate olan önemi ortaya çıkarmaktadır. Tarım alanında kullanılan geleneksel yöntemler yerini hassas tarım uygulamalarına bırakmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte yapay zeka uygulamaları ve kestirimci bakım yöntemleri tarım alanında geniş yer bulmaktadır. Tarımsal üretimde öncelikli olarak tarım makinaları imalatında başlayan önleyici bakım faaliyetleri tarımsal uygulama süreçlerine de yerleşmektedir. Tarım makinalarının ar-ge aşamasında planlamalarda, imalatında ve kullanımda yapay zeka, kestirimci bakım ve önleyici bakım uygulamaları kullanılması yaygınlaşmaya başlamıştır. Şekil 1 de uygulama örneklerine ait bir tablo görülmektedir.



Şekil 1. Örnek Uygulamalar (Messina and Modica, 2020)

İmalat aşamasında, üretim tezgahlarına arıza tahminlerine yönelik uygulamalar, kullanılan parçalarda çalışma şartlarına ve kullanım

ömrüne bağlı yıpranma tahminleri vb. uygulamalar yapay zeka uygulamalarından kestirimci bakım ile tespit edilip önlenebilir. Çalışan parçalardan sürekli veriler ( sıcaklık, aşınma, tork vb. ) toplanarak önceden belirlenmiş değerlerin dışında olması halinde önleyici bakım uygulamaları kullanılmaktadır.

Uygulama aşamasında ise, tarla verileri, bitki verileri ( yaprak rengi, toprak nem oranı, haşere vb. ) tüm bilgiler toplanarak işlenmekte, yine önceden belirlenen değerlerin dışında olduğunda

Önleyici faaliyet gerçekleştirilmektedir. Böylelikle üretimde yüksek verimlilik sağlanmakta ve yüksek kazançlar elde edilebilmektedir.

- **YAPAY ZEKA**

Yapay zeka, insan zekası süreçlerini makinalara öğretilmesi, özellikle bilgisayar sistemleri tarafından simüle edilmesidir. Genel olarak yapay zeka sistemleri, büyük miktarlarda etiketlenmiş eğitim verilerini alarak, verileri korelasyonlar ve modeller için analiz ederek ve bu modelleri gelecekteki durumlar hakkında tahminler yapmak için kullanarak çalışır. Yapay zekâ öğrenme süreçleri, akıl yürütme süreçleri, kendi kendini düzeltme süreçleri şeklinde süreçlerden meydana gelmektedir. Uygulamaları içinde ayrıca kestirimci bakım, önleyici bakım, anomali tespiti gibi türleri mevcuttur. Kestirimci bakım, düzenli çalışılan zamanda ilgili üründen verilerin alınması, bu verilerin işlenerek çeşitli analizlerden geçirilerek oluşabilecek olası aksaklıkların önceden tespit edilmesi ve önlem alınmasına dayanmaktadır. Anomali tespitinde, belirli bir zaman veya yer diliminde önemli farklılıklar olan verilerin tespit edilmesi prensibine

göre çalışmaktadır. Sistemin rutininde olan bir sapma olursa, bu sapmanın nedenlerini tespit ederek olumsuzlukları ortadan kaldırmaya dayanmaktadır. Bu sayede verimi arttırmak mümkün olacaktır.

Yapay zekâ, insanların daha önceden ön göremediği verileri tespit ederek ön uyarı vermesi açısından oldukça önemlidir. Özellikle tekrarlayan işlerde, insan dikkatinden kolaylıkla kaçacak veriler, anomali tespiti ve yapa zekâ sayesinde basit olarak tespit edilebilmektedir. Bu sayede yapılan işlerde hata oranları düşmektedir. Günümüzün en büyük ve en başarılı kuruluşları, operasyonlarını iyileştirmek ve rakiplerine karşı avantaj elde etmek için yapay zekâyı kullanıyor.

### **Avantajları**

- Detay odaklı işlerde iyi;
- Veri ağırlıklı görevler için azaltılmış süre;
- Tutarlı sonuçlar sunar; ve
- Yapay zekâ destekli sanal araçlar her zaman kullanılabilir.

### **Dezavantajları**

- Masraflı;
- Derin teknik uzmanlık gerektirir;
- AI araçları oluşturmak için sınırlı kalifiye işçi kaynağı;
- Sadece ne gösterildiğini bilir; ve
- Bir görevden diğerine genelleme yapma yeteneğinin olmaması.

### **• Tarımda Yapay Zekâ**

FAO'nun hızla artan nüfus ve kentleşme için yeterli gıda üretimini sağlamak için dünya gıda üretiminin yüzde yetmiş oranında artırılması gerektiğini bildirmektedir. İçinde bulunduğumuz yüzyılın yarısı için beklenen dünya nüfus artışı ürkütücü boyutlardadır. Bununla birlikte,



tahmine bağlı olarak, yüzyılın ortasına kadar dokuz milyar insanın üzerine çıkması beklenmektedir. Ayrıca, gelişmekte olan ve gelişmiş ülkeler, hızlı kentleşme ve sanayileşme nedeniyle önemli su krizleri ve sorunları ile uğraşacaklardır. Sulanan tarım arazileri için mevcut tatlı suyun gelecekte azalacağı tahmin edilmektedir. Şekil 2 de akıllı tarım uygulama ve takip sistemlerine ait örnek bir görsel verilmektedir.



Şekil 2. IoT özellikli Tarımsal (IoTAg) izleme (Forbes)

Ayrıca, aşırı hava koşulları, yoğun fırtınalar, sıcak hava dalgaları ve seller gibi öngörülemeyen iklim değişiklikleri dünya tarım sektörünü önemli ölçüde olumsuz etkileyecektir. Artan gıda taleplerini karşılamak için tarımsal sistemlerden daha fazla üretime ihtiyacımız bulunmaktadır (Lakhier Etc. 2018).

BI Intelligence Research'e göre, 2025 yılında yapay zekâ tabanlı makine öğrenimine dayalı akıllı tarım teknolojilerine yapılan harcamaların mevcudun 3 katına çıkması ve 15,3 milyar dolara olması tahmin edilmektedir (Forbes).

Markets & Markets'e göre, yalnızca Tarımda yapay zekâ teknolojileri ve çözümlerine yapılan harcamaların 2020'de 1 milyar dolardan 2026'da 4 milyar dolara çıkacağı ve %25,5'lik Bileşik Yıllık Büyüme Oranına (CAGR) ulaşacağı tahmin edilmektedir (Forbes).

PwC'ye göre IoT özellikli Tarım (IoTAg) izleme akıllı, bağlantılı tarımın en hızlı büyüyen teknoloji segmentidir ve 2025 yılına kadar 4,5 milyar dolara ulaşması beklenmektedir (Forbes).

Tahmin algoritmaları için gerçek zamanlı toplanan veri, yapay zekâ, makine öğrenimi, akıllı sensörler tarafından işlenerek tarımda verimi arttırmaktadır. Bunun yanında mahsul verimi artarken üretim maliyetleri düşmektedir (Eli-Chukwu, 2019). Birleşmiş Milletler'in nüfus ve açlık tahmin verilerine göre, dünya nüfusunda 2050 yılına kadar 2 milyar kişinin artması beklenmekte ve bu artan nüfusu beslemek için gıda verimliliğinde %60'lık bir artış olması gerekmektedir. Buna paralel olarak yapay zekâ ve makine öğreniminin, 2050 yılına kadar dünya çapında meydana gelecek 2 milyar ek insan için öngörülen gıda ihtiyaçları açığını kapatmaya yardımcı olma potansiyelini şimdiden göstermektedir.

Tarım arazileri, küçük bahçelerden binlerce dönümlük alanlara kadar değişiklik göstermektedir. Gerek küçük ölçekli, gerekse büyük ölçekli arazilerde ürünlerin takibini yapmak oldukça zordur. Tarım sektöründe hava durumu takibinin, mevsimsel güneş ışığının, hayvanların, kuşların, böceklerin göç kalıplarının, özel gübre kullanımının, mahsule göre böcek ilaçlarının, ekim döngülerinin ve sulama döngülerinin tamamının verimi nasıl etkilediğine dair fikir edinmek gibi yapay zekâ

ve makine öğrenimine dayanacak onlarca alan bulunmaktadır. Bu sebeple yapay zekânın tarım sektöründe uygulanabilirliği oldukça geniştir. Klasik yöntemlerle tarımsal üretim sonuçlarının tahmin edilemeyeceği döngü şeklinde ilerlemektedir. Yapay zekâ uygulamasıyla, yılın istenilen zamanında ürünlerin durumlarının incelenmesi, olası aksaklıkların tespit edilerek erken önlem alınması ve müdahale edilmesiyle mükemmel sonuçlara ulaşılması, düşük maliyetlerle yüksek karlılıkları elde edilmesi uygulamayı cazibe merkezi haline getirmektedir. Bu nedenle, her geçen gün çiftçiler, kooperatifler ve tarımsal kalkınma şirketleri, tarım makineleri üreticileri yatırımlarını arttırmakta, tarımsal verimi iyileştirmek ve kaliteyi arttırmak için yapay zekâ ve makine öğrenimini kullanma biçimlerinin kapsamını ve ölçeğini genişletmektedirler.

- **Uygulama Alanları**

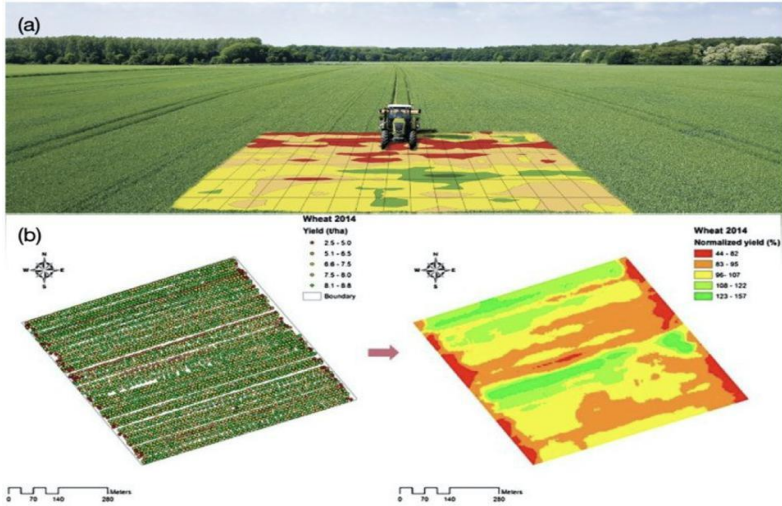
Yapay zekâ, tarım sektöründe oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir. Makine imalatından son ürün elde edilmesine kadar tarımın her alanında makine öğrenmesi ve yapay zekâ uygulamalarına rastlamak mümkündür.

İmalat aşamasında, imalat makinelerine uygulanacak kestirimci bakım uygulamaları sayesinde makinalarda sürpriz arızalara yer bırakılmamakta ve ani duruşların önüne geçilmektedir (Laikos Etc, 2018). Bu uygulama sayesinde oluşacak arızalar önceden tahmin edilerek kontrollü duruşlar ile önleyici bakımlar yapılarak zamandan ve maliyetten önemli kazançlar sağlanabilmektedir.

Gerçek zamanlı video takip sistemleri ile yapay zekâ ve makine öğrenmesi tabanlı izleme sistemleri kullanılabilir. Bu uygulama sayesinde hayvan ve insan objeler algılanarak uyarı sinyalleri gönderilebilir.

Hassas tarım uygulamalarında kullanılan dronlardan alınan görsel veriler, yapay zekâ teknolojileri ile işlenerek verimi tahminleri yapılabilmektedir.

Verim haritalama, büyük ölçekli veri kümelerindeki kalıpları bulmak ve bunların dikeyliğini gerçek zamanlı olarak anlamak için denetimli makine öğrenimi algoritmalarına dayanan bir tarım tekniğidir - bunların tümü mahsul planlaması için paha biçilmezdir. Şekil 3 te haritalama sistemine örnek bir resim görülmektedir.



Şekil 3. Haritalama Sistemi (Forbes)

Büyük ölçekli arazilerde kullanılan özel sensörler, drone verileri, kızıl ötesi teknolojiler sayesinde insan gözü ile görülemeyen haşereler tespit edilerek tehlikeli seviyelere gelmeden önlem alınabilmektedir.

Günümüzde kullanımı hızla artan GPS kontrollü tarım aletleri bulunmaktadır. Yapay zekâ uygulamalarının artmasıyla, çok yakın zamanda robotik tarım işçileri ile çalışılmaya başlanacaktır. Günümüzde yaşadığımızı tarım işçisi sıkıntısı bu sayede giderilmiş olacaktır!

Günümüzde adına sıklıkla duymaya başladığımız tedarik zinciri takibi yapay zekânın bir örneğidir. Kullanımı her geçen artarak, toplu takipten kullandığımız tek bir ürüne kadar nasıl bir süreçten geçtiği kolaylıkla takip edilebilecektir.

Biyobozunur pestisitlerin doğru karışımını optimize edin ve verimleri artırırken maliyetleri azaltmak için uygulamalarını yalnızca arıtmaya ihtiyaç duyan tarla alanlarıyla sınırlandırmak, günümüzde yapay zekânın ve makine öğreniminin tarımda en yaygın kullanımlarından biridir.

Akıllı sulama sistemleri su kaçaklarını engellemek, ihtiyaç kadar su kullanarak gereksiz kullanımı önlemek yine yapay zekânın tarımda ki örnek bir uygulamasıdır.

## SONUÇ

Yapılan çalışmalar göstermektedir ki, yapay zekâ uygulamaları, makine öğrenmesi gibi modern teknoloji uygulamaları endüstrinin her alanında kullanıldığı gibi tarım alanında da geniş yer bulmaktadır. Dünya üzerinde ekilebilir tarım arazilerinin hızla azalması, su kaynaklarının tarım için kullanılabilir olmaktan çıkması, insanoğlunun tarıma yaklaşımını değiştirmektedir. Günümüzde kullanımı gittikçe yaygınlaşan hassas tarım uygulamaları zamanla tek uygulanabilir yöntem olacaktır. Bu sebeple, dünyamızın tarıma olan ihtiyacını karşılamak için yapay zekâ ve makine öğrenmesi uygulamalarını tarımda daha da geniş alanlarda kullanmak kaçınılmazdır.

## **KAYNAKLAR**

- Moskvins G., Spakovica E., Moskvins A., (2008). “Development Of Intelligent Technologies And Systems In Agriculture” Engineering For Rural Development, Latvia University of Agriculture.
- Lakhiar A.I., Jianmin G., Syed T.N., Chandio F.A., Buttar N.A., Qureshi W.A., (2018). “Monitoring and Control Systems in Agriculture Using Intelligent Sensor Techniques: A Review of the Aeroponic System” Sensors and Embedded Systems in Agriculture and Food Analysis, Volume 2018.
- Liakos K.G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D., (2018). “Machine Learning in Agriculture: A Review” Sensors 2018, 18, 2674.
- Eli-Chukwu N.C., (2019). “Applications of Artificial Intelligence in Agriculture: A Review”, Engineering, Technology & Applied Science Research Vol. 9, No. 4, 2019, 4377-4383.
- Dharmaraj V., and Vijayanand C., (2018). “Artificial Intelligence (AI) in Agriculture”, International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, (2018) 7(12): 2122-2128.  
<https://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2021/02/17/10-ways-ai-has-the-potential-to-improve-agriculture-in-2021/?sh=1bc6f3a97f3b>
- Messina G., and Modica G., (2020). “Applications of UAV Thermal Imagery in Precision Agriculture: State of the Art and Future Research Outlook”, Dipartimento di Agraria, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Località Feo di Vito, I-89122, Remote Sens. 2020, 12(9), 1491 Reggio Calabria, Italy.

## BÖLÜM 12

### **0-8 GHz UYGULAMALAR İÇİN Kaolinit/PANI/Kolemanit KOMPOZİTLERİN ELEKTROMANYETİK EKSPANLAMA ÖLÇÜMLERİ**

Dr. Ethem İlhan ŞAHİN<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İleri Teknolojiler Uygulama ve Araştırma Merkezi, Adana, Türkiye. [shnethem@gmail.com](mailto:shnethem@gmail.com), ORCID ID :0000-0001-7859-9066





## GİRİŞ

5G veya yakında çıkacak olan 6G, 7G kablosuz iletişim teknolojisinin ve elektronik ekipmanların yanı sıra uydu kullanımının yaygınlaşması nedeniyle yüksek frekanslı uygulamalara olan talep artmıştır. Elektromanyetik radyasyon (EMR) ve elektromanyetik girişim (EMI) kaçınılmaz olarak ciddi bir tehdit olarak görülmektedir ( Frey 1998; Qasrawi and Hamarsheh 2022). Ayrıca Wi-Fi, GPS, GSM, Bluetooth ve yakın alan iletişimi gibi çeşitli kablosuz teknolojilere bağlı mobil ve takılabilir cihazların kullanımı arttıkça, insan vücudunun EMI' ye maruz kalma miktarı ve sıklığı da artmaktadır. Elektromanyetik radyasyon insan sağlığına zarar vermenin yanı sıra elektrik güç sisteminin etkinliğini ve çıkışını da etkileyebilir (Golezani et al., 2022). Çok sayıda çalışma, elektromanyetik değişkenlerin genç insanlarda depresyon, dikkat eksikliği bozukluğu ve hiperaktivite gibi çeşitli durumlara neden olabileceğini göstermiştir (Lou et al., 2011; Shi et al., 2021). EMI tarafından üretilen sinyal radyasyonları elektronik uygulamalara büyük zarar verebilir. Bu, dijital makinelerin arızalanmasına neden olabilir. Elektromanyetik girişim, özellikle havacılıkta , iletişim komuta ve kontrol sistemine zarar verebilir ve risk ve kazalara neden olabilir, bu bağlamda, yeni ve geliştirilmiş frekansları seçici EMI kalkanlama özelliği gösteren malzemeler dikkat çekmektedir (Avloni and et al., 2007; Wang et al., 2012). Giyim alanlarında elektromanyetik koruyucu tekstiller için çeşitli kullanımlar vardır. Ayrıca nükleer araştırma tesislerinde EMI radyasyon kalkanı beton malzemeleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang and Liu 2012; Gencel 2012). Sonuç olarak, elektromanyetik koruyucu malzemelerin incelenmesi ve oluşturulması çok önemli hale gelmiştir. Sağlam ve giyilebilir kablosuz teknolojilerle sorunsuz bir şekilde birleştirilebilen EMI koruyucu malzemelerde en başta sağlık açısından ve elektromanyetik korunma için gereklidir. Yukarıda belirtilen sorunları ele almanın etkili bir yöntemi, EMI koruyucu malzemelerin

kullanılmasıdır. "Ekranlama etkinliği" terimi, ekranlama performansını (SE) tanımlamak için kullanılan bir ifadedir.

Elektromanyetik dalgaların koruyucu etkisi, radyasyon gücünün yansımaları veya soğurulması yoluyla elektromanyetik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek girişimi azaltmaktadır (Zhang et al., 2016).

Ekranlama etkili malzemeler engelleyici olarak kullanılır uzaydaki elektromanyetik alanı azaltmak için, örneğin radar frekans kalkanı, tipik olarak radar frekansını ve elektromanyetik radyasyonu önlemenin amacıdır.

Polimer tabanlı bazı kompozitler, diğer metalik kompozit malzemelere kıyasla genelde hafif, uygun maliyetli ve korozyona dayanıklı olması nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Kompozitin kalitesi, bileşenler arasındaki arayüz bağlantısı tarafından da belirlenir (Topcu 2020).

İletken polimer kompozitler EMI korunması için mükemmel adaylardır (Chen vd 2018).

PANI iletken polimerlerdendir. Ayarlanabilir şartlar altında ve ortamda polianilin, anilinin kimyasal oksidatif polimerizasyonu ile üretilebilir (Yang et al., 2010; Şahin et al., 2021). PANI bazlı kompozitler kalkanlama kapasitesini iyileştirilebilmektedir (Zhang et al., 2019).

Bor minerallerinden birisi olan kolemanit ( $2CaO.3B_2O_3.5H_2O$ ) bir çok alanda kullanılabilir özellik gösterdiğinden büyük önem taşımaktadır. Kolemanit, oldukça yaygın olarak bulunan endüstriyel bor mineralidir (Çelik ve Suner 1995). Bor birçok alanda yaygın olarak kullanılır. Nükleer enerji, seramik ve enerji depolama için uygulama alanıdır (Frost vd 2013). Kolemanit örneğin beton ile karışımıyla, gama ve nötronların radyoaktivitesi için etkili bir zırh olabilmektedir. Kolemanit ayrıca nükleer reaktörde kullanılabilir (Demir 2010).

$Al_2Si_2O_5(OH)_4$  formülüne sahip Kaolinit, çeşitli endüstrilerde kullanılan önemli bir endüstriyel hammaddedir, film tabakası olarak

kaplamada, fiber ve polimer uzama alanlarında, seramik ve boya alanlarında kullanılmaktadır. Kaolinitin fiziksel özellikleri kaolinlerin oluşum koşulları mineralojik özellikleri ve kimyasal bileşimleri gibi temel özellikleri ile bağlantılıdır (Lertcumfu et al., 2020; Selim et al., 2020) Artan kaolinit madeni sayısıyla birlikte, yüksek kaliteli kaolinit giderek sınırlı bir malzeme haline gelmiştir ve araştırmacılar kaolinitin sınıflandırılmasını incelemeye başlamıştır. Çin'deki birçok kömür hazırlama tesisinin bazıları çok miktarda kaolinit minerali içeren yüksek miktarda çamurlu kömür bulamacını kullanmaktadır . Bu kaolinitlerin zenginleştirilmesi ve çamurlu sudan ayrıştırılması ile ayrıştırılmış kaolinit kaynakları da işlenebilmektedir (Wang et al., 2012).

Daha önceki çalışmalarda elektromanyetik kalkanlama ölçümleri örneklerine bakıldığında, kırılmış elyaf tabanlı  $ZnNb_2O_6$  kompozitlerin kalkanlama etkinliği performansının 6.75 GHz frekansında -51.32 dB değerinde olduğu tespit edilmiştir (Şahin 2022). Ayrıca kolemanit/PANI/SiO<sub>2</sub> kompozitleri için maksimum elektromanyetik kalkanlama değerinin 16.09 GHz frekansında - 41,1 dB olduğu belirlenmiştir ( Şahin, Emek, Ertuğ ve Kartal 2020). Farklı bir kompozit yapısında yani % 25 MWCNT için 1.6 GHz frekansında -39 dB değeri ölçülmüştür (Tariq et al., 2015).

– 10 dB'lik bir kalkanlama etkisi değeri ile malzemeye gelen elektromanyetik dalganın % 90 azaldığı ve malzemedan karşıya % 10 kadarının geçtiği gelen elektromanyetik dalganın zayıfladığı geriye kalanın yutulduğu veya geri yansıdığı anlaşılmaktadır (Chung 2000; Ting vd 2011).

Yeni Kaolinit/PANI/Kolemanit bileşimi uygun parametrelerde kompozit olarak oluşturularak kalkanlama etkinliği için karakterize edilmiştir. Bildiğimiz kadarıyla bu kompozit yapı 1.3 mm kalınlıkta 0-8 GHz frekans aralığında ekranlama etkinliği için denenen ilk çalışmadır.

Kaolinit/PANI/Kolemanit kompoziti epoksi toz ile belirli oranlarda alınmış ve belirli sıcaklıkta hidrolik preste kalıplanarak yeni kompozitler olarak yapılmıştır. Kompozitlerin bileşenlerinin fazlarının belirlenmesinde Bruker / Alpha -T marka XRD (X-ray-diffraction) cihazı kullanılmıştır. Belirli radar bantları dahil olmak üzere geniş bant frekansında (0-8 GHz) ölçüm yapabilen 2 portlu vektör ağ analizör (VNA) cihaz ile 1.3 mm kalınlığında oluşturulan farklı Kaolinit/PANI/Kolemanit kompozitlerinin mikrodalga kalkanlama etkinliği değerleri ölçülmüştür.

## MATERYAL VE METOT

### • Kaolinit-Kolemanit 'in Hazırlanışı

Kaolinit -kolemanit tozları, geleneksel oksitlerin karışımı yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Ticari toz halinde elde edilebilen doğal Kaolinit ve Kolemanit tozları yüksek saflıkta yerli birçok firmadan öğütülmüş halde temin edilebilmektedir.

Doğal kolemanit ve kaolinit tozları ayrı olarak buharlaşma kayıplarını önlemek için tamamen kapalı alümina pota içinde 400 °C'de 4 saat kalsine edildiler, kalsinasyon öncesinde ve sonrasında tartılarak kontrol edildiler. Kalsine edilmiş Kolemanit ile kaolinit tozlar agat havanda öğütülerek 2 MPa basınçlı tek eksenli pres kullanılarak 10 mm çapında ve 1-2 mm kalınlığında peletler haline sinterleme için getirildi. Kolemanit ve kaolinit seramik potaya monte edildikten sonra, uçucu türlerin kaybının azaltılması için kolemanit 900 °C'de, kaolinit

ise 1200°C'de 4 saat boyunca 300 °C/saat ısıtma ve soğutma hızında sinterlenmiştir.

Sinterlenmiş numunelerdeki fazlar, 2θ:10 – 70° aralığında Cu-Kα radyasyonlu ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ) ve 1°/ dakika tarama hızında XRD (X-ışını difraktometrisi - D2 Phaser Bruker AXS) ile karakterize edilmiştir. X-ışını toz difraktometrisi kullanılarak ana yapıların Kaolinit ve Kolemanit yapısı olduğu tespit edilmiştir.

### • Polianilin/(Kaolinit-Kolemanit) Kompozitlerin Hazırlanışı

Sinterlenmiş Kaolinit ve sinterlenmiş Kolemanit tozları etanol içinde ağzı kapalı plastik şişede zirkonya bilyeler ile sırasına göre ağırlıkça % 25-75, % 50-50 ve % 75-25 olacak şekilde alınarak 20 saat boyunca dönmeli değirmende karıştırıldı.

Elde edilen farklı oranlarda alınmış ayrı bulamaç etüvde 100 °C sıcaklıkta 24 saat boyunca kurutuldu. Sinterlenmiş Kaolinit -Kolemanit birleşim tozları ( % 25-75, % 50-50 ve % 75-25), (anilin miktarının % 100'ü olacak şekilde ) ayarlanarak ve 1 ml anilin (% 99.9 saflıkta) monomer bir 35 ml hidroklorik (HCL) asit çözeltisine (0.1 mol L<sup>-1</sup>) ilave edildi ve otuz dakika mekanik karıştırıcıda karıştırılarak dağıtıldı. 2.49 g amonyum persülfat (APS), 15 ml hidroklorik asit çözeltisi (1 mol L<sup>-1</sup>) içinde manyetik karıştırıcı üzerinde çözüldürüldü, daha sonra APS çözeltisi, yavaşça yukarıda belirtilen solüsyonuna yani 1 ml anilin ve Kolinite-Kolemanit karışım solüsyonuna damla damla ilave edildi. Elde edilen karışım buzlu suda kendi şişe kapları içerisinde ayrı şekilde tutulmuş ve polimerizasyon, 0 °C'de 12 saat boyunca buzlu su banyosunda gerçekleştirilmiştir.

Polimerizasyon ile elde edilen her bir bulamaç filtre kağıtlarına aktarılarak destile su ve etanol ile filtre edilmiş ve yıkandıktan sonra 24 saat boyunca 60 °C' de vakum altında tutularak kurutulmuş ve farklı

molar oranlarda PANI/ Kaolinit-Kolemanit kompozit tozları [(Anilin / Kaolinit-Kolemanit %25-75 ağırlıkta), Anilin/ Kaolinit-Kolemanit ( ağırlık %50-50 oranında) ve Anilin/ Kaolinit-Kolemanit ( ağırlık %75-25 oranında) = (1:1) ] üretilmiştir. Kaolinit-Kolemanit bileşimleri Polianilin bazlı kompozit tozu olarak elde edilmiştir. PANI-Kaolinit:Kolemanit farklı oranlarda sıcak hidrolik presleme ile uygun boyutta peletler halinde üretilmiştir.

- **Epoksi-Polianilin Tabanlı Kaolinit-Kolemanit Kompozitlerin Hazırlanışı**

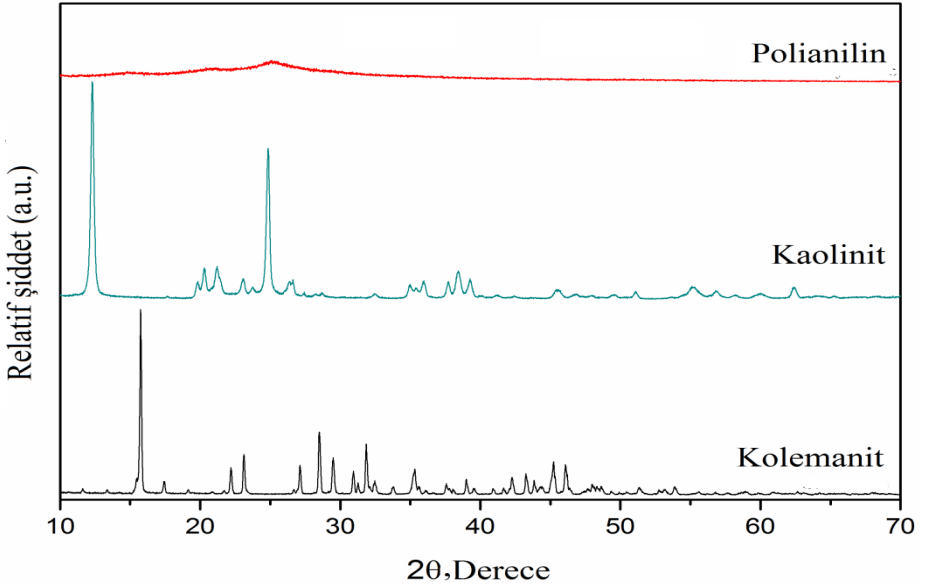
PANI / Kaolinit: Kolemanit bileşim tozları epoksi tozu ile kalıplanarak ve kürlenerek kompozit malzemeler haline dönüştürülmüştür. Tüm Numune tozunun epoksiye karışım oranı ağırlıkça 2/1 idi. Peletler sıcaklıklı hidrolik preste kalıplama 5 MPa basınçta ve 100 °C'de 1 saat boyunca bekletilerek oluşturulmuştur.

Kalkanlama etkinliği ölçümleri için 1.3 mm kalınlığında peletler üretilmiştir. Mikrodalga Koruyucu Etkinliğine sahip kompozitler, anilin / (Kaolinit :kolemanit) tozuna oranı 1/1 olacak şekilde ayarlanarak epoksi kullanılarak üretilmiştir.

## **BULGULAR ve TARTIŞMA**

- **Kaolinit-Kolemanit' in XRD Analizi**

Kaolinit, Kolemanit ve Polianilin 'in yapısal analizi için XRD spektroskopisi yapılmıştır. XRD analizi, tek fazlı yapıların oluştuğunu ortaya



**Şekil 1:** ‘Kaolinit, Kolemanit (4 saat boyunca 1200 ve 900 °C ‘de sinterlenmiş tek fazlı, sırasıyla) ve PANI için XRD paterni’.

çıkarmıştır (Şekil 1). Kaolinit, Kolemanit ve Polianilin için XRD paternlerinde de görüldüğü gibi (Şekil 1) ana fazlar Kaolinit (PDF Kart No: 00-005-0143), Kolemanit (PDF Kart No: 01-082-1825), Polianilin (PDF Kart No :00 053-1717) olarak tespit edilmiştir. Numunelerin kırınım pikleri ana fazlar ile uyum içerisindedir. Tek fazlı yapılar her bir kaolinit ve kolemanit için uygun kalsinasyon sıcaklığı ile oluşabilecek ara fazların ortadan kaldırılması ve sinterleme ile sağlanmıştır. XRD ölçümü, Kaolinit , kolemanit ve PANI için ikincil faz oluşmadığını göstermiştir.



- **Kaolinit /PANI/Kolemanit Kompozitlerin EMI Ekranlama Etkinliği Ölçümleri**

Şekil 2, 0-8 GHz frekans aralığında epoksi- (PANI/ Kaolinit-Kolemanit) kompozitlerinin kalkanlama etkinliğinin frekans bağımlılığını göstermektedir. Kalkanlama etkinliği SE (shielding effect) ölçümleri 2 portlu VNA ağ analizör cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

Ölçümlerde numune kalınlığı kritik öneme sahiptir. Kompozit numune peletlerinin SE değerleri ayrıca geometri ve oryantasyona da bağımlıdır. Ekranlama etkinliği performans değeri, malzemeye gelen elektromanyetik dalganın kompozit malzemedan ne kadar geçtiği ile alakalıdır.

PANI/Kaolinit-Kolemanit kompozitleri arasında, epoksi- (Kaolinit-Kolemanit (ağırlıkça % 25-75) /Anilin: 1/1 ) kompozisyonunun mikrodalga ekranlama etkinliği diğerlerine göre daha üstün etki göstermektedir. PANI/ Kaolinit-Kolemanit (Kaolinit-Kolemanit (ağırlıkça % 50-50) /Anilin: 1/1) bileşimi ve epoksi kompoziti en düşük -42.97 dB değerini 6.26 GHz frekansında göstermiştir (Şekil 2b). Bu kompozit sırası ile 1.28, 4.58, 6.85, 7.5 GHz frekanslarında -19.51 dB, -16.34 dB, -19.73 dB, -21.54 dB ekranlama etkinliği değerleri vermiştir. Ayrıca geniş bant aralığı olarak, 0 'dan 0.47 GHz'e kadar , 6.05 GHz frekansından 6.4 GHz frekansına kadarki frekans bandında -20 dB'den daha düşük bir ekranlama etkisi göstermiştir. Yine 0-0.57 GHz, 0.74-1.95 GHz, 2.71 -3.97 GHz, 5.39-6.52 GHz, 6.66-7.1 GHz,

7.34-8 GHz frekans bant aralığında -10 dB'den daha düşük ekranlama etkinliği değeri göstermiştir.

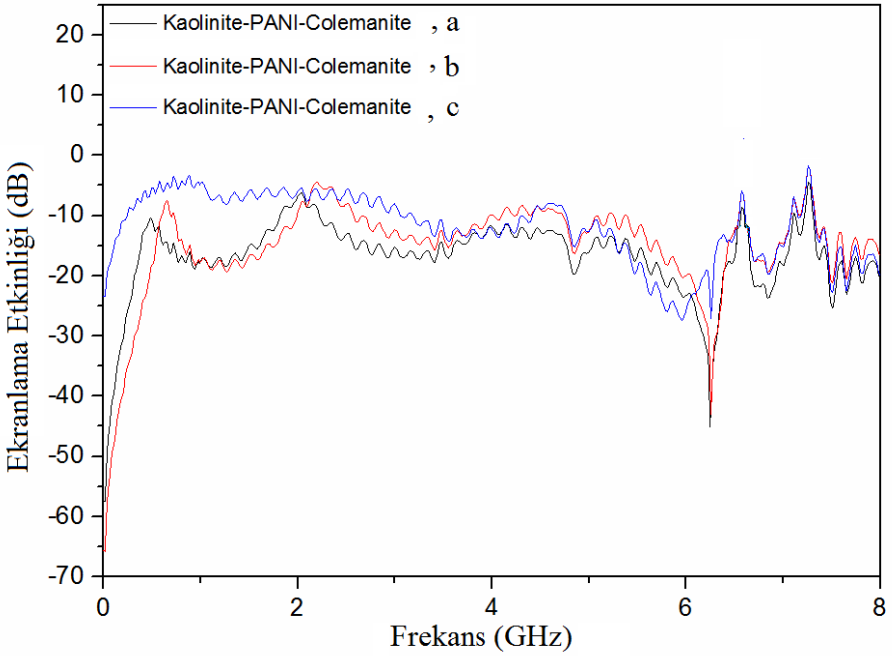
Epoksi-(PANI /Kaolinit-kolemanit) bileşimleri (Kaolinit:kolemanit (ağırlıkça % 25-75) /Anilin: 1/1) kompoziti en düşük -45.25 dB değerini 6.24 GHz'de göstermiştir. Bu kompozit malzeme 0 GHz'den 0.32 GHz'e kadar , 5.88'den 6.37 GHz'e kadar frekans bant aralığında -20 dB altında ekranlama değeri vermiştir (Şekil 2a). Ayrıca 0'dan 1.81 GHz , 2.22 'den 6.52 GHz frekansına kadar ve 7.32 'den 8 GHz frekansına kadar olan frekans aralığı bölgesinde -10 dB'nin altında kalkanlama etkinliği değeri göstermiştir. Yine bu malzeme sırasıyla 0.93, 4.86, 6.85 ve 7.5 GHz frekanslarında -18.81, -19.73, -23.79 ve -25.15 dB değerlerini vermiştir. Diğer epoksi-(PANI/Kaolinit-Kolemanit) bileşimleri (Kaolinit:kolemanit (ağırlıkça %75-25) /Anilin: 1/1) kompozit malzeme en düşük -27.62 dB ekranlama değerini 5.95 GHz frekansında göstermiştir. Ayrıca 6.26 GHz ve 7.49 GHz frekanslarında sırasıyla -27.4 dB, -22.87 dB'lik bir ekranlama etkinliği değerlerine ulaşmıştır (Şekil 2.c). Ayrıca bu kompozit bileşim 3.16'dan 4.29 GHz'e kadar, 5.08' den 6.51 GHz ve 7.34 'den 8 GHz frekansa kadar olan frekans bandında -10 dB altında ekranlama etkinliği değeri vermiştir.

Polianilin empedans uyumu sağlamış ve kompozit yapının kalkanlama etkinliğine katkıda bulunmuştur. Mikrodalga perdelemenin etkinliği, aynı zamanda ışınlama empedansının malzeme yüzeyine uyumlu olması ile de ilgilidir. PANI, Kaolinit ve Kolemanit bileşenleri arasındaki eşleşen empedansı iyileştirir. İletken polimer PANI' nin gücü

nedeniyle ve rezonans etkisi nedeniyle keskin ekranlama etkinliği pikleri oluşur.

Yeni epoksi-(PANI/Kaolinit-Kolemanit) kompozitleri üretildi, polianilin esaslı Kaolinit-Kolemanit kompozitleri, geniş bant frekansında elektromanyetik dalgalar için yüksek kalkanlama etkisi gösterdi.

Yeni kompozitlerin mikrodalga perdeleme etkinliği, Kaolinit-Kolemanit miktarı düzenlenerek ayarlanabilir.



**Şekil 2:** “Epoksi-(PANI/Kaolinit:Kolemanit) kompozitlerinin mikrodalga ekranlama etkinliği: a – Kaolinit:Kolemanit bileşimleri (Kaolinit:Kolemanit (ağırlıkça % 25-75) /Anilin: 1/1, b – Kaolinit:Kolemanit bileşimleri (Kaolinit:Kolemanit (ağırlıkça % 50-50) /Anilin: 1/1, c – Kaolinit:Kolemanit bileşimleri (Kaolinit:Kolemanit (ağırlıkça % 75-25) /Anilin: 1/1”.

## SONUÇ

Kaolinit -Kolemanit tozları (sırasıyla ağırlıkça % 25-75, ağırlıkça % 50-50 ve ağırlıkça % 75-25) oksitlerin karışımı tekniği ile üretilmiş ve PANI/ (Kaolinit-Kolemanit) kompozitleri 1.3 mm kalınlıklarda üretilmiştir. Bilinen ilk PANI/(Kaolinit-Kolemanit) kompozitlerin bu frekans aralığındaki kalkanlama etkinliği araştırmadır. Mikrodalga ekranlama etkinliği, ihtiyaç duyulan frekans bantları için PANI ve Kaolinit -Kolemanit miktarları ayarlanarak kolayca modüle edilebilir. Uygun hazırlanma işlemleri ve düşük maliyet, daha iyi perdeleme etkisi performansı nedeniyle, PANI / Kaolinit-Kolemanit kompozitleri, mikrodalga ekranlama verimliliği olarak iyi potansiyel göstermiştir.

PANI/ Kaolinit-Kolemanit (Kaolinit-Kolemanit (ağırlıkça % 25-75) /Anilin: 1/1) bileşim-epoksi kompoziti en düşük – 45.25 dB ekranlama değerini 6.24 GHz frekansında vermiştir ayrıca -10 dB altında en geniş bant aralığı değerini yakalamıştır.

Kompozit yapı içerisindeki Polianilin içeriği ekranlama etkinliği değerlerinin değişmesinde önemli rol oynamıştır. PANI tabanlı Kaolinit:Kolemanit kompozitleri geniş bant frekans aralığında mikrodalga perdeleme için umut vericidir.

PANI bazlı Kaolinit:Kolemanit kompozitleri diğer polimerlerle veya farklı doğal mineraller ile katkılandırılarak farklı kalınlıklarda ayrıntılı araştırılabilir. Daha yüksek diğer Radar frekans bantlarında, bu kompozitin kalkanlama etkinliği ve yansıma kaybı araştırılabilir.

## **TEŞEKKÜR**

Bu araştırma 2014 yılında kaybettiğimiz ancak hatıraları sonsuz kalacak Salim ŞAHİN ve 2017 yılında kaybettiğimiz Prof. Ayhan MERGEN anılarında düzenlenmiştir. Ayrıca Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesine, İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliğine, Marmara Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği'ne teşekkür ederiz.

## **KAYNAKLAR**

- Avloni J, Ouyang M, Florio L, Henn AR, Sparavigna A, Shielding effectiveness evaluation of metallized and polypyrrole-coated fabrics. *J. Thermoplast. Compos. Mater.* 2007; 20 (3); 241-254.
- Chen Z, Yi D, Shen B, Zhang L, Ma X, Pang Y, Liu L, Wei X, Zheng W. Semi-Transparent Biomass-Derived macroscopic carbon grids for efficient and tunable electromagnetic shielding. *Carbon* 2018;139; 271-278.
- Frey AH. Headaches from cellular telephones: are they and what are the implications. *Environmental Health Perspectives.* 1998: 106 (3); 101-103.
- Gencil O. Effect of elevated temperatures on mechanical properties of high-strength concrete containing varying proportions of Hematite. *Fire and Materials* 2012;36 (3);217-230.
- Golezani JJ, Kartal M, Döken B, Paker S. Triple-Band frequency selective surface design effective over oblique incidence angles for GSM system. *IETE Journal of Research* 2022: 68 (2); 1406-1410.
- Lertcumfu N, Jaita P, Thammarong S, Lamkhao S, Tandorn S, Randorn C, Tu-nkasiri T, Rujijanagul G. Influence of graphene oxide additive on physical, microstructure, adsorption, and photocatalytic properties of calcined kaolinite-based geopolymer ceramic composites. 2020: 602 ;125080 .
- Lou CW, Lin Chin-Mei, Hsing Wen-Hao, Chen A-P, Lin J-H. Manufacturing techniques and electrical properties of conductive fabrics with recycled polypropylene nonwoven selvage. *Text. Res. J.* 2011: 81 (13); 1331-1343.
- Qasrawi AF, Hamarsheh AA. Structural, optical and electrical properties of band-aligned CdBr<sub>2</sub>/Au/Ga<sub>2</sub>S<sub>3</sub> interfaces and their application as band filters suitable for 5G technologies. *J. Electronic Materials* 2022: 32; 1-12.
- Sahin Eİ, Microwave electromagnetic shielding effectiveness of ZnNb<sub>2</sub>O<sub>6</sub>- chopped strands composites for radar and wideband (6.5-18 GHz) applications. *Lithuanian Journal of Physics* 2022; 62:127-136.
- Sahin EI, Emek M. Electromagnetic shielding effectiveness of Wollastonite/PANI/Colemanite composites. *EJOSAT* 2021:21; 83-89.

- Sahin EI, Emek M, Ertug B, Kartal M. Electromagnetic shielding effectiveness of Colemanite/PANI/SiO<sub>2</sub> composites radar and wider frequency ranges. *Beykent University Journal of Science and Engineering*. 2020;13; 34-42.
- Selim FA, Hashem FS, Amin MS. Mechanical, microstructural and acid resistance aspects of improved hardened Portland cement pastes incorporating marble dust and fine kaolinite sand. *Constr. Build. Mater*. 2020; 251; 118992.
- Tariq F, Shifa M, Tariq M, Hasan SK. and Baloch RA. Hybrid nanocomposite material for EMI shielding in spacecrafts. *Advanced Materials Research*. 2015: 1101; 46-50.
- Topcu İ. Investigation of Wear Behavior of Particle Reinforced AL/B4C Composites under Different Sintering Conditions. *Tehnicki Glasnik*. 2020; 14 (1); 7-14.
- Yang CC, Gung YJ, Hung WC, Ting TH, Wu KH. Infrared and microwave absorbing of BaTiO<sub>3</sub>/Polyaniline and BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/Polyaniline composites. *Composites Science and Technology* 2010; 70; 466-471.
- Wang HF, Zhao L, Xu ZQ, Pei DN. The influence of kaolinite on settlement of coal slime and countermeasures. *Coal Prep. Technol*. 2012; 3; 8-18.
- Wang XC, Liu Z, A new computation of shielding effectiveness of electromagnetic radiation shielding fabric. *Prog. Electromagn. Res. Lett*. 2012; 33; 177-186.
- Zhang X, Rao Y, Guo J, Qin G. Multiple-phase carbon-coated FeSn<sub>2</sub>/Sn nanocomposites for high-frequency microwave absorption. *Carbon* 2016;96; 972-979.
- Zhang W, Zhang X, Wu Z, Abdurahman K, Cao Y, Duan H, Jia D. Mechanical, electromagnetic shielding and gas sensing properties of flexible cotton fiber/polyaniline composites. *Compos. Sci. Technol*. 2019: 107966.

## BÖLÜM 13

### SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMSAL MEKANİZASYON

Dr. Öğr. Üyesi Zekiye ŞENGÜL<sup>1\*</sup>

---

<sup>1\*</sup>Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Siirt, Türkiye  
Email: zekiye.sengul@siirt.edu.tr





## **GİRİŞ**

Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma hedefleri, küresel topluluk tarafından ulaşılmaması gereken temel sürdürülebilirlik hedefleri olarak sıfır açlık, gıda güvenliği ve sürdürülebilir tarımı belirlemiştir. Tarım makineleri, tarımsal ekosistemin çevresel ve sosyo-ekonomik sürdürülebilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olan, tarımsal üretimde önemli bir girdidir (Banerjee et al., 2020). Tarımsal mekanizasyonun günümüzde çok geniş bir tanımı bulunmaktadır. Bitkisel üretimde üretim ve verimlilik gibi iki ana unsurun tamamlayıcısı tarımsal mekanizasyondur (Çelik ve Baran, 2018). Tarımsal mekanizasyon, tarım arazilerinin geliştirilmesi, ekim, hasat ve birincil işleme amacıyla çeşitli alet, makine ve ekipmanın üretimini, dağıtımını ve kullanımını içermektedir (Emami et al., 2018) . Mekanizasyon, basit ve temel el aletlerinden motorlu ekipmanlara kadar tüm işleme teknolojilerini kapsamaktadır. Tarım makinelerinin kullanımı, ağır işçiliğin kolaylaştırması, işgücü eksikliklerinin giderilmesi, tarımsal faaliyetlerin üretkenliğini ve güncelliğini artırılması, kaynak kullanım verimliliğinin artırılması, pazara erişimin artırılması ve iklimle ilgili tehlikelerin hafifletilmesine katkıda bulunması vb. gibi olumlu etkileri bulunmaktadır (Fischer et al., 2018; Kormawa et al., 2018; FAO, 2022). Bu faydaları göz önüne alındığında, tarımsal mekanizasyonun gelişmesi, sürdürülebilir gıda sistemlerine geçişte önemli bir rol oynamaktadır.

Ancak makineleşme düzeyinin gelişmesi ile beraber sürdürülebilirliğe ilişkin bazı sosyo-ekonomik ve çevresel kaygılar da ön plana çıkmıştır. Makineleşmenin tarım işçilerinin işsizliğinin artmasına ve dolayısıyla kırsal yoksulluğun artmasına ve buna bağlı olarak göç olgusunun gerçekleşmesine katkıda bulunacağına dair olumsuz algı, büyük ölçekli çiftçilerin makineleşmeden daha fazla yararlanacağı, küçük ölçekli

çiftçilerin ise marjinalleşeceği algısı nedeniyle eşitsizliklerin artmasına yol açacağı, uygun yapılmayan mekanizasyon yatırımları ve hatalı tarım makinaları kullanımları, işletmede fayda yerine; işletme karlılığının olumsuz etkileyeceği, plansız mekanizasyona bağlı olarak tarım ve sanayi arasındaki dengenin tarım aleyhine bozulacağı, ihtal edilecek tarım makinelerinin döviz kaybına neden olacağı, hatalı kullanımdan kaynaklı tamir bakım masraflarının artacağı, mekanizasyon kapasitesinin doğru seçilmemesine bağlı olarak yakıt, enerji vb. maliyetlerinin artacağı, gibi bazı olumsuzluklar ilgili kaygılar arasında yer almaktadır (Mrema et al., 2014; Özgüven, 2022). Diğer taraftan düşük eğitim seviyeleri ve teknik beceriler, kadınların tarım makinelerini kullanmasını engelleyebilmektedir. Bunun nedeni, yayım hizmetlerinin ve teknik eğitimin genellikle erkeklere yönelik olması gerçeğidir. Ek olarak, sosyal normlar makineleşmiş görevleri kadınlar için uygunsuz bulabilabilmektedir (Fischer et al., 2018). Çevresel açıdan durum ele alındığında ise uygun olmayan tarım makineleri, ekipmanları ve araçları, bunların yanlış kullanımıyla birleştiğinde, toprak erozyonunu ve sıkışmasını hızlandırarak ve kimyasal girdilerin aşırı kullanımını teşvik ederek kırılgan doğal kaynaklar üzerinde artan baskıya yol açabıp, gerek çiftlikte gerekse işleme operasyonlarında mekanizasyon teknolojilerinin çevresel etkilerini hesaba katmak giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Mrema et al., 2014).

Artan mekanizasyon düzeyine bağlı olarak toplumsal, ekonomik ve çevreyle ilgili sorunlar, sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon stratejilerinin benimsenmesini bir zorunluluk olarak ortaya çıkarmıştır. Sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon, ekonomik olarak uygun, çevreye duyarlı ve sosyal olarak kabul edilebilir mekanizasyon olarak tanımlanabilir (Sims and Kienzle; 2016; Li et al., 2022). Sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon konusu son yıllarda önemli düzeyde ilgi görmektedir. Özellikle Uluslararası araştırma merkezleri (CGIAR—

Uluslararası Tarımsal Araştırma Danışma Grubu gibi) sürdürülebilir mekanizasyon için gelişen teknolojiye artan bir ilgi göstermektedir (Sims and Kienzle, 2017).

Literatürde tarımsal mekanizasyonun ekonomik, sosyal ve çevresel yönleri, etkileri ve sürdürülebilirliği ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Yücel ve Çalışkan (2020) tarafından yapılan çalışmada ARDL Sınır Testini kullanılarak, tarım sektöründeki tarımsal mekanizasyon düzeyi, verimlilik ve ortalama gelirin tarımsal istihdam oranını nasıl etkilediği incelenmektedir. Sonuçlara göre Türkiye'de tarımsal mekanizasyonun artması sonucunda yalnızca tarımsal üretim, verimlilik düzeyi değil toplumsal yapıda da değişiklikler meydana gelmiştir. Sonuçlar tarımdaki makineleşme düzeyi ile uzun dönemde tarımsal istihdam oranı arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Uzun dönemde makineleşme seviyesi %1 artarken, tarımsal istihdam oranı %0,56 azalmaktadır. Bu sonuçlar, tarımdaki makineleşme düzeyinin uzun vadede tarımdan diğer sektörler emek akışına neden olduğunu göstermektedir. Konya ilinde mısır üretim faaliyetlerinde kullanılan işgücü ve teknolojinin istihdam üzerine etkisinin analiz edilmesi amacıyla yapılan çalışmada ise t-testi analizi ile işletmelerin mısır üretiminde kullanılan teknoloji kullanım düzeyinin (MTK) ile erkek işgünü (EİG), işletme toplam arazi genişliği (TOPAG) ve işgücünün birim zamana düşen verimliliği (MGSÜD/EİG) değeri birbirleri ile çift taraflı karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Sonuçlara göre tarımda kullanılan teknoloji düzeyinin EİG, TOPAG ve MGSÜD/EİG ile ilişkili olmadığı belirlenmiştir. Bunun temel sebebi işgücünün uzmanlaşmamış olması, üretim teknikleri hakkında bilgi düzeyinin düşük olması, sahip olunan teknolojilerin bir sosyal statü etkeni olarak kabul edilerek etkin kullanılmamasıdır (Bayramoğlu ve Bozdemir, 2018). Çiftçilerin tarım makineleri talebi, satın alma davranışları ve kullanım memnuniyetleri, piyasada karar

vericiler açısından önemli ipuçları taşımaktadır. Mavioğlu ve Çobanoğlu (2019) tarafından İzmir ilinde yapılan çalışmada çiftçilerin sahip oldukları mekanizasyon düzeylerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Çalışmanın sonuçlarına göre incelenen çiftçilerin yaklaşık %60'ında sadece bir adet traktör bulunmaktadır. Traktör seçerken yakıt tüketimi önemli bir faktör olup, çiftçilerin yaklaşık yarısı satın alırken 50 beygir altı traktörleri tercih etmekte. Çiftçilerin traktör satın alma kararlarını etkileyen faktörler incelendiğinde temel faktör olarak deneyim (tarla tatbikatı), kişisel faktör olarak marka değeri, sosyal faktör olarak servis ağı, komşu/arkadaşlar ve baba/kayınpeder, teknik faktör olarak gücü ve dayanıklılığı, ekonomik faktör olarak yakıt tüketiminin olduğu görülmektedir. Artan mekanizasyon seviyeleri, mutlaka traktörlere ve diğer makinelere büyük yatırımlar anlamına gelmez. Çiftçilerin, çiftçilik faaliyetleri için en uygun güç kaynağını seçmeleri gerekir. Seçilen mekanizasyon seviyesi, ihtiyaçlarını etkin ve verimli bir şekilde karşılamalıdır. Güç kaynakları (insan, hayvan veya motor kaynaklı) ergonomik, sosyal, kültürel ve ekonomik koşullara göre seçilmelidir (FAO, 2017). Yapılan bir diğer çalışmaya göre tarımsal mekanizasyonun benimsenmesini engelleyen faktörler arasında, çiftçilerin düşük gelirleri, kırsal topluluklarda altyapı eksikliği, operatörlerin ve teknisyenlerin yetersiz becerileri ve özel sektör yatırımları için teşvik eksikliği belirtilmiştir (Houmy et al., 2021).

Günümüzün modern tarımında tarımsal üretimdeki en büyük ve en önemli maliyet unsuru makina maliyetidir (Özdemir 2006). Türkiye'nin farklı bölgelerinde farklı tarım ürünlerinin maliyetini inceleyen çalışmalar dikkate alındığında nohut üretiminin yoğun olarak yapıldığı bölgelerde üretim masraflarının %25,5'i, Gaziantep, Kahramanmaraş ve Kilis illerinde kırmızı biber üretim masraflarının %12,23'ü, Ağrı ilinde Buğday üretim masraflarının %39,04'ü, Yozgat ilinde kışlık

buğday üretim masrafının %41,53'ü makine çeki gücü masrafından oluşmaktadır (Yılmaz ve Demircan, 2005; Karadaş, 2016; Aytıp ve Akbay; 2018; Erbaş, 2020).

Mekanizasyonun çevresel açıdan olumlu etkisi, tarımın çevresel ayak izinin azaltılmasına olan katkısında yatarken, olumsuz etkisi çevresel bozulmanın hızlanmasıyla ilgilidir (CSAM, 2011). İncelenen bazı çalışmalar tarımsal mekanizasyonun çevresel boyutunu Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) yöntemi ile ortaya koymuştur. Lee et al. (2012), tarımsal cihazların kullanımları sırasında ortaya çıkan çevresel etkilerinin en aza indirilmesine odaklanmıştır. Pirinç üretimi için tarım makineleri tarafından yıllık olarak ortaya çıkan sera gazı ve atmosferik kirlenici emisyonları tahmin edilmiştir. Son olarak, tarlada kullanımlarından kaynaklanan çevresel etkiyi en aza indiren tarım aletlerinin optimal kombinasyonunun belirlenmesine yönelik bir model sunulmuş ve bir vaka çalışmasına uygulanmıştır. Bortolini et al. (2014), tarafından yapılan çalışmada ise hasat operasyonlarını hızlandırmak, hem enerji tüketimini hem de küresel çevresel etkiyi azaltmak amacıyla saman tırmığı, yuvarlak balya makinesi ve balya sarma makinelerini entegre edebilen yenilikçi, çok işlevli bir tarım makinesini tasarlanmıştır. Çalışmada analiz aşamasında LCA'dan yararlanılmıştır. Sonuçlara göre küresel çevresel etki düzeyinde, yaklaşık %35'lik bir azalma gerçekleşmiştir.

Yapılan diğer bir çalışmada mevcut mekanizasyon uygulamalarının tarımsal sürdürülebilirliğe katkısını değerlendirmek için bir göstergeler dizini hazırlanmıştır (Leiva ve Morris, 2001). İlgili çalışmada mekanizasyon teknolojilerindeki ve ilgili uygulamadaki değişiklikler yoluyla sürdürülebilirlik düzeyini iyileştirme fırsatlarını belirlemek amacıyla, çiftlik mekanizasyonu ile ekilebilir tarımda sürdürülebilirlik arasındaki bağlantıyı araştırılmıştır. Bu çalışmada, mekanize ekilebilir

tarım uygulamalarının sürdürülebilirlik derecesini ölçmek ve değerlendirmek için bir çerçeve geliştirmiştir. Bu amaçla kullanılan göstergeler 3 farklı kategoride dikkate alınmıştır: birinci grupta enerji kullanımı, toprağın sıkışması ve hava kirliliği gibi mekanizasyonla doğrudan ilişkili olanlar; ikinci grupta kimyasal girdilerin uygulanması ve topraktaki organik maddenin azalmasıyla ilgili riskler gibi, yoğun tarımın bir aracı olarak mekanizasyonla dolaylı olarak bağlantılı olanlar; ve üçüncü grup olarak işgücü istihdamı, kazalar ve "çiftliklerin mali performansı" gibi makineleşmenin etkilerini yansıtanlar. Çalışma sonuçları özellikle çevresel performans açısından, baskın mekanizasyon uygulamaları ile ekilebilir tarımın sürdürülebilirliği arasındaki güçlü bağlantıları doğrulamıştır.

Sürdürülebilir tarımsal mekanizasyonu etkileyen faktörler incelendiğinde, bu faktörler ekonomi, toplum, nüfus ve işgücü, tarımsal üretim, toprak kaynakları, endüstriyel teknoloji geliştirme, eğitim, enerji ortamı, ekoloji, politikalar ve düzenlemeler olarak dikkate alınabilmektedir (Tablo 1). Ancak bu faktörler ülkeden ülkeye hatta bölgeden bölgeye değişim göstermektedir.

Tablo 1. Sürdürülebilir tarımsal mekanizasyonu etkileyen faktörler (Li et al., 2022)

Ülke/Bölge, Kıta	Etken Faktörler
Benin, Kenya, Nijerya ve Mali, Afrika	Toprak, arazi ve yağış, kurumsal ortamlar, toplumların sosyal hedefleri, işgücü kıtlığı, arazi hazırlığı, yüksek verim, toprak verimliliği, ormansızlaşma
On bir ülke, Afrika	Hane halkının büyüklüğü, cinsiyeti, çiftlik dışı faaliyetlere katılım, ekonomik faaliyetler, çiftlik büyüklüğü, arazi mülkiyeti, girdi ve çıktı pazarlarına uzaklık, çiftçilik sisteminin türü, yayım hizmetlerine erişim, gübre ve tarım ilacı kullanımı
Gana, Afrika	Nüfus baskısı, daha iyi pazar erişimi
Etiyopya, Afrika	Artan kırsal ücretler, kullanılan hayvan maliyetleri
Afrika	Eğitim düzeyi, ekim alanı, araziye erişim, kredi ve agroekolojik bölgeye erişim
Asya	Hanehalkı varlıkları, krediye erişim, elektrifikasyon, cadde yoğunluğu, sermaye yatırımı, satın alma ve kiralama hizmetleri
Nepal, Asya	Arazi toplulaştırması, şirket birleşmeleri, daha yoğun ekim, işgücünün yer değiştirmesi
Hindistan, Asya	Sulama, kurumsal krediye erişim, arazi büyüklüğü, gelenekler
Bangladeş/Güney Asya	Erkeklerin aile reisi olma durumu, kredi ve uzatma hizmetlerine erişim, ekonomik durum, kiralama hizmetleri, eğitim düzeyi
Myanmar, Asya	Yapısal dönüşüm, angaryalar, riskler, getiriler, finansman ve makine fiyatları, politikalar ve müdahaleler
Çin, Asya	Tarım arazisi yönetim ölçeği, tarımsal işgücü transferi, çiftçilerin gelir düzeyi, tarım makineleri sanayinin gelişmişlik düzeyi, tarım makineleri ürünlerini kullanmanın maliyeti, tarımsal ekipman seviyesi, bölgesel ekonomik kalkınma, arazi kaynakları, politika, çevre, ekonomik gelişme, tarım arazisi ölçeği, tarımsal dikim yapısı

Bu çalışmada ise literatür taramasına dayanarak sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon stratejisi ve çerçevesini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Böylece sonraki çalışmalarda yol gösterici nitelikte olabilecektir.



## SÜRDÜRÜLEBİLİR TARIMSAL MEKANİZASYON

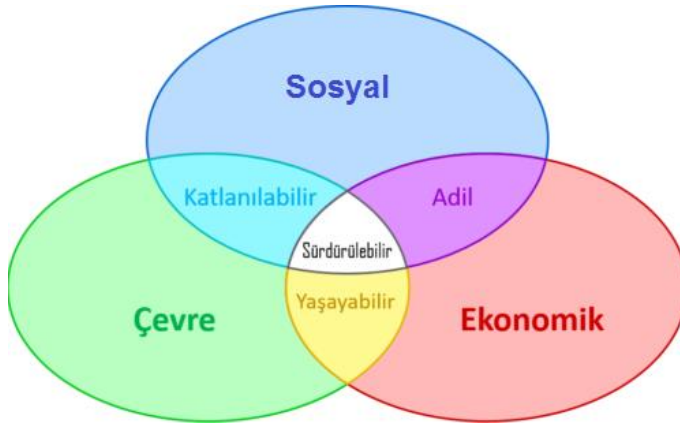
Sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon, gıda üretiminde kendi kendine yeterliliğini karşılarken, ekonomik kalkınma ve büyümenin yanı sıra sosyal faydalar sağlayan tarımsal sürdürülebilirlik hedefine katkıda bulunan bir planlama stratejisidir (Mrema et al., 2014). Diğer taraftan sürdürülebilir mekanizasyon, tüm paydaşların katılımını gerektiren talep odaklı, katılımcı ve bağlama özgü bir süreç olarak tanımlanmaktadır (Fischer et al., 2018). Sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon, girdilerin ve ürünlerin üretimi, işlenmesi ve nakliyesinde önemli bir rol oynamakta, değer zincirindeki operasyonların verimliliğini artırmakta ve kırsal topluluklardaki işgücü eksikliklerinin üstesinden gelinmesine yardımcı olmaktadır (Houmy et al., 2021). Sürdürülebilir mekanizasyonun ile gelişmiş tarım araçlarına ve güçlü teknolojilere erişimi olan çiftçilerin geçimlik tarımdan daha pazar odaklı çiftçiliğe geçebilecek dolayısıyla, tarım sektörünü kırsal kesimdeki gençler için daha çekici bir hale gelecektir (Li et al., 2022). Sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon, çiftçi topluluğunun krizlere karşı dayanıklılığını güçlendirebilecek çözümler arasında yer almaktadır (ESCAP, 2020). Özellikle COVID-19 pandemi döneminde, tarlada dayanıklılığı artırmak ve sosyal mesafeyi sağlamak için sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon vazgeçilmezdir (Houmy et al., 2021).

Sürdürülebilir mekanizasyon, gıda ve tarım sektörünün sürdürülebilir gelişimine katkıda bulunan ve kadın çiftçiler de dahil olmak üzere çiftçilerin geçim kaynaklarını aşağıdaki yollarla iyileştiren amaca yönelik bir araç olarak görülmektedir ( Justice et al., 2022).

- Ağır işçiliği azaltarak;
- İşgücü eksikliklerini gidererek;
- Tarımsal faaliyetlerin üretkenliğini ve güncelliğini arttırarak;

- Kaynakların verimli kullanımının iyileştirerek;
- Pazar erişimini arttırarak;
- İklimle ilgili tehlikeleri azaltarak;
- Üretim maliyetini düşürerek;
- Gelirleri arttırarak;
- İş fırsatları yaratarak;
- Gıda kaybını azaltarak.

Sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon, ekonomik, sosyal ve çevresel kaygıları bütünleştiren sürdürülebilir kalkınmanın bir unsuru olarak düşünülmelidir (CSAM, 2011). Sürdürülebilir mekanizasyonun temel bir özelliği, doğal kaynak zenginliğini (özellikle toprak ve su) korurken üretimi artırma gerekliliğidir.



Şelil 1. Sürdürülebilir kalkınma şeması: üç kurucu parçanın birleştiği yerde. (Kaynak: CSAM, 2011)

Sürdürülebilir tarımsal mekanizasyonun boyutları aşağıdaki gibi dikkate alınabilmektedir (FAO, 2022):

- **Ekonomik:** Tarımsal mekanizasyona yapılan yatırım, çiftçilerin üretimi yoğunlaştırmasına, yaşam kalitelerini iyileştirmesine ve istihdam yaratmasına olanak tanımaktadır. Tarımsal mekanizasyona yeterli yatırım, mahsul veriminin ve katma değer artmasını sağlamaktadır. Örneğin Brezilya, Çin, Hindistan ve Türkiye'de, tarım makinelerine olan talepteki hızlı artış, yerel makine imalatının büyümesini öyle bir noktaya getirdi ki, bu ülkeler artık tarım makineleri ihracatında önemli üreticiler ve dünya liderleri haline gelmiştir.
- **Sosyal:** Küçük toprak sahibi çiftçilerin makineleşmeden elde ettiği faydalar arasında; çiftlik işlerinin angaryasının azalması nedeniyle daha fazla boş zaman, yerel topluluklarda iyileştirilmiş statü ve tarımın kırsal kesimdeki gençler için daha çekici bir sektör haline gelmesi vb. yer almaktadır. Örneğin Zambiya'da, çeki hayvan gücünün benimsenmesinden kaynaklanan işgücü tasarruflarının %25-35 olduğu tahmin edilmektedir. Mekanizasyon aynı zamanda imalat, tamir- bakım gibi mekanizasyon hizmetlerinin sağlanması gibi yeni istihdam fırsatlarının geliştirilmesi yoluyla işsizliği azaltmaktadır.
- **Çevresel:** Tarımsal mekanizasyon, özellikle yoğun toprak işleme yoluyla doğal kaynakların bozulması, girdilerin aşırı kullanımı ve biyoçeşitliliği ve özellikle tarımsal biyoçeşitliliği azaltmadaki rolü ile ilgili olumsuz etkisi nedeniyle eleştirilmiştir. Sürdürülebilir mekanizasyon, kaynak tabanını ve çevreyi koruyup geliştirirken tarımın çiftçiler için üretken ve karlı olmasını sağlamak için koruyucu tarım uygulamalarını benimsemektedir. Toprağı korumakta, suyu muhafaza etmekte, daha az enerji kullanmakta, girdi kullanım verimliliğini

artırmakta ve hasat sonrası kayıpları azaltmaktadır. Son zamanlarda çevresel sürdürülebilirlik arayışında minimum ve/veya sıfır toprak işleme ve dikim tekniklerini (daha genel olarak koruyucu tarım olarak bilinir) savunan küresel bir hareket bulunmaktadır (Mrema et al., 2014).

Sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon, üreticiden nihai son tüketiciye kadar mal ve hizmet akışında her bileşenin kendisinden öncekine ve sonrasına bağımlı olduğu bir sistem olarak değerlendirilmektedir. Dinamik olan tüm sistemin gücü, tüm bileşenlerin etkin işlevine ve aralarındaki bağlantılara bağlıdır. Sistemdeki doğrudan ilgili tarafların ana grupları 1. Çiftçiler, 2. Perakendeciler ve toptancılar 3. İmalatçılar ve 4. İthalatçılardan oluşmaktadır. Ana paydaş olan çiftçi gurubu, tarımsal mekanizasyon stratejisinde ilk hedefdir. Çoğu gelişmekte olan ülkede, çiftçi kapasitesi, geçimlik çiftçilerden ticari çiftçilere kadar büyük farklılıklar göstermektedir. Çiftçi ve diğer paydaşlar arasındaki bağlantı, tarımsal mekanizasyonun başarılı ve sürdürülebilir gelişimi için kritik öneme sahiptir. Paydaş işletmelerin kârlı olması temel bir gerekliliktir. Sürdürülebilir bir tarımsal mekanizasyon stratejisinin amacı, paydaşlar arasında bağlantılar oluşturmak ve bu paydaşlardan birinin veya daha fazlasının karlılığının yanı sıra çevresel sürdürülebilirliği etkileyen konuları ele almaktır (CSAM, 2011).

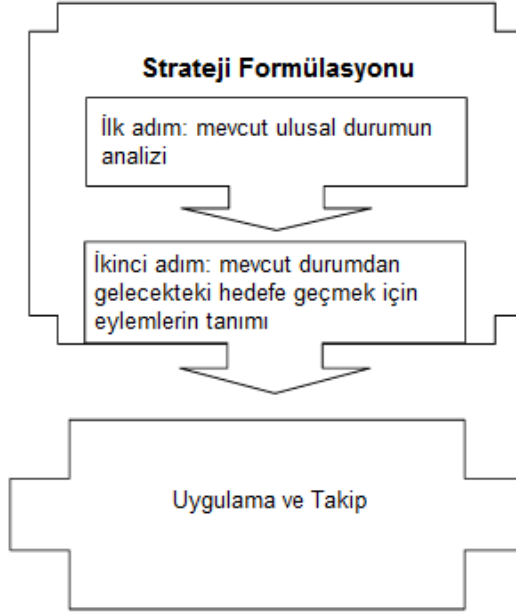
Diğer taraftan sürdürülebilir tarımsal mekanizasyonun sağlanmasında, kooperatifler mekanize tarıma sahip ülkelerde önemli bir rol oynamaktadır. Kooperatifler, tüm değer zincirinde tarımsal üretimi ve üretkenliği iyileştirmek için kaynakları birleştirme aracıdır (Houmy et al., 2021). Tarımsal mekanizasyon kooperatifleri üç temel amaçla oluşturulmuştur: mekanizasyona erişimi kolaylaştırmak; finansman güçlüklerini aşmak ve tarım makinelerine yapılan yatırımın karlılığını artırmaktır (Sims and Kienzle, 2017). Yerel bir mekanizasyon

kooperatifine ortaklık, aile çiftçileri üzerinde düşük riskle uygun maliyetli mekanizasyona erişme kapasiteleri, ölçek ekonomileri, teknolojik yenilik, yeterlilik ve bilgi paylaşımı açısından çok önemli bir etkiye sahiptir. Bu kooperatifler Fransız tarımsal kalkınmasında önemli bir rol oynamaktadır. Fransa'daki çiftçilerin %40'ının bu kooperatiflere ortaklığı bulunmaktadır (Herbel et al., 2015).

### **Sürdürülebilir Tarımsal Mekanizasyonda Strateji Geliştirme**

Tipik bir sürdürülebilir tarım mekanizasyonu formülasyonu birkaç adımdan oluşmaktadır (CSAM, 2011).

**1. Adım:** ilk adım sürdürülebilirliği artırmak amacıyla mevcut ulusal çiftlik mekanizasyon durumunun bir analizidir. Bu aşamadan elde edilen veriler, mevcut potansiyelin kullanılmasını sağlamak ve sorunları hafifletmesi beklenen olası müdahalelerin belirlenmesi için bir ön koşul oluşturmaktadır. Benzer şekilde, bu adımda, çiftlik mekanizasyonunu etkileyen politika konuları belirlenip, sorunlu alanların ve kısıtlamaların analizi yapılmaktadır. Bu işlem genellikle tarım bakanlıkları yetkilileri ve diğer bakanlıklar ile yakın iş birliği içinde yürütülmektedir. Bu şekilde, politik önlemlerin tarımsal mekanizasyon üzerindeki etkileri ve bunun tarımsal üretim üzerindeki potansiyel etkisi hakkında farkındalık yaratılabilmektedir.



Şekil 2. Strateji oluşturmanın ana adımları (Kaynak: CSAM, 2011)

**2. Adım:** ikinci adım, optimum gelecek senaryolarını veya hedeflerini belirlemektir. Ortaya çıkan strateji, mevcut durumdan bu hedefe geçmek için gerekli eylemlerin tanımından oluşmaktadır. Genel olarak, hem özel sektör hem de devlet ile ilgili rollerini tanımlayan bölümlere ayrılmaktadır.

**3. Adım:** Son olarak, strateji, politika yapıcılara ve planlamacılara stratejiyi- Eylem Planını- uygulamada yardımcı olmak için takip eylemlerini ve faaliyetlerini açıkça tanımlamalıdır. Bu takip faaliyetleri genellikle alt sektördeki bozulmaları düzeltmek için politika düzenlemeleri, imalat, ticari şirketler ve çiftlik mekanizasyonunu geliştirmeye yönelik yatırım planları ve alt sektörün gelişimi için gerekli, gerçekçi ve gerçekleştirilebilir hükümet eylem ve faaliyetlerinin tanımlanmasından oluşmaktadır.

## **SONUÇ**

Bu çalışma literatür taramasına dayanarak sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon stratejisi ve çerçevesini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Sonuçlara göre tarım sistemleri, sürdürülebilir tarımsal mekanizasyon analizinin merkezinde yer alır. Üretim modeli, kaynakların mülkiyeti, hane halkının çiftçiliğe katılımı, cinsiyete dayalı iş bölümü, çevresel kaygılar ve çiftlik işletmelerinin karlılığı, sürdürülebilir tarımsal mekanizasyonun kapsamını etkilemektedir. Uygun bir mekanizasyon stratejisi dikkate alınmadan tarımsal üretimi artırmaya yönelik herhangi bir girişimin başarısı olanaksızdır.

Gıda sistemlerinin yüzleşmek zorunda kalacağı iklim değişikliği, karbondioksit emisyonları gibi ortaya çıkan küresel sorunların üstesinden gelmek için çevre dostu yeni ve yenilikçi çözümler araştırılmalıdır. Bununla beraber Kamu sektörü ve/veya hükümetler tarafından, tarım makineleri, alet ve teçhizatın yanı sıra diğer destek hizmetlerinin sağlanması için çiftçilere düşük faizli kredi ve/veya sübvansiyonlar yoluyla mekanizasyon teknolojilerinin benimsenmesini teşvik etmeye yönelik desteklere öncelik verilmeli ayrıca tarımsal mekanizasyonun geliştirmek amacıyla gençlere özellikle motorizasyon ve dijitalleşme alanlarında destek sağlanarak genç girişimciler belirlenip, teşvik edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Aytop, Y., ve Akbay, C. (2018). Baharatlık Kırmızı Biber (Maraş Biberi) Üretiminin Ekonomik Analizi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(4), 455-464.
- Banerjee, S., Punekar, R. M., Joshi, S. N., Karmakar, S., and Dhar, D. (2020). Sustainability-Orienting Design Support for Farm Machinery Design.
- Bayramoğlu, Z., ve Bozdemir, M. (2018). Tarımda Teknoloji Kullanımının İşgücü Verimliliğine ve İstihdama Etkisi. 2. *Uluslararası Ekonomi Araştırmalar ve Finansal Piyasalar Kongresi*, 12, 14.
- Bortolini, M., Cascini, A., Gamberi, M., Mora, C., and Regattieri, A. (2014). Sustainable Design and Life Cycle Assessment of An innovative Multi-functional Haymaking Agricultural Machinery. *Journal of Cleaner Production*, 82, 23-36.
- CSAM. (2011). Roundtable on Developing Environmentally Sustainable Agricultural Mechanization Strategies (SAMS) for Countries in the Asia-Pacific Region, <https://www.un-csam.org/Activities%20Files/A1112Rt/FinalRTReport.pdf>.
- Çelik, A., Baran, M.F. (2018). Adıyaman İli Toprak Yapısı ve Tarımsal Mekanizasyon Durumu. Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Akademik Çalışmalar. Gece Kitaplığı, Ankara, s.61-74.
- Emami, M., Almassi, M., and Bakhoda, H. (2018). Agricultural Mechanization, a Key to Food Security in Developing Countries: Strategy Formulating for Iran. *Agriculture & Food Security*, 7(1), 1-12.
- Erbaş, N. (2020). Yozgat İli Tarım İşletmelerinde Kışlık Buğday (*Triticum aestivum* L.) Üretiminin Maliyet Analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(2), 1318-1328.
- ESCAP, U. (2020). Impact of Covid-19 on Agriculture in The Asia-Pacific Region and Role of Mechanization.



- FAO. (2017). [http://www.act-africa.org/lib.php?com=5&res\\_id=319](http://www.act-africa.org/lib.php?com=5&res_id=319)(Erişim tarihi: 20.12.2022)
- FAO. (2022). <https://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization>, (Erişim tarihi: 20.12.2022)
- Fischer, G., Wittich, S., Malima, G., Sikumba, G., Lukuyu, B., Ngunga, D., and Rugalabam, J. (2018). Gender and Mechanization: Exploring The Sustainability of Mechanized Forage Chopping in Tanzania. *Journal of Rural Studies*, 64, 112-122.
- Herbel, D., Rocchigiani, M., and Ferrier, C. (2015). The Role of The Social and Organisational Capital in Agricultural Co-operatives' Development Practical lessons from The CUMA Movement. *Journal of Co-operative Organization and Management*, 3(1), 24-31.
- Houmy, K., Flores Rojas, M. and Side, C. (2021). Agri-Hire in Sub-Saharan Africa – Business Models for Investing in Sustainable Mechanization. Rome, FAO.
- Justice, S., Flores Rojas, M., and Basnyat, M. (2022). Empowering Women Farmers – A Mechanization Catalogue for Practitioners. Rome, FAO.
- Karadaş, K. (2016). Ağrı İli Tarım İşletmelerinde Buğday Üretim Maliyetinin Hesaplanması. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 31(2).
- Kormawa, P., Mrema, G., Mhlanga, N., Fynn, M. K., Kienzle, J., and Mpagalile, J. (2018). Sustainable Agricultural Mechanization: a Framework for Africa. FAO, <http://act-africa.org/.../ca1136en.pdf>, (Erişim tarihi: 18.12.2022)
- Lee, H., Jeon, J., seon Park, J., Kim, G., and Yoon, S. (2012). Developing a Combination Model of Agricultural Machine for Optimization GHG's Based on LCA. In *Dallas, Texas, July 29-August 1*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Leiva, F. R., and Morris, J. (2001). PH—Postharvest Technology: Mechanization and Sustainability in Arable Farming in England. *Journal of agricultural engineering research*, 79(1), 81-90.

- Li, Z., Zhu, M., Huang, H., Yi, Y., and Fu, J. (2022). Influencing Factors and Path Analysis of Sustainable Agricultural Mechanization: Econometric Evidence from Hubei, China. *Sustainability*, 14(8), 4518.
- Mavioğlu, M. N., ve Çobanoğlu, F. (2019). İzmir Yöresindeki Üreticilerin Mekanizasyon Düzeylerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16(1), 19-26.
- Mrema, G., Soni, P., and Rolle, R. S. (2014). A Regional Strategy for Sustainable Agricultural Mechanization: Sustainable Mechanization Across Agri-Food Chains in Asia and The Pacific Region. *RAP Publication*, (2014/24).
- Özdemir, İ., 2006, Tarım Makinalarının Kullanım Maliyetlerinin Hesaplanmasına İlişkin Bilgisayar Programının Geliştirilmesi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 38s.
- Özgüven, F. 2022, <https://tarimmakinalari.cu.edu.tr/storage/Serdar%20öztekin%20ders%20notu/Tarimsal%20Mekanizasyon%201.pdf> (Erişim tarihi: 16.12.2022)
- Sims, B., and Kienzle, J. (2017). Sustainable Agricultural Mechanization for Smallholders: What is It and How Can We Implement It?. *Agriculture*, 7(6), 50.
- Sims, B., ND Kienzle, J. (2016). Making Mechanization Accessible to Smallholder Farmers in Sub-Saharan Africa. *Environments*, 3(2), 11.
- Yılmaz, H., Demircan, V., 2005. Türkiye'de Nohut Üretim Maliyeti ve Gelirinin İller arası Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi (An Inter Provincial Comparison Investigation of Chick-Pea Production Cost and Income in Turkey). Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, cilt:20, sayı:4, 37-46, Adana.
- Yücel, M., ve Çalışkan, Z. (2020). Tarımda Verimlilik ve Makineleşmenin Tarımsal İstihdam Üzerindeki Etkisi. *Ekonomik Yaklaşım Dergisi*, 31(117).



## **CHAPTER 14**

# **BIOLOGICAL TREATMENT OF AIR POLLUTANTS FROM ANIMAL BARN OPERATIONS: PHOTOBIOREACTOR SYSTEMS**

Arş. Gör. Seyit UĞUZ



## **INTRODUCTION**

Due to the increasing population, the demand for animal products is increasing day by day. In developed countries, the livestock sector has become indispensable to the country's economy and industry. This situation reveals that the livestock sector needs to be developed at the national and international levels. In general, adverse effects of greenhouse gas concentrations on climate change are observed in many sectors, including agriculture and livestock. The negative environmental impacts of polluting gases originating from animal production, especially global warming, disturb producers, environmentalists and relevant government institutions day by day.

Greenhouse gases have become an environmental problem due to their harmful effects on global warming. One of the primary sources of greenhouse gases is livestock enterprises. While the emission values originating from the transportation sector in the world are 5656 Tg per year as carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) equivalent, it is 7100 Tg in the livestock sector. This shows that greenhouse gas emissions from the livestock sector are higher than in other sectors (Rojas-Downing, 2017). Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), ammonia (NH<sub>3</sub>), and hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) gases are the leading polluting gases released from activities such as keeping animals in livestock enterprises, manure management, storage and application of manure to the land (Rotz, 2017).

According to the 2016 greenhouse gas inventory results in the national inventory report submitted by Turkey in 2018 within the scope of the Climate Change Framework Agreement, the total greenhouse gas

emission in 2016 was calculated as 496.1 million tons (Mt) as CO<sub>2</sub> equivalent. 72.8% of this is from energy sources, 12.6% from industrial enterprises, 11.4% from agricultural activities and 3.3% from waste. When compared to 1990 greenhouse gas emission values, it is seen that there is an increase of 135.4%. While the greenhouse gas emission per capita as CO<sub>2</sub> equivalent was 3.8 tons/person in 1990, this value became 6.3 tons/person in 2016. On the other hand, greenhouse gas emissions from the agricultural sector increased by 33.2% compared to 1990 and reached a value of 56.5 Mt as CO<sub>2</sub> equivalent. Methane emissions, which constitute 55.5% of total greenhouse gas emissions, originate from the agricultural sector (Anonymous, 2018).

The primary purpose of reducing greenhouse gases in Turkey and the world is its negative effect on global warming. However, reducing greenhouse gases in agriculture and animal husbandry positively affects animal production and environmental impact. For example, the reduction of pollutant gases in the indoor environment of a dairy cattle farm provides an increase in milk yield and the welfare of animals in a healthier environment. The aim of reducing greenhouse gas emissions is not just an increase in efficiency. Reducing emissions has become a legal requirement in many developed or developing countries. One of these legal responsibilities is the Kyoto Protocol. According to studies conducted in Australia and New Zealand, it has been observed that carbon tax, which is one of the legal obligations of enterprises arising from greenhouse gas, will cause a 7% decrease in the average profit of a dairy cattle business (Ozkan, 2013).

As a party to the UNFCCC within the United Nations Framework Convention on Climate Change scope, Turkey has agreed to reduce emissions until 2030. In this context, reduction strategies have been developed to reduce emissions from the agricultural sector. Among these strategies, Consolidation and fuel-saving, improvement of pastures, manure management and modern farming practices are included. Unfortunately, no reduction strategy covers enteric fermentation, which has the highest emission source in agricultural production. The greenhouse gases originating from agriculture derive from enteric fermentation (47%), agricultural soils (40%), manure management (11%) and other wastes (2%) (Agacayak and Ozturk, 2017).

Applications to reduce greenhouse gases originating from the agricultural sector in the world have increased in the last ten years (Balafoutis et al., 2017). The financial support given to scientific studies on reducing polluting gases in the United States and European countries is also relatively high. Despite the harmful effects of greenhouse gas emissions on agriculture, animal husbandry, and global warming, there are few scientific studies on reducing emissions in Turkey. Following the Kyoto protocol, there is an obligation to bring legal regulations regarding controlling and reducing emissions emitted from animal operations in Turkey.

- **Pollutant gas emissions and current mitigation methods**

Animal production, among agricultural activities, is the source of harmful gases that affect animals, the environment and human health.



These toxic gases are Methane (CH<sub>4</sub>), Ammonia (NH<sub>3</sub>) and Nitrogen oxide (N<sub>2</sub>O), and these gases affect the environment by acidification and eutrophication. CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O gases, known as greenhouse gases, cause global warming. These gases are released in agricultural production by emitting from barns into the atmosphere through ventilation systems and applying fertilizers to agricultural lands (Hinz et al., 2008; Amon et al., 2001).

Pollutant gas emissions depend on various parameters such as animals, animal barns and environmental conditions. Many studies have been carried out to measure the gas concentration of animal barns. For the dairy cattle houses, some gas concentration ranges were reported as 1.4-38.9 ppm for NH<sub>3</sub> (Zhao et al., 2007; Snell et al., 2003; Zhang et al., 2007), 513-1430 ppm for CO<sub>2</sub> (Brose et al., 1998, Jungbluth et al., 2001) and 84-123 ppm for CH<sub>4</sub> (Snell et al., 2003; Brose et al., 1998). Pollutant gas concentrations for the poultry houses were reported as 3.25-15.1 ppm for NH<sub>3</sub>, 210-715 ppm for CO<sub>2</sub> (Kocaman et al., 2006; Liang et al., 2005; Redwine et al., 2003), 1.93 ppm for the CH<sub>4</sub> (Okoli et al., 2004).

There are various studies in the literature on the reduction of polluting gases originating from animal operations. Maurer et al. (2016) summarized the explored mitigation technologies for greenhouse gas emissions. Many of the studies aimed to reduce gases by controlling the feed content of animals (Le et al., 2007; Ogink and Verstegen, 2006), scrubbers (Mostafa et al., 2020; Aarnink et al., 2011; Melse and Ogink, 2005), manure management systems (Montes et al., 2013) and ventilation systems (Dubenova et al., 2014). Mostafa et al. (2016)

developed two different methods, namely "air scrubber" and "water-oil mixed spray", to reduce the emissions of ammonia and particulate matter. They investigated the efficiency of these methods in pig houses with a capacity of 515 and 680 heads. They reported average emission reduction rates of 61% for PM10 and 32% for NH<sub>3</sub>.

- **Mitigation of pollutant gas emissions by photobioreactor systems**

Microalgae, a renewable energy source, attract great attention due to rapid growth, superior photosynthetic efficiency and low nutritional requirements. In addition, there are opportunities to use the algae as biofuels, nutrients and animal feed, pharmaceuticals, and cosmetics (Yen et al., 2015). Algae are primary organisms that take part in the natural CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> balance.

Microalgae production systems are divided into open systems and closed systems. Open systems are easy and economical to install, while closed systems are more complex and costly. However, in closed systems, the biomass yield is higher and easy to control algae growth parameters (Ahmad et al. 2021). Open ponds have advantages such as low installation costs and energy consumption. Industrial-scale open pond systems can be installed in areas of 1000-5000 m<sup>2</sup>. On the other hand, the common disadvantage of open ponds is bacterial contamination due to the outdoor environment. Open pond systems have low biomass productivity because of environmental factors such as variable temperature, insufficient lighting and lack of nutrients (Zhou

et al., 2020). Figure 1 shows the open and closed photobioreactor systems

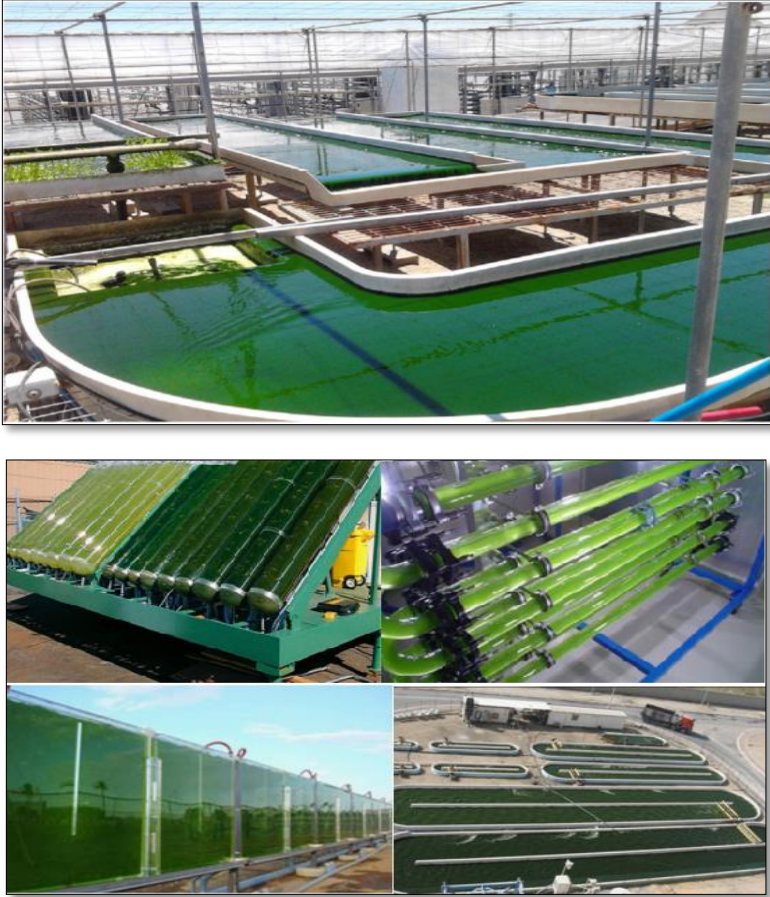


Figure 1. Open and closed systems (Morales-Amaral et al., 2015; Bitog et al., 2011)

Closed systems are generally defined as photobioreactors (PBR) which provide controlled environmental conditions (light, nutrients, temperature, pH) for algal growth. The advantages of photobioreactor systems are higher photosynthesis efficiency, biomass yield, less contamination risk and water loss. Different photobioreactor systems have been developed for efficient and economic microalgae production.

These are plastic bags (Kim et al., 2016), tubular (Richmond et al., 1993), flat-plate, air-lift (Ugwu et al. 2002), stirred-tank photobioreactors (Zhang et al., 2013).

Recently, microalgae have been used for multiple purposes, such as wastewater treatments, and animal manure effluents as a biological treatment (Osabutey et al., 2023). Keffer and Kleinheinz (2002) investigated the development of *Chlorella Vulgaris* in a photobioreactor with 1850 ppm CO<sub>2</sub> gas and reported the 63.9 g/m<sup>3</sup>/h carbon dioxide absorption capacity. They concluded that photobioreactors have a positive effect on reducing point-source carbon dioxide emissions. Negoro et al. (1991) investigated the impact of SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> components on the development of salt-tolerant marine algae. They observed no change in the growth of 3 different algae species (*Nannochloris sp.*, *Phaeodactylum tricorntutum* and *Nannochloropsis sp.*) up to 50 ppm SO<sub>2</sub> concentration. In addition, high concentrations of SO<sub>2</sub> gas (400 ppm) caused inhibition of algae culture as it lowered the pH in the algae growth medium. Chiu et al. (2008) examined the effect of CO<sub>2</sub> emissions on algae growth and cell density for *Chlorella sp.* CO<sub>2</sub> reduction rates at 2%, 5%, 10% and 15% CO<sub>2</sub> concentrations were found to be 0.261, 0.316, 0.466 and 0.573 g h<sup>-1</sup>, and CO<sub>2</sub> absorption capacities as 58%, 27%, 20% and 16%, respectively.

On the other hand, researchers have reported that the PBR systems can use ammonia, carbon dioxide and other pollutants emitted from animal feeding operations (Uguz et al., 2022, Kang et al., 2013). Uguz et al. (2022) tested two PBRs in a nursery pig barn to mitigate NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub>

gas concentrations by growing *Scenedesmus Dimorphus*. Two pollutants were removed from barn pit air to produce algal biomass and oxygen gas. They reported the average mitigation efficiency of 31-50% NH<sub>3</sub> and 1-1.7% CO<sub>2</sub>. The costs for removing 1 g NH<sub>3</sub> and CO<sub>2</sub> were reported as \$3.77 and \$0.20, respectively.

Kang et al. (2013) cultivated a microalgae culture (*Scenedesmus dimorphus*) in a closed system photobioreactor to reduce ammonia gas with five different doses of ammonia (9.4, 19.3, 28.9, 39.9, 55.6 mg/L-day), four different pH values (5, 6, 7, 8) and four dilutions rates (D=0.05, 0.1, 0.2, 0.3 day<sup>-1</sup>). The highest cell density was obtained at 0.1-litre dilution daily, 39.9 mg/L-day ammonia, and pH=7. Ammonia gas emitted from animal production has positively affected the algal growth in closed photobioreactors. In this way, they concluded that microalgae cultivation reduces ammonia gas, one of the polluting gases from poultry enterprises. They also examined the nutritional value of the harvested biomass and stated that it could be used as animal feed because it provides sufficient amino acid dietary values. Kang and Wen (2015) grew a green alga (*Scenedesmus dimorphus*) in an air-fed flat panel photobioreactor with CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> gas. Ammonia gas was fixed at 42.4 mg/L per day, and CO<sub>2</sub> gas was given in the range of 0.64 to 5.49 g/L per day. The highest CO<sub>2</sub> absorption efficiency (78%) was obtained at 0.64 g/L.day CO<sub>2</sub> loading. They found the nutrient content of the biomass as 7-8% fat, 55-60% protein and 21-28% carbohydrates. These nutritional values concluded that the biomass content has similar properties to the ideal protein profile in animal feed.

According to the studies in the literature, it can be seen that ammonia gas originating from animal products has a positive effect on the development of algae culture. In this way, they concluded that microalgae cultivation positively reduces ammonia gas, one of the polluting gases from poultry enterprises. In addition, it has been determined that the harvested biomass can be used as animal feed because it provides sufficient amino acid nutritional values. Figure 2 shows the biomass and animal feed production by giving pollutant gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) to the photobioreactor system.

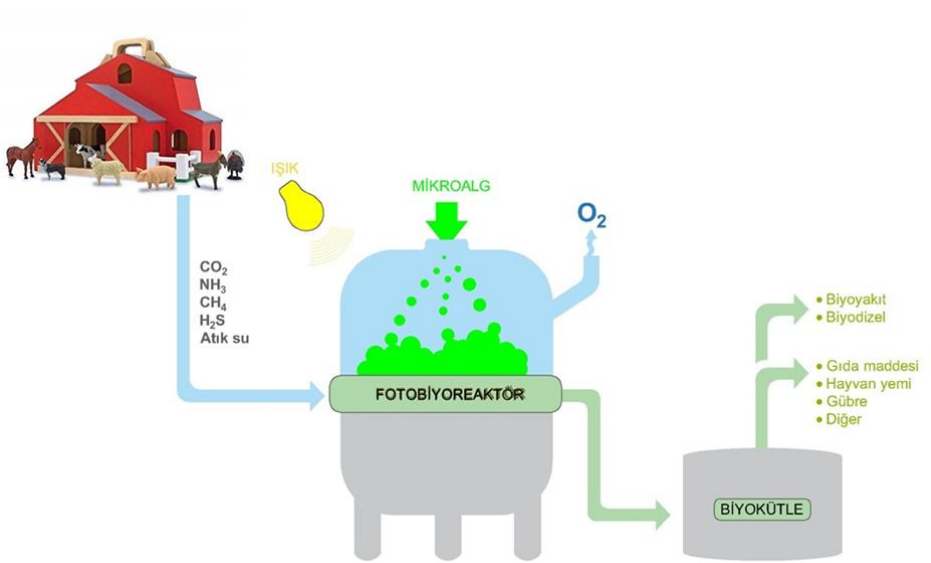


Figure 2. Concept of the biomass and animal feed production by giving pollutant gases to the photobioreactor system

## CONCLUSION

Microalgae have emerged as renewable raw material sources in line with the increasing need for alternative energy sources in recent years.

As a renewable resource, microalgae have an essential role in reducing pollutant gas emissions, especially CO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub>. The fact that microalgae have very high growth rates and, therefore biomass yields, do not need arable land for their production, contain high oil, and use carbon dioxide and other greenhouse gases, primarily waste flue gases, show that they are an economically sustainable energy source.

Within the scope of this study, it was aimed to focus on microalgae as an alternative mitigation method for reducing pollutant gases originating from animal feeding operations. Microalgae grown in a closed type photobioreactor can be fed with pollutant gases and used as biofuel and animal feed as output products. Since photobioreactor systems are a sustainable environmental ecosystem, animal barns designed with closed-type photobioreactor systems can be considered as sustainable facilities.

## REFERENCES

- Aarnink, A. J. A., Landman, W. J. M., Melse, R. W., Zhao, Y., Ploegaert, J. P. M., & Huynh, T. T. T. (2011). Scrubber capabilities to remove airborne microorganisms and other aerial pollutants from the exhaust air of animal houses. *Transactions of the ASABE*, 54(5), 1921-1930. DOI: 10.13031/2013.39833
- Ağaçayak, T., & Öztürk, L. (2017). Türkiye’de Tarım Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasına Yönelik Stratejiler. *Sabancı Üniversitesi, İstanbul Politikalar Merkezi Stiftung Mercator Girişim Eylül*.
- Ahmad, I., Abdullah, N., Koji, I., Yuzir, A., & Muhammad, S. E. (2021, April). Evolution of Photobioreactors: A Review based on Microalgal Perspective. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1142, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- Amon, B., Amon, Th., Boxberger, J., Alt, Ch. (2001). "Emissions of NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading)", *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60, 103-113.
- Anonymous, (2018). Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2016. National Inventory Report for submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change. *Turkish Statistical Institute*.
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Wall, T., Soto, I., Gomez-Barbero, M., Barnes, A., Eory, V. (2017). Precision Agriculture Technologies Positively Contributing to GHG Emissions Mitigation, Farm Productivity and Economics. *Sustainability*, 9, 1339; DOI:10.3390/su9081339.
- Bitog, J. P., Lee, I. B., Lee, C. G., Kim, K. S., Hwang, H. S., Hong, S. W., ... & Mostafa, E. (2011). Application of computational fluid dynamics for modeling and designing photobioreactors for microalgae production: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76(2), 131-147.
- Brose, G., Hartung, E., Jungbluth, T (1998) Influences on and measurement of ammonia and greenhouse gas emissions from dairy houses, *AgEng Oslo* 98, E-054.



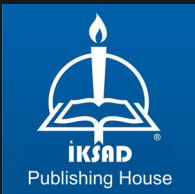
- Chiu, S., Kao, C., Chen, C., Kuan, T., Ong, S., Lin, C. (2008). Reduction of CO<sub>2</sub> by a high-density culture of *Chlorella* sp. in a semicontinuous photobioreactor. *Bioresource Technology*, 99, 3389–3396. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.08.013
- Çukur, F., Saner, G. 2005. Konvansiyonel ve ekolojik hayvancılık sistemlerinin sürdürülebilirliği ve Türkiye üzerine bir değerlendirme. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(1), 39 - 44.
- del Mar Morales-Amaral, M., Gómez-Serrano, C., Ación, F. G., Fernández-Sevilla, J. M., & Molina-Grima, E. (2015). Outdoor pre-cultivation of *Scenedesmus* sp. in thin-layer and raceway reactors using centrate from anaerobic digestion as the sole nutrient source. *Algal research*, 12, 99-108. DOI: 10.1016/j.algal.2015.08.020
- del Mar Morales-Amaral, M., Gómez-Serrano, C., Ación, F. G., Fernández-Sevilla, J. M., & Molina-Grima, E. (2015). Outdoor production of *Scenedesmus* sp. in thin-layer and raceway reactors using centrate from anaerobic digestion as the sole nutrient source. *Algal Research*, 12, 99-108.
- Dubeňová, M., Šima, T., Gálik, R., Mihina, Š., Vagač, G., & Boďo, Š. (2014). Reduction of nitrous oxide and carbon dioxide in the pig barn piggery by different ventilation system intensities. *Agronomy Research*, 12(1), 207-214.
- Hinz, T., Linke, S., Eisenschmidt, R., Müller, H-J., Bobrutzki, K.V. (2008). “Small scale dispersion of ammonia around animal husbandries”, *Agriculture and Forestry Research*, 4, 58, 295-306.
- Kang, J., Wang, T., Xin, H., Wen, Z. (2013). A laboratory study of microalgae-based ammonia gas mitigation with potential application for improving air quality in animal production operations. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64(3):330–339. DOI: 10.1080/10962247.2013.859185
- Kang, J., Wen, Z. (2015). Use of microalgae for mitigating ammonia and CO<sub>2</sub> emissions from animal production operations — Evaluation of gas removal efficiency and algal biomass composition. *Algal Research*, 11, 204–210. DOI: 10.1016/j.algal.2015.06.020

- Keffer, J. E., Kleinheinz, G. T. (2002). Use of *Chlorella vulgaris* for CO<sub>2</sub> mitigation in a photobioreactor. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 29, 275 – 280. DOI: 10.1038/sj.jim.7000313
- Kim, Z. H., Park, H., Hong, S. J., Lim, S. M., & Lee, C. G. (2016). Development of a floating photobioreactor with internal partitions for efficient utilization of ocean wave into improved mass transfer and algal culture mixing. *Bioprocess and biosystems engineering*, 39(5), 713-723.
- Kocaman, B., Esenbuga, N., Yıldız, A., Laçın, E., Macit, M. (2006) Effect of environmental conditions in poultry houses on the performance of laying hens, *International Journal of Poultry Science*, 5, 26-30
- Le, P. D., Aarnink, A. J. A., Jongbloed, A. W., Van Der Peet Schwing, C. M. C., Ogink, N. W. M., & Verstegen, M. W. A. (2007). Effects of crystalline amino acid supplementation to the diet on odor from pig manure. *Journal of animal science*, 85(3), 791-801. DOI: 10.2527/jas.2006-644
- Liang, Y., Xin, H., Wheeler, E. F., Gates, R. S., Li, H., Zajaczkowski, J. S., Topper, P. A., Casey, K. D., Behrends, B. R., Burnham, D. J., Zajaczkowski, F. J. (2005) Ammonia emissions from u.s. laying hen houses in iowa and pennsylvania, *Transactions of The ASAE*, Vol 48(5), 1927-1941. DOI: 10.13031/2013.20002
- Maurer, D. L., Koziel, J. A., Bruning, K., & Parker, D. B. (2017). Farm-scale testing of soybean peroxidase and calcium peroxide for surficial swine manure treatment and mitigation of odorous VOCs, ammonia and hydrogen sulfide emissions. *Atmospheric Environment*, 166, 467-478.
- Melse, R. W., & Ogink, N. W. M. (2005). Air scrubbing techniques for ammonia and odor reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. *Transactions of the ASAE*, 48(6), 2303-2313. DOI: 10.13031/2013.20094
- Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Hristov, A. N., Oh, J., ... & Dijkstra, J. (2013). SPECIAL TOPICS—mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *Journal of animal science*, 91(11), 5070-5094. DOI: 10.2527/jas.2013-6584

- Mostafa, E., Hoelscher, R., Diekmann, B., Ghaly, A. E. (2016). Evaluation of two indoor air pollution abatement techniques in forced-ventilation fattening pig barns. *Atmospheric Pollution Research*, 428-438. DOI: 10.1016/j.apr.2016.11.003
- Negoro, M., Shoji, N., Miyamoto, K., Miura, Y. (1991). Growth of Microalgae in High CO<sub>2</sub> Gas and Effects of SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub>. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. vol. 28/29.
- Ogink, M., & Verstegen, M. W. A. (2006). Effects of crystalline amino acid supplementation to the diet on odor from pig. DOI: 10.2527/jas.2006-644
- Okoli, I.C., Alaehie, D.A., Akanno, E.C., Okoli, C.G., Opara, M.N., Uchegbu, M.C., Ogondu, U.E., Ihekwumere, F.C. (2004) Concentrations of aerial pollutant gases in selected poultry pens in Imo State, Nigeria, *Inter. Jour. of Poultry Sci.* 3, 427-431
- Osabutey, A., Haleem, N., Uguz, S., Min, K., Albert, K., Anderson, G., & Yang, X. (2022). Growth of *Scenedesmus dimorphus* in swine wastewater with versus without solid-liquid separation pretreatment. *Bioresource Technology*, 128434.
- Özkan, Ş. 2013. Türkiye'de hayvancılık kaynaklı sera gazı üretimi ve azaltma yöntemleri. *Erciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, Derleme, 10(3), 185-192.
- Redwine, J.S., Lacey R.E., Mukhtar S., Carey J.B. (2003) Concentration and emissions of ammonia and particulate matter in tunnel ventilated broiler houses under summer conditions in Texas, *Transactions of the ASAE*, Vol 45 (4), 1101-1109. DOI: 10.13031/2013.9943
- Richmond, A., Boussiba, S., Vonshak, A., & Kopel, R. (1993). A new tubular reactor for mass production of microalgae outdoors. *Journal of Applied Phycology*, 5(3), 327-332.
- Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145–163. DOI: 10.1016/j.crm.2017.02.001
- Rotz, C. A. (2017). Modelling greenhouse gas emissions from dairy farms. *J. Dairy Sci.* 101:1–16. DOI: 10.3168/jds.2017-13272

- Şahin, Y., Akyurt, İ. (2010). Planktonlar ve Fotobiyoreaktörler. Derleme. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, Yıl: 1 Volume: 1 Number: 2 Sayfa: 83-92.
- Snell, H.G.J., Speilt, F., Van dan Weghe, H.F.A. (2003). Ventilation rates and gaseous emissions from naturally ventilated dairy houses, *Biosystems Eng.*86, 67-73. DOI: 10.1016/S1537-5110(03)00113-2
- Soydemir, G. (2016). *Atıksu Ortamında Yetiştirilen Mikroalglerin Yağının Karakterizasyonu ve Değerlendirilmesi*. Doktora tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze Teknik Üniversitesi.
- Uguz, S., Anderson, G., Yang, X., Simsek, E., & Osabutey, A. (2022). Cultivation of *Scenedesmus dimorphus* with air contaminants from a pig confinement building. *Journal of Environmental Management*, 314, 115129.
- Ugwu, C., Ogbonna, J., & Tanaka, H. (2002). Improvement of mass transfer characteristics and productivities of inclined tubular photobioreactors by installation of internal static mixers. *Applied microbiology and biotechnology*, 58(5), 600-607.
- Yen, H., Ho, S., Chen, C., Chang, J. (2015). CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> removal from flue gas via microalgae cultivation: A critical review. *Biotechnol. J.*, 10, 829–839. DOI: 10.1002/biot.201400707
- Zhang, Q, Zhou, X. J., Cicek, N., Tenuta, M. (2007) Measurement of odour and greenhouse gas emissions in two swine farrowing operations, *Canadian Biosys.Eng.*, 49, 13-20
- Zhang, T. (2013). Dynamics of fluid and light intensity in mechanically stirred photobioreactor. *Journal of biotechnology*, 168(1), 107-116.
- Zhao, L.Y., Brugger, M.F., Manuzan, R.B. Arnold, G., Imerman, E. (2007) Variations in air quality of new ohio dairy facilities with natural ventilation systems. *Appl. Engineering in Agriculture*, 23 (3), 339-346. DOI: 10.13031/2013.22684
- Zhou, W., Lu, Q., Han, P., & Li, J. (2020). Microalgae cultivation and photobioreactor design. In *Microalgae Cultivation for Biofuels Production* (pp. 31-50). Academic Press.





ISBN: 978-625-6955-97-4