

TEORİK VE UYGULAMALI MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNCAN



İKSAD
Publishing House

TEORİK VE UYGULAMALI MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNCAN

YAZARLAR

Doç. Dr. Melih KUNCAN

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ

Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNCAN

Dr. Öğr. Üyesi İlter Şahin AKTAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Kaplan KAPLAN

Dr. Öğr. Üyesi Osman ÜLKİR

Dr. Öğr. Üyesi Sıtkı ÖZTÜRK

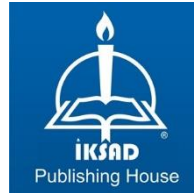
Dr. Serdar ABUT

Dr. M. Said BAYRAKLILAR

Ekrem Hayri ÇAKALOĞLU

Erhan ONAT

Salih Rahmi TURAN



Copyright © 2021 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.
Iksad Publications – 2021©

ISBN: 978-625-8061-06-2
Cover Design: İbrahim KAYA
December / 2021
Ankara / Turkey
Size = 16 x 24 cm

İÇİNDEKİLER

EDİTÖRDEN

ÖN SÖZ

Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNCAN.....1

BÖLÜM 1

ENERJİ UYGULAMALARI İÇİN EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Salih Rahmi TURAN, Dr. Öğr. Üyesi Osman ÜLKİR,

Doç. Dr. Melih KUNCAN.....3

BÖLÜM 2

SERVO MOTOR VE ASENKRON MOTOR KONTROLÜ İLE UÇAN TESTERE UYGULAMASI

Ekrem Hayri ÇAKALOĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Sıtkı ÖZTÜRK

Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNCAN, Dr. Öğr. Üyesi Kaplan KAPLAN.....43

BÖLÜM 3

COVID'19 GÖRÜNTÜLERİNİN AKILLI MODELLER İLE SINIFLANDIRMASINA İLİŞKİN BİR ARAŞTIRMA

Dr. Öğr. Üyesi Kaplan KAPLAN, Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNCAN

Doç. Dr. Melih KUNCAN.....81

BÖLÜM 4

FİBER TAKVİYELİ ELASTOMERİK YATAKLARIN DEPREM İZOLATÖRÜ OLARAK KULLANILMASI

Dr. M. Said BAYRAKLILAR.....107

BÖLÜM 5

MODELLEME VE SİMÜLASYON

Dr. Serdar ABUT.....135

BÖLÜM 6

RÜZGÂR SANTRALİ İÇİN BAZI TASARIM PARAMETRELERİNİN AÇIKLANMASI

Dr. Öğr. Üyesi İlter Şahin AKTAŞ.....157

BÖLÜM 7

POTASYUM BORHİDRÜRÜN HİDROLİZİ İÇİN ODA SICAKLIĞINDA KİMYASAL REAKSİYON YOLUYLA YENİ BİR RU-CO-B/PERLİT KATALİZÖRÜNÜN SENTEZİ

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ, Erhan ONAT.....171

BÖLÜM 8

GRAFEN OKSİT DESTEKLİ YENİ NESİL KATALİZÖRLERİN ÜRETİMİ VE POTASYUM BORHİDRÜR HİDROLİZİNDE İNCELENMESİ

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ.....185

ÖN SÖZ

Her geçen gün dünyada farklı ve yenilikçi yaklaşımların çıktığı görülmektedir. Bununla birlikte gelişen yeni teknolojik cihazlar ile bilim, sanayi, Ar-Ge faaliyetleri hızlı bir şekilde ivmelenmeye devam etmektedir. Bu çalışmalara en önemli katkı sağlayan bilim dallarından birisinin de mühendislik uygulamaları olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca son yıllarda özellikle disiplinler arası çalışmaların çok daha önemli olduğunu tıp, sanayi, savunma sanayi vb. birçok alanda ve akademik çalışmaları yakinen tüm dünya görmüştür. Bu kitabın en önemli amaçlarından birisi de disiplinler arası çalışmaların bir arada olarak tüm öğrencilerin, öğretmenlerin, akademisyenlerin, sanayicilerin, Ar-Ge çalışmaları yapan kişilerin, araştırmacıların ve bu alanlara ilgi duyan tüm insanlara fayda sağlaması adına yapılmıştır. Kitap çalışması toplamda sekiz bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerin içerikleri kısaca aşağıda ifade edilmiştir.

Kitabın birinci bölümünde, son yıllarda giderek önem kazanan birçok araştırmacının ve endüstriyel firmaların yakinen ilgilendiği eklemeli imalat teknolojisi alanında yapılan bir bölümdür.

Kitabın ikinci bölümünde, kontrol alanında önemli bir konulardan olan motor kontrolü üzerinde yapılan gerçek zamanlı olarak prototip olarak bir uçan testere uygulaması yapılmıştır. Akademik olarak elde edilen teorik bilgiler bu test düzeneği üzerinde gerçek zamanlı olarak test edilmiş ve sistemin başarısı incelenmiştir. Yapılan çalışmanın ilerleyen süreçte ürün haline getirilerek sanayide kullanılabilecek potansiyel bir ürün olması hedeflenmektedir.

Kitabın üçüncü bölümünde, son zamanlarda dünyayı tamamen etkisi altına alan COVID-19 hakkında bir çalışma yapılmıştır. Bu kitap bölümünde COVID 19 görüntülerinin akıllı modeller ile sınıflandırmasına ilişkin bir bilgisayar temelli araştırma çalışmadır.

Kitabın dördüncü bölümünde, kaçınılmaz bir doğal afetlerden olan DEPREM sırasında meydana gelebilecek hasarın en aza indirilmesi anlamında bir çalışma yapılmıştır. Depremın oluşması engellenemez ama depremin oluşturacağı zararların minimize edilmesi anlamında yapılarda ne yapılabileceği hakkında bilgiler verilmektedir. Bu bağlamda ilgili kitap bölümünde fiber takviyeli elastomerik yatakların deprem izolatörü olarak kullanılması hakkında bir çalışma yapılmıştır.

Kitabın beşinci bölümünde, son yıllarda birçok farklı alanda sıklıkla kullanılan modelleme ve simülasyon alanında genel bir değerlendirme çalışması yapılmıştır.

Kitabın altıncı bölümünde, dünyanın ve ülkemiz için en önemli konularından birisi olan yenilenebilir enerji hakkında bir çalışmaya yer verilmiştir. Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar enerjisi alanında rüzgâr santrali için bazı tasarım parametrelerinin açıklanması üzerinde bir çalışma yapılmıştır.

Kitabın yedinci bölümünde, kimya alanında bir çalışmaya yer verilmiştir. İlgili kitap bölümünde potasyum borhidrürün hidrolizi için oda sıcaklığında kimyasal reaksiyon yoluyla yeni bir ru-co-b/perlit katalizörünün sentezi üzerine bir çalışma yapılmıştır.

Kitabın sekizinci ve son bölümünde, kimya alanında bir çalışmaya yer verilmiştir. İlgili kitap bölümünde grafen oksit destekli yeni nesil katalizörlerin üretimi ve potasyum borhidrür hidrolizinde incelenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır.

Bu kitabın hazırlanmasında emeği geçen herkese çok teşekkür eder, faydalı bir çalışma olmasını temenni ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNCAN

BÖLÜM 1

ENERJİ UYGULAMALARI İÇİN EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Salih Rahmi TURAN¹
Dr. Öğr. Üyesi Osman ÜLKİR²
Doç. Dr. Melih KUNCAN³

¹ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye. srahmituran@hotmail.com

² Muş Alparslan Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Muş, Türkiye. o.ulkir@alparslan.edu.tr

³ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye. melihkuncan@siirt.edu.tr

1. GİRİŞ

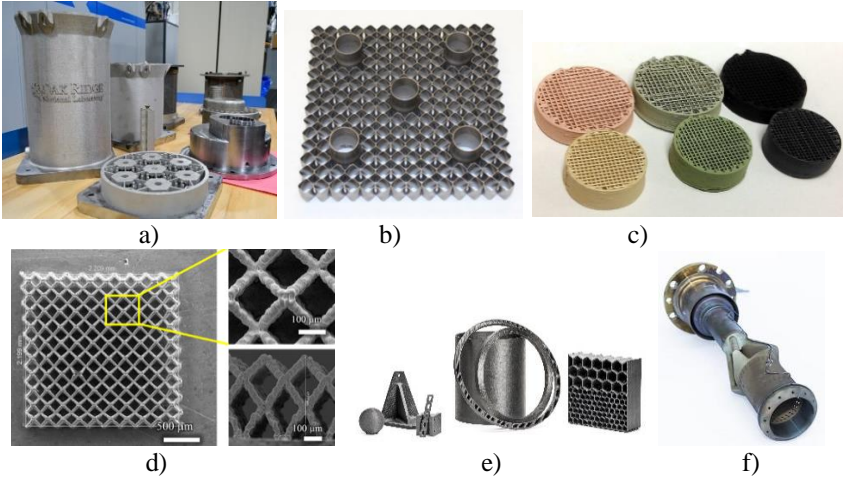
Hızla büyüyen enerji talebi ile iklim değişikliği arasında ortaya çıkan çatışma, önemli bilim ve teknolojik yenilikleri gerektiren büyük bir zorluktur (Barrett, 2009). Gelişmiş üretim teknolojileri, sera gazı emisyonunu ve kirliliği büyük ölçüde azaltabilir ve pazara sunma süresini kısaltabilir. Eklemeli imalat, malzemeleri doğrudan hesaplamalı geometri modelinden katman katman biriktirerek üç boyutlu nesnelere üretilmesi işlemidir (Frazier, 2014). Bu üretim süreci geleneksel yöntemlerin tasarım ve üretim kısıtlanmalarını büyük ölçüde ortadan kaldırır. Eklemeli imalat teknolojileri, nükleer enerji ve yenilenebilir enerji alanlarındaki uygulamalarını artırmak için, süreç izleme, kontrol, boyut doğruluğu ve bileşenlerin yapısal bütünlüğü açısından bazı önemli zorlukların üstesinden gelmesi gerekmektedir.

Eklemeli üretim (EÜ), geleneksel döküm, dövme ve işleme süreçlerinin kısıtlamaları olmadan, bilgisayar ortamında oluşturulan üç boyutlu geometri modellerinden nesnelere üretim sürecidir. EÜ, malzeme israfını azaltarak ve işleme adımlarını ortadan kaldırarak üretime gömülü enerji tüketimini azaltmak için büyük bir potansiyel göstermiştir (Calignano vd., 2017; Vaezi vd., 2013). Literatürdeki çalışmalara göre, EÜ teknolojisinin yaygın olarak uygulanmasının, küresel enerji talebinde %27'ye varan önemli bir azalmaya yol açacağı bildirilmiştir (Verhoef vd., 2018).

Son yıllarda, EÜ teknolojileri kullanılan malzeme performansını iyileştirmek ve enerji verimliliğini artırmak için çeşitli enerji

sektörlerinde giderek artan bir şekilde uygulanmakta ve enerji üretimi, dönüştürülmesi ve depolanması için yeni nesil çözümlerden biri olarak kabul edilmektedir (Sun vd., 2021). Eklemeli imalat nükleer santrallerde, parçaların her alanda üretilmesini sağlar ve mevcut reaktör filoları ve gelecekteki gelişmiş reaktörler için nükleer çekirdek bileşenlerin dağıtımını hızlandırır. Yapılan bir çalışmanın ilk iki yılında, Finlandiya nükleer enerji sektöründe EÜ kullanımına ilişkin bir yol haritası oluşturmaya odaklanıldı (Revuelta vd., 2021). Ayrıca, EÜ bileşenlerinin uygulanabilirliği ve kalite kontrol yöntemleri de incelenmiştir. Bu çalışmadaki nükleer santrallerde katmanlı imalatın genel amacı, Finli paydaşların EÜ, özellikle Lazer Toz Yatak Füzyon kullanımı hakkında bilgilerini artırmak ve böylece nükleer sektörde katkı maddesi ile üretilmiş metalik bileşenlerin güvenli kullanımını sağlamaktır. EÜ teknikleri, yakıt hücrelerinin elektrokimyasal özelliklerini uyarlamak için fonksiyonel kompozitler üretmek için de kullanılabilir. Son yıllarda, polimer elektrolit membran yakıt hücresi, katı oksit yakıt hücresi, mikrobiyal yakıt hücresi ve laminer akış tabanlı yakıt hücresi bileşenlerinin üretiminde eklemeli üretimin kullanımı yaygınlaşmıştır. Yakıt hücresi üretiminde başarılı bir şekilde gösterilen çeşitli EÜ teknolojileri, malzeme ekstrüzyonu, toz yatağı füzyonu, tekne fotopolimerizasyonu ve bağlayıcı püskürtmeyi içerir. Yapılan bir çalışmada, iyi tasarlanmış karmaşık 3B yapıların, yakıt hücrelerinin performansını artırma potansiyeline sahip olduğu bildirildi (Tai vd., 2019). Bu nedenle EÜ, kendisini yakıt hücrelerinin gelişimini teşvik etmek için umut verici bir üretim yöntemi olarak sunmaktadır. Ayrıca EÜ, yakıt hücresi bileşenlerinin üretiminde

zaman tasarrufu, esneklik ve isteğe bağlı üretilen birliklik konusundaki uzmanlığını da gösterdi. Yakıt hücrelerinde EÜ'nün beklentilerine rağmen, malzeme mevcudiyeti, üretim kalitesi ve maliyetler gibi zorlukların üstesinden gelmek için daha fazla çalışma ve araştırmaya ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, yakıt hücresi performansında iyileştirme sağlayan katkılı üretimin avantajlarına ve uygulamalarına odaklanılmıştır. Bunun yanı sıra, petrol ve gaz sektöründe de EÜ teknolojisi tercih edilmeye başlanmıştır (Wrobe vd., 2020). Nükleer enerji, pil, yakıt hücresi, petrol ve gaz alanlarında eklemeli imalatın kullanıldığı bazı örnekler Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Enerji sektöründeki eklemeli imalat malzemeleri, bileşenleri ve ürünleri: a) Bir reaktör çekirdeğinin 3B yazıcı ile hızlı üretimi (Anonim). b) Eklemeli imalat ile üretilen nükleer yakıt düzeneği (Anonim). c) EÜ ile geliştirilen katı oksit seramik yakıt hücreleri (Anonim). d) 3B yazıcı ile üretilmiş Li-on bataryanın SEM görüntüsü (Anonim). e) Petrol, gaz ve fabrika otomasyonu için geliştirilen cihazlar (Anonim). f) SGT-700 gaz türbini için 3B baskılı gaz memesi (Anonim).

Bu çalışmada, nükleer enerji, batarya, yakıt hücresi, petrol ve gaz alanlarındaki eklemeli imalat teknolojilerinin ve uygulamalarının son durumu incelenmiştir. Bu inceleme, eklemeli üretim teknolojilerinin

kullanarak enerji zorluklarını ele almak için kritik tartışmalar ve beklentiler sunmaktadır.

2. EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİSİ

Eklemeli imalat teknikleri, seramik, cam, metaller, polimer ve kompozit malzemeler dahil olmak üzere çok çeşitli malzemeleri üretebilir (Gibson vd., 2021). Lazer ve elektron ışını tabanlı güç kaynakları, EÜ süreçlerinde tercih edilen iki popüler güç kaynağıdır. Direk enerji depolama, toz yataklı eritme, malzeme ekstrüzyonu gibi çeşitli EÜ teknikleri, enerji sistemleri için malzeme ve bileşenlerin imalatında başarıyla uygulanmıştır (Ranjan vd., 2017). Ayrıca, konsolidasyon için mekanik enerjinin kullanıldığı, sürtünme karıştırma katkılı imalat gibi sürtünme karıştırma kaynağına dayalı teknikler, yüksek yapı hızı, daha az gözenek sağlar, büyük parçalar oluşturabilir ve aktif olarak geliştirilmektedir.

Günümüzde eklemeli imalat yönteminin ismi önceden prototip üretim için kullanılan bir yöntem olan hızlı prototipleme ile anılmaktadır (Tan vd., 2016). Bu yöntem ilk olarak stereolithografi (SLA) teknolojisi ile kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraki yıllarda bu yöntemler geliştirilmiş ve farklı tip malzemeler ve teknikler kullanılarak farklı sektörlerde kullanılabilecek 3B yazıcı metotları kullanılmaya başlanmıştır (Bos vd., 2016). Bu metotlar baskı yöntemine göre farklılık göstermektedir. Malzeme ekstrüzyonu ile yapılan baskılarda eriyik yığılma modellemesi (FDM) kullanılmaktadır. Endüstriyel üretimde polimerizasyon ile yapılan baskılarda stereolithografi, dijital ışık işleme (DLP) ve maskeli stereolithografi

(MSLA) tercih edilmektedir. Toz yataklı polimer teknolojisinde ise seçici lazer sinterleme (SLS) kullanılmaktadır. Malzeme püskürtme ile baskılarda malzeme jeti (MJ), bağlayıcı püskürtme ve metal bağlayıcı püskürtme ile eklemeli imalat gerçekleştirilmektedir. Direk enerji depolama yönteminde lazerle net şekillendirme (LENS) ve elektron ışını katkı üretimi (EBAM) tercih edilmektedir. Toz yataklı metal teknolojisinde doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS), seçici lazer eritme (SLM), elektron ışını erime (EBM) ve multi jet füzyon (MJF) kullanılmaktadır. Nükleer, piller, yakıt hücreleri ve petrol ve gaz enerjisinde uygulamaları yapılmış başlıca eklemeli üretim teknikleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1: Enerji sektöründe eklemeli üretim uygulamalarına örnekler.

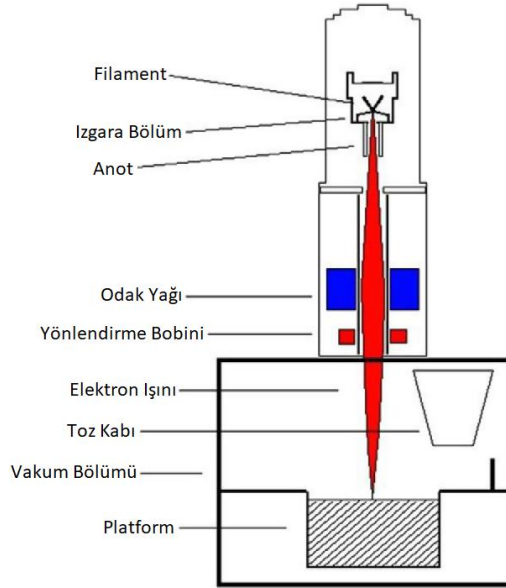
	Yöntem	Teknoloji	Malzeme	Güç Kaynağı	Enerji Uygulaması
EKLEMELİ İMALAT	Direk enerji depolama	LENS	Erimiş metal tozu	Lazer ışını	Nükleer enerji, petrol ve gaz (Miller vd., 2021; Wang vd., 2017).
		EBAM			
	Toz yataklı eritme	SLS	Polimer	Yüksek güçlü lazer ışını	Nükleer enerji, petrol ve gaz (Song vd., 2019; Lou vd., 2017).
		DMSL	Metal tozu, Seramik tozu		
		SLM			
		EBM		Elektron ışını	PEM yakıt hücresi (Bourell vd., 2011).
	Malzeme ekstrüzyonu	FDM	Termoplastik		Lion batarya (Lacey vd., 2018). Mikrobiyal yakıt hücresi (Calignano vd., 2015). Katı oksit yakıt hücresi (Farandos vd., 2016).
	Fotopolimerizasyon	SLA	Fotopolimer, Seramik	UV ışını	Mikroakışkan yakıt hücresi (Au vd., 2014). Katı oksit yakıt hücresi (Wei vd., 2019). Mikro batarya (Chone vd., 2018).
		DLP		Projeksiyon	

2.1. Direk Enerji Depolama

Direk enerji depolama, tozları veya telleri alt tabaka üzerinde biriktirilirken eriterek kaynaştırmak için odaklanmış termal enerjinin kullanıldığı bir eklemeli imalat yöntemidir. Bu yöntemim üretim süreci, malzeme araştırmasından işlevsel prototiplemeye ve hacimli üretime kadar uzanan uygulamalar için tüm ürün yaşam döngüsü süresince kullanılmaktadır (Saboori vd., 2019). Mükemmel ışınlama ile gelişmiş malzemelerin keşfi, tasarımı, tolerans ve korozyon direnci, yeni nesil nükleer enerji sistemlerinin geliştirilmesi için çok önemlidir. Direk üretim teknikleri, nükleer uygulamalar için yapısal malzemeleri ve kaplamaları basmak için kullanılmıştır. Paslanmaz çelikler, EÜ süreçleri ile basılmıştır ve basılan numuneler, ışınlama destekli stres-korozyon-çatlamaya karşı gelişmiş bir direnç göstermektedir. Yüksek entropi alaşımları, gelişmiş ışınlama toleransı ve korozyon direnci nedeniyle nükleer enerji sistemlerinde ilgi görmektedir. Direk enerji depolama proseslerinin avantajları arasında, makul üretim hızlarında iyi metalurjik özelliklere sahip yoğun metal parçaları imal etme yeteneği ve yapısal bileşenleri kaynaklama ve onarma yeteneği bulunurken, pürüzlü bitirme yüzeyi, yüksek ekipman maliyeti ve artık gerilim ana sorunlardır (Xu vd., 2018).

Direk enerji depolama yöntemi 2 gruba ayrılmaktadır. Bunlar lazerle net şekillendirme (LENS) ve elektron ışınli eklemeli imalat (EBAM) dır. LENS teknolojisinde lazer başlığı, toz malzemeyi dağıtan bir nozul ve inört gaz borusundan oluşan bir yığıma ünitesi mevcuttur. İmalatın yapılacağı bölgede lazer ile bir eriyik havuzu oluşturulur ve

havuza toz malzeme püskürtülür. Sonrasında malzeme soğuyarak katılaşır. Bu süreç argon gazı ile dolu kapalı bir atmosfer içinde gerçekleştirilir (Liv d., 2017). EBAM, metal parçalar üretmek için elektron ışını ile metal tozu veya metal kablo malzemeleri kaynatarak birleştirmek amacıyla geliştirilmiş bir eklemeli imalat yöntemidir (Gokuldoss vd., 2017). Bu yöntemi LENS teknolojisinden ayıran nokta lazere göre daha verimli olan elektron ışınının kullanılması ve prosesin vakum altında gerçekleştirilmesidir. EBAM üretim yönteminin temel çalışma prensibi Şekil 2’de gösterilmiştir (Gong vd., 2012).

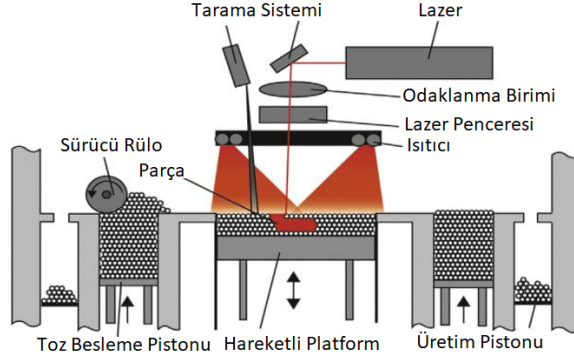


Şekil 2: EBAM Yönteminin Çalışma Prensibi

2.2. Toz Yataklı Eritme

Toz yataklı eritme, bir ısı kaynağının katı 3B nesnelere oluşturmak için toz halindeki malzeme katmanlarını seçici olarak birleştirir veya eritir. Bu ısı kaynağı bir lazer veya elektron ışınıdır (King vd., 2015). Bir toz yataklı eritme sınıfından olan seçici lazer sinterleme (SLS) ilk olarak polimerler ve naylon üzerinde yapılır. Toz, viskoz hale gelmesi, akması ve hızlı katılaşması için termoplastik özelliklere sahip ince tanelere ihtiyaç duyar. Daha sonra, doğrudan metal lazer sinterleme (DMLS), seçici lazer eritme (SLM) ve elektron ışınılı eritme (EBM) gibi eritme süreçleri kullanılarak çeşitli malzemeler üretilmiştir (Zhong vd., 2017). Mikrobiyal yakıt hücresi sistemleri, organik maddeleri kullanarak sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer bir ifadeyle yenilenebilir atıklardan bakteriyel işlemlerle enerji üreten cihazdır. Bir çalışmada, güç verimliliğini artırmak için, biyolojik esinli kafes alüminyum alaşımlı anot ve yüksek spesifik yüzey alanına ve mikropları barındırmak için ideal bir yüzey pürüzlülüğüne sahip bir 3D makro gözenekli yapı dahil olmak üzere mikrobiyal yakıt hücrelerindeki kritik bileşenleri üretmek için SLM işlemi kullanıldı. Günde 3 kWh/m³e yakın bir optimal enerji geri kazanımı sağlandı (Calignan vd., 2015). Toz yataklı eritme süreci, enerji sistemleri için karmaşık geometriye sahip nihai bileşenlerde fonksiyonel parçalar üretebilir. Bu eklemeli imalat işleminin dezavantajları, makinelerin ve işletimin nispeten yüksek maliyetini, yavaş üretim hızını ve fabrikasyon parçaların küçülmesini içerir. SLS

üretim yönteminin temel çalışma prensibi Şekil 3’de gösterilmiştir (Owsinski vd., 2018).

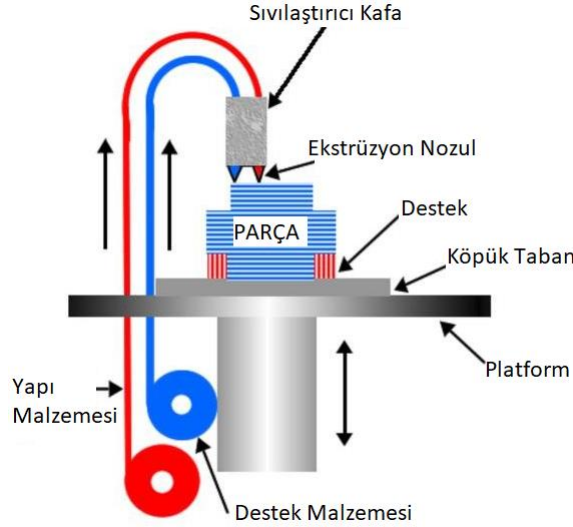


Şekil 3: SLS Yönteminin Çalışma Prensibi

2.3. Malzeme Ekstrüzyonu

Malzeme ekstrüzyonu, filamentleri ekstrüde ederek 3B yapılar üretmektedir. Bu ekstrüzyon süreci ısıtılmış bir nozul aracılığıyla, alt tabakalar üzerinde tabakalar halinde malzemeleri eritir ve biriktirir. En önemli malzeme ekstrüzyon işlemlerinden biri olan eriyik yağarak modelleme (FDM) işleminde modeli oluşturmak için filamentten ısıtılan ve katmanlar halinde ekstrüde edilen mühendislik termoplastikleri kullanılarak lazer olmayan bir filament ekstrüzyon işlem süreci gerçekleştirilmektedir (Di Angelo vd., 2017). Modeli oluşturmak için Akrylonitril bütadien stiren (ABS), Polikarbonat, Polifenilsülfon (PPSF) ve bu malzemelerin çeşitli versiyonları kullanılmaktadır. FDM teknolojisi, enerji depolama cihazları için bileşenleri üretmek için yaygın olarak tercih edilmektedir. Lityum iyon pillerde, elektrotların interdifüzyon sorunlarını azaltmak için FDM baskılı grafit/polilaktik asit (PLA) filamentini kullanılmaktadır. FDM kullanılarak bir grafit/PLA filamentini basıldı ve bir lityum iyon

pilde negatif elektrot olarak kullanıldı. Filamentte aktif madde olarak kullanılan grafit içeriği, mekanik güçten ödün vermeden elektrokimyasal performansları artırmak için mümkün olduğunca yüksek tutulmaktadır (Wang vd., 2017). 6 döngüden sonra 18.6 mA/g akım yoğunluğunda 200 mAh/g aktif maddeye ulaşan değerlerle tersinir bir kapasite elde edilmiştir (Maurel vd., 2018). Malzeme ekstrüzyonuna dayalı süreçler, baskı sırasında ve sonrasında fazla malzeme israfına gerek kalmadan verimli malzeme yönetimi sağlamaktadır. Bu işlemlerde kullanılan ekstrüzyon kalıplama ve malzemelerin maliyeti nispeten düşüktür ve diğer EÜ tekniklerine kıyasla daha fazla malzeme seçeneği mevcuttur. Ürünlerin öngörülemeyen büzülmesi, büyük boyutlu bileşenler için uygulamasını sınırlar. FDM üretim yönteminin temel çalışma prensibi Şekil 4'de gösterilmiştir (Gebisa vd., 2018).

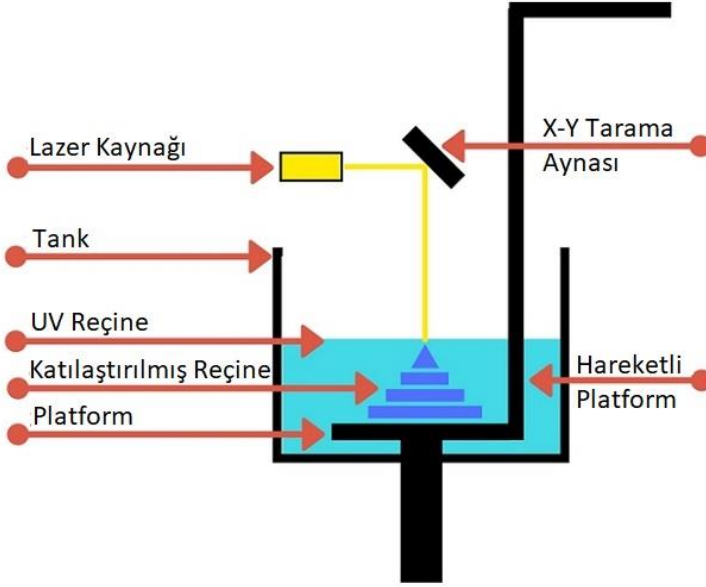


Şekil 4: FDM Yönteminin Çalışma Prensibi

2.4. Fotopolimerizasyon

Fotopolimerizasyon yöntemi, bir fotopolimer reçine teknesini polimerizasyon yoluyla, 3B bir nesne geliştirmek için katman katman katılaştırma ilkesiyle çalışmaktadır (Gong vd., 2019). Stereolitografi (SLA) ve dijital ışık işleme (DLP), tekne fotopolimerizasyon yöntemin en yaygın iki biçimidir. SLA, fotopolimer reçineyi iyileştirmek için ultraviyole (UV) lazer ışığı kullanırken, DLP ise ışık kaynağı olarak bir projektör kullanır. Tipik ışıkla sertleştirilebilir reçine, epoksi, vinileter ve akrilat içerir. Akrilikler, ışık kaynağı kaldırılır kaldırılmaz sertleşme durduğundan, epoksiler ışık kaynağı kapatıldıktan sonra bile sertleşmeye devam ettiğinden, yalnızca yaklaşık %75 veya %80'e kadar sertleşir. Mikroakışkan yakıt hücresi cihazlarındaki bileşenlerin imalatında fotopolimerizasyon kullanılmıştır, örneğin, orta hacimli verimlerde tek bir polimerik malzemede karmaşık 3B geometrinin üretilmesine izin veren otomatik bir üretim tekniği olarak SLA kullanılmıştır (Au vd., 2014). Katı oksit yakıt hücresi (SOFC), elektrotlarla sıkıştırılmış katı seramik elektrolite sahip yüksek sıcaklıklı bir yakıt hücresidir ve çok çeşitli yakıt kaynakları kullanılarak çalıştırılabilir. Bir çalışmada SOFC için %8 mol. itriya ile stabilize edilmiş zirkonya (8YSZ) elektroliti, DLP yöntemiyle başarıyla üretildi ve elektrokimyasal performans, geleneksel kuru presleme yöntemiyle üretilen 8YSZ elektroliti ile aynı hücreyle karşılaştırılabilirdi (Wei vd., 2019). Genel olarak, fotopolimerizasyon prosesleri, sabit durumda sıvı yüzeyinin pürüzsüzlüğünün avantajını gösterir ve yüksek hassasiyette yüzey

kalitesine sahip parçalar üretmek için kullanılabilir. En büyük dezavantajı, fotoğrafla kürlenebilir olması gereken malzemelerin kısıtlı olmasıdır. SLA üretim yönteminin temel çalışma prensibi Şekil 5’de gösterilmiştir (Dudek vd., 2016).



Şekil 5: SLA Yönteminin Çalışma Prensibi

3. ENERJİ ALANINDA EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİSİ

3.1. Bataryalar

Mobil elektronik cihazların hızlı gelişimi ve yaygın kullanımı göz önüne alındığında, güçten bağımsız elektronik sistemler oluşturmak için güvenilir ve uygun maliyetli enerji depolama cihazlarına yönelik artan bir talep vardır. En önemli ve yaygın olarak kullanılan elektrik enerjisi cihazlarından biri olan piller, enerjinin depolanması, çeşitli formlara dönüştürülmesi, kapasite ve kullanılabilirlik özellikleri

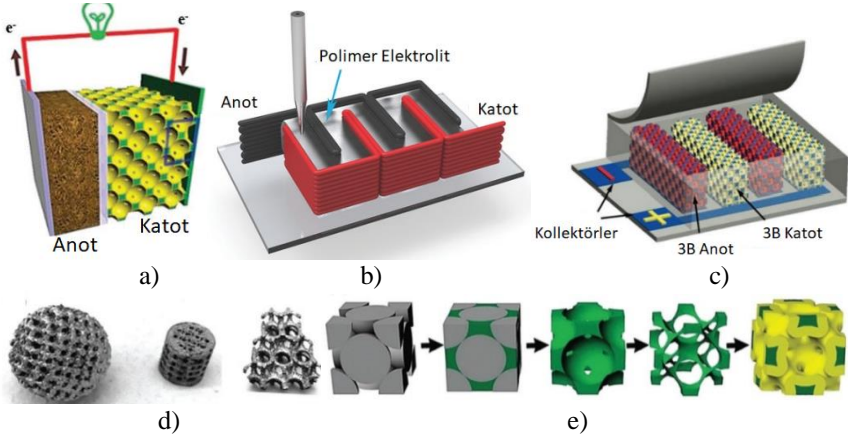
nedeniyle büyük ilgi görmektedir (Xu vd., 2014). Örneğin, büyük form faktörlerindeki lityum iyon (Li-ion) piller, yüksek enerji yoğunluğu, düşük kendi kendine deşarj oranı ve yüksek akım şarj/deşarj döngüsü yeteneği sergiler.

Pillerin elektrokimyasal performansını iyileştirmek, maliyetini azaltmak ve uygulamalarını genişletmek için yıllar içinde yeni elektrot malzemeleri, elektrolitler, hücre yapıları ve yeni üretim yaklaşımlarını keşfetmek için çok çaba sarf edilmiştir (Tarascon vd., 2011). Şu anda, çoğu elektrot malzemesi, nispeten düşük elektronik iletkenliğe ve lityum iyonlarının yavaş difüzyon hızlarına sahiptir. Sonuç olarak pillerin düşük şarj/deşarj oranı ve güç yoğunluğundan bahsedebiliriz. Ayrıca, Li-ion pillerin yüksek maliyeti de bir endişe kaynağıdır. Örneğin, nikel ve kobalt oksitlere dayalı Li-ion piller oldukça pahalıdır. Düşük maliyetli ancak yüksek enerjili avantajları nedeniyle, lityum-hava ve lityum-kükürt piller yeni lityum bazlı piller geliştirmek için kapsamlı bir şekilde incelenmektedir. Ek olarak, çinko, kalsiyum, alüminyum ve sodyum bazlı piller gibi bol kaynaklara dayalı yeni şarj edilebilir pil sistemleri araştırılmaktadır (Ponrouch vd., 2018; Zhang vd., 2014; Kim vd., 2013).

Lityum piller beş farklı katmandan oluştuğundan dolayı rulodan ruloya baskı işlemi ve ardından katman katman istifleme veya sarma ile üretilmektedir. Anot/katot uçları akım toplayıcıya aktarıldığında sıvı haldeyken; çözücü buharlaştıktan sonra uçlar katı bir tabakaya dönüşür. Bu tabaka çok ince olduğundan kırılmadan bükülebilir ve sarılabilir. Bu, ince ve esnek baskılı pillerin bir avantajı olarak

alınabilir. Ek olarak, basılı pili basılı elektronik ile entegre etmek mümkündür ve her ikisi de mekanik olarak esnek olabilir.

Eklemeli imalat ile üretilen piller geleneksel yüksek üretim hacimli parçalara kıyasla nispeten daha düşük performans olmasına karşın yüksek derecede özelleştirilebilirlik ile esnek/giyilebilir özelliklere sahiptirler (Braam vd., 2015; Wang vd., 2014). Basılı pillerin günümüzde giysiler, sırt çantaları gibi günlük nesnelere nesnelere interneti (IoT) iletişim kurma yeteneği veren çeşitli uygulamaları vardır. Basılı elektronik aksamın ve basılı pilin tek bir pakette birlikte tasarımı, örneğin daha yüksek performans sağlar ve maliyeti düşürür. Mürekkepler, inkjet baskı kafası, serigrafi, şablon baskı, ekstrüzyon baskı, fleksografik baskı gibi yöntemlerle aktarılır. Mürekkebin ilk akışkanlığı, baskı deseninin çok yönlülüğü için gereklidir. Sıvının katıya transferinin beklenen şekilde gerçekleşmesi için, lityum iyon depolama/taşıma yönlerinin yanı sıra mürekkebin viskozitesi, yüzey enerjisi ve ıslatma özellikleri de önemlidir. Daha sonra mürekkebin kurutulması gerekir ve elektrolit tabakası ve/veya katot tabakasının üste çıkması için işlem bir veya iki kez tekrarlanır. Son olarak, pil kapatılmalıdır. Eklemeli imalat teknolojisi kullanılarak geliştirilen batarya uygulamalarına Şekil 6'da örnek verilmiştir (Zhang vd., 2011; Fu vd., 2016; Pikul vd., 2013; Cohen vd., 2018).



Şekil 6: Eklemeli imalat yöntemiyle üretilmiş batarya örnekleri: a) Ekstrüzyon tabanlı 3B üretilen lityum pil. b) İki sürekli katotlu bir pil yapısının şeması. c) Mikro batarya tasarım şeması. d) 3B yazdırılmış delikli küresel, silindirik ve kübik alt tabakaların optik görüntüleri. e) İki sürekli elektrot için üretim sürecinin şematik gösterimi.

Yenilikçi bir üretim yaklaşımı olan eklemeli imalat teknolojileri pillerin üretimini kolaylaştırmaktadır. Mikro ölçekten makro boyutlara kadar çok yönlü ve minyatür pillere olanak sağlayabilir ve pillerin elektrokimyasal performansını iyileşmektedir. Pillerin üretiminde litografi tabanlı 3B baskı, püskürtmeli yazıcı, aerosol jet baskı, doğrudan mürekkeple yazma ve eriyik yığarak modelleme gibi eklemeli imalat yöntemleri kullanılmaktadır (Chen vd., 2017; Milroy vd., 2016; Rodriguez vd., 2021; Vernardou vd., 2017). Ancak, hazırlık koşulları, malzemeler ve süreçler arasındaki uyumluluk göz önüne alındığında, geleneksel pillerde kullanılan 3B baskı teknolojilerinin ve mevcut malzemelerin tümü, basılı pil üretimi için uygun değildir.

3.2. Nükleer Enerji

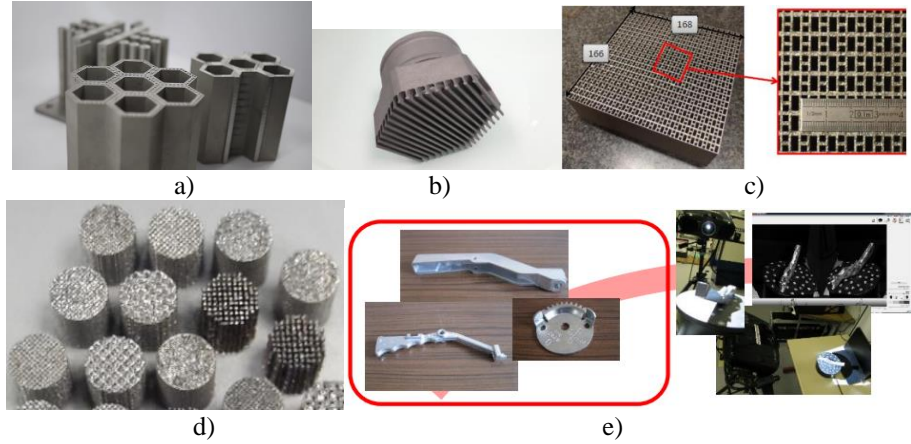
Nükleer enerji sistemlerinde eklemeli imalat teknolojisinin kullanılmasıyla birlikte tasarımda esneklik, maliyet azaltılması ve bir nükleer santrali oluşturan bileşenlerin üretimi için sürenin kısaltılması sağlanmış olacaktır (Anonim). Toz metalürjisi gibi nükleer enerji bileşenleri için diğer yöntemler daha gelişmiş olsa da, eklemeli imalat yöntemi nükleer enerji için oldukça yeni bir ilgi alanıdır. Bu yöntemde, üretim gerçekleştirilirken her bir malzeme katmanının sürekli proses izlemesine izin verme avantajına sahiptir (Lou vd., 2019). Bu durum gelişmiş üretim kontrolüne ve nihai bileşenin özellikleri hakkında ayrıntılı bilgi toplanmasına olanak tanımaktadır. EÜ'nün bir başka yararı, malzemeleri geleneksel birleştirmeden daha sorunsuz bir şekilde geçirme veya işlevsel olarak derecelendirilmiş kompozisyonlar veya hatta mikro yapı-özellikler ilişkisini optimize etmeyi amaçlayan tamamen 3B desenli faz, tane boyutu ve kompozisyon dağılımları oluşturma yeteneğidir (Terrani, 2018). Malzeme geçişleri özellikle nükleer santrallerde yaygındır. Çünkü basınç, sıcaklık ve radyasyon dozlarında büyük farklılıklar vardır ve bu da çeşitli malzemelerin kullanılması ihtiyacına neden olur.

Çoğu reaktör iç parçası, basınç tutan bileşenler değildir ve bu nedenle EÜ nükleer santrallerde fiili uygulama alanında çalışmalar daha önemli ölçüde ilerlemiştir. Yakıt üretimi, kaplama ve kontrol elemanları dahil olmak üzere reaktör çekirdeğinin iç kısımları için EÜ'e ilgi vardır. Westinghouse, gerçek EÜ'ü kurmayı düşünen ilk kişilerden biriydi. EÜ 316L çelikten yapılmış bir yüksük takma cihazı

kurmayı seçerek bileşenleri bir reaktöre dönüştürmektedir. Eklemeli üretim bileşenlerinin performansını daha iyi anlamak için araştırma ve test reaktörlerinde önemli çalışmalar yapılmaktadır. Oak Ridge Ulusal Laboratuvarındaki (ORNL) araştırmacılar reaktör çekirdeğinin hızlı prototiplemesini eklemeli imalat ile gerçekleştirmiştir (Terrani vd., 2016; Burns vd., 2018). Araştırmacılar üretimden sonra optimal ve güvenilir bir enerji sistemi sağlamaya odaklanmıştır. Program, 3B baskılı bir nükleer reaktörün devreye alınmasının bir parçası olarak, katkılı olarak üretilmiş nükleer enerji teknolojisinin hızla benimsenmesi için teknolojinin endüstriye aktarılmasına yardımcı olacak bir dijital platform da oluşturacak.

Nükleer yakıtlarda kullanılanlar gibi bazı egzotik malzemeler için, EÜ enerji kaynağının sadece yakıtın yapısını üretmek için değil, aynı zamanda yakıt bileşimini azaltmak veya değiştirmek için kullanılması gibi faydaları vardır. Bu durumda, yakıt üretimi için daha az ekipman kullanılması, daha az hammadde girişi ve tesis ayak izinin en aza indirilmesi gibi ek faydalar vardır. Ayrıca, geleneksel üretim yolları, U_3Si_2 oluşumundan önce UF_4 'ü uranyum metaline dönüştürmek için ek bir adım içereceğinden, ekonomiyi iyileştirme potansiyeline de sahiptir (Rosales vd., 2019). EÜ, tesisin kendisi dışında nükleer enerjiyle ilgili diğer alanlarda uygulamalar bulmuştur. Böyle bir uygulama, kullanılmış yakıtın yeniden işlenmesinde EÜ kullanımınıdır. Kullanılmış nükleer yakıt, nükleer enerji endüstrisi için önemli bir zorluktur. Bu sorunun üstesinden gelmenin bir yolu kullanılmış yakıtı geri dönüştürmek ve reaktörlerde tekrar kullanmaktır (Gelis vd.,

2019). Bu durumda, imalat süreçlerini basitleştirmek ve gerekli malzeme ve insan çabasını azaltmak için eklemeli imalat teknolojisi kullanılır. Eklemeli imalat teknolojisi kullanılarak geliştirilen nükleer enerji uygulamalarına Şekil 7’de örnek verilmiştir (Anonim).



Şekil 7: Eklemeli imalat yöntemiyle üretilmiş nükleer enerji uygulamaları: a) Nükleer bileşen parçası. b) Reaktörün yakıt montaj ızgarası. c) Sodyum gazı eşanjörün üretimi. d) Reaktör akış moderatörü filtreleri. e) Vana kolunun değiştirilmesi için toz yatağı füzyonu ile üretimi.

3.3. Yakıt Hücreleri

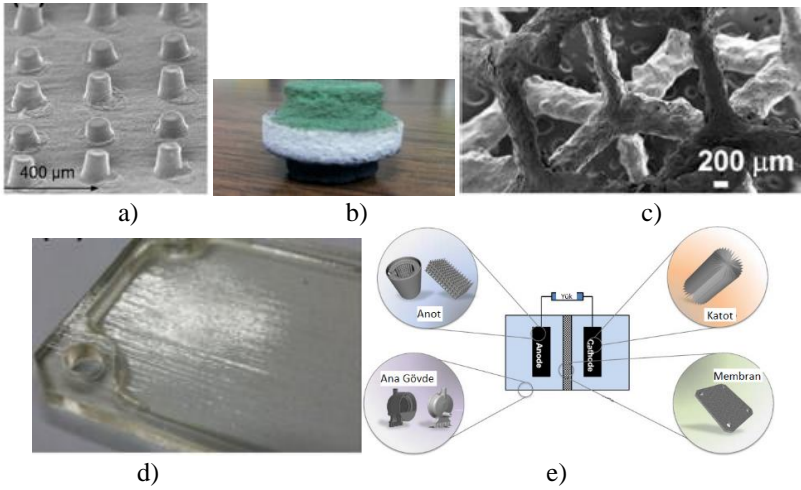
Eklemeli imalat genel ilkelerine göre, EÜ teknolojileri bağlayıcı püskürtme, direk enerji depolama, malzeme ekstrüzyonu, malzeme püskürtme, toz yatak füzyonu, tabaka laminasyon ve tekne polimerizasyonu olmak üzere yedi grupta sınıflandırılabilir (Astm, 2015; Jiménez Calzado vd., 2019). Kategorizasyon, başlangıç malzemesinin durumuna (sıvı, filament/macun, toz, katı tabaka) ve malzemeyi imal etmek için kullanılan yöntemlere (ekstrüzyon, termal,

ultraviyole ışık, lazer veya elektron ışını) dayalıdır (Guo vd., 2013; Ngo vd., 2018).

Yakıt hücreleri, bir yakıtta depolanan kimyasal enerjiyi elektrokimyasal reaksiyon yoluyla doğrudan elektriğe dönüştüren enerji dönüştürücülerdir. EÜ teknolojileri, biyolojik yakıt hücreleri (BFC), polimer elektrolit membran (PEM) yakıt hücreleri, tersinir yakıt hücreleri ve mikro yakıt hücreleri dahil olmak üzere yakıt hücreleri için bileşenler üretmek için kullanılmıştır. Yakıt hücresi uygulamasında kullanılan EÜ teknolojileri, malzeme ekstrüzyonu, toz yatağı füzyonu, tekne fotopolimerizasyonu ve bağlayıcı püskürtmedir. Direk enerji depolama, malzeme püskürtme ve tabaka laminasyon gibi geri kalan EÜ teknolojilerinin büyük bir potansiyeli vardır, ancak bunlar araştırma ve geliştirme aşamasındadır. Bazı EÜ teknolojileri bir yakıt hücresinde membran, elektrot ve mikro kanal gibi birden fazla bileşen üretmek için kullanılabilir (Shah, 2006; Dawson vd., 2015). Örneğin, toz yatak füzyonu grubuna giren seçici lazer sinterlemenin (SLS), tek bir polimer elektrot membran yakıt hücresinde farklı fonksiyonel bileşenleri, yani alüminidden yapılmış gaz difüzyon tabakası ve grafitten yapılmış akış alanı plakaları ürettiği görülmektedir (Srikrishnan vd., 2018; Guo vd., 2012). Ayrıca bazı yakıt hücresi bileşenleri birden fazla EÜ teknolojisi kullanılarak üretilebilmektedir. Örneğin, akış alanı plakaları hem malzeme ekstrüzyonundan eriyik yığıma modelleme (FDM) hem de toz yatağı füzyonundan seçilen lazer sinterleme (SLS) ile üretilebilmektedir (Chen vd., 2008).

Biyolojik metabolizmalar yoluyla enerji dönüşümü için mikropları veya enzimleri kullanan BFC'ler, su kalitesi izleme ve uzak veya zorlu ortamlarda veri işleme/iletim uygulamalarında umut vericidir. Mikrobiyal yakıt hücreleri (MFC) ve enzimatik yakıt hücreleri (EFC), odalar, membranlar ve geniş reaksiyon alanı, yüksek iletkenlik, biyouyumluluk ve çok ölçekli yüksek performanslı elektrotlar için EÜ kullanılarak üretilmiş tipik BFC'lerdir (Philamore vd., 2015). Bir çalışmada, mikropları barındırmak için açık gözeneklere sahip tamamen EÜ tabanlı bir MFC geliştirdi ve günde yaklaşık 3 kWh/m³lük bir optimal güç elde etti (Calignano vd., 2015). Başka bir çalışmada, MFC anot olarak, bakır örgü anotlardan yaklaşık 10 kat daha yüksek verimlilik gerçekleştiren 3B baskılı gözenekli bakır elektrotlar kullandı (Bian vd., 2018). PEM yakıt hücreleri, %65'e varan pratik verimlilik ve tek yan ürün olarak su ile otomobiller, portatifler ve küçük sabit uygulamalar için umut vericidir (Wang vd., 2011). EÜ, bipolar plakayı (BP) ve bitki (BOP) bileşenlerinin dengesini üretme yeteneğine sahiptir. BP'ler, mekanizma desteği, elektrik akımı toplama, ısı tahliyesi ve gömülü gaz akış kanalları (GFC) aracılığıyla gaz dağıtımı ve su tahliyesi dahil olmak üzere çoklu işlevler sağlar. Tek bir BP genellikle yaklaşık 1-2 mm kalınlığındadır ve GFC kesit boyutu 0,3 ila 1,5 mm arasında değişir. Bir çalışmada, lazerle sinterlenmiş grafit BP'ler incelendi ve karbon fiber içeriğinin basılı BP'lerin gücü ve elektriksel iletkenliği üzerindeki etkisi araştırıldı (Bourell vd., 2011). Bu yeni tip dağıtıcı için yüksek gözeneklilik (>0.9) ve geçirgenlik, ~ 100 µm gözenek boyutu, yeterli termal/elektrik iletkenliği ve katı matrisin korozyon

direnci ve uygun yüzey ıslanabilirliği olan metal/karbon köpükler arzu edilmiştir (Wang, 2009). Soğutma üniteleri, nemlendiriciler, ısı gibi yakıt hücrelerindeki BOP bileşenleri, eşanjör ve boru bağlantı parçaları 3B yazdırılabilir ve bu nedenle tasarımları/prototipleri EÜ teknikleri ile kolaylaştırılabilir. Eklemeli imalat teknolojisi kullanılarak geliştirilen yakıt hücresi uygulamalarına Şekil 8’de örnek verilmiştir (Farandos vd., 2016; Manogharan vd., 2015; Philamore vd., 2015; You vd., 2017).



Şekil 8: Eklemeli imalat yöntemiyle üretilmiş yakıt hücresi uygulamaları: a) Elektrotun 3B sütun yapısı. b) Bağlayıcı püskürtme ile basılan SOFC'nin elektrolitik hücresi. c) 3B baskılı membran SEM görüntüsü. d) 3B baskılı membran. e) Bir mikrobiyal yakıt hücresinin 3D yazdırılabilir bileşenleri.

Kısacası, yakıt hücresi üretim teknolojisinin seçimi, bileşenlerin işlevine büyük ölçüde bağlıdır. İşlevsel olmayan parçalar, yakıt hücresi performansını etkilemede önemsiz olan ancak yakıt hücresinin bileşenlerini dış kabuk gibi fiziksel hasarlardan koruyabilen bileşenlerdir. İşlevsel olmayan bu parçaların imalatında zaman

açısından verimli ve ekonomik yollar ilk sırada gelmelidir. Fonksiyonel bileşenlerde sıvı dağıtıcı, gaz difüzyon tabakası, katalizör tabakası ve elektrolit içerir. Bu fonksiyonel bileşenler, doğrudan yakıt hücresi performansını etkileyen temel bileşenlerdir. İstenen mikro yapıyı üretme yeteneği ve malzemelerin mevcudiyeti, dikkate alınması gereken kilit faktörlerdir.

3.4. Petrol ve Gaz Endüstrisi

Petrol ve gaz endüstrisinde eklemeli imalatın kullanılması, havacılık veya tıbbi tabanlı endüstrilere kıyasla daha yavaş olmuştur, ancak EÜ'in endüstride kullanımı için büyük bir potansiyel vardır (Burns vd., 2019). Genel olarak, tasarımda esneklik, karmaşık geometrilerin üretimi, çok parçalı düzeneklerin tek bileşenlerde birleştirilmesi gibi EÜ'in temel avantajları, petrol ve gaz endüstrisi için eşit derecede faydalıdır. EÜ, bir tampon bileşenlerinin çok bileşenli montajını tek bir parçaya indirgemek, etkinliğini artırmak ve bileşen sağlama süresini azaltmak için kullanıldı; tümü, maliyette %70 oranında bir azalmaya yol açar. EÜ'in bu alanda mevcut kullanımı öncelikle hızlı prototipleme alanında uygulanmaktadır ve bu da daha hızlı ürün geliştirmeye yol açmaktadır (Camisa vd., 2014). Bazı durumlarda EÜ, üretimde kullanılan benzersiz takımların geliştirilmesi için kullanılmaktadır. GE gibi şirketler, türbin bileşenleri, santrifüj pompalar ve kuyu içi sensör dizisi muhafazaları için parça yazdırmak için EÜ kullanımını değerlendiriyor (Anonim). EÜ'in bu endüstride kullanımının yalnızca 2027 yılına kadar 2 milyar dolarlık gelir elde etme potansiyeli ile büyümesi öngörülmektedir. EÜ için gerçek

potansiyel, yerinde tesislerde ihtiyaç duyulan çeşitli bileşenler için tedarik zincirinin verimliliğini artırmak olacaktır. Halihazırda, ekipman arıza süresi potansiyelini en aza indirmek için, hızlı onarımlar için yüksek oranda arızaya eğilimli bileşen stoku hazır bulundurulmaktadır. EÜ'nin talep üzerine parça üretme potansiyeli, tedarik zincirinin merkezden uzaklaştırılmasını kolaylaştırabilir, hatta gerektiğinde bileşenlerin yerinde üretilmesine yol açabilir.

4. SONUÇLAR

Eklemeli imalat teknolojisinin, ucuz üretim maliyetli, hızlı prototipleme veya daha karmaşık 3B kompozisyon oluşturma yeteneği, faz ve tane boyutu modülasyonu, belirli performans geliştirme türleri ve enerji tüketimini azaltmada umut verici avantajları vardır. Bu teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerji sektöründe de ilerlemeler yaşanmıştır. Nükleer enerjide EÜ, reaktör ortamlarında geliştirilmiş malzeme performansına sahip nükleer çekirdek bileşenleri üretmek için kullanılmıştır. EÜ teknolojilerinin geliştirilmesi, küçük modüler reaktörler ve mikro reaktörler gibi gelişmiş reaktörler için nükleer bileşenlerin sahada imalatının uygulanmasını teşvik edebilir. EÜ teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, tek bir paket içinde basılı pil ve elektroniklerin birlikte tasarımı mümkün hale geliyor. Ayrıca EÜ ile akım toplayıcı katmanını bitişik aktif elektrot katmanıyla birleştirerek bir pil periyodunun geleneksel beş temel katmanını üç temel katmana basitleştirebilir. Yakıt hücrelerinde ve elektrolizörlerde, MFC'ler, cıvata veya montaj olmadan bütün bir MFC için bölmeler, elektrotlar ve membranlar

üretmek için EÜ işlemleri kullanılmıştır. Ek olarak, EÜ biyo uyumlu malzemeleri işleyebilir ve böylece implante edilebilir veya giyilebilir uygulamalar için pilleri ve yakıt hücrelerini yazdırabilir. Yüksek basınç, yüksek sıcaklık, erozyon ve aşınma, yorulma ve enkaz mevcudiyeti dahil olmak üzere kuyu içi ortamlarda kullanılan EÜ parçalarının stabilitesi üzerine temel araştırma, malzeme performansının ve kullanım ömrünün tahmini için esastır.

KAYNAKÇA

- Additive manufacturing opportunities in oil and gas markets – an opportunity analysis and ten-year forecast. SMARTTECH Publishing, 2017.
- Astm, I. (2015). ASTM52900-15 standard terminology for additive manufacturing—general principles—terminology. ASTM International, West Conshohocken, PA, 3(4), 5.
- Au, A. K., Lee, W., & Folch, A. (2014). Mail-order microfluidics: evaluation of stereolithography for the production of microfluidic devices. *Lab on a Chip*, 14(7), 1294-1301.
- Au, A. K., Lee, W., & Folch, A. (2014). Mail-order microfluidics: evaluation of stereolithography for the production of microfluidic devices. *Lab on a Chip*, 14(7), 1294-1301.
- Barrett, S. (2009). The coming global climate-technology revolution. *Journal of Economic Perspectives*, 23(2), 53-75.
- Bian, B., Wang, C., Hu, M., Yang, Z., Cai, X., Shi, D., & Yang, J. (2018). Application of 3D printed porous copper anode in microbial fuel cells. *Frontiers in Energy Research*, 6, 50.
- Bos, F., Wolfs, R., Ahmed, Z., & Salet, T. (2016). Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing. *Virtual and Physical Prototyping*, 11(3), 209-225.
- Bourell, D. L., Leu, M. C., Chakravarthy, K., Guo, N., & Alayavalli, K. (2011). Graphite-based indirect laser sintered fuel cell bipolar

plates containing carbon fiber additions. *CIRP annals*, 60(1), 275-278.

Bourell, D. L., Leu, M. C., Chakravarthy, K., Guo, N., & Alayavalli, K. (2011). Graphite-based indirect laser sintered fuel cell bipolar plates containing carbon fiber additions. *CIRP annals*, 60(1), 275-278.

Braam, K., & Subramanian, V. (2015). A stencil printed, high energy density silver oxide battery using a novel photopolymerizable poly (acrylic acid) separator. *Advanced Materials*, 27(4), 689-694.

Burns, J. R., Chandler, D., Petrovic, B., & Terrani, K. A. (2018). Depletion and lifetime performance analysis of advanced manufactured control elements in the High Flux Isotope Reactor (HFIR). Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States).

Burns, M., & Wangenheim, C. (2019, March). Metal 3D printing applications in the oil & gas industry. In *SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference*. OnePetro.

Calignano, F., Manfredi, D., Ambrosio, E. P., Biamino, S., Lombardi, M., Atzeni, E., ... & Fino, P. (2017). Overview on additive manufacturing technologies. *Proceedings of the IEEE*, 105(4), 593-612.

Calignano, F., Tommasi, T., Manfredi, D., & Chiolerio, A. (2015). Additive manufacturing of a microbial fuel cell—a detailed study. *Scientific reports*, 5(1), 1-10.

- Calignano, F., Tommasi, T., Manfredi, D., & Chiolerio, A. (2015). Additive manufacturing of a microbial fuel cell—a detailed study. *Scientific reports*, 5(1), 1-10.
- Calignano, F., Tommasi, T., Manfredi, D., & Chiolerio, A. (2015). Additive manufacturing of a microbial fuel cell—a detailed study. *Scientific reports*, 5(1), 1-10.
- Camisa, J. A., Verma, V., Marler, D. O., & Madlinger, A. (2014, June). Additive manufacturing and 3D printing for oil and gas-transformative potential and technology constraints. In *The Twenty-fourth International Ocean and Polar Engineering Conference*. OnePetro.
- Chen, C. Y., Lai, W. H., Weng, B. J., Chuang, H. J., Hsieh, C. Y., & Kung, C. C. (2008). Planar array stack design aided by rapid prototyping in development of air-breathing PEMFC. *Journal of Power Sources*, 179(1), 147-154.
- Chen, Q., Xu, R., He, Z., Zhao, K., & Pan, L. (2017). Erratum: Printing 3D Gel Polymer Electrolyte in Lithium-Ion Microbattery Using Stereolithography [J. Electrochem. Soc., 164, A1852 (2017)]. *Journal of The Electrochemical Society*, 164(9), X18.
- Cohen, E., Menkin, S., Lifshits, M., Kamir, Y., Gladkikh, A., Kosa, G., & Golodnitsky, D. (2018). Novel rechargeable 3D-Microbatteries on 3D-printed-polymer substrates: Feasibility study. *Electrochimica Acta*, 265, 690-701.
- Cohen, E., Menkin, S., Lifshits, M., Kamir, Y., Gladkikh, A., Kosa, G., & Golodnitsky, D. (2018). Novel rechargeable 3D-

Microbatteries on 3D-printed-polymer substrates: Feasibility study. *Electrochimica Acta*, 265, 690-701.

CW. Current Westinghouse Efforts; 2017.

Dawson, R. J., Patel, A. J., Rennie, A. E., & White, S. (2015). An investigation into the use of additive manufacture for the production of metallic bipolar plates for polymer electrolyte fuel cell stacks. *Journal of applied electrochemistry*, 45(7), 637-645.

Di Angelo, L., Di Stefano, P., & Marzola, A. (2017). Surface quality prediction in FDM additive manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 93(9), 3655-3662.

Dudek, P., & Rapacz-Kmita, A. (2016). Rapid prototyping: Technologies, materials and advances. *Archives of Metallurgy and Materials*, 61.

Farandos, N. M., Kleiminger, L., Li, T., Hankin, A., & Kelsall, G. H. (2016). Three-dimensional inkjet printed solid oxide electrochemical reactors. I. Yttria-stabilized zirconia electrolyte. *Electrochimica Acta*, 213, 324-331.

Farandos, N. M., Kleiminger, L., Li, T., Hankin, A., & Kelsall, G. H. (2016). Three-dimensional inkjet printed solid oxide electrochemical reactors. I. Yttria-stabilized zirconia electrolyte. *Electrochimica Acta*, 213, 324-331.

Frazier, W. E. (2014). Metal additive manufacturing: a review. *Journal of Materials Engineering and performance*, 23(6), 1917-1928.

- Fu, K., Wang, Y., Yan, C., Yao, Y., Chen, Y., Dai, J., ... & Hu, L. (2016). Graphene oxide based electrode inks for 3D-printed lithiumion batteries. *Advanced Materials*, 28(13), 2587-2594.
- Gebisa, A. W., & Lemu, H. G. (2018). Investigating effects of Fused-Deposition Modeling (FDM) processing parameters on flexural properties of ULTEM 9085 using designed experiment. *Materials*, 11(4), 500.
- Gelis, A. V., Kozak, P., Breshears, A. T., Brown, M. A., Launiere, C., Campbell, E. L., ... & Lumetta, G. J. (2019). Closing the nuclear fuel cycle with a simplified minor actinide lanthanide separation process (ALSEP) and additive manufacturing. *Scientific reports*, 9(1), 1-11.
- Gibson, I., Rosen, D. W., Stucker, B., & Khorasani, M. (2021). *Additive manufacturing technologies* (Vol. 17). Cham, Switzerland: Springer.
- Gokuldoss, P. K., Kolla, S., & Eckert, J. (2017). Additive manufacturing processes: Selective laser melting, electron beam melting and binder jetting—Selection guidelines. *Materials*, 10(6), 672.
- Gong, H., Snelling, D., Kardel, K., & Carrano, A. (2019). Comparison of stainless steel 316L parts made by FDM-and SLM-based additive manufacturing processes. *Jom*, 71(3), 880-885.
- Gong, X., Anderson, T., & Chou, K. (2012, June). Review on powder-based electron beam additive manufacturing technology. In *International Symposium on Flexible Automation* (Vol. 45110, pp. 507-515). American Society of Mechanical Engineers.

Guo, N., & Leu, M. C. (2012). Effect of different graphite materials on the electrical conductivity and flexural strength of bipolar plates fabricated using selective laser sintering. *International journal of hydrogen energy*, 37(4), 3558-3566.

Guo, N., & Leu, M. C. (2013). Additive manufacturing: technology, applications and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 8(3), 215-243.

https://snetp.eu/wp-content/uploads/2021/02/Presentation_Pascal-Aubry.pdf

<https://www.3dprintingmedia.network/siemens-oil-and-gas-additive-manufacturing/>

<https://www.businesswire.com/news/home/20151013006259/en/Arev-o-Labs-Announces-Additive-Manufacturing-Service-to-3D-Print-PEEK-and-PAEK-Composite-Parts-for-Demanding-End-Use-Applications>

<https://www.digitalengineering247.com/article/new-inks-enable-3d-printing-of-fuel-cells>

<https://www.energy.gov/ne/articles/4-major-opportunities-additive-manufacturing-nuclear-energy>

<https://www.reutersevents.com/nuclear/first-ever-3d-printed-component-installed-reactor-core>

<https://www.wevolver.com/article/3d.printing.the.next.generation.of.batteries>

Jiménez Calzado, M., Romero, L., Dominguez Espinosa, I. A., Espinosa, M. D. M., & Domínguez Somonte, M. (2019).

Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Printing Methods and Future Prospects-Article ID 9656938.

- Kim, S. W., Seo, D. H., Ma, X., Ceder, G., & Kang, K. (2013). Adv. Energy Mater. 2012, 2, 710; b) MD Slater, D. Kim, E. Lee, CS Johnson. Adv. Funct. Mater, 23, 947.
- King, W. E., Anderson, A. T., Ferencz, R. M., Hodge, N. E., Kamath, C., Khairallah, S. A., & Rubenchik, A. M. (2015). Laser powder bed fusion additive manufacturing of metals; physics, computational, and materials challenges. Applied Physics Reviews, 2(4), 041304.
- Lacey, S. D., Kirsch, D. J., Li, Y., Morgenstern, J. T., Zarket, B. C., Yao, Y., ... & Hu, L. (2018). Extrusion-based 3D printing of hierarchically porous advanced battery electrodes. Advanced Materials, 30(12), 1705651.
- Li, Y., Hu, Y., Cong, W., Zhi, L., & Guo, Z. (2017). Additive manufacturing of alumina using laser engineered net shaping: Effects of deposition variables. Ceramics international, 43(10), 7768-7775.
- Lou, X., & Gandy, D. (2019). Advanced manufacturing for nuclear energy. JOM, 71(8), 2834-2836.
- Lou, X., Song, M., Emigh, P. W., Othon, M. A., & Andresen, P. L. (2017). On the stress corrosion crack growth behaviour in high temperature water of 316L stainless steel made by laser powder bed fusion additive manufacturing. Corrosion Science, 128, 140-153.

- Manogharan, G., Kioko, M., & Linkous, C. (2015). Binder jetting: a novel solid oxide fuel-cell fabrication process and evaluation. *Jom*, 67(3), 660-667.
- Maurel, A., Courty, M., Fleutot, B., Tortajada, H., Prashantha, K., Armand, M., ... & Dupont, L. (2018). Highly loaded graphite–polylactic acid composite-based filaments for lithium-ion battery three-dimensional printing. *Chemistry of Materials*, 30(21), 7484-7493.
- Miller, A. J., Warner, G., Raghavan, D., McMurtrey, M., O'Brien, R., Sun, C., ... & Sant, G. N. (2021). 19th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems-Water Reactors. *Nuclear Science and Engineering*.
- Milroy, C., & Manthiram, A. (2016). Printed microelectrodes for scalable, high-areal-capacity lithium–sulfur batteries. *Chemical Communications*, 52(23), 4282-4285.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. *Compos. Part B Eng.* 143, 172 (2018).
- Ning, H., Pikul, J. H., Zhang, R., Li, X., Xu, S., Wang, J., ... & Braun, P. V. (2015). Holographic patterning of high-performance on-chip 3D lithium-ion microbatteries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(21), 6573-6578.
- Office of Nuclear Energy: 4 Major Opportunities for Additive Manufacturing in Nuclear Energy; 2019.
- Owsiński, R., & Niesłony, A. (2018, October). Fatigue properties in additive manufacturing methods applying Ti6Al4V. In *AIP*

- Conference Proceedings (Vol. 2029, No. 1, p. 020049). AIP Publishing LLC.
- Philamore, H., Rossiter, J., Walters, P., Winfield, J., & Ieropoulos, I. (2015). Cast and 3D printed ion exchange membranes for monolithic microbial fuel cell fabrication. *Journal of Power Sources*, 289, 91-99.
- Philamore, H., Rossiter, J., Walters, P., Winfield, J., & Ieropoulos, I. (2015). Cast and 3D printed ion exchange membranes for monolithic microbial fuel cell fabrication. *Journal of Power Sources*, 289, 91-99.
- Pikul, J. H., Zhang, H. G., Cho, J., Braun, P. V., & King, W. P. (2013). High-power lithium ion microbatteries from interdigitated three-dimensional bicontinuous nanoporous electrodes. *Nature communications*, 4(1), 1-5.
- Ponrouch, Alexandre, and M. Rosa Palacín. "On the road toward calcium-based batteries." *Current Opinion in Electrochemistry* 9 (2018): 1-7.
- Ranjan, R., Samant, R., & Anand, S. (2017). Integration of design for manufacturing methods with topology optimization in additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 139(6).
- Revuelta, A., Riipinen, T., Siren, M., Vaajoki, A., Que, Z., Jayaprakash, S., ... & Korpela, M. (2021). Additive manufacturing in nuclear power plants (AM-NPP). In *SAFIR2022-The Finnish Research Programme on Nuclear Power Plant Safety 2019-2022* (pp. 318-328). VTT.

- Rodriguez, R., Deiner, L. J., Tsao, B. H., & Fellner, J. P. (2021). Aerosol Jet-Printed LFP Cathodes with Bimodal Pore Distribution Improve the Rate Capability of LIB Cells. *ACS Applied Energy Materials*, 4(9), 9507-9512.
- Rosales, J., van Rooyen, I. J., & Parga, C. J. (2019). Characterizing surrogates to develop an additive manufacturing process for U₃Si₂ nuclear fuel. *Journal of Nuclear Materials*, 518, 117-128.
- Saboori, A., Aversa, A., Marchese, G., Biamino, S., Lombardi, M., & Fino, P. (2019). Application of directed energy deposition-based additive manufacturing in repair. *Applied Sciences*, 9(16), 3316.
- Shah, R. K. (2006). Advances in science and technology of compact heat exchangers. *Heat Transfer Engineering*, 27(5), 3-22.
- Song, M., Wang, M., Lou, X., Rebak, R. B., & Was, G. S. (2019). Radiation damage and irradiation-assisted stress corrosion cracking of additively manufactured 316L stainless steels. *Journal of Nuclear Materials*, 513, 33-44.
- Srikrishnan, S., Dash, P. K., & Jayakumar, V. (2018). Evaluation of critical blockage ratio and pulse length in a pulse detonation engine using CFD and MATLAB. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 172, p. 02006). EDP Sciences.
- Sun, C., Wang, Y., McMurtrey, M. D., Jerred, N. D., Liou, F., & Li, J. (2021). Additive manufacturing for energy: A review. *Applied Energy*, 282, 116041.
- Tai, X. Y., Zhakeyev, A., Wang, H., Jiao, K., Zhang, H., & Xuan, J. (2019). Accelerating fuel cell development with additive

- manufacturing technologies: state of the art, opportunities and challenges. *Fuel Cells*, 19(6), 636-650.
- Tan, H. W., Tran, T., & Chua, C. K. (2016). A review of printed passive electronic components through fully additive manufacturing methods. *Virtual and Physical Prototyping*, 11(4), 271-288.
- Tarascon, J. M., & Armand, M. (2011). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Materials for sustainable energy: a collection of peer-reviewed research and review articles from Nature Publishing Group*, 171-179.
- Terrani, K. A. (2018). Advanced Manufacturing and Materials to Enable Advanced Nuclear Energy. *Transactions*, 118(1), 1575-1575.
- Terrani, K., Kiggans, J., Chandler, D., Bryan, C., Pinkston, D., Sridharan, N., ... & Suresh Babu, S. (2016). Additive manufacturing of research reactor control elements and subsequent neutron irradiation. *Transactions of the American Nuclear Society*, 114(1).
- Vaezi, M., Seitz, H., & Yang, S. (2013). A review on 3D micro-additive manufacturing technologies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 67(5-8), 1721-1754.
- Verhoef, L. A., Budde, B. W., Chockalingam, C., Nodar, B. G., & van Wijk, A. J. (2018). The effect of additive manufacturing on global energy demand: An assessment using a bottom-up approach. *Energy Policy*, 112, 349-360.

- Vernardou, D., Vasilopoulos, K. C., & Kenanakis, G. (2017). 3D printed graphene-based electrodes with high electrochemical performance. *Applied Physics A*, 123(10), 1-7.
- Wang, R., Zhang, K., Davies, C., & Wu, X. (2017). Evolution of microstructure, mechanical and corrosion properties of AlCoCrFeNi high-entropy alloy prepared by direct laser fabrication. *Journal of Alloys and Compounds*, 694, 971-981.
- Wang, Y. (2009). Porous-Media Flow Fields for Polymer Electrolyte Fuel Cells: II. Analysis of Channel Two-Phase Flow. *Journal of the Electrochemical Society*, 156(10), B1134.
- Wang, Y., Chen, C., Xie, H., Gao, T., Yao, Y., Pastel, G., ... & Hu, L. (2017). 3D-printed all-fiber li-ion battery toward wearable energy storage. *Advanced Functional Materials*, 27(43), 1703140.
- Wang, Y., Chen, K. S., Mishler, J., Cho, S. C., & Adroher, X. C. (2011). A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research. *Applied energy*, 88(4), 981-1007.
- Wang, Z., Winslow, R., Madan, D., Wright, P. K., Evans, J. W., Keif, M., & Rong, X. (2014). Development of MnO₂ cathode inks for flexographically printed rechargeable zinc-based battery. *Journal of Power Sources*, 268, 246-254.
- Wei, L., Zhang, J., Yu, F., Zhang, W., Meng, X., Yang, N., & Liu, S. (2019). A novel fabrication of yttria-stabilized-zirconia dense electrolyte for solid oxide fuel cells by 3D printing technique. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(12), 6182-6191.

- Wei, L., Zhang, J., Yu, F., Zhang, W., Meng, X., Yang, N., & Liu, S. (2019). A novel fabrication of yttria-stabilized-zirconia dense electrolyte for solid oxide fuel cells by 3D printing technique. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(12), 6182-6191.
- Wrobel, R., Scholes, B., Hussein, A., Law, R., Mustaffar, A., & Reay, D. (2020). A metal additively manufactured (MAM) heat exchanger for electric motor thermal control on a high-altitude solar aircraft—Experimental characterisation. *Thermal Science and Engineering Progress*, 19, 100629.
- Xu, J., Gu, X., Ding, D., Pan, Z., & Chen, K. (2018). A review of slicing methods for directed energy deposition based additive manufacturing. *Rapid Prototyping Journal*.
- Xu, L., Gutbrod, S. R., Bonifas, A. P., Su, Y., Sulkin, M. S., Lu, N., ... & Rogers, J. A. (2014). 3D multifunctional integumentary membranes for spatiotemporal cardiac measurements and stimulation across the entire epicardium. *Nature communications*, 5(1), 1-10.
- You, J., Preen, R. J., Bull, L., Greenman, J., & Ieropoulos, I. (2017). 3D printed components of microbial fuel cells: Towards monolithic microbial fuel cell fabrication using additive layer manufacturing. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 19, 94-101.
- Zhang, H., Yu, X., & Braun, P. V. (2011). Three-dimensional bicontinuous ultrafast-charge and-discharge bulk battery electrodes. *Nature nanotechnology*, 6(5), 277-281.

Zhang, Z., Zuo, C., Liu, Z., Yu, Y., Zuo, Y., & Song, Y. (2014). All-solid-state Al–air batteries with polymer alkaline gel electrolyte. *Journal of Power Sources*, 251, 470-475.

Zhong, Y., Rännar, L. E., Liu, L., Koptug, A., Wikman, S., Olsen, J., ... & Shen, Z. (2017). Additive manufacturing of 316L stainless steel by electron beam melting for nuclear fusion applications. *Journal of nuclear materials*, 486, 234-245.

BÖLÜM 2

SERVO MOTOR VE ASENKRON MOTOR KONTROLÜ İLE UÇAN TESTERE UYGULAMASI

Ekrem Hayri ÇAKALOĞLU¹
Dr. Öğr. Üyesi Sıtkı ÖZTÜRK²
Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNCAN³
Dr. Öğr. Üyesi Kaplan KAPLAN⁴

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye. ekremcakaloglu@gmail.com

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye. sozturk@kocaeli.edu.tr

³ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye. fatmakuncan@siirt.edu.tr

⁴ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye. kaplan.kaplan@kocaeli.edu.tr

1. GİRİŞ

Endüstride insan aracılığını en aza indirerek işlemlerin otomatik olarak yürütülmesi işlemi otomasyon ile sağlanır. Başka bir deyişle otomasyon, insan ile makine arasında iş bölümü yapılmasıdır. Otomasyon sistemlerinin etkin biçimde kullanılmasıyla birlikte, ürün kalitesinde, benzer ürünler elde edilmekte, ürünün hatasının en aza indirgenmesi ve verimlilikte artış görülmektedir. Dolayısıyla, tekrar gerektiren işler temel alındığında otomasyon sistemleri; daha az zamanda çok daha fazla işi, insanlara oranla daha yüksek kesinlikte gerçekleştirmektedir. Otomasyon sistemlerinin kullanılması ile birlikte birim zamandaki üretim miktarı da artmaktadır. Üretim hatları günümüz üretiminde yaygın olarak kullanılan endüstriyel üretim sistemleridir. Bu sistemlerde ürünün üretilme hızı, üretim kapasitesini belirlediği için önemli kriterler arasındadır. Endüstriyel uygulamaların birçoğunda bu süreçler için servo motor sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan tüm servo motorların kontrol edilmesi gerekmektedir. Son yıllarda birçok araştırmacı yaygın olarak servo motor kontrol çalışmalarını hem sanayi hem de akademik çalışmalar için tercih etmektedir. Servo motor kontrol çalışmaları için belirli donanımlar kullanılarak (PLC, Kontrol kartları vb. kartlar) farklı kontrol uygulamaları ile (PI, PD, PID, Bulanık Mantık vb.) bu çalışmalar başarılı şekillerde yapılmaktadır (Huang vd., 2006; Liu vd., 2009; Tekinalp vd., 2013; Çubukçu vd., 2014; Kaplan vd., 2020). Çelikayar yaptığı çalışmada servo motor tahrikli pompa kontrol sistemleri ve enerji tasarrufu konusunu incelemiştir. Çelikayar yaptığı

çalışmanın son kısmında, yüksek enerji verimliliğine sahip değişken devirli pompa kontrol uygulamalarının makinalarda kullanımıyla beraber makina üreticilerinin müşterilerine enerji sarfiyatı, gürültü, bakım kolaylığı ve kontrol performansı konularında daha fazla fayda sağlamakta ve bu sağlanan avantajların makina satışlarında gittikçe önemi artan bir etkiye sahip olacağını ifade etmiştir (Çelikayar, 2008). Küpeli yaptığı tez çalışmasında LPG yakıt kullanan araçlar için, servo motor tahrikli bir hidrolik sistemde enerji kazanımlarının deneysel incelenmesini araştırmıştır. Küpeli LPG'li araçlardaki klasik hidrolik sistemlerin hız ve basınç kontrolünde pahalı enerji kayıplarına neden olan oransal yön kontrol valflerinin kullanılmasının zorunlu olduğunu belirtmiştir. Yukarıda ifade edilen olumsuz durumların üstesinden gelmek amacıyla alternatif olarak servo motor tahrikli sistemler geliştirildiğini ifade etmiştir. Küpeli yapmış olduğu tez çalışması için servo sistemin ilk yatırım maliyetinin, klasik sisteme göre %20 oranında daha fazla olmasına rağmen, sekiz saatlik çalışmanın sonucunda, bu sistemin kendisini yaklaşık yirmi ayda amorti edeceğini ön gördüklerini ifade etmişlerdir (Küpeli, 2018). Saraç ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ethercat ile servo pres kontrolü üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Yazarlar yaptıkları çalışmada, servo presin yörünge hareketinin kontrolü üzerine yoğunlaşmışlardır. LabVIEW programı kullanılarak çalışmanın görselleştirme ve izleme çalışmalarını gerçekleştirdiklerini ifade etmişlerdir. Yazarlar çalışmalarında servo presin kontrolünün sahadaki sensörlerden gelen veriler doğrultusunda endüstriyel bir bilgisayar ile motor yörünge hareketinin de yazılım tabanında gerçekleştirildiğini ifade etmişlerdir (Saraç vd., 2020). Bu

çalışmada endüstriyel üretim hatlarında yaygın olarak kullanılan uçan testere yapısı fiziksel olarak deney seti üzerinde test edilmiştir. Uçan testere sistemin çalışma yapısı üretim bandı durmadan kesme, delme gibi işlemleri gerçekleştirmek üzerine kurulmuştur. Uçan testere sistemlerinin en önemli özelliklerinden birisi de kullanılan servo motor ve sürücülerin desteği ile en az güç ile en fazla verim sağlanmış olur. Bu verimi sayısal olarak incelemek gerekirse; uçan testere uygulaması kullanılan ve kullanılmayan ancak diğer tüm değişkenlerin aynı olduğu iki farklı kesim hattının 400mm uzunluğunda parçalar kesilmesi senaryosuna sahip sistemlerin farkları: Hattın çalışma hızının 100mm/s olduğu kabul edilirse 400mm'lik ürünün hattan gelme süresi 4 saniye olmaktadır. Kesim için 2 saniye geçtiği kabul edilirse 400mm'lik bir parçanın kesilmesi için gereken süre 6 saniye olacaktır. Uçan testere uygulamasının kullanıldığı bir hatta ise testere düzeneği hattan gelen malzemeye senkron olarak çalışacağı için ayrıca kesme süresinden bahsedilmeyeceğinde dolayısı ile bu süre 4 saniyeye düşecektir. 500m'lik bir ham ürünün 400mm'lik parçalar haline getirilmesi için klasik sistemde geçecek süre;

Kesim Miktarı

$$= \frac{\text{Toplam Malzeme Uzunluğu}}{\text{İstenilen Malzeme Uzunluğu}}$$

$$\text{Kesim Miktarı} = 500\text{m}/400\text{mm} = 500000/400 = 1250 \text{ kesim}$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam Kesim süresi} &= \text{Kesim Miktarı} \times \text{Kesim süresi} \\ &= 1250 \text{ kesim} \times 6 \text{ saniye} = 7500 \text{ saniye} \end{aligned}$$

$$\text{Toplam Kesim süresi} = 125 \text{ dakika} = 2 \text{ saat } 5 \text{ dakika}$$

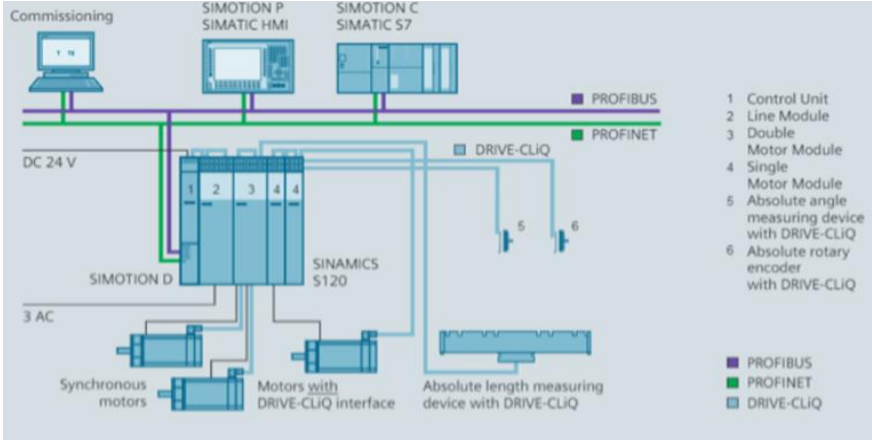
zaman gereklidir. Uçan testere kullanan sistemde geçecek süre ise;

$$\text{Kesim Miktarı} = 500\text{m}/400\text{mm} = 500000/400 = 1250 \text{ kesim}$$

$$\begin{aligned} \text{Toplam Kesim süresi} &= 1250 \text{ kesim} \times 4 \text{ saniye} = 5000 \text{ saniye} \\ &= 83.33 \text{ dakika} \end{aligned}$$

$$\text{Toplam Kesim süresi} = 1 \text{ saat } 23.3 \text{ dakika}$$

zaman gerekmektedir. İki kesim hattı arasında 1250 adet kesimde geçen zaman farkı 41.67 dakika gibi ciddi bir süre farkı görülmektedir. Uçan testere uygulamasının bu avantajı %33.36 zaman tasarrufu sağlamaktadır. İşlemleri daha kısa sürede tamamlamak daha az maliyet dolayısıyla daha fazla kazanç anlamına gelmektedir. Şekil 1.1’de tipik bir uçan testere uygulamasında gerekli olacak ekipmanların elektriksel bağlantı şeması verilmiştir.

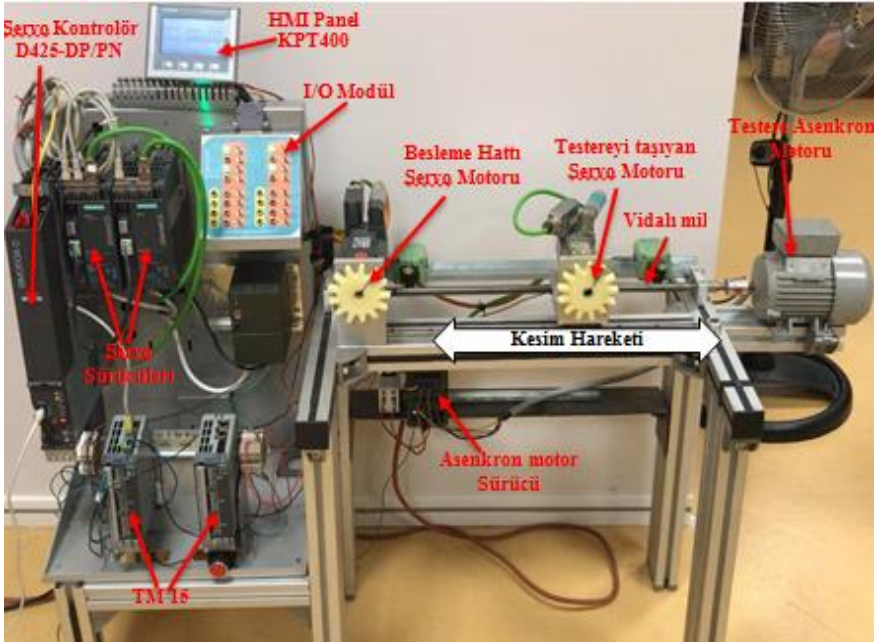


Şekil 1.1: Örnek Uçan Testere Uygulaması (Siemens)

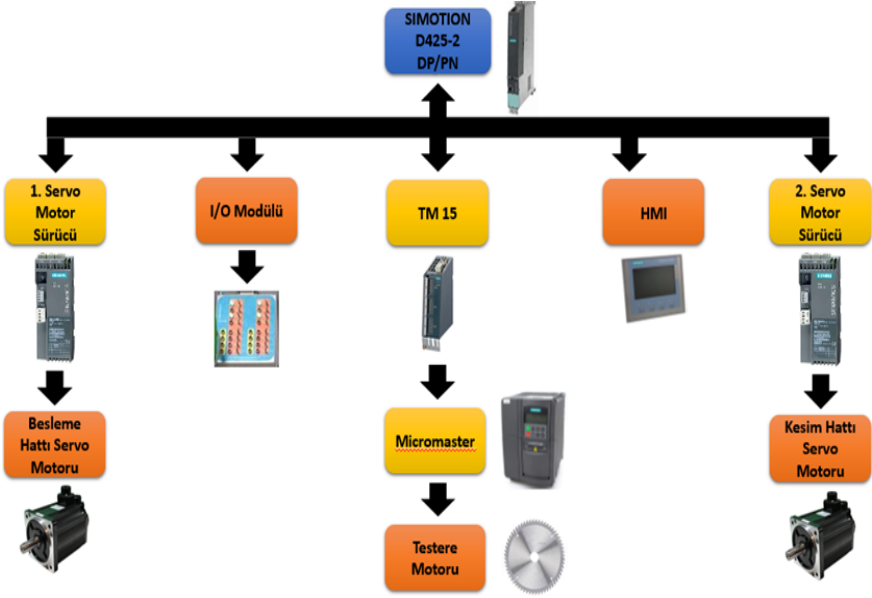
2. DONANIM AŞAMASI

Bu çalışmada gerçekleştirilen uçan testere çalışması Şekil 2.1’de verilen deney seti düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Sistemin test edilmesi için kullanılan deney seti üzerinde bulunan Siemens Simotion D425-2 DP/PN servo kontrolü master olarak kullanılıp diğer modüllerle iletişim ve diğer modüllerin kontrolü görevlerinde kullanılmıştır. D425 cihazı, DRIVE CLIQ kablosuyla Sinamics servo motor sürücülerine bağlanıp, servo motorlar kontrol edilmiştir. Sistemde bulunan asenkron motoru sürmek için ise Siemens Micromaster kullanılmış ve TM15 modülü üzerinden D425 cihazına bağlanarak gerekli programlama yapılmıştır. Ayrıca sistemin giriş bilgileri, anlık durumu, sistem animasyonu gibi konuların incelenebilmesi için Siemens KTP400 Basic modeli, HMI panel ile D425 cihazı haberleşerek sistemin insan-makine ara yüzü oluşturulmuştur. Şekil 2.2’de gerçekleştirilen deney seti üzerinde kullanılan modüllere ait blok yapı verilmiştir. Deney seti üzerinde uçan testere deneyini gerçekleştiren hareketler, Şekil 2.1 de

görülen, besleme hattını sabit servo motor, kesme hattını, vidalı mil üzerinde bulunan servo motor ve kesme hattını temsil eden servo motorun bulunduğu vidalı milin ileri geri hareketi ise testerenin kesim hareketini temsil etmektedir.



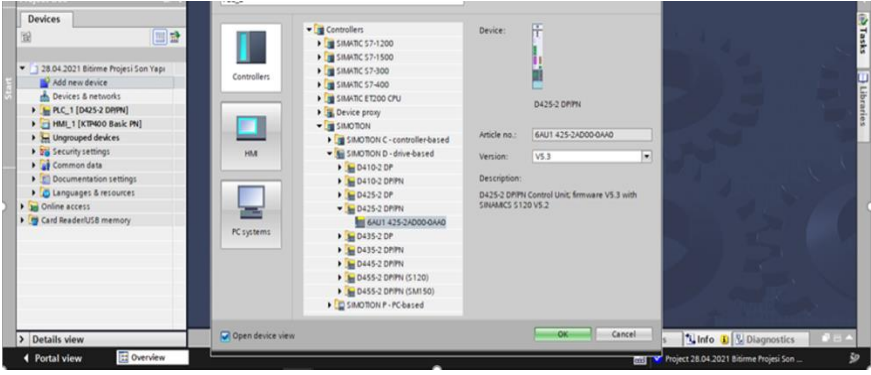
Şekil 2.1: Uygulamanın Gerçekleştirildiği Deney Düzeneği



Şekil 2.2: Gerçekleştirilen Sistemin Blok Yapısı

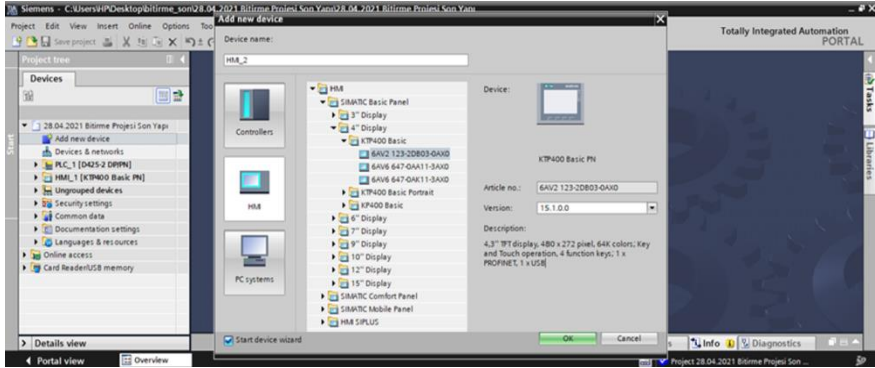
3. SİSTEMİN TIA PORTAL İLE PROGRAMLANMASI

Portal da proje oluşturmak gerekmektedir. Proje oluşturulurken deney setinde master cihaz olarak görev yapan D425 cihazının ve HMI cihazının projeye eklenmesi gerekmektedir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi D425 cihazının projeye eklenmesi için ‘Project Tree’ sekmesi altından ‘Add new device’ seçeneği tıklanarak, açılan pencere altından controllers bölümünden Controllers sekmesi altından “SIMOTION” sekmesinden D425-2 DP/PN cihazın seçilir. Gerekli versiyon seçimi yapılarak projeye eklenilip bilimsel referans sistemleri kullanılabilir.



Şekil 3.1: D425 Cihazının Projeye Eklenmesi

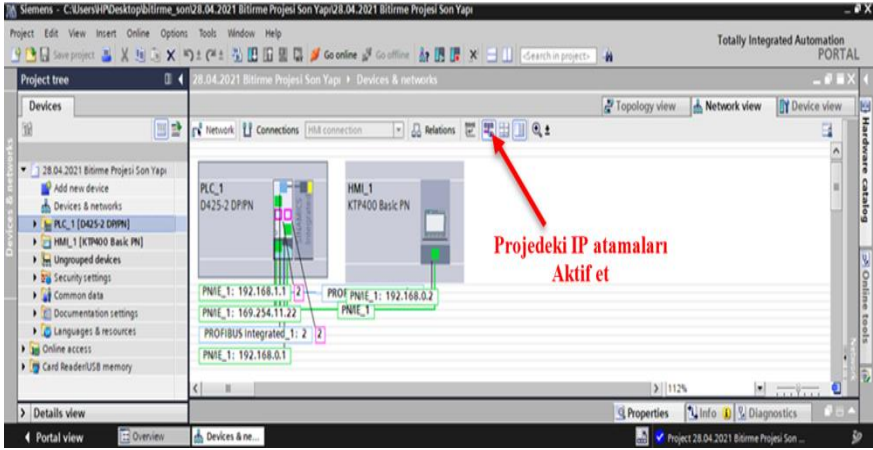
HMI cihazının eklenmesi için ise Şekil 3.2’te görüldüğü gibi ‘Project Tree’ sekmesi altından ‘Add new device’ sekmesi altından HMI kısmına gidilir. HMI sekmesi altından Simatic Basic Panel sekmesi altında projede kullanılan KTP 400 Basic cihazın seçilir. Gerekli model ve versiyon seçimi yapıldıktan sonra projeye eklenir.



Şekil 3.2:HMI Cihazının Eklenmesi

Projede D425 kontrolörü ile HMI paneli arasındaki haberleşme profinet ağı üzerinden yapılır. Profinet bağlantısının gerçekleştirilmesi için ‘Project Tree’ altından ‘Devices & Networks’ seçeneği seçilerek

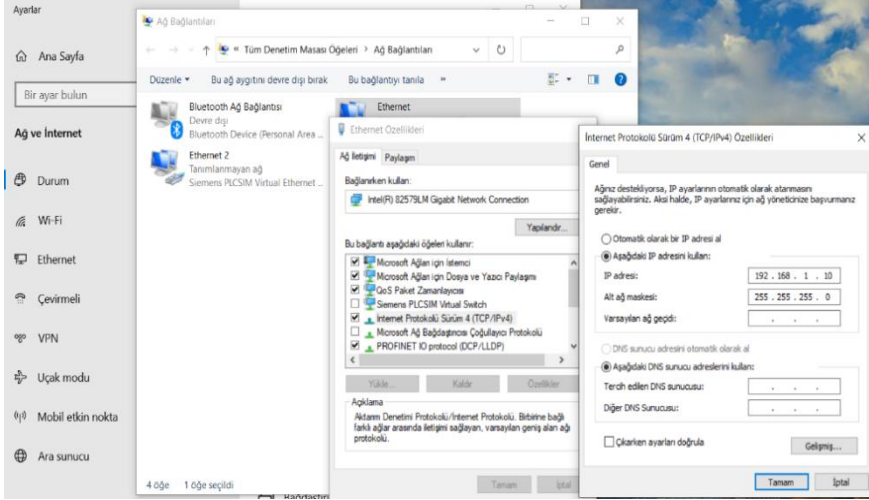
‘Network View’ haberleşme ara yüzü açılır. Ara yüz üzerinden PN/IE bağlantısı yapılır. Bu bağlantıda önemli olan cihazlara atanan IP adresleri ve IP maskesinin aynı ağda bulunması ve biri birinden farklı olması için uygun IP seçilmesi gerekir.



Şekil 3.3: Cihazların Portlarına Ait IP Adreslerinin Gösterilmesi

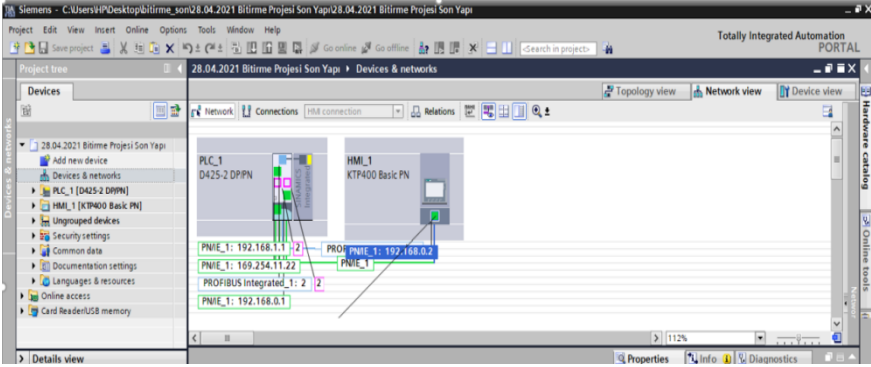
Şekil 3.3'te görüldüğü gibi işaretli butona tıklandığında projeye eklenmiş cihazların portlarına ait atanmış olan IP adresleri görüntülenebilmektedir. Böylece ağdaki atanmış IP'ler görülerek, projede benzer IP verilmesinin önüne geçilebilir. D425 modülü ile HMI modülü arası bağlantının kurulması için kullanılan portların adresleri D425 tarafında '192.168.0.1', HMI tarafında '192.168.0.2' olarak yapılandırılmıştır. Alt ağ maskesi '255.255.255.0' olarak seçilmiş yani bu ağa 255 farklı cihazın bağlanması izin verilmiştir. D425 modülünün programlaması için programlama bilgisayarı ile haberleşmesi için kullanılacak olan portun IP adresi ise D425 tarafında '192.168.1.1' olarak seçilmiştir. Ayrıca bu bağlantının sağlanması için programlama

yapılacak bilgisayarın Ethernet portuna ait IP adresinin de gerekli atamasının yapılması gerekmektedir. Şekil 3.4'te yapılan bu atama da 192.168.1.10 IP adresi verildiği görülmektedir.



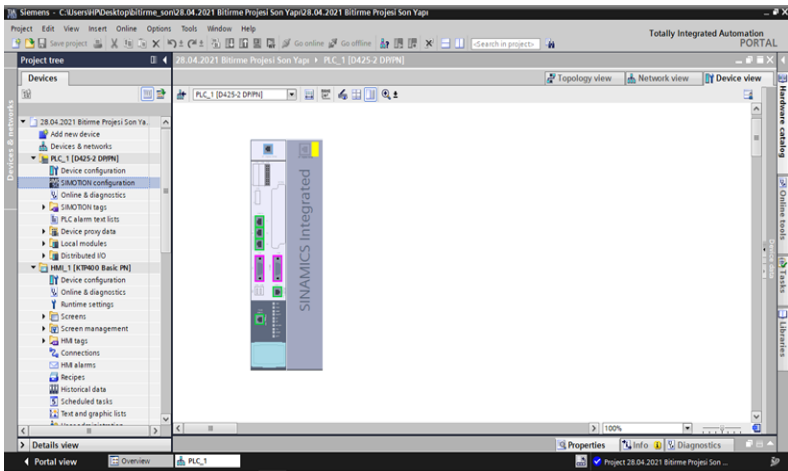
Şekil 3.4: Programlama Bilgisayarının Ethernet Portunun IP ataması

Gerekli IP atamaları yapıldıktan sonra modüller arası ağın kurulması için kullanılacak fiziksel portların bağlantıları TIA Portal programı üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bunun için Şekil 3.5'te görüldüğü gibi 'Network View' ara yüzünde istenilen portun üzerine tıklanıp sürüklenerek bağlantı hattı diğer haberleşeceği port üzerine bırakılır. İstenilen bağlantı gerçekleşmiş olur. Yapılmış olan bağlantı doğru ağdaki IP adresi ise yeşil renkte görüntülenir. Bu şekilde projede kullanılan cihazların haberleşme ağları oluşturulur.



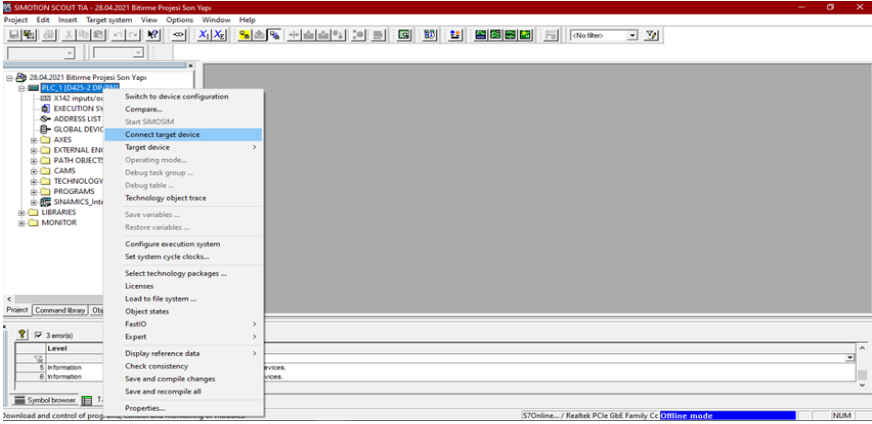
Şekil 3.5: Haberleşme Ağının Bağlanması

TIA Portal programında projeye cihazlar eklenip ve haberleşme ağı gerçekleştirildikten sonra programlamaya yazılmasına geçilebilir. Çalışmada, sistemin kontrolü D425 servo kontrolör ile gerçekleştirilmiştir. D425 kontrolörünün programlanması için TIA Portala entegre edilmiş Simotion scout programı kullanılmıştır. Bu adımda Şekil 3.6’da görüldüğü gibi ‘Project Tree’ altından “Simotion configuration” sekmesine çift tıklanarak TIA Portal ile senkronize çalışan Simotion Scout programına geçiş yapılır.



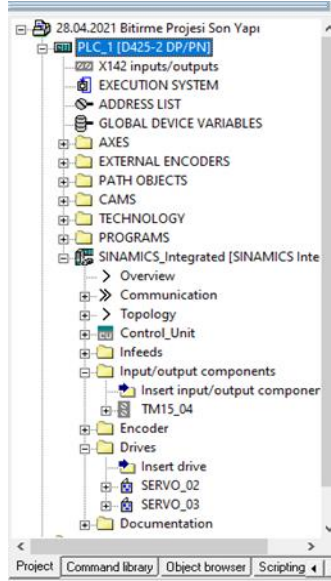
Şekil 3.6: SIMOTION SCOUT Programına Geçiş

TIA da oluşturulan proje öncelikle D425 modülüne yüklenmesi gerekir. Bunun içinde Şekil 3.7 de görüldüğü gibi Simotion scout programına geçildikten sonra modüle fiziksel bağlantı yapıp, programda download seçeneği ile yapılan yapılandırmalar D425 kontrolör modülüne yüklenir. Projede IP atamalarının doğru olup olmadığını test amacıyla D425'e on-line olunur. Eğer programdan D425 sorunsuz bağlanıyorsa, yapılan yapılandırmanın doğru olduğu anlaşılır. Bu aşamadan sonra her bir servo sürücülerin-motorların SINAMICS altında projeye tanıtılması ve her bir sürücü AXES sekmesi altında eksen çalışma koşullarının oluşturulması yapıldıktan sonra da sistemin programlanması PROGRAMS altında yapılır.



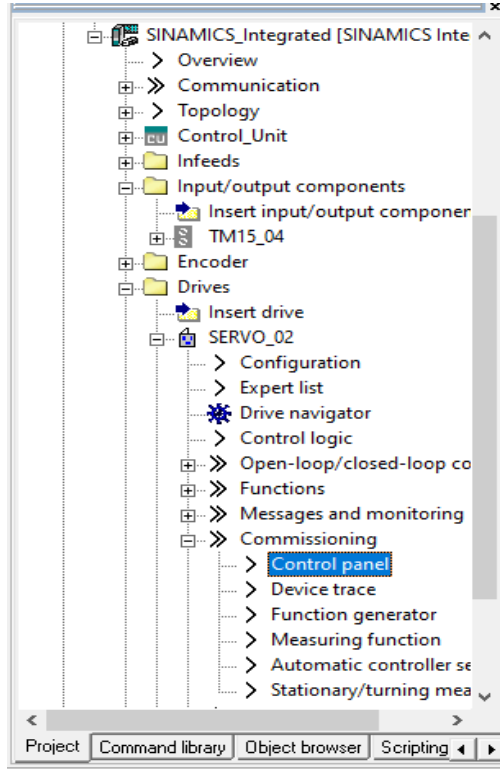
Şekil 3.7: Scout Programına D425 Kontrolör Cihazına On-Line Bağlanması

Scout programı D425 kontrolöre bağlandıktan sonra önce iki servo motorun Şekil 3.8'de görüldüğü gibi sinamics integrated sekmesi altına SERVO_02 ve SERVO_03 sürücülerini eklenir. Doğru bir donanım oluşturulup oluşturulmadığı her bir SERVO programa on-line yapılarak test edilebilir.

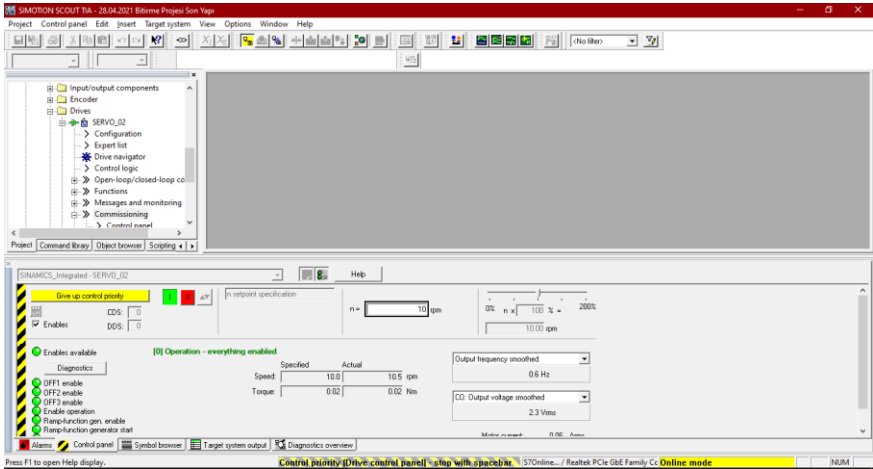


Şekil 3.8: Sinamics Altına Sürücülerin Eklenmesi

Şekil 3.9’da görüldüğü gibi servo motorların test edilmesi için servo motor sekmesi genişletilir. Buradan commissioning sekmesi altından control panel ara yüzü açılarak motorlara erişim sağlanır. Açılan ara yüzde Şekil 3.10 da görüldüğü gibi motorlara ait hız, yön ve konum testi yapılarak motorların doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilir.

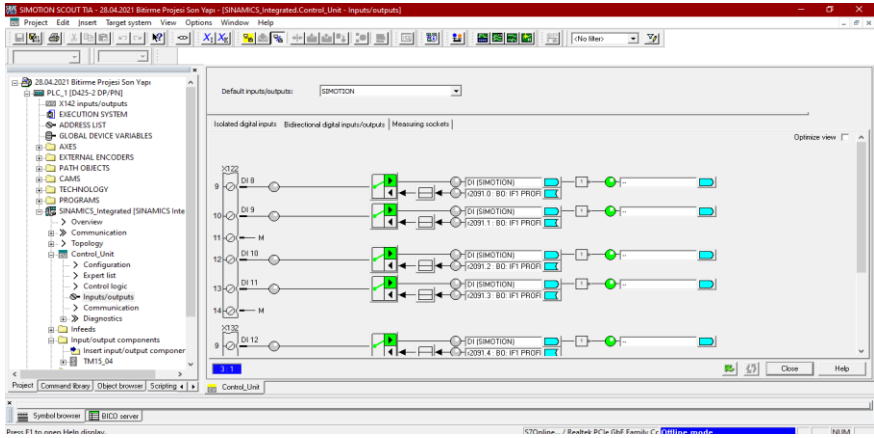


Şekil 3.9: Servo_02 Sürücüsü İçin Test Ara Yüzü Kontrol Paneli Ara Yüzünün Açılması



Şekil 3.10: Sürücülerin Test Ara Yüzü Kontrol Paneli

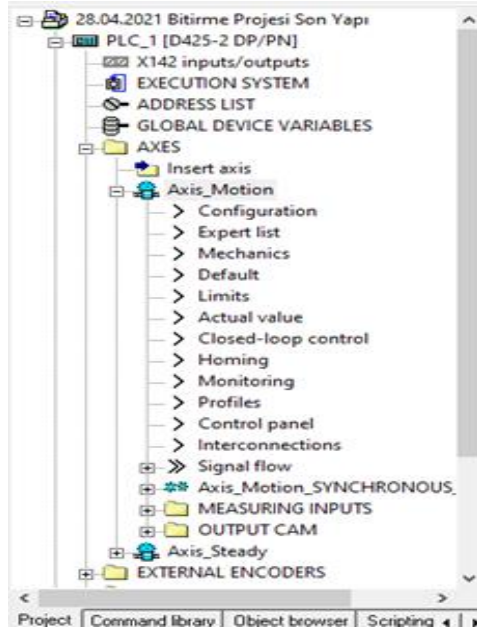
Motorları projeye ekledikten sonra sistemde kullanılacak giriş ve çıkış portlarının programa eklenmesi gerekir. Bunun için Sinamics integrated sekmesi altında bulunan Control_Unit altında Inputs/Outputs ara yüzünde I/O yapılandırması yapılır. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi istenilen giriş ve çıkış seçilerek giriş-çıkışların port ataması yapılır.



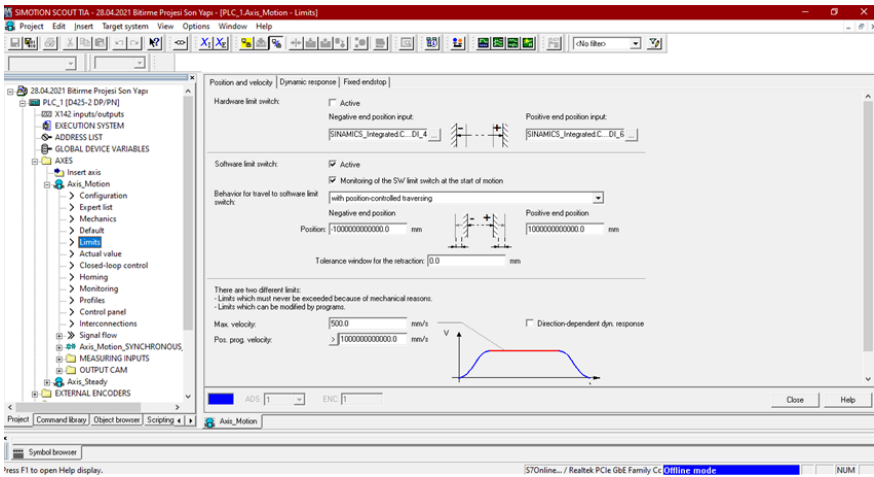
Şekil 3.11: I/O Portlarını Atama Ara yüzü

Bu aşamada sürücülerin-servo motorların projeye atanması bitmiş, sıra eksen kontrolünün yapılandırılmasına gelmiştir. Bunun için Şekil 3.12’de görüldüğü gibi “Axes” sekmesinin altında bulunan “Insert axis” seçeneği ile istenilen eksenler eklenir. Çalışmada motorların biri birlerine senkron çalışacağı için eksenlerden bir tanesinin diğer eksene senkron olma durumu eksen ekleme aşamasında yapılır. Çalışmada kullanılacak eksenler besleme hattı servo motoru için “motion” ve kesim hattı servo motoru için “steady” olarak isimlendirilmiştir. Motion eksen yani besleme hattı, steady eksene yani kesim hattına senkron olacak şekilde işlem yapacaktır. Şekil 3.12’de de görüldüğü gibi senkron olan eksenle diğer eksenden farklı olarak

“Axis_Motion_SYNCHRONOUS_OPERATION” farklı yapılandırma ara yüzü bulunmaktadır. Motorlara hareket alanının hangi konumlar arasında olacağı bilgisi verilmelidir. Bunun için eksenlerin çalışma alanının oluşturulması veya güvenliğinin sağlanması için sınır anahtarları eksenlere eklenir. Eksen hareketi istenilmeyen konuma geldiği bilgisini verecek sınır anahtarları bu hareket alanlarının son noktalarına yerleştirilir. Böylece motorun hareket ettirdiği sistem, bu noktaya geldiğinde sınır anahtarı konum değiştirerek motorun durması sağlanmış olur. Sistemin bir kazaya neden olmaması için sınır anahtar devresinin her zaman aktif olması istenir. Bu nedenle de burada kullanılacak olan sınır anahtarları güvenlik açısından normalde kapalı (NC) seçilir. Şekil 3.13’te Limits ara yüzü ile eksenlere sınır anahtarlarının atanması ara yüzü verilmiştir. Şekil 3.13’te görüldüğü gibi her eksen için daha önce projeye atanan I/O modülü üzerindeki girişler kullanılmıştır. Servo 2 için DI_4 sol, DI_6 ise sağ sınır anahtarı olarak tanımlaması yapılmıştır.



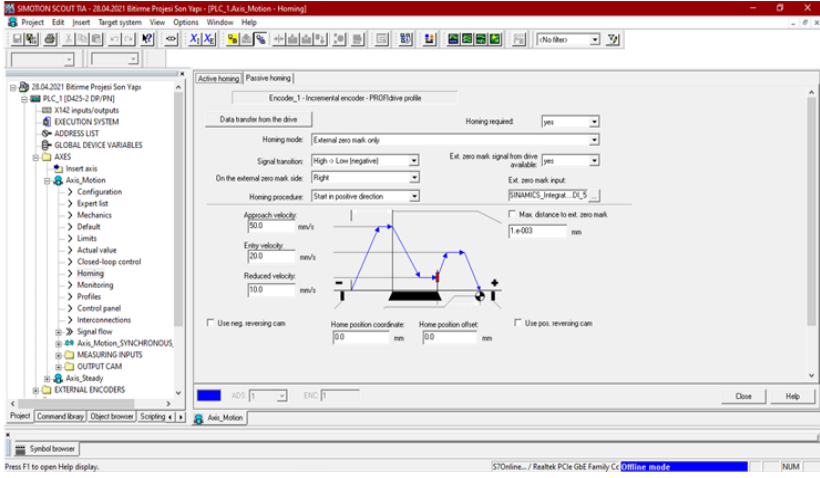
Şekil 3.12: Eksen Sekmesi Altında Yapılandırılabilir Ara Yüzler



Şekil 3.13: Sınır Anahtarı Ara Yüzü

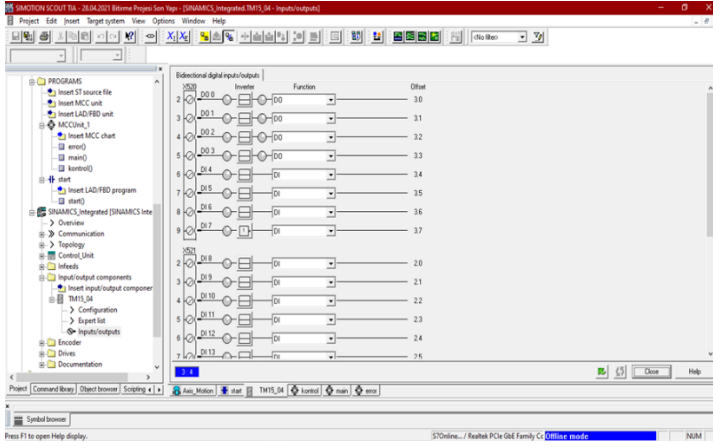
Eksen yapılandırmasında diğer bir önemli aşama referans noktasının oluşturulmasıdır. Referans noktası Scout editöründe Homing işlemi olarak adlandırılmaktadır. Homing, servo sistemlerinin başlangıç yani

home konumunun bildirilmesi için yürütülen bir işlemdir. Homing işlemi önce homing sensörünün atanması gerekir. Çalışmada Şekil 3.14'de görüldüğü gibi homing sensörü için I/O modülü üzerinde DI_5 girişi kullanılmıştır. Homing çalışmasında, Şekil 3.14 de görülen ara yüz üzerindeki eksen hareketi gerçekleşir. Burada D425 kontrolör, Homing sinyali alana kadar homing noktasını aramak için servo motoru hareket ettirir, homing sinyali geldiğinde motoru sıfır konumuna bir ofset değeri ile hareket ettirip durdurur. Artık bu nokta eksenin sıfır referans noktası olur. Bu işlem sonunda hareketli sistemin bulunduğu konum referans noktası olarak belirlenmiş olur. Bu işlem ile örneğin eksene 100mm konumuna git komutu ile eksen referans noktasından itibaren 100mm konumuna ilerleyip duracaktır. Homing yapıldıktan sonra eksenlerin atamaları doğru yapıp yapılmadığı test etmek amacıyla AXES altında bulunan Control Panel sekmesinden, Control Panel ara yüzüne geçerek eksenlerin testleri yapılır. Bu test işlemi SINAMICS altında motor sürücü testine benzetilmektedir.



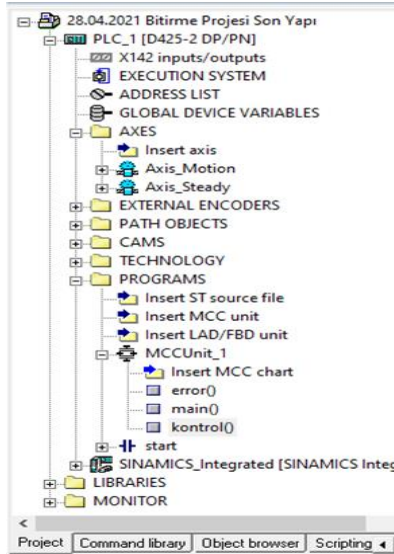
Şekil 3.14: Homing Menüsü

Uçan testerenin kesme işlemi asenkron motorun kontrolü ile gerçekleştirilmiştir. Asenkron motorun devreye alınması için öncelikle asenkron motor sürücü olarak kullanılan micromaster sürücü donanımsal olarak sisteme bağlanması gerekiyor. Bu bağlantıları gerçekleştirmek için TM15 giriş çıkış modülü kullanılmıştır. Şekil 3.15’de görüldüğü gibi TM15 modülü programda Simatics altına inputs/outputs menüsü altında TM15_04 olarak eklenmiştir. DI_7 girişine asenkron motorun acil stop butonu olan NC stop butonu, DO0 ile DO3 arasında bulunan I/O çıkışlara micromaster’a gerekli bilgilerin iletilmesi için atanmıştır.



Şekil 3.15: TM15 I/O Modülü Yapılandırma Ara Yüzü

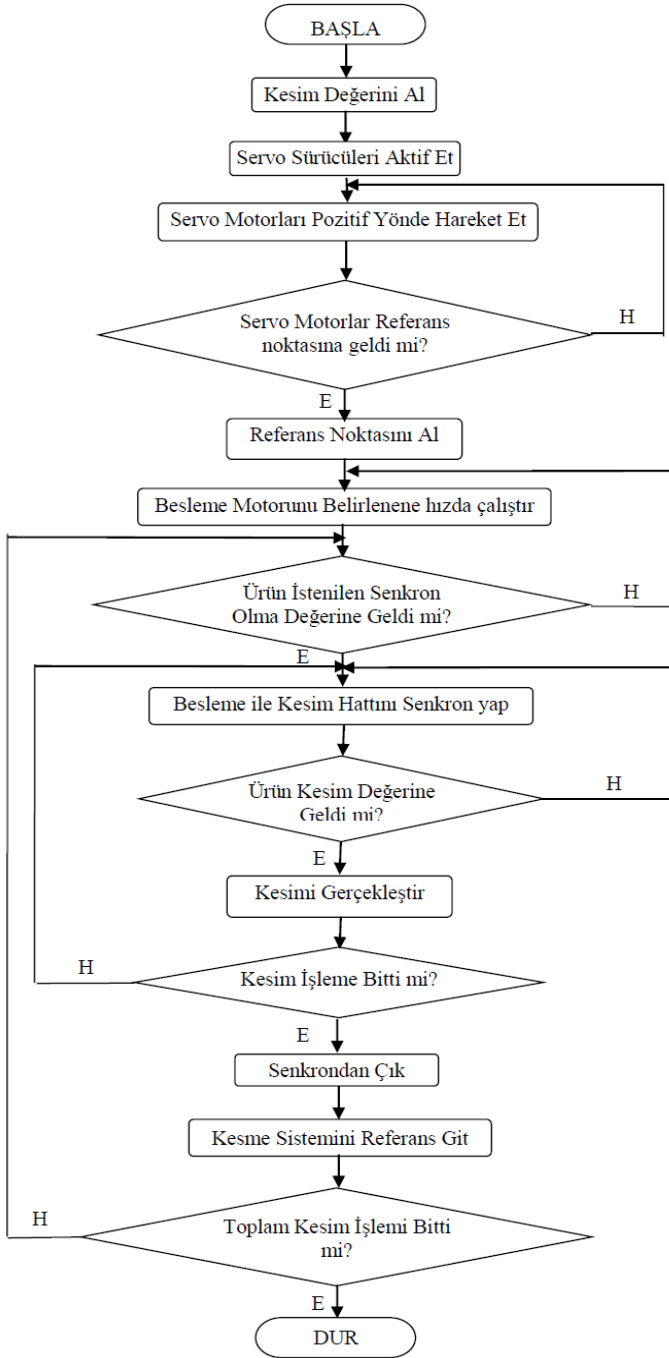
Eksen tanımlamaları bittikten sonra sistemin programlamasına geçilebilir. D425 kontrolörünü programlamak için kullanılan Scout editörü Şekil 3.16 de görüldüğü gibi ST, LAD/FBD ve MCC dillerini desteklemektedir. Çalışmada sistemin kontrolü için gerekli olan programlama MCC programlama dili ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16: PROGRAMS Sekmesi Altında Programlama Dil Sekmeleri

Şekil 3.16’da MCCUnit sekmesi altında çalışmadaki program başlıkları görülmektedir. Burada görülen program başlıkları altında, hata olduğunda aktif olacak error(), temel kontrollerin yürütülmesi için main(), servo motorların kontrolü için ise kontrol() programları yazılmıştır.

Çalışmadaki uçan testere sisteminin çalışma algoritması Şekil 3.17 ile verilmiştir. Algoritmada görüldüğü gibi sistem çalışmaya başlatıldığında önce motorların çalışması için servo motorların sürücüleri aktif edilmesi gerekir. Bunun için Şekil 3.18 deki program parçasında görüldüğü gibi önce eksenler enable komutu ile aktif edilir. Enable sinyalini alan servo motor, referans noktasını belirlemek için Home komutu çalıştırılır. Home komutu çalıştığında Homing sinyali alındığında zaman hareketli sistemin referans noktası belirlemiş olur. Bu aşamadan sonra sistem program yürütmek için hazır duruma gelmiştir. Artık servo motor istenilen hareketi gerçekleştirmek için bir sonraki komutu bekler.



Şekil 3.17: Gerçekleştirilen Uçan Testere Sisteminin Çalışma Algoritması



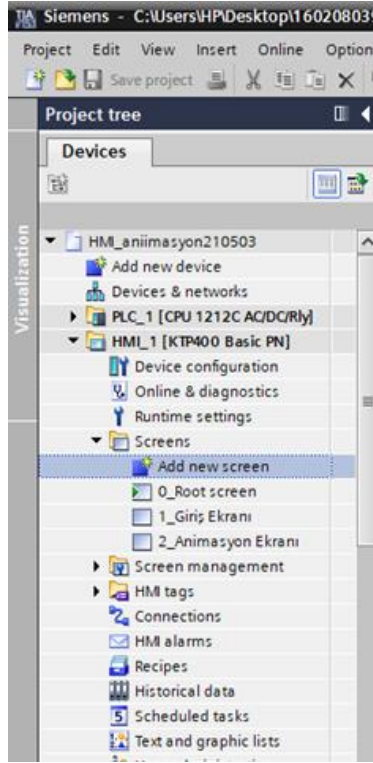
Şekil 3.18: MCC Enable ve Home Program Komutları

Sistemde servolar senkron olduktan sonra malzemenin istenen kesme uzunluğa gelmesiyle kesim işlemi yapılmaktadır. Kesim işleminde asenkron motor testereyi ileri hareket ettirerek kesme işlemini gerçekleştirmektedir. Kesim işlemi bittikten sonrada geri hareket yaparak normal bekleme konumuna gelmektedir. Bu işlem için asenkron motorun ileri geri hareketi sabit hızda olabileceği gibi kesme hareketinin yavaş, geri dönüş hareketinin ise hızlı olması mümkündür. Çalışmada her iki harekette sabit hızda alınması nedenle, asenkron sürücü kontrolü sayısal olarak yapılmıştır. Bundan dolayı da TM 15 modülünün sayısal giriş çıkış portları kullanılmıştır, analog-giriş çıkışlara gerek kalmamıştır.

4. İNSAN MAKİNE ETKİLEŞİMİ

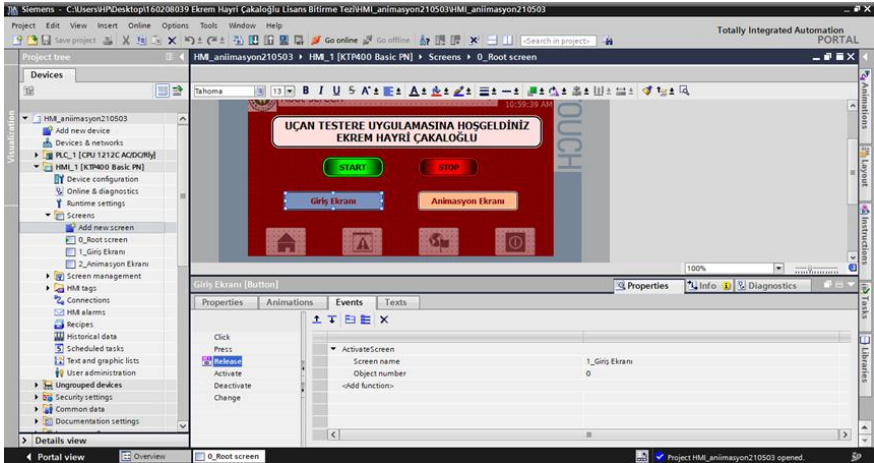
Çalışmada, kullanıcı ara yüzü olarak KTP 400 Siemens HMI ailesinin paneli kullanılmıştır. Panel ile uçan testerenin kesim yapacağı uzunluk gibi kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken parametreler sisteme atanmaktadır. Sistemin anlık konumu, kesim sayısı, toplam ürün miktarı gibi bilgiler ise panel üzerinden kullanıcıya görselleştirilmiştir. Ayrıca kullanıcının bilgilendirilmesi için bir uçan testere animasyon ekranı oluşturularak anlık olarak sistemin durumu takibi

görselleştirilmiştir. Panele farklı sayfalar/ekranlar oluşturmak için programa ekranların eklenmesi gerekmektedir. Panele ekranlarının eklenmesi iki farklı yöntem ile yapılabilmektedir. Ekranlar projeye panel ekleme aşamasında yapılabileceği gibi ayrıca programa panel eklendikten sonra Şekil 4.1’de görüldüğü gibi screens sekmesi altından ‘Add new screen’ seçeneği ile ekranlar eklenebilmektedir. Çalışmada ana ekran olarak Root Screen ekranı kullanılmıştır. Giriş ekranında ise kullanıcı ara yüzü oluşturulmuş, animasyon ekranında ise sistemin çalışma aşamalarına uygun animasyon yapısı ile kullanıcı bilgilendirilmiştir.

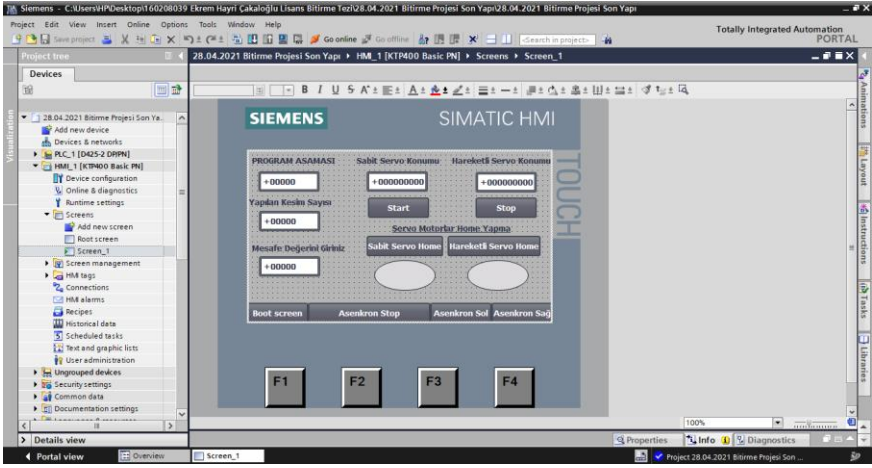


Şekil 4.1: Ekranların Eklenmesi

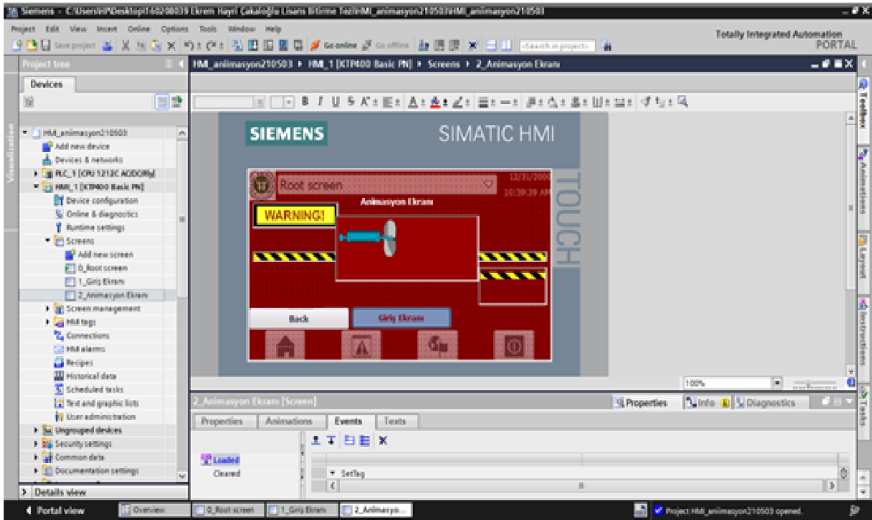
Panelde görselleştirilecek nesnelerin oluşturulması için ekranda tanımlanması gerekir. Panel ekranı üzerinden sistem kontrolü için istenilen butonlara istenilen görevlerin atanması için eklenen butonun özelliklerine gidilerek bu görevlerin ataması yapılırken aynı zamanda D425 kontrolör adresleri ile de ilişkilendirilir. Ayrıca özellikler menüsü altından tasarım, animasyon gibi işlemler de yapılabilmektedir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi özellikler penceresi altında events ara yüzünde butonun ne gibi işlemler yerine getireceği görülmektedir. Click, press gibi farklı seçenekler ile istenilen görevler tanımlanabilmektedir. Bu çalışmada Root screen ekranındaki giriş ekranı butonu kullanıcı ara yüzüne geçiş yapmak için, animasyon ekranı butonu animasyon ekranına geçmek için, Start stop butonları ise sistemin çalışmasını kontrol etmek için oluşturulmuştur. Şekil 4.3’te ve Şekil 4.4’te oluşturulan ekranlar ise kullanıcı ve animasyon ekranları olarak programa eklenmiştir.



Şekil 4.2: Giriş Ekranı ve Giriş Ekranı Butonunun Özellikleri Ara Yüzü



Şekil 4.3: Kullanıcı Ekranı



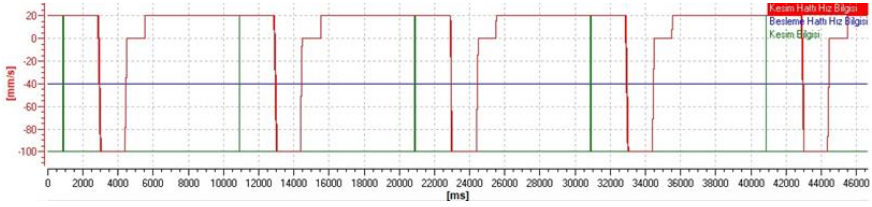
Şekil 4.4: Animasyon Ekranı

5. DENEYSEL SONUÇLAR

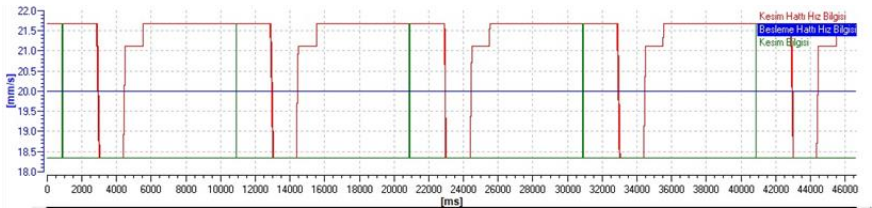
Bu bölümde sistem çalıştırılarak alınan sonuçlar değerlendirilecektir. Sistem Şekil 3.17’de verilen algoritması ile çalıştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda sistemden alınan değişkenlerin zamanla değişimleri

incelenecektir. Şekil 5.1’de verilen şekilde hız grafikleri incelendiğinde Kesim ve besleme motorlarının hız bilgisi ile kesme işleminin başlama bilgisi görülmektedir. Şekil 5.1’de şekilde, şeklin açıklamasında (legent) kırmızı ile seçilen değişken gerçek değerleri gösterirken diğerlerini biçimsel olarak göstermektedir. Şekildeki kırmızı işaret yani kesim hattına ait hız bilgisi 20mm/s, -100mm/s ve 0 mm/s olarak görülmektedir. Şekil 5.1’de şeklin açıklamasında mavi renk seçilirse, Şekil 5.2’de besleme hattına ait hız bilgisinin değişimi elde edilir. Şekil 5.2’de besleme hattına ait hız bilgisinin de 20 mm/s olduğu görülmektedir. Benzer şekilde Şekil 5.1’de şeklin açıklamasında yeşil renk seçilirse, Şekil 5.3’de güldüğü üzere kesim uzunluğuna gelindi bilgisi yakalandığında kesime başlanması bilgisi iletilmektedir ve kesim bitene kadar motorlar senkron olmaya devam etmektedir. Yani senkron bir şekilde birbirlerine göre bağıl hız sıfır olacak şekilde çalışmaktadır. Kesim işlemi bittiğinde kesim hattına ait hız bilgisinin Şekil 5.1 de görüldüğü -100mm/s değerine düştüğü görülmektedir. Bu da kesim işlemini bitiren servo bu sefer ters dönerek başlangıç konumuna dönmektedir. Başlangıç konumuna gelen kesim hattı, besleme hattından ürün gelmesi için beklemektedir. Bu bekleme süresi Şekil 5.3’de görüldüğü üzere hız değerinin sıfır olduğu süre kadardır. Daha sonrasında kesim hattı besleme hattına tekrar senkron olur ve istenilen kesme mesafe bilgisi yakalandığında kesim işlemi gerçekleştirilir. Bir kesim çevrimi için zaman bilgisi ile hattın çalışması, özetlenirse; sistemden alınan örnek zaman aralığı içinde Şekil 5.2’de görüldüğü gibi besleme hattının 20 mm/s hızında sabit bir şekilde ilerlediği görülmektedir. Şekil 5.1’de ilk kesim için Kesim

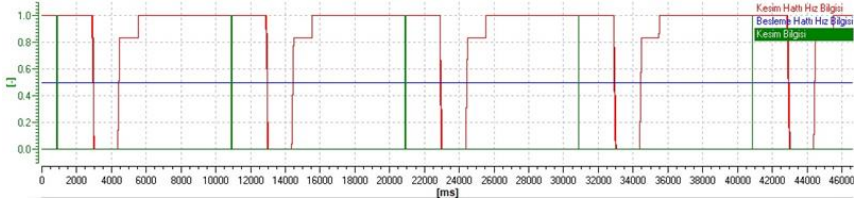
servo motorunun 4500. ms de başlangıç konumuna geldiği ve hızının 0mm/s olduğu görülmektedir. 5500 ms de besleme hattındaki ürünü kesmek için kesim servo motoru 20mm/s hızı ile senkron olmak için çalıştığı görülmüyor. 11000 ms de ise malzemenin kesim uzunluğuna ulaştığı bilgisi ile kesim işlemi için asenkron motor çalıştırılıyor. 11000-13000 ms aralığında kesim işlemi bitiriliyor. Bu zamanda asenkron motor kesim işlemini yapıp geri başlangıç konumuna gelmiş oluyor. 13000ms de ise kesim servo motoru tekrar gerisin geri -100mm/s hızıyla başlangıç konuma gidiyor. 14500ms de başlangıç konumuna gelerek bir sonraki kesim için durup, bekleme aşamasına geçmektedir. Bu bilgilerden kesilen malzeme uzunluğu iki kesim bilgisi arası geçen süre 11000ms-21000ms olduğundan toplam süre 10000ms=10s olacaktır. Besleme hattınız hızı 20mm/s olduğundan malzeme uzunluğu $20\text{mm/s} \cdot 10\text{s} = 200\text{ mm} = 20\text{cm}$ olarak alınmıştır.



Şekil 5.1: Kesim Hattı Hız Bilgisi



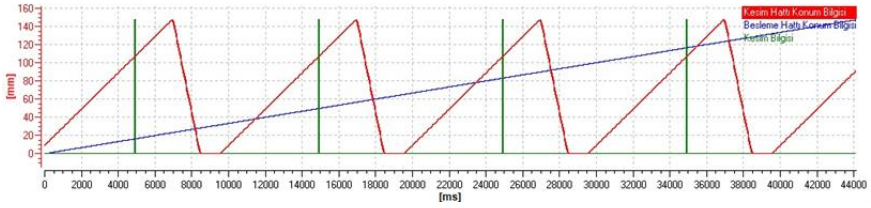
Şekil 5.2: Besleme Hattı Hız Bilgisi



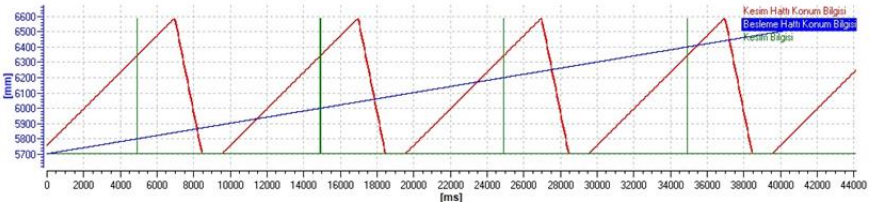
Şekil 5.3: Kesim Bilgisi

Sistemin hız bilgilerinden çalışması verildiği gibi benzer olarak pozisyon/konum bilgilerinden de verilmiştir. Şekil 5.4'te gösterilen kırmızı işaret yani kesim hattına ait konum bilgisinin 0mm'den başlayıp 150 mm konumuna artarak gittiği yani besleme hattı ile senkron çalıştığı konum bilgilerini, bu andan sonra 0 mm konumuna azalarak gittiği yani besleme hattına senkron olmadan çalıştığı konum bilgileri görülmektedir. Şekil 5.5'te besleme hattına ait konum bilgisinin de sürekli olarak arttığı görülmektedir. Bu pozisyon bilgisindeki eğimin 20mm/s olduğu yani besleme servo motorunun hız bilgisi olduğu görülür. Örneğin Şekil 5.5'te 10000 ms deki besleme hattının konum bilgisi 5900 mm iken 20000 ms deki besleme hattının konum bilgisi 6100mm olduğundan besleme hattının konum bilgisinin eğimi $(6100-5900)/(20000-10000)=200/10000=20\text{mm/s}$ bulunur. Şekil 5.3'te görüldüğü üzere mesafe bilgisi yakalandığında kesime başlanması bilgisi iletilmektedir ve kesim bitene kadar motorlar senkron olarak hareketlerine devam etmektedir. Kesim aşamasında senkron çalışmadan dolayı Şekil 5.4 deki kesme hattının konum bilgisi eğimi de besleme hattının eğimine eşit olmak zorundadır. Aksi takdirde senkron çalışma gerçekleşmemiş olur. Şekil 5.4 deki kesme hattının konum bilgisi eğimi; örneğin 2000ms deki kesim hattının konum bilgisi 50mm iken, 4000 ms deki kesim hattının konum bilgisi 90mm olmaktadır.

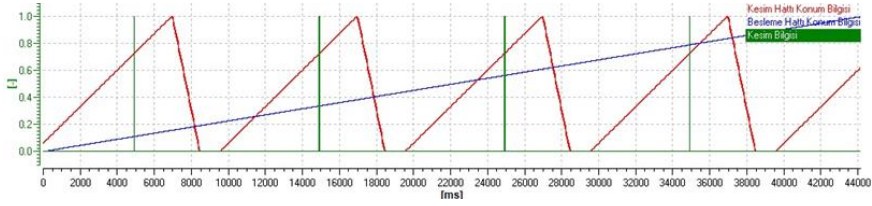
Kesim hattının konum bilgisinin eğimi $(90-50)/(4000-2000)=40/2000=40\text{mm}/2\text{s}=20\text{mm}/\text{s}$ bulunur ki bu da her iki motorun senkron çalıştığını göstermektedir. Kesim işlemi bittiğinde kesim hattına ait konum bilgisinin 0 mm değerine düştüğü görülmektedir. Yani kesim işlemini bitiren hat hızlı bir şekilde başlangıç konumuna dönmektedir. Başlangıç konumuna gelen kesim hattı besleme hattından ürün gelmesi için beklemektedir. Bu bekleme süresi Şekil 5.4’de görüldüğü üzere konum değerinin sıfır olduğu süre kadardır. Bu sırada besleme hattının konum grafiğinden görüldüğü üzere sisteme sürekli olarak besleme yapılmaktadır. Daha sonrasında kesim hattı besleme hattına tekrar senkron olur ve aynı yö45tnde hareket etmeye başlarlar. İstenilen kesim mesafe bilgisi yakalandığında kesim işlemi tekrar gerçekleştirilir.



Şekil 5.4: Kesim Hattına Konum Bilgisi



Şekil 5.5: Besleme Hattı Konum Bilgisi



Şekil 5.6: Kesim Bilgisi

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Günümüz üretim sistemlerinde nitelikli ve hızlı üretim yapabilmek için endüstriyel üretim hatları kullanılmaktadır. Bu hatlar ham maddeyi istenildiği gibi işleyip çıkış ürününü oluşturmaktadırlar. Bu noktada ise en önemli olan ölçütlerden bir tanesi hattın çalışma hızıdır. Bir hat ne kadar hızlı üretim yaparsa o kadar fazla ürün ortaya çıkar, dolayısıyla o kadar fazla kazanç elde edilmiş olur. Bu amaç doğrultusunda en çok kullanılan yöntemlerden birisi paralel çalışma yöntemidir. Paralel çalışma uygulamalarının başında gelen uçan testere uygulamasındaki amaç üretim hattına gelen ham maddenin hareketini sıfırlamadan, ürün üretim hattında hareket halinde iken işlemlerin yapılmasını sağlamasıdır. İşlem yapacak olan düzeneğin hammadde hattının hareketine senkron olarak, yapılacak işlemlere devam edilmesini sağlamaktır. Bu sayede hat duraksamadan çalışmakta ve üretim hızı artmaktadır. Paralel çalışma, hatların birbirleri ile senkron hareketleri ile sağlanır. Literatürde senkron hareket, senkron servo motor gibi başlıklar altında incelenen senkron dolum sistemleri, senkron etiket basım sistemleri gibi sistemler de olduğu görülmektedir. Önemli olan hattan gelen malzemenin duraksamaması, işlem yapacak olan

platformun gelen malzemeye senkron olarak bağıl hızını sıfırlayıp istenilen işlemleri paralel olarak gerçekleştirmesidir.

Bu çalışmada endüstriyel üretim hatlarında yaygın olarak kullanılan uçan testere sistemi fiziksel olarak deney seti üzerinde test edilmiştir. Uçan testere uygulaması kesme delme gibi işlemlerin gerçekleştirildiği endüstriyel üretim bantlarında üretim hızını arttırmak amacı ile kullanılmaktadır. Panel, profil gibi ürünlerin kesilmesi ya da malzeme üzerinde delik açılması işlemlerini besleme hattının ve kesim hattının senkron hareket etmesi sayesinde besleme hattında herhangi bir duraksama yaşanmadan gerçekleştirmektedir. Sistemde duraklamanın olmaması da üretim hızını arttırmaktadır.

Deney seti üzerinde bulunan D425 kontrollor master cihaz olarak kullanılmıştır. Simotion D'ye entegre edilen IEC 61131-3 uyumlu PLC sayesinde sistemin sadece hareket dizilerini kontrol edebilmesi yanında aynı zamanda diğer modüllerle tek bir kompakt ünite ile de kontrol edilebilir. Dolayısı ile D425-2 DP/PN modülü ayrıca bir PLC cihazı ihtiyacını ortadan kaldırmıştır. Tia Portal V15.1 ile sunulmakta olan Simotion programlama sayesinde D425 master cihazı ile HMI, Terminal modül gibi slave cihazlar arasında haberleşme sağlanarak tüm sistemin programlaması yapılmıştır. Sistem yapısında harici bir encoder yapısı kullanılmadan servo motor sürücü üzerinden servo motora ait konum, hız gibi bilgilere erişim sağlanarak programlama gerçekleştirilmiştir.

Çalışma sonucunda sistemden alınan değişkenlerin zamanla değişimleri incelenmiştir. Hız grafikleri analiz edildiğinde kesim ve besleme

motorlarının hız bilgisi ile kesme işleminin başlama bilgisi incelenmiştir. Elde edilen çıktılarda, kırmızı ile seçilen değişken gerçek değerleri gösterirken diğerlerini biçimsel olarak göstermektedir. Kesim hattına ait hız bilgisi (kırmızı işaret) ve besleme hattına ait hız bilgisinin (mavi renk) değişimleri defalarca incelenmiştir. Yapılan birçok deneysel çalışmaların neticesinde sistemin, senkron bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Ayrıca sistemde senkron zamanında eksenlerin birbirlerine göre bağıl hızının sıfır olduğu görülmüştür. Sistem için kurulan deneysel düzeneğin üzerinde birçok farklı senaryo için testler yapılmıştır. Yapılan tüm gerçek zamanlı deneysel uygulamalarda sistemin (motorların) senkron olmaya devam ettiği belirlenmiştir. Yapılan analiz çalışmaları ve oluşturulan test düzeneğinde yapılan testler bir bütün olarak düşünüldüğünde önerilen çalışmanın farklı alanlarda başarılı şekilde kullanılabileceği öngörülmektedir.

Yapılan bu çalışmada HMI ekranında gösterilen animasyon ekranının yanı sıra grafik ekranı eklenerek konum, hız, kesim bilgisi gibi grafikler gösterilebilir. Tüm bu bilgiler IoT yapısı kullanılarak akıllı cihazlara iletilebilir bu sayede sistemin uzaktan kontrolü, sistemin uzaktan izlenmesi gibi özellikler eklenebilir. Ayrıca yapılan çalışmanın sadece uçan testere olarak değerlendirilmemesi gerekmektedir. Senkron dolum, senkron etiketleme gibi işlemlerde de anlatılan çalışma yapısı düzenlenerek üretim hızı artırılabilir.

KAYNAKÇA

- Çelikayar, G. (2008). Servomotor tahrikli pompa kontrol sistemleri ve enerji tasarrufu. V. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi, İstanbul.
- Çubukçu A, Öztürk S, Kuncan M, 2014. DC Motor Hız Kontrolünün Görüntü İşleme ve OPC Kullanarak S7-1200’de Gerçeklenmesi, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı (TOK'2014), 11-13 Eylül 2014, Kocaeli.
- Huang X. and Shi,L., Simulation on Fuzzy-PID Position Controller of the CNC Servo System, Proceedings of the Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA 2006), 16-18 October, , Jinan, China, 2006.
- Kaplan, K., Kuncan, M., Polat, H., Tepe Burak, & Ertun., H. M.(2020) PID ve Bulanık Mantık Tabanlı DC Motorun Gerçek Zamanlı Konum Kontrolü. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(2), 900-916.
- Küpeli, M. A. (2018). Servo motor tahrikli bir hidrolik sistemde enerji kazanımlarının deneysel incelenmesi (Master's thesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Liu, J., Zhang, P., & Wang, F. (2009, August). Real-time dc servo motor position control by pid controller using labview. In 2009 International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (Vol. 1, pp. 206-209). IEEE.
- Saraç, N. M., Kandilli, İ., Kuncan, Melih. (2020). Ethercat ile servo pres kontrolü, 3. Asia Pacific International Congress on Contemporary Studies, İKSAD.

Siemens, Drive Cliq, The Open Encoder İnterface For The Sinamics Drivers Family

Tekinalp, Z., Öztürk, S., & Kuncan, M. (2013). OPC Kullanılarak Gerçek Zamanlı Haberleşen Matlab ve PLC Kontrollü Sistem. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK2013, 26-28.

BÖLÜM 3

COVID'19 GÖRÜNTÜLERİNİN AKILLI MODELLER İLE SINIFLANDIRMASINA İLİŞKİN BİR ARAŞTIRMA

Dr. Öğr. Üyesi Kaplan KAPLAN¹
Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNCAN²
Doç. Dr. Melih KUNCAN³

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye. kaplan.kaplan@kocaeli.edu.tr

² Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye. fatmakuncan@siirt.edu.tr

³ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye. melihkuncan@siirt.edu.tr

1. GİRİŞ

İlk olarak 2019 Aralık ayında resmi olarak tespit edilen Koronavirüs 2019 (COVID-19) hızla yayılarak dünya geneline ulaşmış pandemi haline gelmiştir. İnsanların günlük yaşamlarını olumsuz yönde etkileyerek insanların ölmesine, dünya genelinde ekonomik sıkıntılara yol açmıştır. Salgının kontrol alınmasındaki en büyük parametrelerden birisi de hastalık teşhisinin doğru, etkin ve hızlı bir sistem yardımıyla yapılmasını sağlamaktır. Hastalığın teşhisinde günümüzde en çok Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR) testi ile saptanmaktadır. Bu test ile tam güvenilir, doğru ve hızlı teşhis konulamadığından ve akciğer başta olmak üzere vücutta meydana getirdiği etkileri incelemek için X ışınları (Röntgen), Bilgisayarlı Tomografi (BT), Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) gibi radyoloji görüntüleme yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu görüntülerin yapay zekâ algoritmaları kullanarak yorumlanması ile hastalığın doğru hızlı ve otomatik teşhisi mümkündür.

Günümüzde yapay zeka (Artificial Intelligence, AI) araştırmaları çok farklı alanlarda karşılaşılan zor problemleri çözme konusunda belirgin bir etkiye sahiptir. Yapay zeka teknikleri zaman açısından avantaj sağlarken, güvenilir çözümlere olanak tanımıştır. Yapay zeka tekniklerinin kullanıldığı alanların en başında tıp alanı gelmektedir. Büyük boyutlu tıbbi görüntüleme verilerindeki karakteristik bilgileri elde etmede ve bu bilgilerden yararlanarak sonuca ulaşmada kullanılabilecek makine öğrenimi (ML) ve yapay zeka teknolojileri COVID-19 hastalık teşhisi, sınıflandırması, tedavi metotlarına karar verme,

hastalık sürecini değerlendirme ve hastalığın etkinlik araştırmalarında kullanılmaya da başlanılmıştır. Bu araştırma, tıbbi görüntülerden COVID-19 tespitinde derin öğrenme ve makine öğrenimi modellerinin etkisine ışık tutmayı amaçlamaktadır.

Literatüre incelendiğinde Covid'19 çalışmalarının güncellendiğini koruduğunu ve çalışmaların devam ettiği görülmektedir. Ozturk vd. Bu çalışmada, ham göğüs röntgeni görüntüleri kullanılarak otomatik COVID-19 tespiti için yeni bir model sunmuşlardır. Önerdikleri model için iki farklı açık erişimli veri seti kullanmışlardır. Önerilen modeli ikili sınıflandırma (COVID ve Bulgu Yok) ve çok sınıflı sınıflandırma (COVID, Bulgu Yok, Pnömoni) için doğru tanılama sağlamak üzere denemişlerdir. Darknet kullanılarak geliştirilen DarkCovidNet ismini verdikleri modelde 17 evrişim katmanlı YOLO modeli gerçek zamanlı nesne algılama sistemi için bir sınıflandırıcı olarak tercih etmişlerdir. İkili sınıflar için %98,08 ve çok sınıflı durumlar için %87,02 sınıflandırma doğruluğu elde ettiklerini belirtmişlerdir (Ozturk vd., 2020). Jia vd. COVID-19 göğüs röntgen (X-ışını) görüntülerini sınıflandırmak için bir tür değiştirilmiş MobileNet ve bilgisayarlı tomografi (BT) görüntülerini sınıflandırması için modifiye edilmiş bir ResNet mimarisi önermektedir. Modifiye edilmiş MobileNet'i COVID-19, Tüberküloz, viral pnömoni (COVID-19 hariç), bakteriyel pnömoni ve normal kontrollerin sınıflandırılması için kullanmışlardır. Önerilen değiştirilmiş ResNet, COVID-19, COVID-19 dışı enfeksiyonların ve normal kontrollerin sınıflandırılması için kullanmışlardır.

Kullandıkları modeller ile beş kategorili göğüs röntgen görüntü veri setinde %99.6 test doğruluğuna ve BT görüntü veri setinde %99.3 test doğruluğuna ulaştığını belirtmişlerdir (Jia vd., 2021). Kassani ve ark. Covid-19 ve sağlıklı insan akciğer BT ve röntgen görüntülerini sınıflandırmak için MobileNet, DenseNet, Xception, ResNet, InceptionV3, InceptionResNetV2, VGGNet, NASNet hazır modellerden öznetelik çıkarmışlardır. Daha sonra bu öznetelikleri LightGBM, Torbalama (Bagging), Adaboost, Random Forest, XGBoost ve Karar Ağaçlarını (Decision Tree) kullanarak sınıflandırma gerçekleştirmişlerdir. En iyi performansı DenseNet121 ve Torbalama (Bagging) ağacı sınıflandırıcı ile %99 doğruluk olarak elde ettiklerini ifade etmişlerdir (Kassania vd., 2021). Afshar vd. normal; Bakteriyel, COVID Olmayan viral ve COVID-19 röntgen görüntülerini kullanarak Covid19 görüntülerini içeren sınıfı pozitif diğer sınıfları negatif Covid19 sınıfı altında birleştirerek sınıflandırma gerçekleştirmişlerdir. Covid-CAPS adını verdikleri model ile Kapsül ağlarını kullanarak %95.7 başarı elde etmişlerdir (Afshar vd., 2020). Perreira ve arkadaşları akciğer röntgen görüntülerini kullanarak diğer tiplerden COVID-19'un neden olduğu pnömoniyi ve ayrıca sağlıklı akciğerleri ayırt etmeyi amaçlamışlardır. Kullandıkları röntgen görüntülerinden Yerel İkili Örüntüler (Local binary pattern, LBP), Uzatılmış beşli modeller (Elongated quinary patterns, EQP), Yerel yön numarası (Local directional number, LDN), Yerel olarak kodlanmış dönüştürme özelliği histogramı (Locally encoded transform feature histogram, LETRIST), Yerel faz kuantalama (Local phase quantization, LPQ), Yönlendirilmiş temel görüntü özellikleri

(Oriented basic image features, oBIFs) ve inception-V3 öznitelikleri çıkararak bu öznitelikleri K-en yakın komşuluk (K-Nearest Neighbour (kNN)), Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine, SVM), Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perception, MLP), Karar Ağacı (Decision Tree, DT), Rastgele Orman (Random Forest, RF) modelleri ile kullanmışlardır. Deneysel sonuçlarda BSIF+EQP+LPQ öznitelikleri ve MLP sınıflandırıcı kullanarak 0.89 f1-ölçüt oranı elde etmişlerdir (Pereiara vd., 2020). Jain vd. BT görüntülerini kullanarak Covid19 kaynaklı pnömonileri sağlıklı vaka, bakteriyel ve diğer virüs kaynaklı pnömoni hastalardan ayırt etmişlerdir. Resnet101 modeli kullanarak %98.93 doğruluk elde etmişleridir (Jain vd., 2020). Ismael vd. COVID-19 ve normal (sağlıklı) göğüs röntgeni görüntülerini sınıflandırmak için CNN modeli geliştirmişlerdir. ResNet18, ResNet50, ResNet101, VGG16 ve VGG19 kullanarak öznitelik çıkartmışlardır. Daha sonra bu öznitelikleri SVM sınıflandırıcı ile sınıflandırarak %94,7 doğruluk elde etmişlerdir (Ismael vd., 2021). Hussain vd. CoroDet ismini verdikleri evrişimli sinir ağı (ESA) modeli ile 2 sınıf sınıflandırması (COVID ve Normal), 3 sınıf sınıflandırması (COVID, Normal ve COVID olmayan pnömoni) ve 4 sınıf sınıflandırması (COVID, Normal, COVID olmayan viral pnömoni ve COVID olmayan bakteriyel pnömoni) gerçekleştirmişlerdir. Önerdikleri model ile 2 sınıflı sınıflandırma için %99.1, 3 sınıflı sınıflandırma için %94.2 ve 4 sınıflı sınıflandırma için %91.2 sınıflandırma doğruluğu elde etmişlerdir (Hussain vd., 2021). Abbas vd. COVID-19 göğüs röntgeni görüntülerinin sınıflandırılması için Ayırıştırma, Aktarma ve Oluşturma (Decompose Transfer and

Compose, DeTraC) adlı derin bir ESA modeli önermişlerdir. Önerdikleri modeli doğrulamak için iki tane açık kaynaklı verisetini birleştirerek yeni bir veriseti elde etmişlerdir. Normal ve şiddetli akut solunum sendromu vakalarından COVID-19 X-ray görüntülerinin sınıflandırılmasında DeTraC modeli ile %93,1'lik yüksek doğruluk elde ettiklerini belirtmişlerdir (Abbas vd., 2021). Wang ve ark. kendi oluşturdukları BT cihazından elde ettikleri görüntüleri ile bir veriseti oluşturmuşlardır. Grafik evrişimli ağ ve ESA modellerini birleştirerek FGCNet adını verdikleri model geliştirmişlerdir. Önerdikleri model ile %97.27 başarıya ulaşmışlardır (Wang vd., 2021). Pathak vd. Pozitif Covid'19, pnömoni ve negatif Covid'19 (normal) BT görüntülerini sınıflandırmak için karışım yoğunluklu ağ (mixture density network, DBM) modeli ile derin çift yönlü uzun kısa süreli bellek ağı (Deep Bidirectional Long Short-term Memory Network, BiLSTM) önermişlerdir. DBM modelinin hiperparametrelerini ayarlamak için bir Memetik Uyarlanabilir Diferansiyel Evrim (Memetic Adaptive Differential Evolution, MADE) algoritması kullanılmışlardır. MADE-DBM ismini verdikleri model ile %96.19 test doğruluğu elde etmişlerdir (Pathak vd., 2020). Kamal vd. çeşitli transfer öğrenme modelleri ile beş farklı sınıf içeren covid19 sınıflandırması gerçekleştirmişlerdir. DenseNet modeli ile %98.69 başarı oranı yakalamışlardır (Kamal vd., 2021). Chouhan ve arkadaşları transfer öğrenimi (Aleznet, Densenet121, resnet18, Inception V3, Googlenet) kullanarak öznetelik çıkararak kümülatif (Ensemble) bir sınıflandırıcı model ile sağlıklı ve pnömoni akciğer röntgen görüntülerinin ikili sınıflandırması için Guangzhou Kadın ve Çocuk Tıp Merkezi

sağladığı veri setini kullanarak %96,4'lük bir test doğruluğuna ulaşmışlardır (Chouhan vd., 2020). Apostolopoulos ve arkadaşları normal, bakteriyel pnömoni ve pozitif Covid19 vakalarını sınıflandırmak için çeşitli derin öğrenme modelleri geliştirmişlerdir. VGG19 transfer öğrenmesi modeli ile %93.48 başarı oranı sağlamışlardır (Apostolopoulos vd., 2020). Hamdan vd. X-ray görüntülerinden COVID-19'u teşhis etmek için COVIDX-Net adlı bir derin öğrenme çerçevesi geliştirmişlerdir. Transfer öğrenme modellerinden VGG19, DenseNet201, ResNetV2, InceptionV3, InceptionResNetV2, Xception ve MobileNetV2 dahil olmak üzere farklı derin öğrenme mimarilerinin karşılaştırmalı olarak sonuçlarını sunmuşlardır. Yazarlar Covid 19 ve normal hasta sınıflandırmasında VGG19 ve DenseNet201 modelleri ile en iyi sonucu %90,00 doğrulukla elde etmişlerdir (Hamdan vd., 2020).

Bu makalede giriş kısmında literatür çalışmalarına yer verildikten sonra 2. başlıkta kullanılan bazı yöntemler kısaca anlatılmış, daha sonra 3. başlıkta en çok kullanılan veri setlerine örnekler verilmiştir. 4. başlıkta ise sonuçlar ve tartışma altında gerçekleştirilen çalışmaların eksiklikleri anlatılmış ve gelecekteki yapılması gereken öneriler verilmiştir.

2. YÖNTEMLER

Yapay zeka (AI) tabanlı araçlar, Covid 19 pandemisinin yayılmasını kontrol etmek için Covid 19 tıbbi görüntülerinin hızlı tanımlanması, sınıflandırılması ve teşhisi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bölümde tıbbi görüntüleme COVID-19'un tespiti için güncel

literatürde kullanılan yöntemler özetlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmaların geneline bakıldığında makine öğrenmesi yöntemleri derin öğrenme yöntemlerine oranla daha azdır. Derin öğrenme yöntemlerinin görüntülerin karakteristik özneliklerini otomatik tanımlaması model tasarlayıcılarına esnek bir yapı sunarak görüntü tabanlı çalışmalarda daha çok tercih edilen yöntem olmuştur. Covid'19 çalışmalarında klinisyenler için bu modeller kullanılarak teşhis ve tedavi olanaklarında iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde Covid'19 çalışmalarında kullanılan makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı modeller özet şeklinde açıklanmıştır (Schaffer, 1993).

2.1. Lojistik regresyon

Son yıllarda makine öğrenmesi dalında popülerliği artan ve sınıflandırma problemlerinde diskriminant analizine alternatif olarak tasarlanan bir analiz yöntemidir. Modelin ikili veya daha fazla kategorik değer aldığı durumlarda kullanılabilir. Bu analizde bağımlı değişken üzerinde olan etkenler araştırılır. Doğrusal regresyonun bağımlı değişkenin değerini tahmin etmeyi amaçlamasına karşın lojistik regresyon bağımlı değişkenin alacağı değerlerin gerçekleşme ihtimalini tahmin etmeyi amaçlar. Lojistik regresyon analizinde, bağımsız değişkenlerin doğrusal kombinasyonları ile bağımlı değişken doğrusal olmayan ilişkiye sahiptir. İkili lojistik regresyon analizinde, bağımlı değişkenin düzeylerini ifade edilirken ilgilenilen durum için 1 ve diğer durum için 0 değerleri kullanılır (Mohammed vd., 2018).

2.2. Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları insan beynini ya da merkezi sinir sisteminin çalışma prensibinden yola çıkılarak elde edilmiş bir bilgi işleme sistemidir. Konuyla ilgili çalışmalar ilk olarak nöronların bilgisayar tabanında modellenip uygulanmasıyla başlamıştır. Nöronlar arasındaki her bağlantı sayısal bir ağırlığa sahiptir. Bu da Yapay Sinir Ağlarındaki (YSA) uzun süreli belleğin temel amacını ağırlıklar olduğu anlamına gelmektedir. Ağırlıkların tekrar tekrar ayarlanması yoluyla sinir ağının öğrenme işlemi gerçekleşmiş olur. Ayrıca YSA'nın genelleme yeteneği seçilen mimariyle bire bir ilişki içindedir. Ağ için en uygun mimariye problemi öğrenebilmek için yeterince büyük genelleme yapabilmek içinse yeterince küçük olmalıdır. Olması gerekenden daha küçük bir mimariye sahip YSA problemi yeterince öğrenememe sorunuyla karşı karşıya kalınmasına sebep olurken büyüklük konusunda aşırıya kaçılması sistemi ezberlemeye sürükler. Kendi içinde büyüyen/yapıcı ve budama/yıkıcı iki yaklaşıma sahip olan bu sistemlerde başlangıçta küçük seçilen ağ yapısının büyümesi durumunda sistem büyüyen/yapıcı olarak adlandırılırken öğrenme süreciyle birlikte boyut olarak küçülenler ise budama/yıkıcı sistemler olarak adlandırılır (İşcen vd., 2021).

2.3. Random Forest

Çeşitli uygulamalarda geniş bir kullanım alanına sahip olan Random Forest yönteminin kabul gördüğü öncelikli alan lineer olmayan sınıflandırma görevleridir. Bunun yanında büyük veri kümelerinde farklı sınıflarda bulunan veri dengesizliklerinin giderilmesinde de

etkili bir şekilde kullanılabilir. Mimarisinin paralelliklerinden kaynaklı olarak sınıflandırma kategorisindeki diğer birçok yöntem nazaran hayli hızlı performans sergilemektedir. Bu ve benzeri faydalarından ötürü literatürdeki birçok çalışmada varyantlarına rastlamamız mümkündür. Çalışma performansının ağaç sayısı ile doğru orantılı olduğu bilirse de yapılan bazı deneyler belirli bir seviyeden sonra eklenen ağaçların sisteme çok da etki etmediğini göstermiştir. Ağaç sayısının önceden kestirilmesini zorlaştıran yapıda olan Random Forest sınıflandırma yöntemi bu sayıyı ilgili çalışmanın özelliklerini göre ayarlamaktadır. Bu yöntemin tek tek ağaçlar için kimi zaman kendi genellemesini yapıp istenenin dışında performans sergilediği durumlar da olmuştur. Sınıflandırma doğruluğunu doğrudan düşüren bu özellik önemsiz özelliklerden kurtulma işleminin bir sonucu durumundadır (Paul vd., 2018).

2.4. Destek Vektör Makineleri

Destek Vektör Makineleri (DVM) istatistiksel öğrenmeyi baza alan bir sınıflandırma yöntemidir. Başlangıçta yalnızca iki sınıflı ve doğrusal problemlerin çözümünde kullanılan DVM yöntemi zaman içerisindeki gelişmelerle çok sınıflı ve doğrusal olmayan veri setlerinin sınıflandırılmasında da aktif olarak kullanılmaya başlamıştır. DVM'nin çalışma prensibi iki sınıflı birbirinden ayırabilen bir hiperdüzlemin tanımlanmasına dayanmaktadır (Kavzoglu vd., 2009).

2.5. Long Short Time Memory (LSTM)

Bir derin öğrenme yapısı olan tekrarlayan sinir ağlarının (RNN) bir çeşidi olan Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) yaygın kullanılan sınıflandırma metotları arasında yer almaktadır. RNN yapılarının en belirgin özelliği zaman serileri üzerinde verdiği yüksek başarı oranlarıdır. Bu yapıların çıktıları sadece o andaki girişe değil geçmişten gelen verilere de bağlı haldedir. LSTM özeline inilecek olursa zamana göre değişiklik göstermesinden kaynaklı olarak EEG ile benzerlik göstermektedir. RNN yapısından farkıyla dört katmanlı oluşudur. LSTM'nin genel mimarisinde kapı olarak adlandırılan ve sinir hücresine bilgi ekleme, çıkarma işlemlerini gerçekleştiren yapılar mevcuttur. Bu kapıdan ilkinde unutmaya kapısı denilmektedir. Bu kapı, önceki çıkış ile anlık giriş arasında bir analiz yapar ve 0 ile 1 arasında bir değer üretir. Oluşturulan değer 0 ise “bu durumu unut”, 1 ise “bu durumu koru” anlamına gelir. Sinir ağlarında sık kullanılan, 0 ve 1 değerlerini alabilen ve geçiş miktarını denetleyen birimeyse sigmoid fonksiyonları denmektedir (Balcı vd., 2020).

2.6 Evrişimli Sinir ağları

Uygulanan veriyi doğrudan işleyerek sonuç elde etme işleminde kullanılan Evrişimli sinir ağları (CNN) özellikle sınıflandırma, tespit ve bölütleme amaçlı kullanılan ayrıca görüntü işlemede sergilediği verimli performansın da etkisiyle oldukça popüler hale gelen bir metottur. Standart bir CNN modeli evrişim katmanı, havuzlama katmanı ve tam bağlı katmanlar olmak üzere üç ana katmandan oluşmaktadır. Evrişim katmanı, modelin en temel katmanı olup

modele de ismini vermektedir. Geleneksel makine öğrenmesindeki öznitelikler bu evrişim katmanları sayesinde elde edilir. Havuzlama katmanı, öznitelik ve parametre sayısını düşürmekte kullanılır, böylece hesaplama maliyeti düşürülür. Tam bağlı katmanlar ise geleneksel makine öğrenmesindeki çok katmanlı yapay sinir ağı gibi çalışır. Bu katmanlarda Destek Vektör Makineleri (SVM) ve k-Yakın Komşuluk (KNN) gibi çeşitli sınıflandırıcı algoritmalarına da yer verilebilir.

CNN modelinin yapısına ve seçilen eğitim tekniğine bağlı olarak karşılaşılan bazı sorunların üstesinden evrişim ve havuzlama katmanları arasına eklenen bir normalizasyon katmanı yardımıyla gelinebilir. Bunun yanında öğrenme katsayısı ve iterasyon sayısının seçimi de modelin eğitiminde önemli bir role sahiptir. Bu parametrelerdeki aşırılık sistemi ezberleme yoluna sürükleyebilir. CNN katmanlı yapısının farklı kombinasyonlarıyla AlexNet, VGG ve ResNet gibi yeni derin öğrenme modelleri geliştirilmiştir (Narin vd., 2021).

2.7 Alexnet Mimarisi

CNN'nin katmanları arasındaki dizilimsel farklılıklar yardımıyla tasarlanmıştır. Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever ve Geoffrey Hinton tarafından ortaya atılan bir derin öğrenme algoritmasıdır. 25 katmandan oluşan bu derin konvolüsyonel sinir ağında 5 adet konvolüsyon katmanı, 3 adet maxpool katmanı, 2 adet dropout katmanı, 3 adet tam bağlı katman, 7 adet relu katmanı, 2 adet normalizasyon katmanı, softmax katmanı, giriş ve sınıflandırma(çıkış)

katmanı bulunmaktadır. Giriş katmanında yer alacak olan görüntü 227x227x3 boyutlarındadır. Son katmanda ise sınıflandırma yapılarak giriş görüntüsündeki sınıflandırma sayısı değeri verilir. Ayrıca 1000 nesneyi sınıflandırma potansiyeline sahip bir mimaridir (Şeker vd., 2018)

2.8. VGG Mimarileri

Başarısını 2014 yılında yapılan ImageNet Büyük Ölçekli Görsel Tanıma Yarışmasında kanıtlayan ve GoogleNet'ten sonra en düşük hata oranına sahip olan Evrişimli Sinir Ağı mimarilerinden biridir ve Visual Geometry Group (VGG) olarak adlandırılmıştır. Mimarisi 224x224x3 giriş görüntüsüne sahiptir. Evrişimsel, havuz ve tam bağlantı katmanları olmak üzere 3 ana katman üzerine kurulmuş yapıdadır. Evrişimsel katmanlar giderek derinleşen bir yapıya sahiptir. Derinleşen bu yapıda 3x3'lük filtreler ve 2x2'lik havuzlama katmanları ile parametre miktarı azaltılır. Mimari 3 adet tam bağlantı katmanına sahiptir. Son katman 1000 sınıflı softmax katmanıdır. Farklı çalışmalarda başarı elde eden VGG-16, VGG-19 modellerinin yanında VGG-11 ve VGG-13 de literatürde aktif olarak kullanılmaktadır (Doğan vd., 2018).

2.9 Resnet Mimarileri

Kelime olarak artık ağ anlamına gelen ve Residual Network ifadesinin kısaltılması olan toplamda 152 katman içeren bir CNN mimarisine sahiptir. %3,57'lik hata oranıyla insandan çok daha üstün bir performans sergilemektedir. Yapısal olarak incelediğimizde ResNet

içerisinde 2 adet 3x3 boyutunda filtreye sahip evrişim katmanı bulunmaktadır. Ayrıca artık bağlantının oluşturulmasındaki temel sebep de ileri ve geri besleme performansının düşmesini engellemektir. Bu sayede de giriş verisiyle çıkış verisi arasındaki değişim kolaylıkla gözlenebilmektedir. Bunun 34, 50, 101, 152 katmandan oluşan versiyonları da mevcuttur (Jung vd., 2017).

3. KULLANILAN AÇIK KAYNAK VERİSETLERİ

3.1. Cohen'in Covid'19 Veriseti

Bu veriseti COVID-19'un 319 radyografik görüntüsünü toplayan GitHub'da halka açık olarak yayınlanan Bakteriyel pnomoni (MERS, SARS ve ARDS), COVID olmayan viral ve COVID-19 röntgen ve BT görüntülerinden oluşmaktadır. Bu veritabanında, değişen görüntü çözünürlüklerine sahip 250 COVID-19 pozitif göğüs röntgeni görüntüsü ve 25 COVID-19 pozitif akciğer BT görüntüsü toplamışlardır (Anonim).

3.2. Kaggle göğüs röntgen Covid19 veriseti

Bu veriseti çözünürlüğü 400p ile 2000p arasında değişmekte ve normal, viral ve bakteriyel pnömoni isimli üç sınıftan oluşan ve toplam 5.856 adet göğüs röntgeni görüntüsünü içeren çok popüler bir veri tabanıdır (Anonim).

3.3. COVID-CT veriseti

Bu veriseti 2019 Ocak ve Nisan ayları arasında bu hastalığın patlak vermesi sırasında çok sayıda COVID-19 hastasının tanı ve tedavisini gerçekleştiren

Çin'in Vuhan kentindeki Tongji Hastanesi'ndeki uzman bir radyolog tarafından toplanmış ve doğrulanmıştır. İki adet sınıf vardır (Covid'19 ve Normal). COVID-CT veriseti COVID-19'un klinik bulgularına sahip 216 hastadan 349 BT görüntüsü içermektedir (Yang vd., 2020).

3.4. COVIDx-CT veriseti

COVIDx-CT olarak adlandırılan veriseti Çin'in farklı hastanlerinden toplanmış ve 1.489 hastadan alınan 104.009 göğüs CT diliminden oluşmaktadır. Verisetindeki BT görüntüleri SARS-CoV-2 viral enfeksiyonuna (NCP) bağlı yeni koronavirüs pnömonisi, COVID-19 dışı enfeksiyonlara (CP) bağlı yaygın pnömoni ve normal kontroller üç farklı sınıfa ayrılmıştır (Gunraj vd., 2020).

3.5. COVID-19 radyografi veritabanı

Bu veri tabanı göğüs röntgenlerinden oluşmakta ve bu röntgenler COVID-19 enfekte olmuş viral pnömonili vakalar ve sağlıklı kişilerden elde edilmiştir. 1200 COVID-19 pozitif görüntü, 1341 normal görüntü ve 1345 viral pnömoni görüntüsü içermektedir (Rahman vd., 2020).

3.6. İtalyan Tıp ve Girişimsel Radyoloji Derneği (Italian Society of Medical and Interventional Radiology, SIRM) COVID-19 veritabanı

SIRM COVID-19 veritabanı, değişen çözünürlükte 384 COVID-19 pozitif radyografik Bt ve röntgen görüntüsü içermektedir. 384 radyografik görüntüden 94'ü göğüs röntgeni görüntüleri ve 290'ı akciğer BT görüntülerinden oluşmaktadır (Anonim).

3.7. Covid-Net açık kaynak veriseti

Bu veriseti 16.400'den fazla farklı ülkelerdeki hastadan oluşan çok uluslu 30.000'den fazla göğüs akciğer röntgen görüntüsünden oluşmaktadır. Veri setinde 2.800'den fazla hastadan 16.490 pozitif COVID-19 görüntüsü içermektedir. COVIDx V9A diye alt gruba ayırdıkları veriseti pnömoni olmayan, COVID-19 olmayan pnömoni ve COVID-19 pnömonisinin sınıflarını içermekte ve COVIDx V9B alt veri seti ise COVID-19 pozitif/negatif sınıflarını içermektedir (Wang vd., 2020).

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

COVID-19 pandemisinin başlaması dünya çapında büyük bir etki uyandırdı. Günümüzdeki bilim ve teknolojinin gelişmesi ile bulaşıcı hastalıkların üstesinden gelmedeki rolü giderek daha önemli hale gelmiştir. Günümüzün popüler tekniklerinden yapay zeka (Artificial Intelligence, AI), görüntü işlemedeki üstün performansları nedeniyle tıbbi görüntü analizinde etkin bir şekilde kullanılabilir hale gelmiştir. Özellikle hastalık teşhisinde etkin bir şekilde kullanılmaya başlayan yapay zeka araştırmacılar tarafından bulaşıcı hastalıkların seyrini ve etkilerini tahmin etmek ve aynı zamanda bulaşıcı hastalıkları gerçek zamanlı olarak tespit etmek için kullanılmaya başlanmıştır. Bu derlemede, göğüs röntgen (X Ray, XR) ve Bilgisayarlı tomografi (Computed Tomography, CT) kullanarak otomatik COVID-19 sınıflandırma problemlerini ele almak için bilimsel literatürde sunulan ana yaklaşımları gözden geçirilmiştir.

Genel olarak, yüksek kaliteli çalışmaların sayısının az olmasına rağmen etkin ve gerçek zamanlı otomatik olarak kullanılabilir yapay zeka modelleri geliştirildiği görülmüştür. COVID-19 yeni bir hastalık olduğu için şimdiye kadar toplanan veri miktarı yapay zeka çalışmaları için yeterli olmayabileceğinden, çalışmaların çoğunda verisetlerinin birleştirildiği görülmüştür. AI sistemlerinin geliştirilmesini iyileştirmek için birden fazla kurum ve veri kümesinden gelen verilerin haricen bir uzman tarafından doğrulanması gerekmektedir. Çalışmalardaki en büyük eksiklik uzman bir radyolog tarafından test sonuçlarının doğrulanmamış olmasıdır. Çalışmalarda BT verilerini kullanan modellerin performansı genellikle röntgen verilerini kullanan modellerden daha iyi olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni X-ışınlarındaki doku yapısı BT görüntüleri ile karşılaştırıldığında belirsizdir ve üç boyutlu bilgiden yoksun olmasıdır. Covid 19 sınıflandırmasında başka bir problem ise tek merkezli çalışmalarda yapılan tahminlerin doğruluğunun iyi olduğu, ancak çok merkezli çalışmalarda her zaman yüksek doğruluk elde edilemeyeceğidir. Yapay zeka modelleri performanslarına ölçütlerine göre değerlendirilir. Bazı çalışmalarda modellerin performansının çeşitli algoritmalar geliştirilerek iyileştirildiği görülmüştür ancak bu iyileştirmelerin her zaman etkili olmadığı gözlenmiştir. Her zaman diğer algoritmalarından daha iyi performans gösteren ve tüm uygulama türleri ve modelleri için uygun bir algoritma henüz bulunamamıştır. Bu yüzden her çalışma kendine özgü bir model geliştirmiştir. Daha önceden büyük verisetleri ile eğitilmiş transfer öğrenme modellerinin

daha verimli ve etkin bir şekilde kullanıldığı incelenen makalelerden açıkça belirlenmiştir.

Sonuç olarak geliştirilen modellerin doğruluğunu ve geliştirilmesini geliştirmek ve aralarındaki etkinliği kıyaslamak için oldukça standartlaştırılmış ve her tür sınıfa ait verilerin bulunduğu bir veri tabanının oluşturulması gerekmektedir. Ek olarak, AI algoritmalarının çıktılarının uzman radyologlar tarafından haricen doğrulanması çalışmanın verimliliği ve uygulanabilirliğini artıracaktır. Bu çalışmalardan yola çıkarak gelecekteki salgınlar ile mücadele etmek için yapay zeka teknolojisinin kullanımında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.

KAYNAKÇA

- A. Paul, D. P. Mukherjee, P. Das, A. Gangopadhyay, A. R. Chintha and S. Kundu, "Improved Random Forest for Classification," in IEEE Transactions on Image Processing, vol. 27, no. 8, pp. 4012-4024, Aug. 2018, doi: 10.1109/TIP.2018.2834830.
- Abbas, A., Abdelsamea, M. M., & Gaber, M. M. (2021). Classification of COVID-19 in chest X-ray images using DeTraC deep convolutional neural network. Applied Intelligence, 51(2), 854-864.
- Afshar, P., Heidarian, S., Naderkhani, F., Oikonomou, A., Plataniotis, K. N., & Mohammadi, A. (2020). Covid-caps: A capsule network-based framework for identification of covid-19 cases from x-ray images. Pattern Recognition Letters, 138, 638-643.
- Apostolopoulos, I. D., & Mpesiana, T. A. (2020). Covid-19: automatic detection from x-ray images utilizing transfer learning with convolutional neural networks. Physical and Engineering Sciences in Medicine, 43(2), 635-640.
- Balcı, F. & Oralhan, Z. (2020). LSTM İDOĞAN, F., & TÜRKOĞLU, İ. (2018). Derin öğrenme algoritmalarının yaprak sınıflandırma başarımlarının karşılaştırılması. Sakarya University Journal of Computer and Information Sciences, 1(1), 10-21. le EEG Tabanlı Kimliklendirme Sistemi Tasarımı . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , Ejosat Special Issue 2020 (HORA) , 135-141 . DOI: 10.31590/ejosat.779526

- Balcı, F. & Oralhan, Z. (2020). LSTM ile EEG Tabanlı Kimliklendirme Sistemi Tasarımı . Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi , Ejosat Special Issue 2020 (HORA) , 135-141 . DOI: 10.31590/ejosat.779526
- Chouhan, V., Singh, S. K., Khamparia, A., Gupta, D., Tiwari, P., Moreira, C., ... & De Albuquerque, V. H. C. (2020). A novel transfer learning based approach for pneumonia detection in chest X-ray images. *Applied Sciences*, 10(2), 559.
- COVIDx-CT : H. Gunraj, L. Wang, A. Wong, Covidnet-ct: a tailored deep convolutional neural network design for detection of covid-19 cases from chest ct images, *Front. Med.* 7.
- Hemdan, E. E. D., Shouman, M. A., & Karar, M. E. (2020). Covidx-net: A framework of deep learning classifiers to diagnose covid-19 in x-ray images. *arXiv preprint arXiv:2003.11055*.
- Hussain, E., Hasan, M., Rahman, M. A., Lee, I., Tamanna, T., & Parvez, M. Z. (2021). CoroDet: A deep learning based classification for COVID-19 detection using chest X-ray images. *Chaos, Solitons & Fractals*, 142, 110495.
- Ismael, A. M., & Şengür, A. (2021). Deep learning approaches for COVID-19 detection based on chest X-ray images. *Expert Systems with Applications*, 164, 114054.
- İşçen, C. F., Uysal, S. S., & Yavuz, A. A. (2021). SU KALİTESİ DEĞİŞİMİNE ETKİ EDEN DEĞİŞKENLERİN LOJİSTİK REGRESYON, LOJİSTİK-RİDGE VE LOJİSTİK-LASSO YÖNTEMLERİ İLE TESPİTİ. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 14(1), 1-12.
- Arı, A. & Berberler, M. E. (2017). Yapay

- Sinir Ağları ile Tahmin ve Sınıflandırma Problemlerinin Çözümü İçin Arayüz Tasarımı . Acta Infologica , 1 (2) , 55-73 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/acin/issue/33868/335553>
- J.P. Cohen, COVID-19 Image Data Collection, 2020. <https://github.com/ieee8023/COVID-chestxray-dataset>.
- Jain, G., Mittal, D., Thakur, D., & Mittal, M. K. (2020). A deep learning approach to detect Covid-19 coronavirus with X-ray images. Biocybernetics and biomedical engineering, 40(4), 1391-1405.
- Jia, G., Lam, H. K., & Xu, Y. (2021). Classification of COVID-19 chest X-Ray and CT images using a type of dynamic CNN modification method. Computers in biology and medicine, 134, 104425.
- Jung, H., Choi, M. K., Jung, J., Lee, J. H., Kwon, S., & Young Jung, W. (2017). ResNet-based vehicle classification and localization in traffic surveillance systems. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops (pp. 61-67).
- Kamal, K. C., Yin, Z., Wu, M., & Wu, Z. (2021). Evaluation of deep learning-based approaches for COVID-19 classification based on chest X-ray images. Signal, image and video processing, 1-8.
- Kassania, S. H., Kassanib, P. H., Wesolowskic, M. J., Schneidera, K. A., & Detersa, R. (2021). Automatic detection of coronavirus disease (COVID-19) in X-ray and CT images: a machine

learning based approach. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 41(3), 867-879.

Mohammad Ali Mansournia, Angelika Geroldinger, Sander Greenland, Georg Heinze, Separation in Logistic Regression: Causes, Consequences, and Control, *American Journal of Epidemiology*, Volume 187, Issue 4, April 2018, Pages 864–870,

Narin, A., & Isler, Y. (2021). Detection of new coronavirus disease from chest x-ray images using pre-trained convolutional neural networks. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(4), 2095-2107.

Ozturk, T., Talo, M., Yildirim, E. A., Baloglu, U. B., Yildirim, O., & Acharya, U. R. (2020). Automated detection of COVID-19 cases using deep neural networks with X-ray images. *Computers in biology and medicine*, 121, 103792.

P. Mooney, “Chest X-Ray Images (Pneumonia).” <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia>.

Pathak, Y., Shukla, P. K., & Arya, K. V. (2020). Deep bidirectional classification model for COVID-19 disease infected patients. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*.

Pereira, R. M., Bertolini, D., Teixeira, L. O., Silla Jr, C. N., & Costa, Y. M. (2020). COVID-19 identification in chest X-ray images on flat and hierarchical classification scenarios. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 194, 105532.

- S.I.diR.M.e Interventistica, “Covid-19: Casistica radiologica italiana,” 2020. <https://www.sirm.org/category/senza-categoria/covid-19/>].
- Schaffer, C. (1993). Selecting a classification method by cross-validation. *Machine Learning*, 13(1), 135-143.
- Şeker, A. (2018, September). Evaluation of Fabric Defect Detection Based on Transfer Learning with Pre-trained AlexNet. In 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP) (pp. 1-4). IEEE.
- T. Kavzoglu, I. Colkesen, A kernel functions analysis for support vector machines for land cover classification, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 11, Issue 5, 2009, Pages 352-359, ISSN:0303-2434, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.06.002>.
- T. Rahman, “COVID-19 Radiography Database,” Kaggle, 2020. <https://www.kaggle.com/tawsifurrahman/covid19-radiography-database>.
- Wang, L., Lin, Z. Q., & Wong, A. (2020). Covid-net: A tailored deep convolutional neural network design for detection of covid-19 cases from chest x-ray images. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12
- Wang, S. H., Govindaraj, V. V., Górriz, J. M., Zhang, X., & Zhang, Y. D. (2021). Covid-19 classification by FGCNet with deep feature fusion from graph convolutional network and convolutional neural network. *Information Fusion*, 67, 208-229.

Yang, X., He, X., Zhao, J., Zhang, Y., Zhang, S., & Xie, P. (2020). COVID-CT-dataset: a CT scan dataset about COVID-19. arXiv preprint arXiv:2003.13865.

BÖLÜM 4

FİBER TAKVİYELİ ELASTOMERİK YATAKLARIN DEPREM İZOLATÖRÜ OLARAK KULLANILMASI

Dr. M. Said BAYRAKLILAR¹

¹ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Siirt, Türkiye,
said.bayraklilar@siirt.edu.tr

1. GİRİŞ

Birçok insanın ölümüne ve yaralanmasına neden olan afetlerden biri de depremdir. Depremi engellemek mümkün olmasa bile, depremin verdiği hasarı minimuma indirmek mümkündür. Binaların depreme dayanıklı hale getirilmesi ekstra bir maliyet oluşturacaktır. İnsanların çoğunun bir ev sahibi olabilmek için bir ömür çalıştığı düşünülürse, ev maliyetlerini arttırmak çok akıllıca bir çözüm olmasa gerektir.

Peki depremde ölen bir insanın hayatı veya kalıcı hasar gören bir insanın kaybı tam olarak ne kadardır? Takdir edersiniz ki, böyle bir kaybın maddi değeri hesaplanamaz. İnsan hayatı parayla ölçülemeyecek kıymettedir. Maliyeti ne olursa olsun, insan hayatını kurtarmak esastır. Ancak pratikte gördüğümüz, tam olarak bu değildir. Deprem sonrası, depreme dayanıklı olmayan yapıların olduğunu görmekteyiz.

Kendi hayatınızın değeri, bir yakınınızın hayatının değeri veya tanımadığınız birinin hayatının değeri aynı olmayacaktır. Üreticiler, depreme dayanıklı yapılar yaptığında artan maliyetleri müşterilere yansıtmak zorundadır. Ancak müşteriden böyle bir talep gelmediğinde, üretici maliyeti düşürmeye odaklanacaktır. Bu durum da pratikte görülen sorunları netice verecektir. Müşterilerin bu konuda bilinçlenmesi sorunu çözecektir.

Deprem zamanının belirsizliği bu konudaki taleplerin önündeki en önemli engeldir. Deprem, bugün, gelecek ay, gelecek yıl veya yüz yıl sonra olabilir. Yüz yıl sonra olacak bir deprem için bugünden para

harcamak, gereksiz olacaktır. Yüz yıl içinde herhangi bir gün olursa, yüz yıl 36500 gün olduğuna göre, bugün deprem olma riski 1/36500'dir. Bu ihtimalin çok düşük olduğu görülmektedir. Burada riskin boyutu önemli hale gelmektedir. Düşük bir ihtimalle bugün olacak bir depremin bize vereceği zarar ne kadardır?

Depremde yıkılan yapıların, ölüm ve yaralanmalara sebep olduğunu söylemiştik, peki depremin zararları bunlardan mı ibarettir? Maddi kayıpları dikkate almasak bile, depremde yaralanmamış ancak depremin şokunu yıllarca atlatamayan insanları da bu zarara eklemek gerekir. Deprem de olanları dinleyip bu trajediden etkilenen insanları da hesap etmek gerekecektir. Görüldüğü gibi depremin verdiği zarar görülenden çok fazladır.

Diğer bir sorunsa deprem sonrası oluşacak sorunlara müdahale imkânıdır. Depremde yaralananlara sağlık hizmeti verilebilmesi için hastanelere ihtiyaç vardır. Peki, hastane de depremde yıkılmışsa ne olacaktır. Deprem sonrası oluşacak yangınları söndürmek için itfaiyeye ihtiyaç olacağından itfaiye binasının sağlam kalmasını isteriz. Deprem sonrası oluşacak, hırsızlık ve asayiş sorunlarının çözümü için karakolların yıkılmamış olması gerekir. Deprem bölgesine ulaşım için yolların ve köprülerin yıkılmamış olması gerekir. Eğer öncelikli binalar da yıkılmışsa depremin zararı, katlanarak artacaktır.

Tüm bunlar gösteriyor ki, öncelikli binalardan başlayarak tüm binaların olası bir depreme hazırlanması gerekmektedir. Bu hazırlığın

maliyeti, hazırlanılmadığında ödenecek maliyetin yanında önemsiz kalacaktır.

Depreme dayanıklı yapılar için ödenen maliyetlerin önemli olmadığı sonucuna varmış olmamız, bu maliyeti minimuma indirmemize engel değildir. Araştırmacılar, daha az maliyetle depreme dayanıklı yapılar üretmek için çalışmaya devam etmektedir. Bu çalışmalardan birisi de bu çalışmanın konusu olan elastomerik yataklardır.

2. DEPREMLER

Depremler, sahip oldukları beşeri, yapısal, ekonomik ve sosyal kayıp potansiyelleri dikkate alındığında en yıkıcı doğal afetler arasında yer almaktadır (Can vd., 2021).

Depremler, çoğu zaman yıkıcı hasarlara ve can kayıplarına neden olan en ölümcül doğal afetlerden biridir. Küresel olarak, depremler büyük ekonomik kayıplara ve binlerce ölüme sebep oldu (Yıldız vd, 2020). EM-DAT istatistiklerine göre, 1998 ve 2018 yılları arasında deprem felaketleri 752.498 kişinin ölümüne ve yaklaşık 1.574.000 kişinin yaralanmasına sebep oldu (EM-DAT, 2018).

Afet riskinin azaltılması öncelikle hükümetlerin sorumluluğundadır. Ancak, 2015-2030 Sendai Afet Riski Azaltma Çerçevesinde belirtildiği gibi, tüm paydaşlar sorumluluğu paylaşır. Hükümetler, kamu ve özel sektör, sivil toplum kuruluşları, akademik ve bilimsel/araştırma kurumları, topluluklar ve bireylerin sürece dahil olması gerekmektedir. Birlikte, bireylerin de zararı azaltmak ve kendilerini hazırlamak için harekete geçmeleri gerekmektedir (Tekeli

vd., 2019). Bireysel hazırlıklı olma, afetlerin neden olduğu ölüm ve yaralanmaları azaltmada kritik bir rol oynar ve küçük ölçekli yatırımlarla bile afetlerin sonuçlarını önlemek veya hafifletmek için bireylerin ve toplulukların yapabileceği birçok şey vardır (Tekeli vd., 2010-1). Bu tür önlemlerin etkinliğine rağmen, hem gelişmekte olan (Dedeoglu, 2006; Kalaça vd., 2007; Izadkhan ve Hosseini, 2010) hem de gelişmiş ülkelerdeki (Lindell ve Prater, 2000; Kohn vd., 2012; Shannon, 2015) insanlar genellikle bunları uygulamaya hevesli değildir (Tekeli vd., 2019).

Birçok çalışma, gelişmekte olan ülkelerde düşük maliyetli konut binaları için depreme dayanıklı stratejilere odaklanmıştır (Minke, 1984; Charleson, 2006; Paulay, 1977). Günümüzde bu teknolojiler çok az vakaya uygulanabilmektedir ve gelişmekte olan bölgelerdeki binaların çoğu hala deprem etkilerine karşı savunmasızdır, çünkü bunların çoğu herhangi bir sismik hüküm olmaksızın mevcut uygulamalara göre tasarlanmaktadır. Buna göre, yeni ve düşük maliyetli sismik izolasyon sistemlerinin tanıtılması, özellikle gelişmekte olan ülkelerde sismik eğilimli alanlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Daha ucuz teknolojilerin geliştirilmesi (Madera vd., 2019), dünyanın gelişmekte olan bölgelerinde konut binalarının depreme dayanıklılık kapasitesini artırarak, yeni ve mevcut yapılarda taban izolasyon sistemlerinin kullanımını teşvik edebilir (Losanna vd., 2020).

Türkiye, başta deprem olmak üzere birçok doğal afetle karşı karşıyadır (Tekeli vd., 2019). Türkiye, Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı

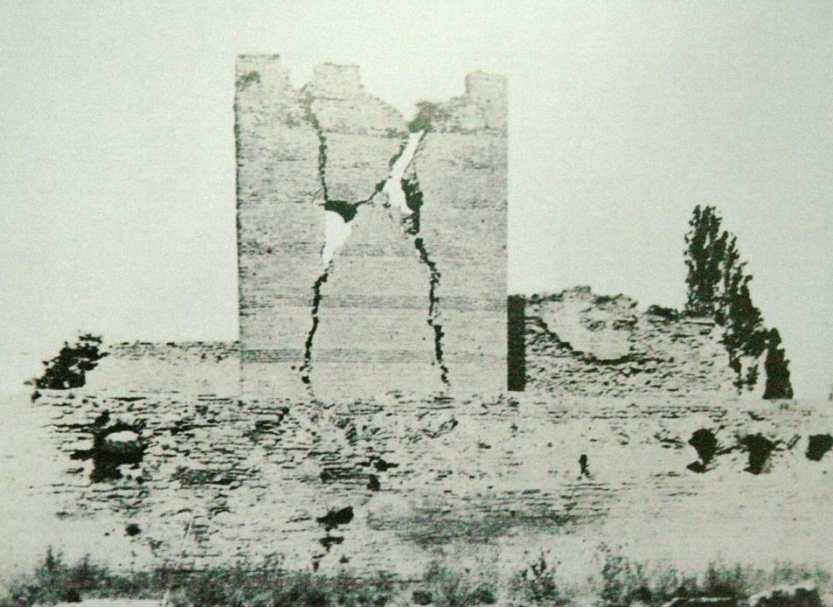
gibi çok sayıda aktif fay üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle, Türkiye'de çok sayıda orta şiddette veya yıkıcı deprem meydana gelmektedir. 1999 Kocaeli depreminden sonra betonarme yapılarda bir devrim yaşanmış, hazır beton ve deforme donatı kullanımını zorunlu hale getirilmiştir. Bina inşaatının denetimi kentsel alanlarda daha sık hale geldi, ancak ortaya çıkan uygulamalar kırsal yapılarda, özellikle yığma yapılarda yapılmadı. Ekonomik koşulları kötü olan köylerde yaşayan yerel halk, konutlarını yerel malzemelerle inşa etmektedir. Bu durum Türkiye'nin hemen hemen tüm köylerinde geçerlidir. Birçok konut moloz taş veya kerpiç kullanılarak yapılmıştır. Bunun yanı sıra birçok yapı yıllar önce yapılmış ve babadan oğula geçmiştir. Bu nedenle binalar artık çok eskimiş, sağlamlık ve dayanıklılıklarını kaybetmişlerdir. Ayrıca bu binalar hiçbir mühendislik hizmeti alınmadan inşa edilmiştir. Tüm bu nedenler, orta büyüklükteki depremler de dahil olmak üzere depremler sırasında hasara ve çökmeye katkıda bulunur(Yön, 2021).

1999 yılında Bursa, Kocaeli ve Sakarya depremlerinde toplam 77 tarihi yapı hasar görmüştür. Bursa-Yeşil Türbe, Sakarya-İhsaniye Camii, Sakarya-Sapanca Vakıf Oteli, Bursa-Rüstem Paşa Camii, Kocaeli-Akçakoca Camii, Van-Hüsrev Paşa Külliyesi, Van-Kaya Çelebi Camii ve Yedi Kilise Manastır'ının uğradığı zarar örnek teşkil etmektedir. 1999 Marmara ve 2011 Van depremlerinden sonra ağır hasar görmüş veya tamamen çökmüş yapılar. Bu yapılar çok ağır ve rijit olduklarından deprem sırasında önemli sismik kuvvetlere maruz kalmışlardır. Yığma yapıların sünek olmayan davranışı, deprem

sırasında önemli plastik deformasyon olmaksızın ani göçmelere neden olur. Bu nedenle, özellikle Türkiye'de tarihi yapıların deprem öncesi performanslarının değerlendirilmesi, kültürel mirasların korunmasında bir öncelik olarak görülmektedir (Genç vd., 2019).

Ülkenin yaklaşık %96'sı değişen derecelerde sismik aktivite riski altında olarak tanımlanabilir (Tekeli vd., 2019). İstanbul'un yakın gelecekte bir deprem yaşaması bekleniyor, bir senaryoda 30.000-40.000 ölüm ve 120.000'den fazla yaralının hastaneye kaldırılması gerekiyor (Boğaziçi, 2003). Buna rağmen, bireysel seviye de dahil olmak üzere çeşitli seviyelerde bir depreme hazırlanmaya olan ilgi sınırlı görünmektedir (Tekeli vd., 2010-1; Dedeoglu, 2006; Kalaça vd., 2007; Tekeli vd., 2010-2). İstanbul'da daha önce yapılan araştırmalarda, bireylerin depreme karşı önlem alma sürecinde risk bilincinin çok önemli bir faktör olduğu tespit edilmiştir. Katılımcılar depremler ve hasar riski hakkında nispeten geniş bilgiye sahip olsalar da, bu bilgi genellikle yüzeyseldi ve hasarın nasıl azaltılacağı ve kendilerini nasıl hazırlayacakları ile değil, riskin kendisiyle sınırlıydı. Bu nedenle, bilgilerinin içeriği genellikle kendilerini hazırlamalarına yardımcı olacak türden değildi (Tekeli vd., 2010-1). Hasarın nasıl azaltılacağı ve depreme nasıl hazırlanacağı da dahil olmak üzere deprem bilgisindeki değişkenler, bir bireyin depreme hazırlanma olasılığını tahmin eden önemli faktörler arasındaydı (Tekeli vd., 2010-2). Bir diğer bulgu, medyanın deprem bilgisinin önde gelen kaynağı olduğunu, buna karşılık 1.123 katılımcının %89'unun bilgiyi televizyondan, %48'inin gazete veya dergilerden (birden fazla yanıtın

mümkün olduğundan bahsedildiğini) belirttiğini göstermiştir (Tekeli vd., 2011).



Şekil 2.1: 1894 İstanbul depremi (Anonim, 2021-3)

1894 İstanbul depremi (Şekil 1), 1939 Erzincan depremi (Şekil 2) gibi yakın tarihte meydana gelen birçok yıkıcı deprem sonucu Türkiye'de çok sayıda can kaybı ve büyük çaplı hasarlar dahil ciddi ekonomik kayıplar meydana gelmiştir, 1943 Ladik-Samsun depremi, 1992 Erzincan depremi, 1999 Kocaeli depremi (Şekil 3), 2011 Van depremi vb. Kabaca 58.202 kişi hayatını kaybetmiş, Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşundan bu yana meydana gelen depremlerde 122.096 kişi yaralanmış, 411.465 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Ayrıca bu dönemde birçok tarihi yapı hasar görmüş veya yıkılmıştır. Sonuç olarak, yılda yaklaşık 1000 kişinin ölümüne ve 7000 binanın yıkımına

neden olan depremlerle ilgili tasarım hükümlerinin geliştirilmesinin Türkiye için çok önemli olduğu söylenebilir (Tekeli vd., 2019).



Şekil 2.2: 1939 Erzincan depremi (Anonim, 2021-1)



Şekil 2.3: 1999 Kocaeli depremi (Anonim, 2021-5)

3. DEPREM HASARI AZALTMA UYGULAMALARI

Betonarme en yaygın kullanılan modern yapı malzemelerinden biridir. Beton, çimento, kum ve agregaların su ile karıştırılmasıyla elde edilir. Taze beton, diğer malzemelere göre doğal bir avantaj olan hemen hemen her şekilde kalıplanabilir. Ancak sınırlı gerilim direnci, bina yapımında yaygın olarak kullanılmasını engelledi (Bayraktar vd., 2013). Bu zayıflığın üstesinden gelmek için çelik çubuklar, betonarme olarak adlandırılan kompozit bir malzeme oluşturmak için betona gömülür (Yakut, 2004).

Betonarme konstrüksiyonun dünya çapında kullanımı, beton bileşenlerinin yanı sıra takviye çeliğinin geniş mevcudiyetinden kaynaklanmaktadır. Beton inşaat, özellikle inşaat sırasında sahada belirli bir düzeyde teknoloji, uzmanlık ve işçilik gerektirir. Betonarme konstrüksiyonun yaygın kullanımı, çelik gibi diğer malzemelere kıyasla nispeten düşük maliyetinden kaynaklanmaktadır. İnşaat maliyeti bölgeye göre değişir ve büyük ölçüde yerel uygulamaya bağlıdır (Bayraktar vd., 2013; Yakut, 2004).

Betonarme yapılar, rijit derzlerle birbirine bağlanan kiriş adı verilen yatay elemanlar ve kolon adı verilen düşey elemanlardan oluşur. Bu yapılar, uyum içinde hareket etmek için monolitik olarak dökülür. Betonarme yapılar, kiriş ve kolonlarda eğilerek hem yerçekimi hem de yanal yüklere karşı direnç sağlar (Bayraktar vd., 2013; Yakut, 2004).

Yakın geçmişte meydana gelen depremler, Güney Asya bölgesi, İran ve İtalya'daki takviyesiz yığma binaların yüksek düzeyde savunmasız

olduğunu göstermiştir. Bu tür binaların taşıyıcı duvarlarının süneklik eksikliği ve zayıf düzlem dışı davranışı, büyük can ve mal kayıplarına neden olan orta ve yüksek şiddetteki depremlerde büyük hasara veya tamamen çökmeye neden olur. Ancak kalın duvarlı bu bina sınıfı, daha yüksek dayanıklılıkları ve daha iyi ısı yalıtımı nedeniyle dünyanın farklı yerlerinde çok yaygındır. Bu nedenle, depreme dayanıklılık ve dayanıklılıklarının artırılması için yenilikçi, düşük maliyetli sürdürülebilir teknolojilerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır (Basar vd., 2021).

Depreme dayanıklı tasarım, yapının önceden tanımlanmış elemanlarında kontrollü bir şekilde hasar oluşmasına izin vererek yapıyı küresel hasarlardan korur. Yapıların depremden korunmasının alternatif bir yolu, yapısal kontrol yaklaşımlarına dayanmaktadır. Sismik taban izolasyon tekniği pasif bir yapısal kontrol yaklaşımıdır. Genel olarak, taban izolasyon sistemleri, yer hareketinin üst yapıya iletilebilirliğini azaltmak için doğal süreyi uzatır ve izole edilmiş sistemlerin sönümünü artırır (Basar vd., 2021).

Depremi kendisini kontrol etmek mümkün olmamakla birlikte, temel izolatörleri kullanılarak temel hareketinin üst yapı üzerindeki etkileri azaltılarak bina üzerindeki gerçek etkisi kontrol edilebilir (Altalabani vd., 2021). Temel ve üst yapı arasına sismik izolatörler yerleştirilerek, izolasyon sistemi gelişmiş stabilite ve enerji dağıtma kapasitesi sunar (Al-Kutti ve Islam, 2019; Ismail vd.; Ounis H. M. Ve Ounis A., 2013; Saha vd., 2015; Islam ve Al-Kutti, 2018). Son otuz yılda birkaç temel izolasyon cihazı geliştirilmiş ve gerçek hayatta kullanılmıştır ve

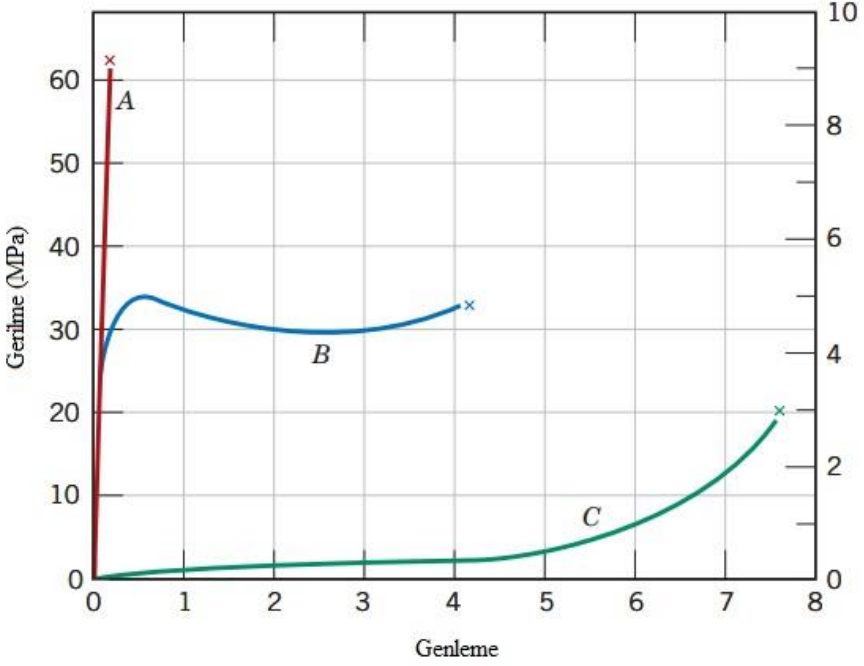
binaları kalıcı hasarlardan korumada etkili olmuştur (Ahmadipour ve Alam, 2017). Sismik izolasyon, doğal titreşim periyodunu yüksek enerjili deprem yer hareketleri aralığının ötesine uzatarak bir bina üzerindeki sismik etkileri en aza indirme eğilimindedir (Osgooei vd., 2016). Sismik taban izolatörleri artık çok sayıda uygulamada kullanılmaktadır (Altalabani vd., 2021). Bunlar sadece üst yapıyı yer hareketlerinden ayırmak için kullanılmamış, aynı zamanda termal hareketleri, öngerilme gevşemelerini, sürünme gibi zamana bağlı deformasyonları ve büzülme kontrol etmek için de kullanılmıştır (Ahmadipour ve Alam, 2017).

Öncelikli yapılardan olan köprüler, dünya çapındaki toplumların ekonomik büyümesinde ve refahında kilit bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, dünya çapında köprülerin inşası ve tasarımı için büyük miktarda yatırım tahsis edilmektedir. Daha esnek yapı sistemlerine sahip olmak için, özellikle sismik eğilimli bölgelerde, köprülerin tasarımında farklı tipte izolatörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonuç olarak, tipik binalardan farklı olarak, köprülerin üst yapıları genellikle sismik yüklere karşı dayanıklıdır, alt yapıları ise daha savunmasızdır. Bina yapılarında izolasyon sistemi genellikle üst yapıya iletilen atalet kuvvetlerini azaltmak ve yapı elemanlarının sismik taleplerini sınırlamak için kullanılır. Ancak köprülerdeki izolatörler, alt yapıyı korumak ve üst yapıdan iletilen atalet kuvvetlerini azaltmak amacıyla üst yapının altına yerleştirilir (Asadi vd., 2020; Hameed vd., 2008).

4. ELASTOMERİK YATAKLARIN DEPREM SÖNÜMLEYİCİ OLARAK KULLANILMASI

Elastomerik malzemelerin büyüleyici özelliklerinden biri, kauçuk benzeri elastikiyetleridir - yani, oldukça büyük deformasyonlara deforme olma ve daha sonra elastik olarak orijinal formlarına geri dönme yeteneğine sahiptirler. Bu, zincirleri deforme olmamış yapılarına geri döndürmek için bir kuvvet sağlayan polimerdeki çapraz bağlardan kaynaklanır. Elastomerik davranış muhtemelen ilk olarak doğal kauçukta gözlemlendi; bununla birlikte, geçtiğimiz birkaç on yıl, çok çeşitli özelliklere sahip çok sayıda elastomerin sentezini beraberinde getirdi. Elastomerik malzemelerin tipik gerilme – genleme özellikleri Şekil 4, eğri C'de gösterilmektedir. Elastisite modülleri oldukça küçüktür ve gerilim – genleme eğrisi doğrusal olmadığı için gerilim ile değişir (Callister ve Rethwisch, 2018).

Şekil 4 elastomerlerin elastik şekil değiştirme kabiliyetlerinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durumda deprem yüklerine karşı esneyecek ve sönümlenme vazifesi görecektir. Ancak elastomerleri binaların altına yerleştirdiğimizde binanın ağırlığına maruz kalacaktır. Salınımları sönümlenme kabiliyeti yüksek olan elastomerler yük taşımaya gelince rijit malzemelere ihtiyaç duyacaktır. Bir malzemedden hem rijitlik, hem elastiklik istediğimizde kompozitler devreye girmektedir. Bu sebeble elastomerin arasına çelik levhalar yerleştirilerek çelik takviyeli elastomerik yataklar elde edilmiştir(Şekil 5).



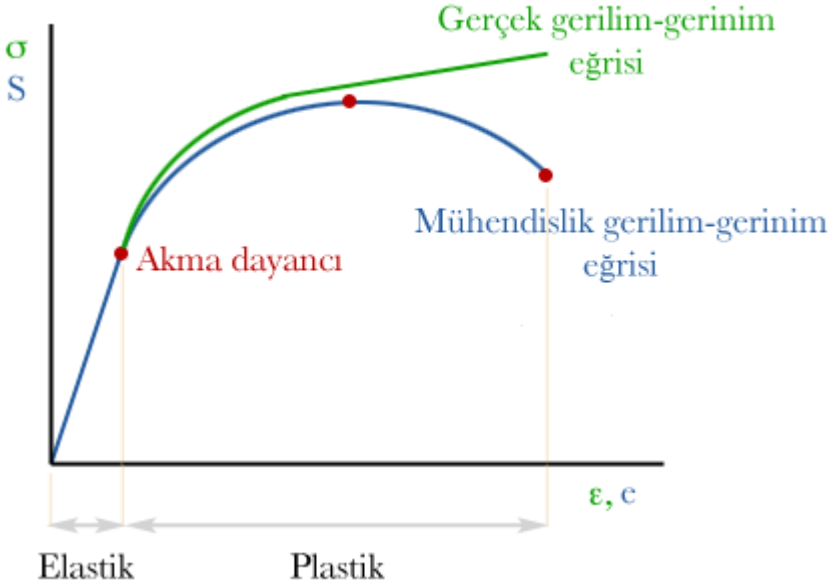
Şekil 4.1: Gerilme-genleme diagramları a) kırılğan malzeme b) plastik c) elastomer (Callister ve Rethwisch, 2018).



Şekil 4.2 Elastomerik yatak (Anonim, 2021-4)

Yapıların altına yerleştirilen izolatörler bir nevi sigorta işlevi görür. Deprem darbesini engellemek mümkün olmadığına göre darbeyi sönmölemek ve yapının zarar görmesini istemediğimiz kısımlarına

darbeyi iletmemek gerekir. Bunun için elastik malzemeler kullanılır. Elastik malzemelerin özelliği darbe ile şekil değiştirir ancak darbe sonrası eski haline döner. Bu sayede rijit yapının zarar görmesini engeller.



Şekil 4.3: Gerilme-Genleme diagramı (Anonim, 2021-2)

Şekil 6'da gerilme genleme grafiği verilmiştir. Akma noktasına kadar olan kısım Hooke kanununun geçerli olduğu kısımdır. Buraya elastik bölge denilir. Akma noktasına kadar uygulanan gerilmelerde malzeme elastik davranış gösterir. Yani yük kaldırıldığında malzeme eski şekline döner. Akma noktasından sonra kopma noktasına kadar olan kısma plastik bölge denilir. Bu bölgede malzeme plastik şekil değiştirir. Yani yük kalktıktan sonra malzeme eski şekline dönmez,

diğer bir deyişle kalıcı şekil değişimi gerçekleştirir. Kopma noktası ise malzemenin koptuğu bölgedir.

Taban izolasyonu, temel seviyesinde esnek mesnetler takılarak yapının zeminden ayrıldığı bir tekniktir (Sierra vd., 2019). Bu, depremlerin yapıya ilettiği potansiyel zarar verici hareketi azaltır ve olay sonrası ekonomik ve insani can kayıplarını azaltır (Kang vd., 2003). İzolasyon sistemi gelişmiş ülkelerde 12.000'den fazla projeye (Mason Walters, 2015) yaygın olarak uygulanmış ve etkinliği dünya çapında farklı sismik olaylar sırasında kanıtlanmıştır (Melkumyan, 2014). Gelişmekte olan ülkelerin önemli bir kısmı, son on yıllardaki en yıkıcı deprem kayıtlarına sahip yüksek sismik aktivite bölgeleri olarak kabul edilmektedir; ancak, altyapılarında izolasyon sistemi nadiren uygulanmaktadır. Kolombiya, Tumaco (Aralık 1979, büyüklük 7.5), Popayán (mart 1983, büyüklük 5.5) ve Ermenistan (Ocak 1992, büyüklük 6.6) gibi 2500'den fazla insan kaybına, 6000'den fazla yaralıya neden olan sismik olaylarla bunun belirgin bir örneğidir. Toplamda 43.000 ev hasar gördü ve 50.000 ev yıkıldı. Bununla birlikte, 2016 yılına kadar, özel bir kullanım (eğitim ve sağlık) için yalnızca üç bina izole edildi (Sierra vd., 2019).

Geleneksel çelik plakaların kumaş takviye ile değiştirilmesiyle bir izolatörün maliyetini ve ağırlılığını azaltmak sağlanabilir (Kelly ve Konstantinidis, 2011). Bu tip cihaz, karbon (çift yönlü veya dört yönlü kumaşlar), cam veya naylon gibi geleneksel elyaf kullanılarak üretilebilen elyaf takviyeli elastomerik izolatör (FREI) olarak bilinir ((Kang vd., 2003; Moon vd., 2003; Ashkezari vd., 2008; Kang G. J. ve

Kang B. S., 2009; Russo vd., 2013; Strauss vd., 2014; Dezfuli ve Alam, 2014; Hedayati Dezfuli ve Alam, 2014; Mordini ve Strauss, 2008); ve karbon fiber takviyeli plastik ağlar, poliamid ve mühendislik plastik levhaları gibi geleneksel olmayan fiberler (Karimzadeh Naghshineh vd., 2014; Bakhshi vd., 2014; Tan vd., 2014). Ayrıca, genellikle doğal bir kauçuk olan matris malzemesine alternatif olarak, lastiklerden ve endüstriyel artıklardan türetilen geri dönüştürülmüş elastomerler, hurda lastik lastik pedleri ve nanokompozit kauçuk önerilmiştir ((Sierra vd., 2019; Spizzuoco vd., 2014; Mishra vd., 2013; Turer ve Özden, 2008; Khanlari vd., 2010).

Ekonomik cihazların kullanımı ile gelişmekte olan ülkelerin yüksek deprem bölgelerinde de izolasyon sistemlerinin uygulamaları artmıştır (Habieb vd., 2019).

5. SONUÇ

Barınma insanların temel ihtiyaçlarından birisidir. Dış dünyadaki tehlike ve konfor azaltıcı etkilerden korunmak için tarih boyunca çeşitli barınaklar inşa edilmiştir. Bu sayede insanlar kendilerini güvende hissettikleri bir ortama ulaşmıştır. Normal zamanlarda insanları muhafaza eden bu yapılar deprem gibi doğal afetler düşünülmeden inşa edildiğinde insanı koruma vazifesini yerine getiremeyecek ve insanları temel ihtiyaçlarından mahrum bırakacaktır.

Bu tür istenmeyen afetlerde yapıların bizi dış dünyadaki tehlikelerden güvende tutabilmesi için bu afetlere dayanabilecek şekilde üretilmeleri gerekmektedir. Ancak depreme dayanıklı yapılar inşa etmek önemli

bir maliyet oluşturduğundan, gelişmekte olan ülkelerde inşa edilen yapılar depreme dayanıklı bir şekilde inşa edilememektedir.

Meydana gelen depremlerde bir çok önlenebilir ölüm ve yaralanmalar olmaktadır. Bu sorunun iki şekilde çözülebilir. Birincisi gelişmekte olan ülkelerin zenginleşmesi, bu oldukça zaman alacak ve bu sırada birçok kayıp verilecektir. İkincisi depreme izolatörlerinin ulaşılabilir maliyetlere indirilmesi.

Deprem izolatörlerinden olan elastomerik yataklar, deprem hasarını azaltmada oldukça başarılı olmasına rağmen pahalıdır. Araştırmacılar deprem izolatörlerinin maliyetlerini azaltabilmek için birçok çalışma yapmıştır. Bunun için fiber takviyeli elastomerik yataklar geliştirilmiştir. Fiber takviyeli elastomerik yataklar çelik takviyesi gibi deprem hasarını azaltabildiği gibi daha ulaşılabilir maliyetle üretilebilmektedir. Elastomer olarak kullanılmış malzemeler kullanımı da ekstra maliyet düşürücü bir yöntemdir. Bu sayede gelişmekte olan ülkelerin deprem izolatörlerine ulaşabilmesi mümkün olacaktır.

Fiber takviyesi ve kullanılmış malzemeler kullanılması maliyetleri yeterince düşürmüş olsa da, bundan sonraki çalışmalarda, daha düşük maliyetli malzemeler ve üretim yöntemleri geliştirilmelidir. Ayrıca mevcut yapılara pratik bir şekilde uygulanabilecek izolatörlerin geliştirilmesi de ileride yapılması gereken çalışmalardandır.

KAYNAKÇA

- Ahmadipour, M., & Alam, M. S. (2017). Sensitivity analysis on mechanical characteristics of lead-core steel-reinforced elastomeric bearings under cyclic loading. *Engineering Structures*, 140, 39-50.
- Altalabani, D., Hejazi, F., Rashid, R. S. B. M., & Abd Aziz, F. N. A. (2021, August). Development of new rectangular rubber isolators for a tunnel-form structure subjected to seismic excitations. In *Structures* (Vol. 32, pp. 1522-1542). Elsevier.
- Al-Kutti, W. A., & Islam, A. B. M. (2019). Potential design of seismic vulnerable buildings incorporating lead rubber bearing. *Buildings*, 9(2), 37.
- Asadi, P., Nikfar, D., & Hajirasouliha, I. (2020, October). Life-cycle cost based design of bridge lead-rubber isolators in seismic regions. In *Structures* (Vol. 27, pp. 383-395). Elsevier.
- Ashkezari, G. D., Aghakouchak, A. A., & Kokabi, M. (2008). Design, manufacturing and evaluation of the performance of steel like fiber reinforced elastomeric seismic isolators. *Journal of materials processing technology*, 197(1-3), 140-150.
- Bakhshi, A., Jafari, M. H., & Tabrizi, V. V. (2014). Study on dynamic and mechanical characteristics of carbon fiber-and polyamide fiber-reinforced seismic isolators. *Materials and structures*, 47(3), 447-457.
- Basar, T., Deb, S. K., Das, P. J., & Sarmah, M. (2021). Seismic response control of low-rise unreinforced masonry building test

model using low-cost and sustainable un-bonded scrap tyre isolator (U-STI). *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 142, 106561.

Bayraktar, A., Altunişik, A. C., & Pehlivan, M. (2013). Performance and damages of reinforced concrete buildings during the October 23 and November 9, 2011 Van, Turkey, earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 53, 49-72.

Boğaziçi Üniversitesi, & Kandilli Rasathanesi. (2003). *Earthquake Risk Assessment for the İstanbul Metropolitan Area*. Boğaziçi University Press.

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials science and engineering: an introduction (Vol. 9)*. New York: Wiley.

Can, G., Askan, A., & Karimzadeh, S. (2021). An assessment of the 3 February 2002 Cay (Turkey) earthquake (Mw= 6.6): Modeling of ground motions and felt intensity distribution. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 150, 106832.

Charleson, A. W. (2006, April). Low-cost tension resistance to improve seismic safety of adobe construction: strips cut from used car tires. In *Proceedings of the 8th US National Conference on Earthquake Engineering*, April 18-22, San Francisco, California.

Dedeoglu, N. (2006, August). Knowledge, attitude and practice of residents of Antalya, Turkey about earthquake preparedness. In *International Disaster Reduction Conference*, Davos, Switzerland (Vol. 27).

- Dezfuli, F. H., & Alam, M. S. (2014). Sensitivity analysis of carbon fiber-reinforced elastomeric isolators based on experimental tests and finite element simulations. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(2), 1025-1043.
- EM-DAT. (2018). The emergency events database—Universit' e catholique de Louvain (UCL)—CRED, D Guha-Sapir.
- Genç, A. F., Ergün, M., Günaydin, M., Altunişik, A. C., Ateş, Ş., Okur, F. Y., & Mosallam, A. S. (2019). Dynamic analyses of experimentally-updated FE model of historical masonry clock towers using site-specific seismic characteristics and scaling parameters according to the 2018 Turkey building earthquake code. *Engineering Failure Analysis*, 105, 402-426.
- Habieb, A. B., Valente, M., & Milani, G. (2019). Base seismic isolation of a historical masonry church using fiber reinforced elastomeric isolators. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 120, 127-145.
- Hameed, A., Koo, M. S., Dai Do, T., & Jeong, J. H. (2008). Effect of lead rubber bearing characteristics on the response of seismic-isolated bridges. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 12(3), 187-196.
- Hedayati Dezfuli, F., & Alam, M. S. (2014). Performance of carbon fiber-reinforced elastomeric isolators manufactured in a simplified process: experimental investigations. *Structural Control and Health Monitoring*, 21(11), 1347-1359.
- <https://mimoza.marmara.edu.tr/~avni/ERZiNCAN/deprem/askeriokul/2.htm> (Ziyaret saati: 14.07-27.11.2021)

- <https://muhendishane.org/kutuphane/malzemelerin-mekanik-davranisi/akmanin-matematiksel-tarifi> (Ziyaret saati: 11.36-28.11.2021)
- <http://tarihvedenedeniyet.org/2009/11/istanbulun-sirnasik-depremleri.html?nggpage=2> (Ziyaret saati: 14.05-27.11.2021)
- <http://www.arfen.com/Kopru-Genlesme-Profilleri-ve-Mesnetler-Dty.asp?LanguageID=2&cid=3&id=1524> (Ziyaret saati: 14.43-27.11.2021)
- <https://www.tarihiolaylar.com/tarihi-olaylar/1999-golcuk-depremi-17-agustos-depremi-362> (Ziyaret saati: 14.12-27.11.2021)
- Islam, A. B. M., & Al-Kutti, W. A. (2018). Seismic response variation of multistory base-isolated buildings applying lead rubber bearings. *Computers and Concrete*, 21(5), 495-504.
- Ismail, M., Rodellar, J., & Ikhouane, F. (2010). An innovative isolation device for aseismic design. *Engineering Structures*, 32(4), 1168-1183.
- Izadkhan, Y. O., & Hosseini, M. (2010). Sustainable neighbourhood earthquake emergency planning in megacities. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*.
- Kalaça, S., Aytakin, B. A., & Çalı, Ş. (2007, October). Istanbul'da Depreme Karşı Bireysel Düzeyde Önlem Almayı Belirleyen Faktörler. In 11th National Public Health Congress (pp. 23-26).
- Kang, B. S., Kang, G. J., & Moon, B. Y. (2003). Hole and lead plug effect on fiber reinforced elastomeric isolator for seismic isolation. *Journal of materials processing technology*, 140(1-3), 592-597.

- Kang, G. J., & Kang, B. S. (2009). Dynamic analysis of fiber-reinforced elastomeric isolation structures. *Journal of mechanical science and technology*, 23(4), 1132-1141.
- Karimzadeh Naghshineh, A., Akyüz, U., & Caner, A. (2014). Comparison of fundamental properties of new types of fiber-mesh-reinforced seismic isolators with conventional isolators. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 43(2), 301-316.
- Kelly, J. M., & Konstantinidis, D. (2011). *Mechanics of rubber bearings for seismic and vibration isolation*. John Wiley & Sons.
- Khanlari, S., Ashkezari, G. D., Kokabi, M., & Kashani, M. R. (2010). Fiber-reinforced nanocomposite seismic isolators: Design and manufacturing. *Polymer composites*, 31(2), 299-306.
- Kohn, S., Eaton, J. L., Feroz, S., Bainbridge, A. A., Hoolachan, J., & Barnett, D. J. (2012). Personal disaster preparedness: an integrative review of the literature. *Disaster medicine and public health preparedness*, 6(3), 217-231.
- Lindell, M. K., & Prater, C. S. (2000). Household adoption of seismic hazard adjustments: A comparison of residents in two states. *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, 18(2), 317-338.
- Losanno, D., Sierra, I. E. M., Spizzuoco, M., Marulanda, J., & Thomson, P. (2020). Experimental performance of unbonded polyester and carbon fiber reinforced elastomeric isolators under bidirectional seismic excitation. *Engineering Structures*, 209, 110003.

- Madera Sierra, I. E., Marulanda Casas, J., & Thomson, P. (2019). Matrix and reinforcement materials for low-cost building isolators: an overview of results from experimental tests and numerical simulations. *Journal of applied research and technology*, 17(1), 44-56.
- Mason Walters, S. E. (2015). Seismic isolation—the gold standard of seismic protection. *STRUCTURE*, 12.
- Melkumyan, M. (2014). Seismic isolation retrofitting experience in Armenia and new structural concept for an existing 8-story reinforced concrete hospital building to be retrofitted by base isolation. *Study of Civil Engineering and Archives (SCEA)*, 3, 78-92.
- Minke, G. (1984). Earthquake resistant low-cost houses utilizing indigenous building materials and intermediate technology. In *Earthquake relief in less industrialized areas*. International symposium organized by the swiss national committee for earthquake engineering zurich 28/30 march 1984 (pp. 105-108).
- Mishra, H. K., Igarashi, A., & Matsushima, H. (2013). Finite element analysis and experimental verification of the scrap tire rubber pad isolator. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11(2), 687-707.
- Moon, B. Y., Kang, G. J., Kang, B. S., Kim, G. S., & Kelly, J. M. (2003). Mechanical properties of seismic isolation system with fiber-reinforced bearing of strip type. *International applied mechanics*, 39(10), 1231-1239.

- Mordini, A., & Strauss, A. (2008). An innovative earthquake isolation system using fibre reinforced rubber bearings. *Engineering structures*, 30(10), 2739-2751.
- Osgoeei, P. M., Tait, M. J., & Konstantinidis, D. (2016). Seismic isolation of a shear wall structure using rectangular fiber-reinforced elastomeric isolators. *Journal of Structural Engineering*, 142(2), 04015116.
- Ounis, H. M., & Ounis, A. (2013). Parameters influencing the response of a base-isolated building. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 21(3), 31-42.
- Paulay, T. (1977). Earthquake resistance in low cost houses. *Int J Hous Sci Appl*, 1(3), 293-298.
- Russo, G., Pauletta, M., & Cortesia, A. (2013). A study on experimental shear behavior of fiber-reinforced elastomeric isolators with various fiber layouts, elastomers and aging conditions. *Engineering structures*, 52, 422-433.
- Saha, S. K., Matsagar, V. A., & Jain, A. K. (2015). Reviewing dynamic analysis of base-isolated cylindrical liquid storage tanks under near-fault earthquakes. *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 8(1), 41-61.
- Shannon, C. (2015). Understanding community-level disaster and emergency response preparedness. *Disaster medicine and public health preparedness*, 9(3), 239-244.
- Sierra, I. E. M., Losanno, D., Strano, S., Marulanda, J., & Thomson, P. (2019). Development and experimental behavior of HDR

- seismic isolators for low-rise residential buildings. *Engineering Structures*, 183, 894-906.
- Spizzuoco, M., Calabrese, A., & Serino, G. (2014). Innovative low-cost recycled rubber–fiber reinforced isolator: experimental tests and finite element analyses. *Engineering Structures*, 76, 99-111.
- Strauss, A., Apostolidi, E., Zimmermann, T., Gerhaher, U., & Dritsos, S. (2014). Experimental investigations of fiber and steel reinforced elastomeric bearings: Shear modulus and damping coefficient. *Engineering Structures*, 75, 402-413.
- Tan, P., Xu, K., Wang, B., Chang, C., Liu, H., & Zhou, F. (2014). Development and performance evaluation of an innovative low-cost seismic isolator. *Science China Technological Sciences*, 57(10), 2050-2061.
- Tekeli-Yeşil, S., Dedeoğlu, N., Braun-Fahrlaender, C., & Tanner, M. (2010). Factors motivating individuals to take precautionary action for an expected earthquake in Istanbul. *Risk Analysis: An International Journal*, 30(8), 1181-1195.
- Tekeli-Yeşil, S., Dedeoğlu, N., Braun-Fahrlaender, C., & Tanner, M. (2011). Earthquake awareness and perception of risk among the residents of Istanbul. *Natural hazards*, 59(1), 427-446.
- Tekeli-Yeşil, S., Dedeoğlu, N., Tanner, M., Braun-Fahrlaender, C., & Obrist, B. (2010). Individual preparedness and mitigation actions for a predicted earthquake in Istanbul. *Disasters*, 34(4), 910-930.
- Tekeli-Yesil, S., Kaya, M., & Tanner, M. (2019). The role of the print media in earthquake risk communication: information available

- between 1996 and 2014 in Turkish newspapers. *International journal of disaster risk reduction*, 33, 284-289.
- Turer, A., & Özden, B. (2008). Seismic base isolation using low-cost Scrap Tire Pads (STP). *Materials and Structures*, 41(5), 891-908.
- Yakut, A. (2004). Reinforced concrete frame construction. *World Housing Encyclopedia—Summary Publication*.
- Yildiz, A., Teeuw, R., Dickinson, J., & Roberts, J. (2020). Children's earthquake preparedness and risk perception: A comparative study of two cities in Turkey, using a modified PRISM approach. *International journal of disaster risk reduction*, 49, 101666.
- Yön, B. (2021). Identification of failure mechanisms in existing unreinforced masonry buildings in rural areas after April 4, 2019 earthquake in Turkey. *Journal of Building Engineering*, 43, 102586.

BÖLÜM 5

MODELLEME VE SİMÜLASYON

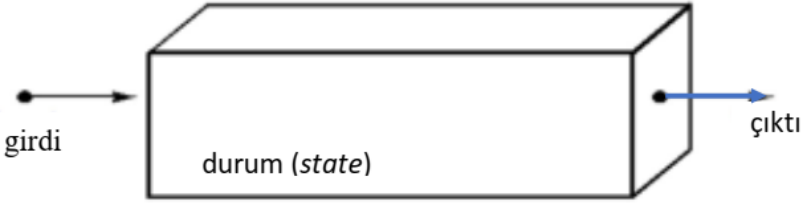
Dr. Serdar ABUT

1. GİRİŞ

Bilgisayar modellemesi ve simülasyonu, sistem davranışlarının analiz etmek ve tanımlayıcı veya tahmine dayalı modlarda işleyişindeki stratejileri değerlendirmek için kullanılmaktadır (Abar ve ark., 2017). Model kavramı, halihazırda var olan veya henüz planlanmış belirli bir gerçekliğin soyut ve basitleştirilmiş bir temsili olarak kabul edilmektedir. Modeller, gözlemlenen bir olguyu incelemek ve açıklamak veya gelecekteki olguyu öngörmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilgisayar simülasyonu terimi, modelleme seçimlerinin sonuçlarını öngörerek karmaşık bir sistemin davranışına (örneğin biyolojik veya sosyal sistemler) dönük tahmin elde etmek için bir hesaplama modelinin kullanılması, aynı zamanda tasarımları ve planları gerçek dünyada(örn. mimari tasarımlar, yollar veya trafik ışıkları) fiilen hayata geçirmeden değerlendirmek anlamına gelmektedir. Simüle edilen sistemin fiilen gözlemlenemediği, etik (örneğin, insanların güvenliği söz konusu olacaksa) veya deney ve veri toplamanın maliyetinin fazla olması gibi nedenlerle çoğu zaman bu "sentetik ortamların" kullanımı gerekmektedir (Bandini ve ark., 2009).

1960'larda ilk olarak geliştirilen modelleme ve simülasyon (M&S) teorisi, başlangıçta dinamik sistemleri temsil edecek matematiksel gösterimler sağlamayı amaçlamıştır. Sistem teorik olarak, sistem yapısı (bir sistemin iç yapısı) ve davranışı (dış tezahürü) arasında ayırım yapar. Bir kara kutu olarak bakıldığında (Şekil 1), bir sistemin dışa dönük davranışı, girdi katmanına aldığı değerler ile çıktı

katmanında üretilen değerler arasında kurulan ilişkidir. Sistem yapısını bilmek, davranışını anlamamızı (analiz etmemizi, simüle etmemizi) sağlar. Modelleme ve simülasyon işleminin temel amacı gözlemlenen bir davranışın geçerli bir temsilini keşfetmektir.



Şekil 1: Temel bir sistemin bileşenleri

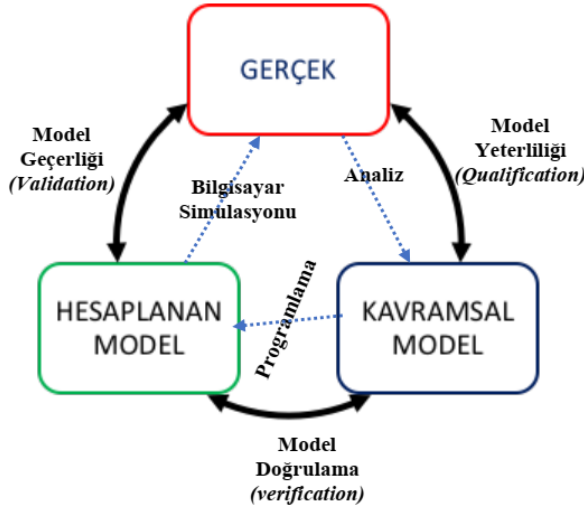
Zaman ve durum parametrelerinin kesikli ve sürekli olmasına göre denklem sistemleri farklılık göstermektedir. Geleneksel diferansiyel denklem sistemlerinde (*Differential Equation System* -DES) zaman ve durumlar(*states*) sürekliıdır. Fakat, otomatlar gibi kesikli bir zaman temelinde çalışan sistemler kesikli zamanlı sistemler (*Discrete Time System* - DTS) olarak isimlendirilmektedir. Bu iki sistem, Newton-Leibniz döneminden beri matematiksel gösterimler sunmaya devam etmektedir. Üçüncü bir yaklaşım olarak, büyük ölçüde algoritmalar ve simulasyon dillerinin etkisi altında kalan ayrık olay modelleri (*Discrete Event Systems* - DEVS) ileri sürülmüştür. Kontrol ve tasarımda soyutlamanın faydaları görüldükçe bu formdaki mutant modellerin tasarımı yaygınlaşmıştır (Ho, 1992).

Kompleks bir sistemin gerçekçi bir modelleme ve simülasyonu, sistem ve çevrenin deterministik olmayan (*nondeterministic*) özelliklerini muhakkak içermelidir. 'Deterministik olmayan' teriminden kasıt, sistemin tepkilerinin kesin bir şekilde tahmin edilemezliğidir. Bu belirsizlik, sistem ve çevrenin ürettiği belirsizlik veya sistem ile insan etkileşiminden doğan belirsizliklerdir. Nondeterminizm kavramı, sistemin anormal ya da sıradışı ortamlardaki çalışmasının güvenliğini tayin etmek için risk yönetimi alanında büyük bir yer edinmiştir. Nükleer reaktör analizi, çevresel etki analizi ve deprem mühendisliği gibi alanlarda nondeterministik etkiler ölçülmeye çalışılmaktadır. Risk yönetimi alanındaki temel kurgu, matematiksel modeller aracılığıyla parametre belirsizliklerini modellemeye ve yayılımını incelemeye yöneliktir (Oberkampff ve ark., 2002).

Reaktör güvenliğini sağlamak amacıyla, anormal veya arıza senaryolarında, istenmeyen olayın meydana gelebileceği tüm güvenilir yolları bulmak için tasarlanan hata ağaçlarının (Vesely ve ark., 1987) analiz edilmesinde belirsizliklerin etkisinin tayin edilebilmesine büyük önem verilmiştir. Oberkampff ve ark. çalışmalarında, belirsizlik kaynaklarını tayin edebilmek için olasılık yöntemlerini kullanmışlardır. Modelleme ve simülasyonda hata ve belirsizliği belirlemeye yönelik gerçekleştirdikleri çalışmalarında, tahmin edilen belirsizlik kaynakları, deterministik bir model aracılığıyla Monte Carlo örnekleme gibi örnekleme yöntemlerini kullanarak simüle edilmiştir (Oberkampff ve ark., 2002).

Sistem mühendisliği ve yöneylem araştırması toplulukları, modelleme ve simülasyon için birçok genel ilke ve prosedür geliştirmiştir. Bu konuda çalışan araştırmacılar, modelleme ve simülasyonun çeşitli aşamalarını tanımlama ve kategorize etme konusunda önemli ilerleme kaydetmişlerdir (Bossel, 2018; Zeigler, 2018; Neelamkavil, 1987; Law, 2000; Banks, 1998). Yöneylem araştırmalarında temel odak noktası, sorunlu varlığın tanımlanması, kavramsal modelin tanımlanması, veri ve bilgi kalitesinin değerlendirilmesi, doğrulama metodolojisi ve karar vermede yardımcı olarak simülasyon sonuçlarının kullanılmasıdır (Oberkampff ve ark., 2002).

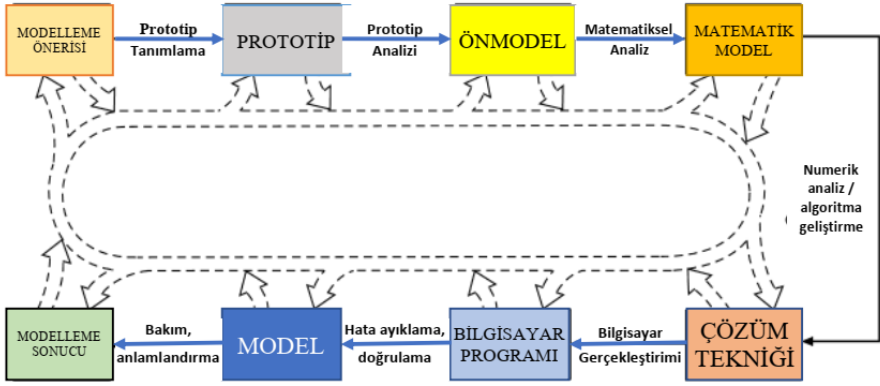
1979'da, Bilgisayar Simülasyonu Topluluğu Model Güvenilirliği Teknik Komitesi, modelleme ve simülasyonun birincil aşamalarını ve faaliyetlerini tanımlayan bir diyagram geliştirmiştir (Şekil 2). Şekil 2'de görüldüğü gibi analiz aşaması, gerçeğin kavramsal bir modelini oluşturmak için kullanılmaktadır. Programlama aşaması ile kavramsal model, hesaplanan modele dönüştürülür. Daha sonra gerçekliği simule etmek için bilgisayar simülasyonu kullanılır. Düz ve basit olmasına rağmen Şekil 2' deki diagram, modelleme ve simülasyonun iki temel aşamasının birbiri ile ve gerçeklikle ilişkisini göstermektedir. Şekil 2'de ayrıca model yeterliliği, model geçerliliği ve model doğrulama aşamaları da gösterilmektedir. Fakat Şekil 2'de, sistemi tanımlayabilecek parçalı diferansiyel eşitliklerin (*Partial Differential Equations*-PDEs) çözümü için gereken ayrıntılı faaliyetleri veya belirsizliğin tahmini için gerekli faaliyetleri ele almamaktadır.



Şekil 2: Bilgisayar Simülasyon Topluluğu tarafından tasarlanan modelleme ve simülasyon şeması (Schlesinger, 1979).

Jacoby ve Kowalik, 1980'de modelleme ve simülasyon aşamaları için daha ayrıntılı bir tasarım önermişlerdir (Şekil 3) (Jacoby ve ark., 1980). Çalışmalarında, sadece modelleme ve simülasyon aşamalarını daha iyi tanımlamakla kalmayıp, aynı zamanda sürecin matematiksel modelleme yönlerini de öne çıkarmışlardır. Modelleme çalışmasının amacı ve hedefi netleştirildikten sonra bir prototip modelleme çalışması yürütülmektedir. Ön modelleme ve matematiksel modelleme aşamalarında çeşitli alternatif matematiksel modeller oluşturulmakta ve uygulanabilirlikleri değerlendirilmektedir. Çözüm tekniği aşamasında, matematiksel modeli veya modelleri çözmek için sayısal yöntemler belirlenmektedir. Bilgisayar programı aşamasında, kodun hata ayıklamasının yanı sıra tüm sayısal yöntemlerin gerçek kodlaması gerçekleştirilmektedir. Model aşamasında, model doğrulama ile ilgili tüm faaliyetler, yani deneysel verilerle karşılaştırmalar ve tahmin

edilen sonuçların makul olup olmadığı kontrol edilmektedir. Modelleme sonucu aşamasında, sonuçların yorumlanması yapılır ve modelleme ve simülasyon çabasının orijinal amacına ulaşılmaya çalışılmaktadır. Tüm sürecin geri bildirimi ve yinelemeli doğası, modelleme ve simülasyon çabasını çevreleyen kesikli döngü ile gösterilmiştir (Şekil 3) (Jacoby ve ark., 1980).



Şekil 3: Modelleme ve simülasyon aşamalarını gösteren tasarım (Jacoby ve Kowalik, 1980)

Sargent, 1980'lerdeki çalışmalarında (Sargent, 1980; Sargent, 1985), Şekil 2'de gösterilen modelleme ve simülasyon kavramlarını genelleştirmeye yönelik iyileştirmeler yapmıştır. Bu bağlamda en önemli katkısı, modellerin ve simülasyonların doğrulanması (*verification*) ve geçerlenmesi (*validation*) aşamaları için genel prosedürler geliştirmesi olmuştur.

Modelleme ve simülasyon aşamalarını daha ileri noktaya taşıyan Nance (1981) ve Balcı (1990), simülasyonu yaşam döngüsü kavramını içerecek şekilde tanımlamışlardır. Nance ve Balcı, önceki

açıklamalara, 'Sistem ve Hedeflerin Tanımlanması', 'İletişimsel Modeller' ve 'Simülasyon Sonuçları' şeklinde majör aşamalar eklemiştirler. 'Hedef Tanımlama' ve 'Simülasyon Sonuçları' aşamaları daha önce de (Jacoby ve ark., 1980) tanımlanmış olsa da uygulamada pek yer bulmamıştır. İletişimsel Modeller, Nance (1981) ve Balcı (1990) tarafından 'diğer insanlarla iletişim halinde olan, birden fazla insan tarafından sistem ve çalışma amacına karşı yargılanabilen veya mukayese edilebilen modeller' olarak tanımlanmıştır (Oberkampff ve ark., 2002).

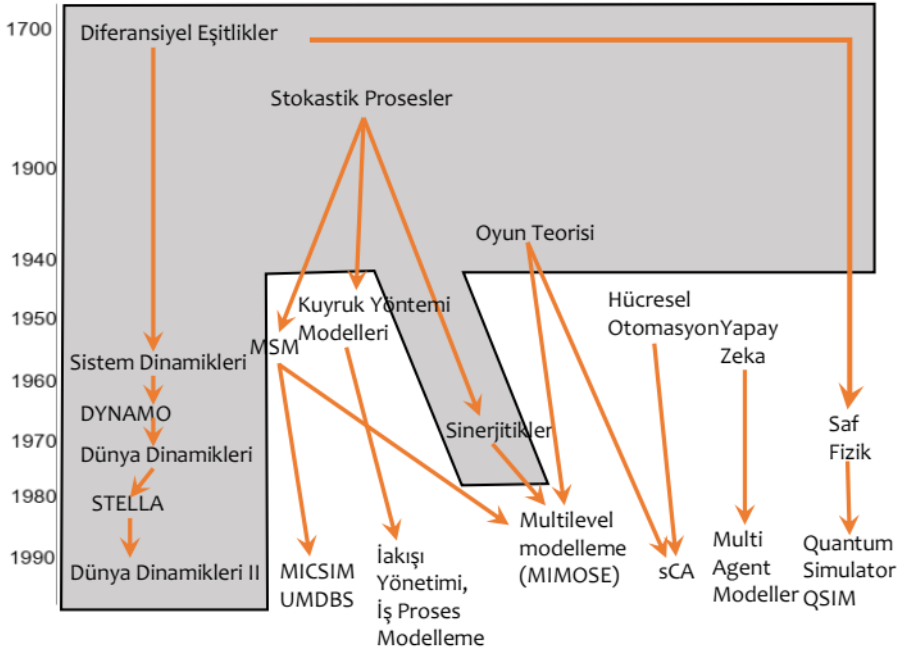
2. SOSYAL BİLİMLERDE MODELLEME VE SİMÜLASYON

Sosyal bilimlerde bilgisayar simülasyonunun doğuşu zor olmuştur (Troitzsch, 1997). Daha önceki münferit uygulamalar olmasına rağmen, sosyal bilimlerde bilgisayar simülasyonu alanındaki ilk gelişmeler, 1960'ların başlarında bilgisayarların üniversite araştırmalarında ilk kez kullanımına denk gelmiştir (Şekil 1.4). Bu çalışmalar, esas olarak ayırık olay simülasyonlarından veya sistem dinamiklerine dayalı simülasyonlardan oluşmaktaydı. Bu alandaki çalışmaları şekillendiren ilk yaklaşımlar, tipik iş hacmini tahmin etmek için birimlerin kuyruklar ve süreçler üzerinden geçişini modellemektedir. Müşterilerin kuyrukta bekleme süresinin veya bir şehrin polis arabalarının bir acil duruma ulaşması için geçen sürenin tahmin edilmesi gibi uygulamalar örnek verilebilir (Kolesar ve Walker 1975).

Sistem dinamiği yaklaşımında, zaman içindeki değişkenlerin yörüngelerini çizmek için büyük fark denklem sistemlerini

kullanılmaktadır. Club of Rome'un dünya ekonomisinin geleceğine ilişkin çalışmaları bu yaklaşıma örnek olarak verilebilir (Meadows ve ark., 1974). Küresel çevre felaketini öngören Club of Rome simülasyonları büyük bir etki yaratmıştır fakat aynı zamanda sonuçların büyük ölçüde modelin parametreleri hakkında yapılan belirli nicel varsayımlara bağlı olduğu netleştiği için simülasyona kötü bir itibar kazandırmıştır. Bu nicel varsayımların çoğu yetersiz kanıtlarla desteklenmekteydi (Gilbert ve Troitzsch, 2005).

Birkaç yıl boyunca etkisini sürdürebilen “Simulmatics” (Sola Pool ve Abelson 1962) olarak tanınan bir yaklaşım öne sürülmüştür. Simulmatics projesi aslen John F. Kennedy'nin başkanlık kampanyasına danışmanlık yapmak için tasarlanmıştır. Bu proje ile, seçmenlerin Kennedy ve kampanya ekibi tarafından alınan önlemlere tepkileri tahmin edilmeye çalışılmış ve aynı zamanda 1960'ların başında Amerika Birleşik Devletleri'nde sık görülen içme suyunun florlanmasıyla ilgili referandum kampanyalarında seçmenlerin davranışlarını anlamak için kullanılmıştır (Abelson ve Bernstein, 1963).



Lejant: Gri alanlar: eşitlik temelli modeller; beyaz alanlar: nesne, olay ya da ajan temelli modeller. 'sCA' (cellular automata) hücresel otomasyon teriminin kısaltmasıdır.

Şekil 4: Sosyal bilimlerde simülasyona çağdaş yaklaşımların gelişimi (Gilbert ve Troitzsch, 2005)

3. RİSK YÖNETİMİNDE MODELLEME VE SİMÜLASYON

Risk yönetim birimlerinde, özellikle nükleer reaktör güvenliği ve radyonüklidlerin çevresel etkisi konularında yürütülen çalışmalar, modelleme ve simülasyon fazlarını doğrudan ele almamıştır. Araştırmacılar, bunun yerine, risk değerlendirme tahminlerinde belirsizliğe katkıda bulunabilecek olası kaynaklara odaklanmışlardır. Reaktör güvenlik analizleri kapsamında risk değerlendirmesine katkı

sunacak, olası arıza ve olay ağacı senaryolarını oluşturmak için kapsamlı yöntemler geliştirilmiştir (Morgan ve ark., 1990; Frank, 1999; Ang ve De Leon, 2005; Hauptmanns, 2012).

Düşük ve yüksek seviyeli nükleer atıkların bertarafı için jeolojik depoların risk analizleri yapılırken, senaryo analizleri kullanılmış ve risk analizinin diğer aşamalarında meydana gelen belirsizlik ve yanlışlık kaynakları belirlenmiştir. Spesifik olarak, bu analizler kavramsal modellemede, matematiksel modellemede, bilgisayar kodu uygulamasında ve deneysel olarak ölçülen veya türetilmiş model girdi verilerinde meydana gelen farklı türde kaynakları tanımlamıştır (Davis ve ark., 2010; Davis ve ark, 1990).

4. BULUT TABANLI BİLİŞİM SİSTEMLERİNDE MODELLEME VE SİMULASYON

Bulut bilişim, bilgi işlem kaynaklarını bir ağ üzerinden bir hizmet olarak sağlar. Gelişen bu teknolojinin gerçek dünyada hızlı bir şekilde uygulanması ile bulut bilişimin karşılaştığı performans ve güvenlik sorunlarının nasıl değerlendirileceği giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Çok yakın zamanda, bulut bilişimin ve bu platformda yürütülen uygulamaların nasıl performans göstereceğini, bulut bilişim hizmetlerinin güvenli ve gizliliği koruyup korumadığını ve hangi bulut bilişim hizmeti kullanıcılarının seçebileceğini incelemek ve analiz etmek giderek daha önemli hale gelmektedir (Zhao ve ark., 2012).

Halihazırda modelleme ve simülasyon teknolojisi, bulut bilişim araştırma topluluğunda bu sorunlarla başa çıkmak için kullanışlı ve güçlü bir araç haline gelmiştir. Bulut bilişimin modellemesi ve

simülasyonu ile ilgili mevcut sonuçların gözden geçirildiği bir çalışmada iki tür bulut bilişim simülatörü olduğu belirtilmiştir. Bu simülatörler, sadece yazılıma dayalı simülatörler ve hem yazılım hem de donanıma dayalı simülatörler olarak sınıflandırılmaktadır (Zhao ve ark., 2012). Gerçek bir ortamda gerçekleştirilecek denemelerin pahalı, zaman maliyetli ve tekrarlanamaz olmasından dolayı, gerçek bulut ortamlarındaki performans ve güvenlik sorunlarını analiz etmek genellikle zordur (Calheiros ve ark., 2013). Bu nedenle, modelleme ve simülasyon teknolojisi, bulut endüstrisinde ve akademide giderek daha popüler hale gelmektedir. Modelleme ve simülasyon teknolojisinin, fiziksel dünyadaki karmaşık sorunları analiz etmek için sıklıkla kullanılan bir yöntem olduğu iyi bilinmektedir, simülasyon tabanlı deneylerin çoğu, bulut bilişim ve uygulama ortamlarının basitleştirilmiş modellemesini dikkate alır (Wang ve ark., 2011).

Literatürde bazı geleneksel dağıtık sistem simülatörleri (Buyya & Murshed, 2002; Dumitrescu & Foster, 2005; Legrand ve ark., 2003) bulut bilişim bileşenleri tarafından doğrudan kullanılabilir ortamı sağlayamamaktadır. Bu nedenle, son yıllarda piyasaya sürülen özellikle bulut bilişime özgü simülatörler ortaya çıkmıştır. Bunlar, CloudSim (Calheiros ve ark., 2011), The Open Cloud Testbed (Grossman ve ark., 2009), GreenCloud (Kliazovich ve ark., 2012), iCanCloud (Nunez ve ark., 2011), SPECI (Sriram, 2009), Cloud Analysis (Buyya, 2009) şeklinde listelenebilir.

5. AJAN TABANLI MODELLEME VE SİMÜLASYON

Pek çok durum ve alt sistemin nasıl çalışacağı, bir dizi özerk yapıların davranışlarına sıkı sıkıya bağlı olabilir. Ajan tabanlı(*agent-based*) modeller özellikle bu durumların üstesinden gelmek için uygundur. Bu modeller, merkezi olmayan karar verme, lokal-global etkileşimler, kendi kendine organizasyon, simüle edilmiş sistemde heterojenliğin ortaya çıkması ve etkileri gibi konuların incelenmesini ve analizini desteklemektedir.

Weyns ve ark. (2005), çalışmalarında lojistik optimizasyondan çok farklı bağlamlarda karmaşık sistemleri simüle etmek amacıyla, (belirli bir dereceye kadar) otonom ajanlara dayalı modelleri başarıyla tasarlamışlardır. Çalışmalarında, çok etmenli (*multi-agent*) modelleme ve simülasyon proseslerindeki temel kavramları ve mekanizmaları araştırmak, denemek ve değerlendirmek amacıyla Packet-World adlı soyut bir uygulamayı kullanılmıştır. Aktif algılama, yerleşik ajanların karar vermesi, eşzamanlı eylemlerin senkronizasyonu ve dolaylı koordinasyon gibi olayların örnekleri oluşturulmuştur. Packet-World, insansız araçlar aracılığıyla bir depo taşıma sisteminin merkezi olmayan kontrolü gibi gerçek dünya uygulamalarının benzetimi şeklinde düşünülmüştür (Weyns ve ark., 2005).

Bandini ve ark. (2005), çok etmenli modelleme ve simülasyonu, bağışıklık sistemini (*Immune System - IS*) ilgilendiren biyolojik bir çalışmada uygulamışlardır. Bağışıklık sisteminin, heterojen özerk varlıkların işbirliği yoluyla bilinmeyen tehditlere uyum sağlama mekanizmalarıyla donatılmış, dağıtılmış bir sistem olma fikri

çalışmalarının motivasyonunu oluşturmuştur. Çalışmalarında, çoklu ajan yaklaşımının ve daha spesifik olarak Yerleşik Hücreli Ajanlar (*Situated Cellular Agent - SCA*) modelinin, bağışıklık sisteminin belirli unsurlarını ve mekanizmalarını temsil etmek için uygun şekilde nasıl tasarlanabileceğini açıklamışlardır. Bağışıklık sistemini oluşturan parçaların ve iç mekanizmalarının kısa bir açıklamasından sonra, SCA modeli tanıtılmış ve simülasyon sonuçları paylaşılmıştır (Bandini ve ark., 2005).

Bu uygulamalardan farklı olarak, ajan temelli modelleme ve simülasyon yaklaşımı, trafik uygulamalarında (Bazzan ve ark., 1999; Wahle ve Schreckenberg, 2001; Balmer ve Nagel, 2006), yaya simülasyonunda (Batty, 2001), şehir ve bölge planlama uygulamasında (Arentze ve Timmermans, 2003), sosyal bilimlerde (Epstein, 1999) ve ekonoimoi alanındaki çalışmalarda (Lane, 1993; Windrum ve ark. 2007) başarıyla uygulanmıştır.

KAYNAKÇA

- Abelson, R. P., & Bernstein, A. (1963). A computer simulation model of community referendum controversies. *Public Opinion Quarterly*, 27(1), 93-122.
- Ang, A. S., & De Leon, D. (2005). Modeling and analysis of uncertainties for risk-informed decisions in infrastructures engineering. *Structure and infrastructure engineering*, 1(1), 19-31.
- Arentze, T., & Timmermans, H. (2003). A multiagent model of negotiation processes between multiple actors in urban developments: a framework for and results of numerical experiments. *Environment and planning B: planning and design*, 30(3), 391-410.
- Balci, O. (1990). *Guidelines for successful simulation studies*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- Balmer, M., & Nagel, K. (2006). Shape morphing of intersection layouts using curb side oriented driver simulation. In *Innovations in design & decision support systems in architecture and urban planning* (pp. 167-183). Springer, Dordrecht.
- Bandini, S., Celada, F., Manzoni, S., Puzone, R., & Vizzari, G. (2005). Modelling the immune system with situated agents. In *Neural Nets* (pp. 231-243). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bandini, S., Manzoni, S., & Vizzari, G. (2009). Agent based modeling and simulation: an informatics perspective. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12(4), 4.

- Banks, J. (Ed.). (1998). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. John Wiley & Sons.
- Batty, M. (2001). Editorial: Agent-based pedestrian modeling. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28(3), 321-326.
- Bazzan, A. L. C., Wahle, J., & Klügl, F. (1999, September). Agents in traffic modelling—from reactive to social behaviour. In *Annual Conference on Artificial Intelligence* (pp. 303-306). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bossel, H. (2018). *Modeling and simulation*. AK Peters/CRC Press.
- Buyya, R. (2009). CloudAnalyst: A CloudSim-based tool for modelling and analysis of large scale cloud computing environments. *Distrib. Comput. Proj. Csse Dept., Univ. Melb*, 433-659.
- Buyya, R., & Murshed, M. (2002). Gridsim: A toolkit for the modeling and simulation of distributed resource management and scheduling for grid computing. *Concurrency and computation: practice and experience*, 14(13-15), 1175-1220.
- Calheiros, R. N., Netto, M. A., De Rose, C. A., & Buyya, R. (2013). EMUSIM: an integrated emulation and simulation environment for modeling, evaluation, and validation of performance of cloud computing applications. *Software: Practice and Experience*, 43(5), 595-612.
- Calheiros, R. N., Ranjan, R., Beloglazov, A., De Rose, C. A., & Buyya, R. (2011). CloudSim: a toolkit for modeling and

simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms. *Software: Practice and experience*, 41(1), 23-50.

- Davis, P. A., Bonano, E. J., Price, L. L., & Wahi, K. K. (1990). *Uncertainties Associated with performance assessment of high-level radioactive waste repositories* (No. NUREG/CR-5211). Nuclear Regulatory Commission.
- Davis, P. A., Price, L. L., Wahi, K. K., Goodrich, M. T., Gallegos, D. P., Bonano, E. J., & Guzowski, R. V. (1990). *Components of an overall performance assessment methodology* (No. NUREG/CR-5256; SAND-88-3020; TI-90-008483). US Nuclear Regulatory Commission (NRC), Washington, DC (United States). Division of High-Level Waste Management; GRAM, Inc., Albuquerque, NM (United States); Science Applications International Corp., Albuquerque, NM (United States); Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).
- de Sola Pool, I., & Abelson, R. (1961). The simulmatics project. *Public Opinion Quarterly*, 25(2), 167-183.
- Epstein, J. M. (1999). Agent-based computational models and generative social science. *Complexity*, 4(5), 41-60.
- Frank, M. V. (1999). Treatment of uncertainties in space nuclear risk assessment with examples from Cassini mission applications. *Reliability Engineering & System Safety*, 66(3), 203-221.

- Gilbert, N., & Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the social scientist*. McGraw-Hill Education (UK).
- Grossman, R., Gu, Y., Sabala, M., Bennet, C., Seidman, J., & Mambratti, J. (2009). The open cloud testbed: A wide area testbed for cloud computing utilizing high performance network services. *arXiv preprint arXiv:0907.4810*.
- Hauptmanns, U., & Werner, W. (2012). *Engineering risks: Evaluation and valuation*. Springer Science & Business Media.
- Ho, Y. C. (Ed.). (1992). *Discrete event dynamic systems: analyzing complexity and performance in the modern world*. IEEE.
- Jacoby, S. L., Kowalik, J. S., & Burner, H. B. (1980). *Mathematical modeling with computers*. Prentice Hall.
- Kliazovich, D., Bouvry, P., & Khan, S. U. (2012). GreenCloud: a packet-level simulator of energy-aware cloud computing data centers. *The Journal of Supercomputing*, 62(3), 1263-1283.
- Kolesar, P., & Walker, W. E. (1975). A simulation model of police patrol operations: program description.
- Lane, D. A. (1993). Artificial worlds and economics, part I. *Journal of evolutionary economics*, 3(2), 89-107.
- Law, A. M., Kelton, W. D., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation modeling and analysis* (Vol. 3). New York: McGraw-Hill.
- Legrand, A., Marchal, L., & Casanova, H. (2003, May). Scheduling distributed applications: the simgrid simulation framework. In *CCGrid 2003. 3rd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid, 2003. Proceedings*. (pp. 138-145). IEEE.

- Meadows, D. L., Behrens, W. W., Meadows, D. H., Naill, R. F., Randers, J., & Zahn, E. (1974). *Dynamics of growth in a finite world* (p. 637). Cambridge, MA: Wright-Allen Press.
- Morgan, M. G., Henrion, M., & Small, M. (1990). *Uncertainty: a guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis*. Cambridge university press.
- Nance, R. E. (1981). Model representation in discrete event simulation: the conical methodology.
- Neelamkavil, F. (1987). *Computer simulation and modelling*. John Wiley & Sons, Inc..
- Nunez, A., Vazquez-Poletti, J. L., Caminero, A. C., Carretero, J., & Llorente, I. M. (2011, June). Design of a new cloud computing simulation platform. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 582-593). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Oberkampf, W. L., DeLand, S. M., Rutherford, B. M., Diegert, K. V., & Alvin, K. F. (2002). Error and uncertainty in modeling and simulation. *Reliability Engineering & System Safety*, 75(3), 333-357.
- Sargent, R. G. (1984). Simulation model validation. In *Simulation and model-based methodologies: an integrative view* (pp. 537-555). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Sargent, R. G. (1985, December). An expository on verification and validation of simulation models. In *Proceedings of the 17th conference on Winter simulation* (pp. 15-22).

- Schlesinger, S. (1979). Terminology for model credibility. *Simulation*, 32(3), 103-104.
- Sriram, I. (2009, December). SPECI, a simulation tool exploring cloud-scale data centres. In *IEEE International Conference on Cloud Computing* (pp. 381-392). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Troitzsch, K. G. (1997). Social science simulation—origins, prospects, purposes. In *Simulating social phenomena* (pp. 41-54). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., & Haasl, D. F. (1981). *Fault tree handbook*. Nuclear Regulatory Commission Washington DC.
- Wang, Q., Ren, L., & Zhang, L. (2011, June). Design and implementation of virtualization-based middleware for cloud simulation platform. In *4th International conference on Computer Science and information Technology* (pp. 10-12).
- Wahle, J., & Schreckenberg, M. (2001, January). A multi-agent system for on-line simulations based on real-world traffic data. In *Proceedings of the 34th annual Hawaii international conference on system sciences* (pp. 9-pp). IEEE.
- Weyns, D., Helleboogh, A., & Holvoet, T. (2005). The packet-world: A test bed for investigating situated multi-agent systems. In *Software Agent-Based Applications, Platforms and Development Kits* (pp. 383-408). Birkhäuser Basel.
- Windrum, P., Fagiolo, G., & Moneta, A. (2007). Empirical validation of agent-based models: Alternatives and prospects. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 10(2), 8.

Zeigler, B. P., Muzy, A., & Kofman, E. (2018). *Theory of modeling and simulation: discrete event & iterative system computational foundations*. Academic press.

Zhao, W., Peng, Y., Xie, F., & Dai, Z. (2012, November). Modeling and simulation of cloud computing: A review. In *2012 IEEE Asia Pacific cloud computing congress (APCloudCC)* (pp. 20-24). IEEE.

BÖLÜM 6

RÜZGÂR SANTRALİ İÇİN BAZI TASARIM PARAMETRELERİNİN AÇIKLANMASI

Dr. Öğr. Üyesi İlter Şahin AKTAŞ¹

¹ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye. ilter@siirt.edu.tr

1. GİRİŞ

Enerji sosyo-ekonomik kalkınmanın ve büyümenin temel bir bileşenidir. Fosil yakıtların ömürlerinin sınırlı olması ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri yüzünden, ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Bu kaynakların güneş ve rüzgâr, ülkemiz için ön plana çıkmaktadır. Rüzgâr enerjisinin birçok avantajı bulunmaktadır. Sınırsız olması, çevreyi kirletmemesi, ekonomik değeri, bakım maliyetleri gibi avantajları rüzgâr enerjisini avantajlı konuma getirmektedir. Dünya üzerinde yaklaşık olarak 10 milyon MW'lık bir gücün sürekli bir şekilde mevcut olduğu tahmin edilmektedir (Joselin Herbert, Iniyar, Sreevalsan, & Rajapandian, 2007). Türkiye için çıkarılan rüzgâr atlasına bakılarak, rüzgâr hızı potansiyeli açısından hangi şehir, bölge ve alanların enerji üretimi için uygun olduğu belirlenebilir. Bununla birlikte kanat uzunluğu, kule yüksekliği ana karada ya da kıyıya yakın yerlerde olması gibi birçok faktörün birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretebilmek için, bir takım tasarım parametrelerinin ve güç formüllerinin birlikte değerlendirilmesi ve gereksinime uygun bir tasarım yapılması hem maliyet hem de verim açısından çok önemlidir.

2. RÜZGÂR HIZI

Rüzgâr enerjisinden elektrik sağlayabilmek için rüzgârın mevcut olması gerekmektedir. Bu sayede, kanatlara çarpan havanın, kanatları döndürmesi neticesinde enerji üretilmesi sağlanmış olmaktadır. Rüzgar hızının yükseklikle değişmesinden dolayı, optimum tasarım

için, istenilen yükseklikteki rüzgâr hızının ne olduğunun bulunması önemlidir (Hau, 2006). Rüzgâr hızının atmosfer içinde kalmak kaydıyla, yükseklikle arttığı bilinmektedir. Aşağıdaki formülde rüzgâr hızı ile yükseklik arasındaki ilişki gösterilmiştir (Burton, Jenkins, Sharpe, & Bossanyi, 2011).

$$P_{out} = \frac{\rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \cdot \eta}{2}$$

Burada u , istenen rüzgâr hızı; z , yükseklik; z_0 ise 10 metredeki yükseklik, u_0 , 10 metredeki ölçülen rüzgâr hızı olarak tanımlanmaktadır. α ise Hellman üssü ya da katsayısı olarak bilinir ve farklı yüzeyler için farklı değerler alır (Burton et al., 2011).

Tablo 1. Hellman katsayısının farklı lokasyonlarda değerleri

Lokasyon	Hellman Katsayısı
Açık su yüzeyi üzerindeki kararsız hava	0.08
Açık su yüzeyinin üzerindeki nötr hava:	0.10
Düz açık sahil üzerinde kararsız hava:	0.11
Düz açık sahil üzerinde nötr hava:	0.16
Açık su yüzeyinin üzerinde sabit hava:	0.27
İnsanların yaşadığı alanların üzerinde kararsız hava:	0.27
Nötr hava oyukları, insanların yaşadığı alanlar:	0.34
Düz açık direğin üzerinde sabit hava:	0.40
İnsanların yaşadığı alanların üzerinde sabit hava:	0.60

3. RÜZGÂR GÜCÜNÜN HESAPLANMASI

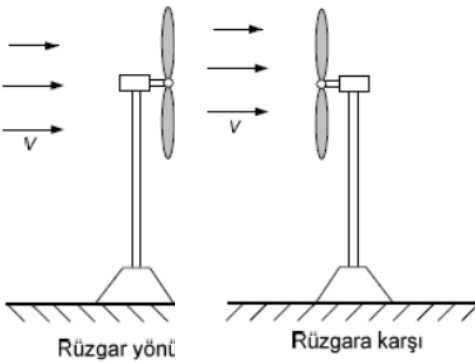
Rüzgâr hızı genel olarak; hava miktarı, havanın hızı ve hava kütesine bağlıdır. Buna göre rüzgâr türbininin çıkış gücü aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Ragheb & Ragheb, 2012):

$$C_p = \frac{P_t}{P} = \frac{P_t}{\frac{1}{2} \rho \pi R^2 V^3}$$

Burada; ρ , 15 C °'deki havanın yoğunluğu; A türbinin süpürülen alanı; V, rüzgar hızı; C_p , güç katsayısı(faktörü) ; η ise rüzgar türbininin toplam verimdir.

4. RÜZGÂR TÜRBİNİ YAPISININ SEÇİLMESİ

Rüzgâr türbinleri yapıları itibariyle yatay ve düşey eksenli olmak üzere ikiye ayrılabilir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, yatay eksenli türbinler tasarım kriterlerine göre hem rüzgâra karşı hem de rüzgâr yönünde çalışmak üzere tasarlanabilirler. Rüzgâra karşı çalışan türbinler çok daha fazla yaygındır. Bu şekilde çalışmak üzere tasarlanan türbinlerin temel avantajı, aynı kanat kule aralığı için kule gölge etkisinin daha az olmasıdır. Böylece, kanat üzerindeki dinamik yükler ve ritmik gürültü etkileri azaltılmış olur (Kaltschmitt, Streicher, & Wiese, 2007).



Şekil 1. Yatay eksenli rüzgâr türbinini çeşitleri (Burton et al., 2011)

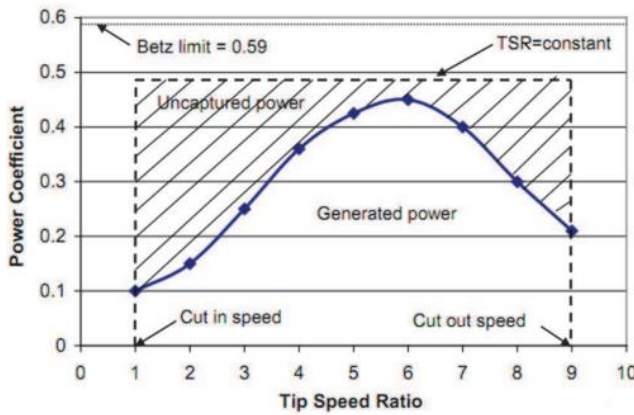
5. KANATLAR

Kanatlar, aşınmaya ve yırtılmaya karşı iyi direnç özelliklerine sahip fiber takviyeli plastik malzemeler gibi hafif malzemelerden yapılmıştır. Cam veya alüminyumdan yapılan elyaflar genellikle küçük ve orta büyüklükteki rüzgâr türbinlerinin kanatları içindir. Daha kritik yüklere maruz kalan parçalarda karbon fiberler, daha büyük kanatlarda kullanılmaktadır. Bu elyaf, iki kabuğu bir arada oluşturan polyester, epoksi reçine veya vinil esterden oluşur ve iyi bir avantaja sahiptir. Kanatlar, türbinin önemli bir bileşenidir. Uç hız oranı TSP (Tip speed ratio), türbin yavaşlamadan önceki rüzgâr hızı ile ilgili kanat uçlarının hızı cinsinden tanımlanır. Bu oran, türbin dönüş hızı için önemlidir (Ragheb ve M. Ragheb, 2011). Rotor kanadı, hava akımından geçerken yolda türbülanslı bir iz bırakır. Dönen rotordaki kanat, hava türbülanslı kaldığında dalga izine ulaşırsa, bir sonraki kanat rüzgârdan verimli bir şekilde güç alamaz. Ayrıca, bir sonraki kanat yüksek titreşim stresleriyle karşı karşıyadır. Öte yandan, rotor daha yavaşsa, rotor kanadı türbülanslı havadan geçemez (NREL, 2015).

Güç katsayısı rüzgar akımında mevcut enerjiye göre rüzgar türbini tarafından çekilen gücün oranı olarak tanımlanır (Jones, B, 1950). Buna göre güç katsayısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C_p = \frac{P_t}{P} = \frac{P_t}{\frac{1}{2} \rho \pi R^2 V^3}$$

Rüzgâr türbininden elde edilebilecek maksimum güç, %59,26'dır (Ragheb & Ragheb, 2012). Bu oran Betz limiti olarak tanımlanır. Ancak pratik değer yaklaşık yüzde 45'tir (Ragheb ve M. Ragheb, 2011). Yakalanmayan güç, TSR'nin farklı türbin tasarımlarındaki doğal verimlilikler ve kayıplarla sabit olmaması nedeniyle oluşur. Güç katsayısı ile uç hız oranı arasındaki ilişki Şekil 2'de gösterilmiştir (Ragheb & Ragheb, 2012).



Şekil 2. Uç hız oranı (TSP) ve güç katsayısı arasındaki ilişki (Ragheb & Ragheb, 2012)

Şekil 2'de görüldüğü gibi, maksimum güç çıkışı, optimum TSR'de gerçekleşir, burada gerçek TSR (mavi eğri) ile sabit bir TSR tarafından tanımlanan çizgi arasındaki fark en düşüktür. Bu fark, rüzgâr türbini tarafından yakalanmayan rüzgârdaki gücü temsil eder.

6. İLETİM VE DAĞITIM SİSTEMİ

Rüzgâr santralleri için iletim şebekesini önceden tasarlamak daha iyidir çünkü iletim sistemi projesi, rüzgâr enerjisi projesinin kendisinden daha büyüktür (Ackermann, 2005). Ayrıca inşaatı

bitirmek ve geliştirilebilir bir rüzgâr enerjisi santrali planlamak uzun zaman alacaktır. Ayrıca, iletim şebekesinin tam olarak kullanılmasını önlemek için rüzgâr enerjisi santrali genellikle %35-45 kapasite faktörü altında çalışır (Tandjaoui, Benachaiba, Abdelkhalek, Dennai, & Mouloudi, 2013). Yükseltilmiş iletim ağı aracılığıyla daha fazla elektrik teslim edilebilir. İletim sürecindeki önemli bir sorun, orijinal elektrik kaybının %7,34'ünü kaplayacak olan elektrik kaybıdır (Rosenbloom, 2006).

Genel olarak dağıtım ağları iki ana türe ayrılabilir. Her bir tüketici yükünü besleme hattı üzerinden şebeke trafo merkezine bağlayan verimsiz yöntemin dışında, radyal ana sistem uygulanmaktadır. Radyal sistem, her bir tüketici birimine trafo merkezi yönünde güç akışını sağlar. Genel dağıtım maliyetini en aza indirmek için bir dizi tüketici birimi ana besleyiciye bağlanıyor. Ana avantajı, nispeten daha az iletim kablosu ve basit hat koruması gerektiren düşük maliyetidir. Buna karşılık, besleme hattına bağlanan bir dizi tüketicinin elektrik kesintisi yaşayabileceği dezavantajı hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle, halka ana sistem konfigürasyonu çözümdür. Tüketici kullanım birimleri döngü halinde bağlı olduğundan, zorunlu elektrik kesintisi meydana geldiğinde, sistem tüketiciyi dağıtım ağının her iki tarafından besler. Halka ana sistemine dayalı daha güvenilir ağ sistemi, düğümler arasındaki ek ara bağlantılardır.

7. KIYIYA YAKIN (OFFSHORE) VE KARADAKİ (ONSHORE) RÜZGÂR SANTRALLERİ

Rüzgar santralleri, elektrik enerjisi üretmek için aynı yerde bulunan bir grup rüzgar türbininden oluşur ve açık (offshore) ve kara (onshore) rüzgar olmak üzere iki kısma ayrılabilir. Anakara üzerine yapılan rüzgâr santralleri iç kısımda inşa edilmiştir. Açık deniz rüzgâr santralleri okyanus, deniz veya göllerde bulunur. Bu iki tip rüzgâr santrallerinin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 1. Ana karadaki ve kıyıdaki rüzgâr santrallerinin avantaj ve dezavantajları

	Avantajlar	Dezavantajlar
Onshore Rüzgar Santrali	<ul style="list-style-type: none"> * Daha düşük kurulum maliyeti * Daha ucuz entegrasyon * Bakıma kolay erişim 	<ul style="list-style-type: none"> * Daha fazla türbülans * Kuş yaralanmaları * Gürültü
Offshore Rüzgar Santrali	<ul style="list-style-type: none"> * Geniş alan uygunluğu * Daha yüksek rüzgar hızı * Daha az türbülans * Daha kısa kule uzunluğu 	<ul style="list-style-type: none"> * Daha yüksek kurulum maliyeti * Bakım zorlukları * Santral kurma zorlukları

8. RÜZGAR TÜRBİNLERİ İÇİN DOĞRU LOKASYON BELİRLEME

Rüzgar santralleri için aslında en önemli parametrelerden biri de lokasyonu doğru seçmektir. Sadece rüzgar hızına bakarak rüzgar çiftlikleri kurmak ileri ciddi problemlere yol açabilir. Dolayısıyla, seçim yapılırken, diğer tüm kriterlerinde hesaba katılması zaruridir. Bu ölçütlerin başında sosyal, fiziksel ve ekonomik faktörler gelmektedir (Kaltschmitt et al., 2007).

8.1. Sosyal Faktörler

Sosyal faktör, esas olarak insanların konumunu ve hükümet politikasını ifade eder. Örnek vermek gerekirse, günümüzde İngiltere’de yaşayan insanlar, şehir merkezindeki inşaatın ekonomide etkili olmasına rağmen, rüzgâr türbinlerini karada inşa etmeyi reddediyor. Bunun ana nedeni görsel etki ve gürültünün bozulmasıdır. Bu nedenle, hükümet ve şirketler, şehir merkezine yakın bir rüzgâr santrali kurulmasını engellemektedir.

8.2. Fiziksel Faktörler

Aslında üretim kapasitesi büyük ölçüde iki faktöre bağlıdır: rüzgâr hızı ve rüzgâr türbininin performansı. Rüzgâr hızı mevsimsel olarak değiştiğinden, her bir ayın ölçümleri birkaç yıla kadar kaydedilmelidir. Bu ölçüm verileri, saha seçimi ve rüzgâr türbini tasarımı için derinlemesine analiz edilecektir. Bu, bölgedeki rüzgâr çiftliğinin türbülanslı rahatsızlıklarla inşa edilmesini önlemek için güçlü bir destek sağlar. Örneğin, tepeler ve vadiler veya nehirler ve ormanlar, muhtemelen türbinlere zarar veren ve bakım için ekstra maliyete neden olan kuvvetli rüzgârlara sahip olabilirler.

8.3. Ekonomik Faktörler

Hem yerleri hem de boyutları ekonomik faktörler tarafından belirlenir. Rüzgâr çiftliği şebekeye olabildiğince yakın olmalıdır, ancak uzak bölgelerde bulunan bazı rüzgâr çiftliklerinin kurulum ve bakım açısından maliyetli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Ek olarak, istatistikler Norveçli hanelerin rüzgâr enerjisini hidroelektrikle değiştirmek için her yıl 75-88 sterline kadar ödemeye daha istekli olduğunu gösterirken, İsveç hane halklarının karadaki rüzgâr santralini dağlardan aşağıya kaydırmak için her yıl 8 sterlin ödemeye daha istekli olduğunu ortaya koyuyor (IRENA, 2019). Bu, insanların desteğiyle, offshore rüzgâr santrali inşasının maliyetinin toplum tarafından bir şekilde paylaşılabileceği ve bu da üreticinin ve hükümetin baskısını verimli bir şekilde azaltacağı anlamına gelir.

9. TARTIŞMA VE SONUÇ

Son yirmi yılda, dünya nüfusunun artması nedeniyle hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler için enerji talebi önemli ölçüde artmıştır (Olimpo Anaya-Lara, David Campos-Gaona, Edgar Moreno-Goytia, & Grain Adam, 2014). Devletler enerji tüketimi ve maliyeti ile mücadele ediyor. Bu nedenle ülkeler sınırlı fosil yakıtlardan ziyade rüzgâr enerjisi gibi değerli, temiz ve ucuz enerji kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır. Rüzgâr enerjisi, gelecek vaat eden bir enerji kaynağı olarak kendini kanıtlamış ve 1980'lerden beri enerji üretimi için kullanılmaktadır (Kaldellis & Zafirakis, 2011).

İklim değişikliği, politika gündeminin üst sıralarında yer alan ve önemli medya ve kamu ilgisini çeken bir konudur. Rüzgâr gibi yenilenebilir enerjiler, ekonomimizi karbondan arındırmanın ve iklim değişikliğini yavaşlatmanın önemli bir parçasıdır. Rüzgâr da dâhil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimindeki payı, daha sürdürülebilir bir gelecek inşa etmeye yardımcı olmak için daha da arttırılmalıdır (EWEA, 2009).

Rüzgâr enerjisinden elektrik elde ederken birtakım önemli parametreler vardır. Rüzgâr hızı, kanat çapı, kule yüksekliği ve lokasyon seçimi bunlardan bazılarıdır. Burada anlatılan faktörlerin yanında birçok farklı konuda da tasarım kriterleri bulunmaktadır. Tüm faktörlerin detaylı incelenerek değerlendirilmesi ve doğru projelendirilmesi, ülkeler için çok önemlidir. Özellikle ülkemiz gibi enerji ithal eden ülkelerin rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapması gereklidir. Bu yatırımlar yapılırken sadece rüzgâr hızının değil, çevre ve insan faktörünün de göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- Ackermann, T. (2005). *Wind Power in Power Systems. Wind Power in Power Systems.*
- Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., & Bossanyi, E. (2011). *Wind Energy Handbook, Second Edition. Wind Energy Handbook, Second Edition.*
- EWEA. (2009). *The Economics of Wind Energy* (Vol. 21). Brussels.
- Hau, E. (2006). *Wind turbines: Fundamentals, technologies, application, economics. Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics.* Springer Berlin Heidelberg.
- IRENA. (2019). *Future of Wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. International Renewable Energy Agency (IRENA).*
- Joselin Herbert, G. M., Iniyan, S., Sreevalsan, E., & Rajapandian, S. (2007). A review of wind energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11*(6), 1117–1145.
- Kaldellis, J. K., & Zafirakis, D. (2011). The wind energy (r)evolution: A short review of a long history. *Renewable Energy, 36*(7), 1887–1901.
- Kaltschmitt, M., Streicher, W., & Wiese, A. (2007). *Renewable energy: Technology, and environment economics. Renewable Energy: Technology, and Environment Economics.*
- NREL. (2015). Open Energy Information Transparent Cost Database : Capacity Factor. Retrieved February 29, 2020, from https://openei.org/wiki/Transparent_Cost_Database

- Olimpo Anaya-Lara, David Campos-Gaona, Edgar Moreno-Goytia, & Grain Adam. (2014). *Offshore Wind Energy Generation*.
- Ragheb, M., & Ragheb, A. M. (2012). Fundamental and Advanced Topics in Wind Power. *Fundamental and Advanced Topics in Wind Power*, 1(1).
- Rosenbloom, E. (2006). *A Problem With Wind Power*. Aweo.
- Tandjaoui, M. N., Benachaiba, C., Abdelkhalek, O., Dennai, B., & Mouloudi, Y. (2013). The impact of wind power implantation in transmission systems. *Energy Procedia*, 36, 260–267.

BÖLÜM 7

POTASYUM BORHİDRÜRÜN HİDROLİZİ İÇİN ODA SICAKLIĞINDA KİMYASAL REAKSİYON YOLUYLA YENİ BİR RU-CO-B/PERLİT KATALİZÖRÜNÜN SENTEZİ

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ¹
Erhan ONAT²

¹ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye. erhonat@gmail.com

² Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye. saitzgi@siirt.edu.tr

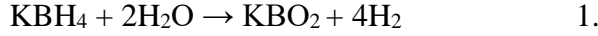
1. GİRİŞ

Endüstrileşme ve nüfusun artmasıyla birlikte enerjiye olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Buna karşın çağımızda esas enerji kaynağı olarak gösterilen fosil kaynaklarda bir yükseliş söz konusu değildir. Yani kaynakların sürekli azalması fakat bunun karşılığında tüketimin hergeçen gün artması durumu söz konusudur. Tüm bu sebepler yeni enerji kaynakları ihtiyaçlarını oluşturmaktadır (Isaacs vd., 2006). Yani alternatif enerji arayışı artık zorunlu bir hal almıştır. Alternatif enerji kaynaklarını arayıştaki en önemli sebep fosil yakıtların limitli olmasının yanı sıra ekolojik çevreye verdikleri telafisi pek de mümkün olmayan hasarlardır. Tüm bu nedenlerden ötürü alternatif enerji kaynakları arayışına gidilmiştir. Bu bağlamda bu zamana dek; rüzgar, hidrolik, Hidrojen, biyokütle, jeotermal vb. gibi alternatif enerjilere doğru bir akım olmuştur (Vriesa vd., 2007). Muhakkak ki bu kaynakların tümü bu koşullar doğrultusunda önem arz etmektedir. Yani; verimlilik, uygun fiyat gibi parametreleri optimize eden çözüm önerileri bu koşulları oluşturur. Bu bağlamda hidrojen enerjisi; yani hidrojen kaynaklı enerji de bu alternatiflerden ilkinin oluşturmaktadır. Ayrıca, küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin hissedilmesiyle birlikte, fosil yakıtlarının pahalı oluşu ve rezervlerinin bitme aşamasına gelmesi insanları ilerde daha elverişli ve daha ekonomik, bir o kadar da tabiata hasar vermeyen yenilenebilir enerji kaynakları arayışına sürüklemiştir (Lattina 2007). Günümüzde güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, su gücü, biyokütle, hidrojen enerji kaynakları ve elektrik enerjisi üretebilen yakıt pili sistemleri gibi alternatif enerji

kaynaklarına ilgi giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidrojen iyi bir enerji taşıyıcısı olarak ön plana çıkmıştır. Hidrojen, elektrik üretimi için temiz ve çevreye zararı olmayan enerji taşıyıcısı olarak kabul edilmiş bir gazdır. Bu kaynaklar arasından öne çıkan hidrojen enerjisinin birçok avantajı bulunmaktadır. En önemliside çevreye zarar vermemesi ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması önem arz etmektedir. Hidrojen kaynaklarından son zamanlarda borhidrürler öne çıkmaktadır. Borhidrürlerin avantajları ise; zehirsiz olmaları, kararlı olmaları, tepkimeleri sırasında suyla reaksiyon verdiklerinden sudaki hidrojenden 2 mol hidrojen almaları gibi önemli avantajları bulunmaktadır. Sodyum borhidrürle ilgili birçok çalışma olmasına karşın potasyum borhidrürle ilgili çalışma kısıtlıdır.

Potasyum borhidrür (KBH_4), birçok alanda sodyum bor hidrür'ün yerine kullanılmaktadır. Özel olarak, tekstil boyalarının, antibiyotiklerin, steroid preparatlarının ve vitaminlerin üretiminde indirgeyici olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, trialkil boran, diboran alkil türevleri ve diğer bor bileşiklerinin üretiminde hammadde olarak, organik bileşiklerdeki OH gruplarının korunmasında, alkoller, fenoller, dioller, şekerler ve diğer bileşiklerdeki OH gruplarının hızlı gazometrik tayininde kullanılmaktadır. İnorganik, kompleks ve organik tuzların kristalin hidratlarındaki su içeriğinin tayininde ve tuz ile şeker hidratlarının dehidrasyonunda potasyum borhidrür kullanılmaktadır. İçerdiği hidrojen miktarı LiBH_4 ve NaBH_4 den biraz daha düşüktür. Potasyum borhidrürde de teorik olarak % 8,9 H_2

İçermektedir (keskin 2019, şahin ve ark2007). KBH_4 hidroliz reaksiyonu sırasında açığa çıkan H_2 'nin yarısı sudan gelmektedir. KBH_4 hidroliz tepkime aşağıda verilmiştir.

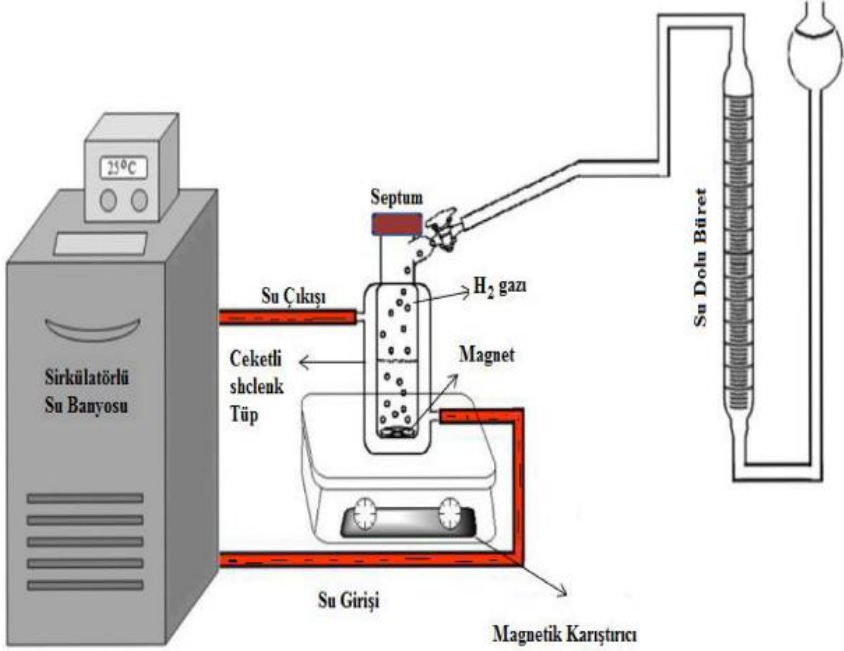


Yukarıda verilen potasyum borhidrürün hidroliz reaksiyonunda daha önceden bahsedildiği gibielde edilen 4 mol hidrojenin yarısı potasyum bor hidrürden diğer yarısının sudan gelmesi reaksiyonun ne kadar çevreci olduğunu göstermektedir. Bor hidrürler kararlı olduğu için katalizörler varlığında bozdukları için bu reaksiyonu kontrol etmek ve hızlandırmak için kullanılmaktadırlar. (izgi 2016,2020). Kullanılan katalizörler heterojen ve homojen katalizörler diye sınıflandırılmaktadır. Genellikle bu reaksiyonlar için Ru, Pd gibi pahalı katalizörler kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda katalitik aktivitesi yüksek ve daha kullanışlı ve ekonomik katalizörler sentezlenmiştir (izgi ve ark. 2021,2019,2018). Bizde bu çalışmada hem metal oranını az kullanmak hemde katalitik aktivitesi yüksek olan Ru-Co-B/Perlit katalizörünü sentezleyerek bunun potasyum bor hidrürdeki hidrolizini inceledik.

2. MATERYAL VE METOT

Potasyum bor hidrürün hidrolizi ile hidrojen üretimini gösteren deneysel çalışma sistemi Şekil 1' deki gibidir. Hidroliz deney sistemi sıcaklık kontrollü sirkülasyonlu su banyosu, ceketli tüp, manyetik karıştırıcı, dereceli büret ve bağlantı hortumlarından oluşmaktadır. Ceketli tüp deney ortamını sağlamaktadır. Manyetik karıştırıcı reaksiyonun belirli bir değerde takip edilmesini sağlamaktadır.

Dereceli büret zamana bağlı olarak açığa çıkan hidrojen gazının ölçülmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 1. Hidroliz tepkimesi reaksiyon düzeneği

3. BULGULAR VE ARAŞTIRMA

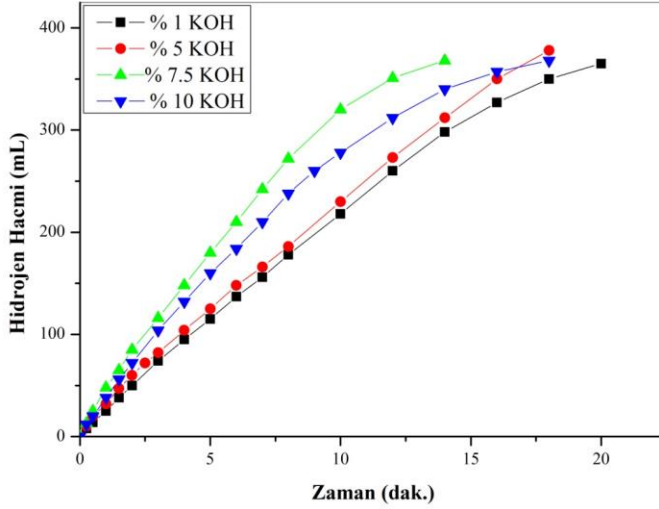
3.1. Perlit Destekli katalizörün Sentezlenmesi:

Farklı miktarlarda alınan perlit önce 50 mL etanol içerisinde konularak 24 saat boyunca karıştırıldıktan sonra, daha önceden hesaplanan metal oranları eklenerek karıştırıldı. Bunların iyice disperse olmaları için ultrasonik banyoya konularak daha iyi karıştırılmaları sağlandı. Elde edilen çözelti 50 mL % 2.5 NaBH₄ ile yavaş yavaş çözeltiliye eklenerek indirgenmesi sağlandı. Gaz çıkışı bittiğinde elde edilen

birkaç defa etanol ve suyla yıkandıktan sonra süzülerek 80 °C azot ortamında 12 saat boyunca kurularak hazır hale getirildi.

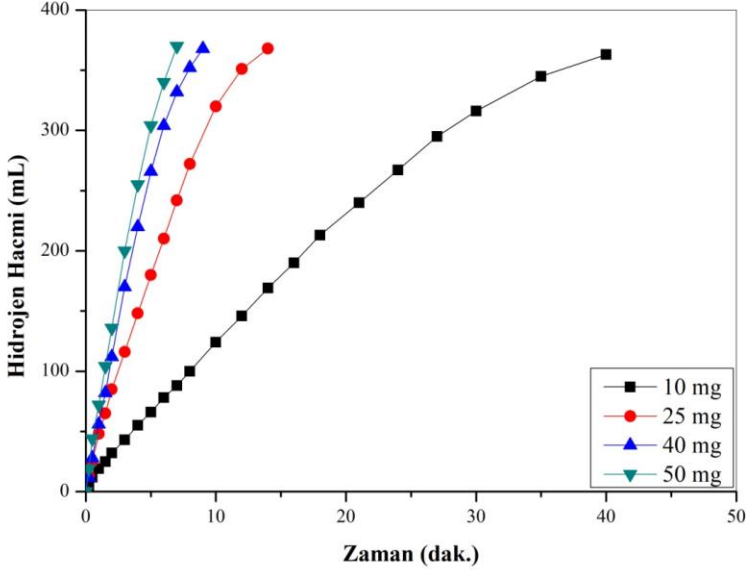
3.2. Hidroliz Deneyleri:

Potasyum borhidrürün Ru-Co-B@Perlit katalizörü varlığında KBH₄ hidrolizine etki eden önemli parametrelerden biri olan çözelti ortamının baziklik derecesidir. Bu amaçla deney ortamına farklı konsantrasyonlarda KOH ilave edildi. Farklı KOH konsantrasyonlarına bağlı olarak potasyum borhidrürün Ru-Co-B@Perlit katalizörü varlığında hidrolizin tepkimesinin etkileri incelendi. Şekil 2 Ru-Co-B@Perlit katalizörünün potasyum bor hidrür varlığındaki farklı KOH konsantrasyonlarının hidrojen üretimine etkisini göstermektedir. Şekilden görüleceği gibi KOH konsantrasyonu arttıkça hidroliz süresinin kısaldığı görülmektedir. Ancak daha yüksek konsantrasyonlarda ise bu durum değişmektedir. Yani % 2.5-7.5 arasında artarken, %7.5 KOH konsantrasyonundan sonra hidrojen üretim hızının düştüğü görülmektedir. bu durumda bundan sonra diğer aşamalarda kullanacağımız KOH konsantrasyonu %7.5 olarak belirlendi.



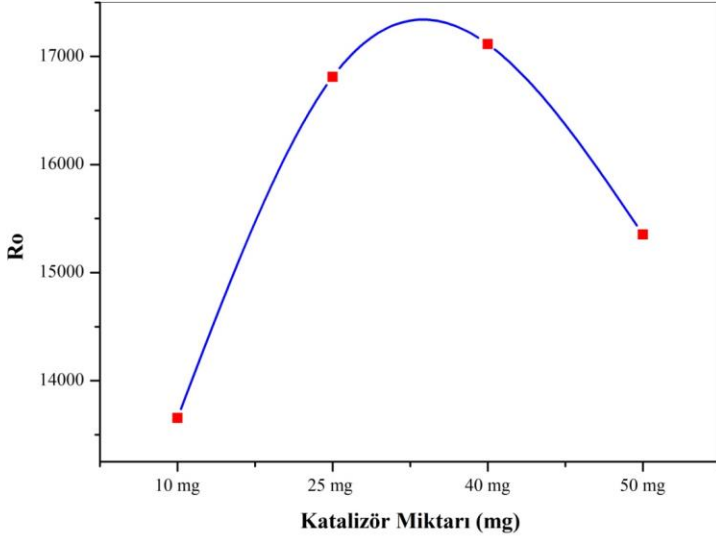
Şekil 2. Ru-Co-B@Perlit katalizörünün, farklı KOH konsantrasyonunda potasyum bor hidrür hidrolizinin hidrojen gaz hacminin zamanla ve hidrojen başlangıç üretim hızı KOH konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi.

Bilindiği gibi sodyum bor hidrürde olduğu gibi potasyum bor hidrürün de hidroliz reaksiyonu katalizör kontrollüdür. Bu nedenle kullanılan katalizör miktarına göre hidrolizin incelenmesi önem arz etmektedir. Katalizör miktarı etkisinin incelendiği çalışmanın bu bölümünde 30 °C’de 10 mL Çözelti % 2 KBH₄ ve farklı miktarlarda katalizör varlığında gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 3’de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere katalizör miktarı arttıkça, hem hidroliz süresinin kısaldığı hem de hidrojen üretim hızının arttığı görülmektedir. Ancak durumun böyle olmadığını başlangıç hızına bağlı farklı katalizör miktarlarına ait grafikte görebiliriz.



Şekil 3. Ru-Co-B@Perlit katalizörünün, farklı katalizör varlığında potasyum bor hidrür hidrolizinin hidrojen gaz hacminin zamanla değişimi.

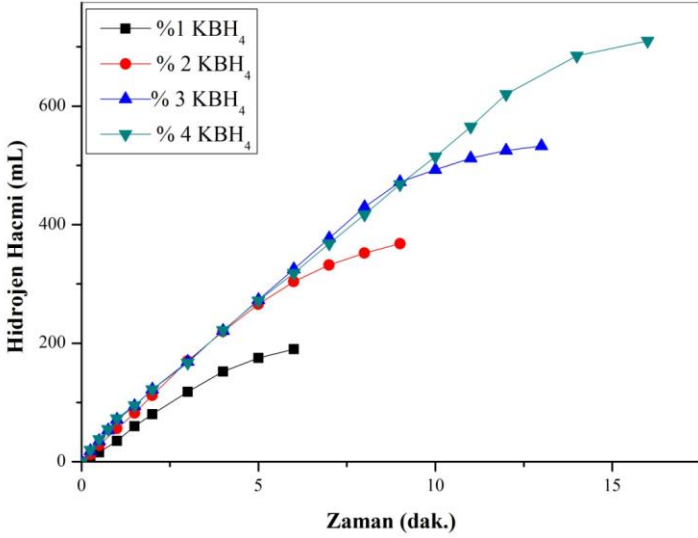
Şekil 4'te görüldüğü gibi 40 mg kadar hidrojen üretim hızının düştüğü, 40 mg'dan sonra ise hidrojen üretim hızının düştüğü görülmektedir. Bu durumun muhtemel nedeni bu davranış tamamen çözelti ortamındaki KBH_4 konsantrasyonu ve katalizör yüzeyindeki aktif bölgelerle bağlantılıdır. Yani çözeltideki katalizör miktarı arttıkça ona bağlı olarak katalitik aktif bölgeler de artmıştır. Ancak KBH_4 konsantrasyonu sabit olduğu için, 40 mg'dan sonraki katalizör miktarının oluşturduğu yeni aktif bölgeleri KBH_4 miktarı yeteri kadar karşılayamadığı için hidroliz hızı biraz düşmektedir. Sonuç olarak, KBH_4 hidroliz hızının katalizör miktarına bağlı olarak değiştiği, yani tepkimenin katalizör kontrollü olduğu söylenebilir.



Şekil 4. Ru-Co-B@Perlit katalizörünün, başlangıç hızlarının, farklı katalizör varlığında potasyum bor hidrür hidrolizinin hidrojen gaz hacminin zamanla değişimi.

Enerji taşıyıcı olarak KBH_4 kullanıldığı göz önüne alındığında çözeltideki KBH_4 konsantrasyonu ne kadar yüksek olursa çözeltinin daha fazla enerji taşıması nedeniyle istenen bir durum olmalıydı. Örneğin KBH_4 katalizör varlığında hidroliz olduğunda çözünürlüğü daha düşük olan ürün potasyum meta borat (KBO_2) katalizör yüzeyine çökmekte ve katalizörün aktif bölgelerini kapatabilmektedir. Bu nedenle farklı konsantrasyonlarda potasyum bor hidrür varlığında Ru-Co-B@Perlit aktivitesini incelemek önemli bir etkidir. Farklı KBH_4 konsantrasyonlarının etkisinin incelendiği deneyler 30°C 'de 10 mL ve farklı konsantrasyonlarda KBH_4 içeren çözeltiler, 40 mg katalizör

varlığında gerçekleştirilen hidroliz sonucu elde edilen hidrojen gaz hacminin zamanla değişimi Şekil 5’te verilmiştir. Şekil 5’te görüldüğü gibi çözelti ortamında KBH_4 konsantrasyonu artarken aynı katalizör miktarı için hidrojen üretim hızı yavaşlamaktadır. Bu davranışın daha iyi açıklanabilmesi için hidrojen üretim hızlarına bakıldığında en hızlı adımın % 2 KBH_4 konsantrasyonundaki durumdur. Buradaki hidrojen üretim hızı 10 mL çözelti 30oC’de 40 mg katalizör varlığında 17113 mL/g.kat olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5. Ru-Co-B@Perlit katalizörünün, farklı potasyum borhidrür konsantrasyonunda potasyum bor hidrür hidrolizinin hidrojen gaz hacminin zamanla değişimi.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında potasyum borhidrür hidrolizinde kullanılmak üzere desteksiz ve destekli Ru-Co-B@Perlit katalizörü sentezlenmiş, ve katalizörümüzün etkinlikleri, farklı KOH, farklı katalizör miktarları ve farklı konsantrasyonlarda deneyleri yapılarak optimum koşulları belirlenmiştir. mikrodalga ve plazma ile muamele edilerek etkileri incelenmiştir. Destek malzemesi olarak perlit kullanılmıştır. Sentezlenen katalizörlerin potasyum borhidrür hidrolizinde kullanılması ile elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Potasyum borhidrür hidrolizinde destekli katalizör kullanıldığında potasyum borhidrür konsantrasyonu parametresinin etkisi incelendiğinde artan KBH₄ konsantrasyonu ile birlikte hidrojen başlangıç hızının azaldığı tespit edilmiştir.
- Perlit olarak kullanılan destek malzemesinin katalizör aktivitesini artırdığı tespit edilmiştir.
- Katalizör için belirlenen parametreler sonucu; hidrojen üretim hızı 10 mL çözelti 30°C'de 40 mg katalizör varlığında 17113 mL/g.kat olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Jeong, S., Kim, R., Cho, E., Kim, H. J., Nam, S. W., Oh, I. H., Kim, S. H., 2005. A study on hydrogen generation from NaBH₄ solution using the high-performance Co-B catalyst. *Journal of Power Sources*, 144(1), 129-134.
- Isaacs, S.R., Choo, H., Ko, W.B., Shon, Y.S., (2006), Chemical, Thermal, and Ultrasonic Stability of Hybrid Nanoparticles and Nanoparticle Multilayer Films, *Chem. Mater.* 18, s.107- 114.
- Lattina, W.C., Utgikarb, V.P., (2007), Transition to hydrogen economy in the United States: A2006 status report, *Int. J. Hyd. Energ.* 32, s.3230–3237.
- Laversenne, L.,Goutaudier, C., Chiriac, R., Sigala, C., veBonnetot, B., 2008,“Hydrogenstorage in borohydrides comparison of hydrolysis conditions of LiBH₄, NaBH₄ and KBH₄”, *Journal of thermal analysis and calorimetry*, 94(3), 785-790.
- İzgi, M. S., 2016,“Effect of microwaveirritated Co-B-Cr catalyst on thehydrolysis of sodiumborohydride”, *EnergySources, Part A: Recovery, Utilization, andEnvironmentalEffects*, 38(17), 2590-2597.
- Izgi, M. S., Şahin, Ö., Saka, C., 2016. Hydrogen production from NaBH₄ using Co CuB catalysts prepared in methanol: Effect of plasmatre atment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41: 1600-1608.
- İzgi MS. Onat E. Kazıcı H and Şahin Ö. 2019. Hydrogen Production Through the Cooperationof a Catalyst Synthesized in Ethanol Medium and the Effect of the Plasma. Doi: 10.1080/15567036.2019.1677814

- İzgi, MS, Şahin, Ö., Tayboğa, S., Kazımcı, HÇ. 2021. Effect of Plasma Pretreatment of Co-Cu-B Catalyst on Hydrogen Generation from Sodium Borohydride Methanolysis. Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis, 2021: p. 1-7.
- Karlık, S. R., 2007. Cumhuriyet'in İlanından Günümüze Türkiye Ekonomisi'nde Yapısal Dönüşüm, (11. Baskı). Beta, İstanbul, 234 - 239. Kılıç, F. Ç., ve Kılıç, M. K., 2013. Jeotermal Enerji ve Türkiye. Engineer and The Machinery Magazine (639). 45 - 56.
- Keskin, S., 2019, "Potasyum bor hidrür (KBH₄) hidrolizinin çeşitli katalizörler varlığında farklı parametrelere bağlı olarak incelenmesi", Doktora Tezi, Kimya Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van.
- Şahin Ö., Dolaş, H., Özdemir, M., 2007 The effect of various factors on the hydrogen generation by hydrolysis reaction of potassium borohydride. International Journal of Hydrogen Energy, 32:2330-2336
- Vries, B.J.M., Vuuren, D.P., Hoogwijk, M.M., (2007), Renewable energy sources: Their global potential for the first-half of the 21st century at a global level: An integrated approach, Energy Policy 35, s.2590–2610.
- Xu, D., Wang, H., Guo, Q., ve Ji, S., 2011, "Catalytic behavior of carbon supported Ni-B, Co-B and Co-Ni-B in hydrogen generation by hydrolysis of KBH₄", Fuel processing technology, 92(8), 1606-1610.

BÖLÜM 8

GRAFEN OKSİT DESTEKLİ YENİ NESİL KATALİZÖRLERİN ÜRETİMİ VE POTASYUM BORHİDRÜR HİDROLİZİNDE İNCELENMESİ

Doç. Dr. Mehmet Sait İZGİ¹

¹ Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Siirt, Türkiye. saitizgi@siirt.edu.tr

1. GİRİŞ

İnsanlık için her zaman çok önemli ve koşulsuz ihtiyaçlardan biri enerji olmuştur. Günümüzde kullanılan enerji miktarı kalkınmanın önemli ölçütlerindedir. İçinde yaşadığımız dünyada gittikçe kalabalıklaşan nüfus ve ilerleyen teknolojiyle birlikte enerji ihtiyacı her geçen gün artmıştır. Buna bağlı olarak günümüzdeki en önemli sorunlardan biri enerji kaynaklarının bulunması ve devamının sağlanmasıdır (Arı, 2007).

Enerjinin temiz, verimli ve ekonomik kullanımı, ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin en önemli göstergelerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Enerji diğer üç temel üretim faktörüne teknolojik gelişmenin eklendiği çağdaş bir üretim faktörüdür (Karluk, 2007). Günlük hayatın her alanında kullanılan enerjinin belirli bir üretim faaliyetine yönelik olarak kullanılmak üzere talep edildiği sektörleri bir sistematik içinde toplamak gerekirse taşımacılık, sanayi ve tarım olmak üzere üç sektör şeklinde bir gruplama yapılabilir (Yavuzaslan, 2009). Enerji yoktan var edilemez ya da yok edilemez. Buna “Enerjinin Koruma Yasası” denir.

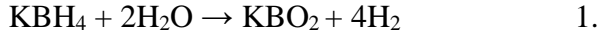
Enerji kaynakları Enerji kaynakları toplumsal kalkınma ve ekonomi açısından çok önemlidir. Günümüz dünyasının ticari açıdan enerji ihtiyacını karşılayan başlıca enerji kaynakları, fosil yakıtlar, nükleer ve hidrolik enerji şeklinde sıralanabilir. İhtiyaca göre, fosil yakıtlar, nükleer ve hidrolik enerji kaynaklarına oranla daha çok kullanılmaktadır. Fosil yakıtların bu kadar çok tercih edilmesinde iki sorunla karşılaşılmaktadır. Bunlar fosil yakıtların yakın gelecekte

tükenme ihtimali ile sanayileşmede kullanıldığı için oluşturduğu çevre kirliliğidir. Bu sorunlar ile beraber enerji tüketimi durmadan artmakta ve artışın sürekli olarak devam edeceği görülmektedir. Enerjinin bu hali, farklı enerji kaynaklarına gidişatı olmazsa olmaz kılmaktadır. Türkiye de artan nüfus ve ekonomik 2 kalkınmayla beraber yaşam koşullarının oluşturduğu durumla birlikte enerjiye talep her geçen gün artmaktadır. Türkiye'nin enerji potansiyeli fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Maden kömürü, linyit, asfaltit, bitümler, petrol ve doğal gaz ülkede bulunan fosil enerji kaynaklarıdır. Fakat Türkiye bunların içinden linyit linyit kaynağı açısından zengindir (Karluk,2007). Yenilenebilir enerji kaynaklarından ise güneş, rüzgar, jeotermal, biokütle, dalga, hidrolik ve hidrojen enerjisi açısından önemli bir konumdadır.

Bu bağlamda biz bu çalışmada hidrojen enerjisinin üretimi için ucuz ve tekrar kullanılabilir olan potasyum borhidrürden hidrojen üretimi için etkili ve ucuz bir katalizör sentezleyerek bunun optimum şartlarını belirledik.

Potasyum borhidrür (KBH_4), birçok alanda sodyum bor hidrür'ün yerine kullanılmaktadır. Özel olarak, tekstil boyalarının, antibiyotiklerin, steroid preparatlarının ve vitaminlerin üretiminde indirgeyici olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, trialkil boran, diboran alkil türevleri ve diğer bor bileşiklerinin üretiminde hammadde olarak, organik bileşiklerdeki OH-gruplarının korunmasında, alkoller, fenoller, dioller, şekerler ve diğer bileşiklerdeki OH-gruplarının hızlı gazometrik tayininde kullanılmaktadır. İnorganik, kompleks ve

organik tuzların kristalin hidratlarındaki su içeriğinin tayininde ve tuz ile şeker hidratlarının dehidrasyonunda potasyum borhidrür kullanılmaktadır. İçerdiği hidrojen miktarı LiBH_4 ve NaBH_4 den biraz daha düşüktür. Potasyum borhidrürde de teorik olarak % 8,9 H_2 içermektedir (şahin ve ark2007). KBH_4 hidroliz reaksiyonu sırasında açığa çıkan H_2 'nin yarısı sudan gelmektedir. KBH_4 hidroliz tepkime aşağıda verilmiştir (Jain ve ark., 2010).



Yukarıda verilen potasyum borhidrürün hidroliz reaksiyonunda elde edilen 4 mol hidrojenin yarısı potasyum bor hidrürden diğer yarısının sudan gelmesi reaksiyonun ne kadar çevreci olduğunu göstermekte, ayrıca bu reaksiyonu kontrol etmek ve hızlandırmak için katalizör kullanılmaktadır (izgi 2016,2020). Kullanılan katalizörler heterojen ve homojen katalizörler diye sınıflandırılmaktadır. Normalde bu tür tepkimelerde pahalı katalizörler kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda bu pahalı katalizörle denk ucuz ve katalitik aktivitesi bunlar gibi yüksek ve kullanışlı katalizörler sentezlenmektedir (şahin ve ark 2020. İzgi ve ark 2016) Biz burada katalizörün katalitik aktifliğini artırmak için destek malzemesi olarak son yıllarda kullanılmaya başlayan grafen oksit kullanıldı. Grafen oksit üzerine Co elementi emdirme yöntemiyle grafen oksit üzerine başarıyla tutturulduktan sonra bunun potasyum borhidrür hidrolizindeki etkisine bakıldı.

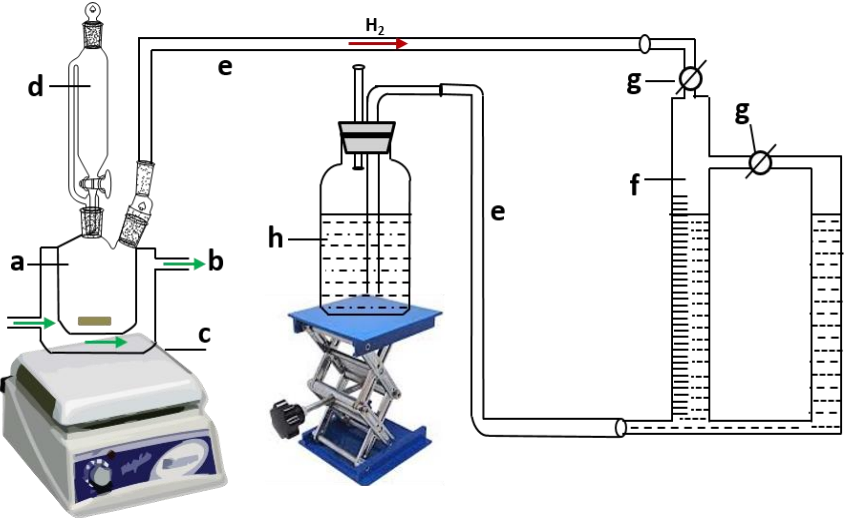
Bilindiği üzere grafen oksit; grafenden farklı olarak yapısında oksijen ve hidrojen atomları bulunduran 2 boyutlu bir malzemedir. Sp^2 bazal düzleminin üzerinde bulunan fonksiyonel oksijen gruplarıyla birlikte,

grafenin, oksitlenmiş formudur ve 19. Yy başlarından bu yana Brodie, Staundenmaier, Offeman ve Hummers yöntemleri ile sentezlenmektedir. Bütün yöntemler, kuvvetli asitler ve oksidantlar ile grafitin okside olması işlemine dayanmaktadır. Oksidasyonun derecesi kullanılan yöntem, reaksiyon koşullarına ve grafitin özelliklerine göre değişmektedir. Tüm fiziksel özellikleri; tamamen oksitlenmiş olan grafen oksitten grafene kadar, yüzeyinden fonksiyonel grupların uzaklaştırılması ile değiştirilebilir. Bu işlem grafen oksiti yalıtkan halden yarı iletken hale geçirir. Yapısında fonksiyonel oksijen grupları bulunması nedeniyle grafen oksit hidrofiliktir ve su içerisinde çözünebilir, grafen ise hidrofobiktir ve su içinde çözünemez. Günümüzde en çok bilinen ve kullanılan grafen oksit üretme yöntemi modifiyeli Hummer's Metodu'dur.

2. MATERYAL VE METOT

Potasyum bor hidrürün hidrolizi, katalizör varlığında metanolizine ilişkin deneysel çalışmalarda kullanılan sistemin açık şeması aşağıdaki şekilde verilmiştir. Sistem; bir gaz büreti, kapaklı bir erlen ve sıcaklık kontrollü bir kriyostattan meydana gelmektedir. Belirli bir miktar ve konsantrasyona sahip sodyum borhidrür çözeltisi kapaklı erlene konularak, daha önceden hazırlanmış olan katalizörler çalışma kapsamında belirlenen kütle oranlarında eklenerek hidroliz olayı gerçekleştirildi. Sentezlenen katalizörlerin zamana bağlı olarak eldilen gaz hacimleri hazırlanan su tuzağı kullanılarak hidrojen gaz büretinde toplatıldı. Burada farklı farklı katalizör miktarı, farklı KBH_4 ' ün konsantrasyonları ve farklı sıcaklıklardaki etkinliklerine bakılarak

hidrojen gazının hacim değerleri, belirli zamanlarda okunarak grafiksel olarak katalizörün etkinliği belirlendi. Elde edilen bu grafiklere göre tepkimelere ilişkin aktivasyon enerjisi, tepkime derecesi gibi reaksiyon kinetiğine ilişkin veriler oluşturuldu.



Şekil 1. KBH₄ kullanılarak Hidrojen üretimi için deneysel kurulum

- (a) 25 mL iki boyunlu ceketli reaktör (b) ceket (c) ısıtmalı karıştırıcı, (d) basınç dengeleme hunisi (e) kauçuk borular (f) büret (g) gaz musluğu, (h) dengeleme şişesi

2.1 Grafen Oksit Sentezlenmesi: Buz banyosu içerisinde sıcaklığı 3-5 °C arasında olan 100 ml H₂SO₄ üzerine 2 g grafit tozu eklenerek 30 dk manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı. Sonra 8 g KMnO₄ eklenerek 2 saat daha karıştırılmaya devam edildi. Bu aşamada sıcaklığın 10 °C üzerine çıkmaması sağlandı. 2 saat sonunda çözelti 35 °C sıcaklıktaki su banyosu içine alınarak 1 saat karıştırıldı ve içerisine 100 ml saf su eklendi. (Asit üzerine saf su ekleme işlemi buz banyosunda damla damla yapıldı.) Çözelti sıcaklığı 40-60 °C'yi

geçmedi. Saf su ekleme işlemi bittikten sonra çözelti sıcaklığı 35 °C iken 1 saat daha karıştırıldı. Daha sonra çözelti 95 °C sıcaklıktaki su banyosuna bırakılarak çözelti 30 sıcaklığının 95 °C'ye gelmesi beklendi ve üzerine 300 ml saf su eklendi. Bu aşamada çözelti sıcaklığı 65 °C sıcaklıkta sabit tutuldu ve 20 ml %30'luk H₂O₂ eklenerek 2 saat karıştırıldı. Bu aşamada karışım renginin siyahtan koyu kahverengiye doğru değiştiği gözlemlendi. Sonrasında 15 saat bekletilerek süzüldü. Süzme işlemi bittikten sonra kalan malzemede bulunan metal iyonlarının ortamdan uzaklaştırılması için %5 HCl içeren 800 ml saf su ile yıkanarak süzüldü ve ardından tekrar 1000 mL saf su ile pH =7 oluncaya kadar yıkanmış ve filtrelenmiştir. Filtreleme işleminden sonra kalan malzeme 60 °C de etüvde kurutularak grafen oksit (GO) elde edilmiştir. Daha sonra toz haline getirilerek deneylerde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir (Chen, 2013).

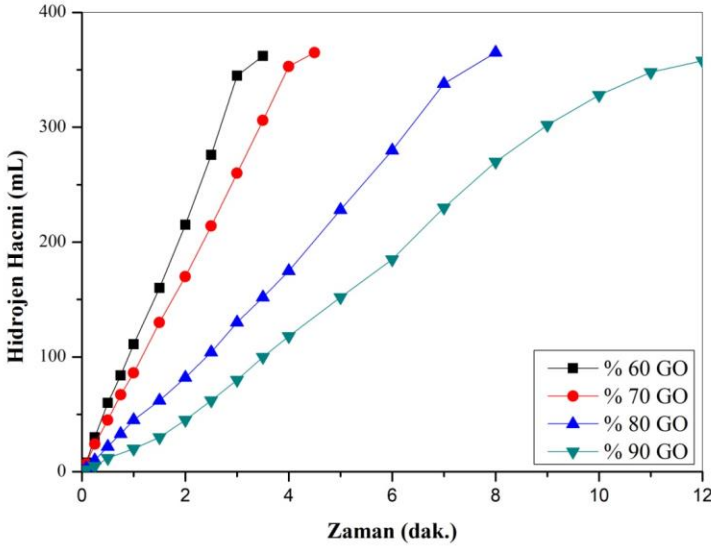
2.2. Co-Cr-B/GO Katalizörünün Sentezlenmesi

50 ml etanol içerisine ($X_M = M/Co+M$) $X_{Cr} = \%4$ molar cinsinden olacak şekilde $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ve $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ koyduktan sonra çözününceye kadar karıştırıldı. Sonrasında farklı oranlarda GO eklendi ve 24 saat karıştırmaya bırakıldı. 24 saat sonunda alkol uçurularak elde edilen çamurumsu karışıma 50 ml saf su ilave edilerek buz banyosuna alındı ve 0-5°C dereceye kadar sıcaklığı düşürüldü. Daha sonra azot ortamında önceden hazırlanan NaBH₄ çözeltisi yavaş yavaş damlatıldı. Reaksiyon sonunda elde edilen Co-Cr-B/GO katalizörü süzüldü. Etanol ve saf su ile birkaç kez yıkandıktan sonra 80°C'de azot

gazı ortamında 2 saat kurutuldu. NaBH_4 hidrolizinde kullanılmak üzere kapalı kapta muhafazaya alındı.

3. BULGULAR VE ARAŞTIRMA

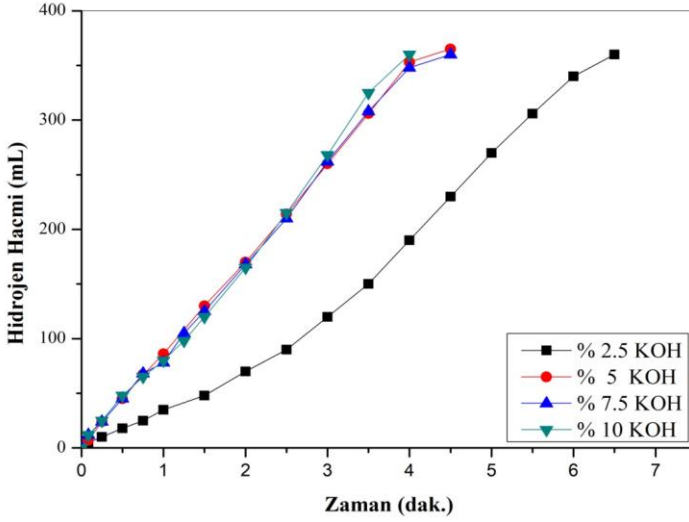
Bilindiği gibi bazı katalizörlerin katalitik etkisinin artırılması, daha az katalizör kullanarak maliyetin düşürülmesi ve endüstriyel üretimlerde katalizörlerin dolgulu yataklarda kullanılabilir hale getirilmesi veya baskı altında şekillendirilmesi amacıyla destek malzemeleri katalizörlerin vazgeçilmezlerindedir. Bu amaçla aktif karbon, karbon nano tüp, metal oksitler çok sayıda destek malzemesi literatürde kullanılmıştır. Bu çalışmada ise daha önce ifade edildiği gibi grafitten indirgenen grafen oksit (GO) destek malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu amaçla laboratuvarımızda hazırlanan ve potasyum borhidrür hidrolizinde kullanılacak olan GO destek malzemesine yüklenen ilk katalizör Co-Cr-B bileşiği olmuştur. Bu bağlamda yapılan denemelerde GO yüzeyini tek tabaka şeklinde kaplayacak olan katalizörün kütle oranının % 30 olduğu belirlendi. Şekil 2 de görüleceği gibi normalde metal oranı arttıkça hidroliz süresinin kısaldığı görülmektedir. Ancak başlangıç hızının metal oranına bakıldığında ise hidrolizi en hızlı adımının % 70 grafen oksit varlığında olduğu durumdur. Burada hesaplanan başlangıç hızı $5300 \text{ mL} \cdot \text{dk}^{-1} \cdot \text{gr}^{-1}$ iken %90 grafen oksit varlığında ise $4400 \text{ mL} \cdot \text{dk}^{-1} \cdot \text{gr}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2. Farklı destek miktarları varlığında potasyum borhidrürün hidrolizinde elde edilen hidrojen hacimlerinin zamanla değişimi

Bilindiği gibi potasyum borhidrür çözeltileri kararlı olmayıp kendiliğinde bozunmaktadırlar. Çözeltinin kararlılığının sağlanması amacıyla çözeltinin pH değerinin yükseltilmesi gerekmektedir. Bu amaçla hazırlanan potasyum borhidrür çözeltisine ağırlıkça %2,5-10 arasında KOH konularak daha önceden hazırlanan Co-Cr-B/GO katalizörü varlığında potasyum borhidrürün hidrolizi sonucu elde edilen hidrojen gaz hacimlerinin zamanla değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Şekilde görüleceği gibi çözelti ortamında %2.5 KOH varlığında Co-Cr-B/GO katalizörünün katalitik aktivitesini düşürürken daha yüksek konsantrasyonlardaki KOH varlığında ise hidrolizin daha kısa sürede sonlanmasına neden olmaktadır. Yani %2.5 KOH içeren KBH_4 çözeltisine konulan Co-Cr-B/GO katalizörü varlığında hidroliz

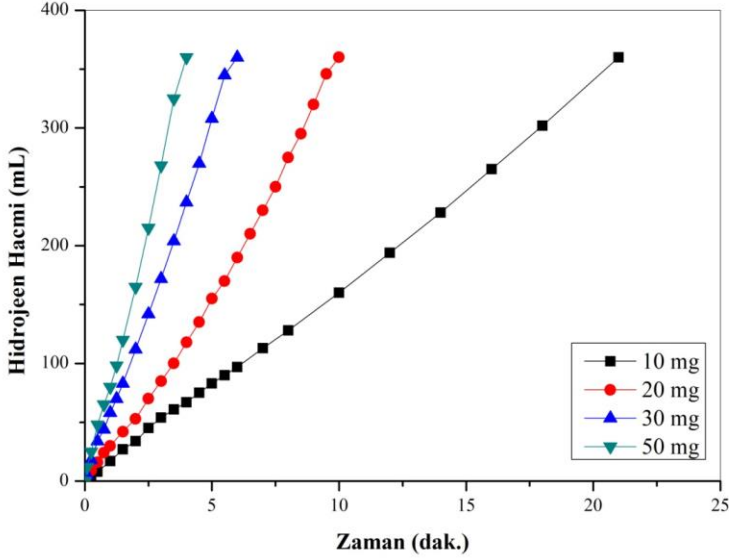
olayı 7 dakika gibi bir sürede sonlanırken % 5-10 KOH varlığında ise yaklaşık 4 dakika sonunda reaksiyonun tamamlandığı görülmektedir. Ancak burada 3 grafik üst üste çakıştığından dolayı hangi KOH konsantrasyonunun etkili olduğu belli değildir. Bunun için; KOH etkinliğini daha iyi görebilmek amacıyla çözeltide bulunan farklı KOH konsantrasyonu varlığında hidrolize ait ilk hızlar hesaplanmıştır. Burada en iyi başlangıç hızının % 7.5 KOH varlığında olduğu tespit edilmiş ve bunun değerinin $6713 \text{ mL} \cdot \text{dk}^{-1} \cdot \text{gr}^{-1}$ olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. Farklı KOH varlığında potasyum borhidrürün hidrolizinde elde edilen hidrojen hacimlerinin zamanla değişimi.

Co-Cr-B/GO katalizörü varlığında potasyum borhidrürün hidrolizi ile hidrojen üretiminde diğer önemli bir parametre ise katalizör miktarına bağlı olarak hidroliz hızının ölçülmesidir. Bu, yakıt pillerinde hidrojen ihtiyacının karşılanması veya katalitik bir reaktörün tasarımında önem

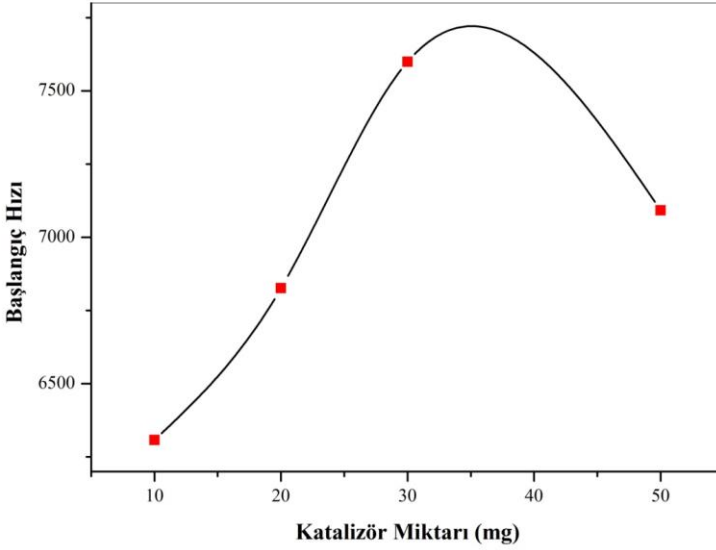
arz etmektedir. Şekil 4'te farklı Co-Cr-B/GO katalizör miktarları varlığında potasyum borhidrürün hidrolizi sonucu açığa çıkan hidrojen hacimlerinin zamanla değişimi verilmiştir. Şekil 4'te görüleceği gibi aynı konsantrasyonda potasyum borhidrür içeren çözeltide katalizör miktarı artıkça hidroliz süresi de kısalmaktadır. Örneğin 10 mg CoCu-B/GO katalizörü varlığında hidroliz 22 dakikada sonlanırken 50 mg katalizör varlığında ise 4 dakikada gibi çok daha kısa bir sürede sonlanmaktadır. Bunun nedeni artan katalizör miktarı ile beraber katalitik yüzeyin artması ile açıklanabilir. Şekil 4'te dikkat çeken diğer bir husus ise katalizör miktarı artıkça hidroliz süresinin her ne kadar kısalma görülse de katalizör miktarı ile orantılı olmadığıdır. Örneğin 50 mg katalizör sonuçları ile 30 mg katalizör sonuçlarının birbirine oldukça yakın olmaları bunun bir göstergesidir. Bu davranışın muhtemel nedeni katalizör miktarı artıkça aktif yüzeylerin arttığını ifade etmiştik. Fakat katalizörün hidrolizi kontrol ederken bir çok basamak altında yürümektedir. Bu basamakların en önemlileri katalizör ile çözelti ara yüzeyine BH_4 anyonunun difüzyonu, daha sonra katalizör yüzeyine adsorpsiyonu ve reaksiyon adımları ve oluşan metaboratın desorpsiyonu adımlarından oluşmaktadır. Bu durumda biz katalitik yüzeyi çok fazla artırsak bile kütle transferi veya adsorpsiyon adımlarında o kadar hızlı artması ile hidroliz artık tek katalizör kontrollü değil aynı zamanda diğer adımlar tarafında da kontrol ediliyor demektir. Şekil 4'teki davranışta bunu destekler niteliktedir.



Şekil 4. Farklı Co-Cu-B/GO katalizör miktarları varlığında potasyum borhidrürün hidrolizinde elde edilen hidrojen hacimlerinin zamanla değişimi

Şekil 5 ise Grafen oksit destekli Co-Cr-B katalizörü varlığında sodyum borhidrür hidrolizinin ilk hızlarının katalizör miktarı ile değişimi verilmiştir. Şekilde görüleceği gibi 30 mg katalizör miktarı varlığında katalizörün aktivitesi 7600 ml H₂/(gcat.min) civarında iken 50 mg katalizör varlığında ise 7000 ml H₂/(gcat.min) değerine kadar düşmektedir. Şunu da unutmamak gerekir bu davranış 30 °C sıcaklıkta ve %2 KBH₄ içeren çözelti içindir eğer çözeltideki potasyum borhidrür konsantrasyonu değişseydi bu durumda yukarıda sözünü ettiğimiz ve katalitik hidroliz reaksiyonunda etkin olan adımlarında etkinliği değişecektir. Sonuç olarak katalizör miktarı etkisine göre şunu söyleyebiliriz, %7,5 NaOH ve %2 KBH₄ içeren 30

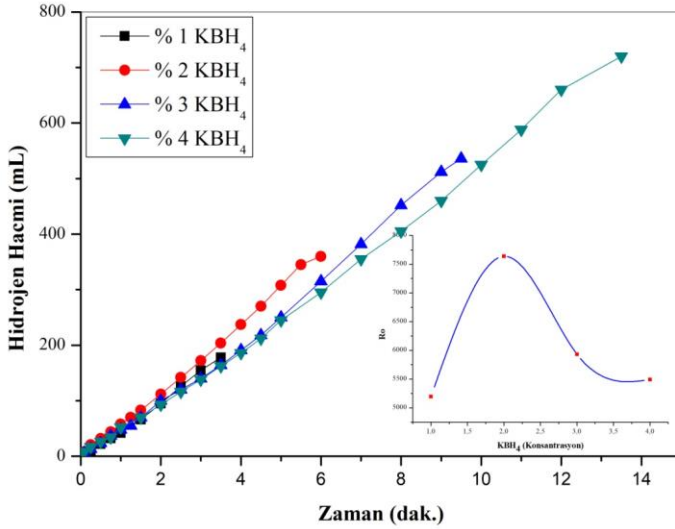
°C deki potasyum borhidrür çözeltisi için optimum katalizör miktarının 30 mg olduğu sonucuna varabiliriz.



Şekil 5. Farklı katalizör miktarları varlığında potasyum borhidrürün hidrolizinde elde edilen başlangıç hızlarına göre değişimi

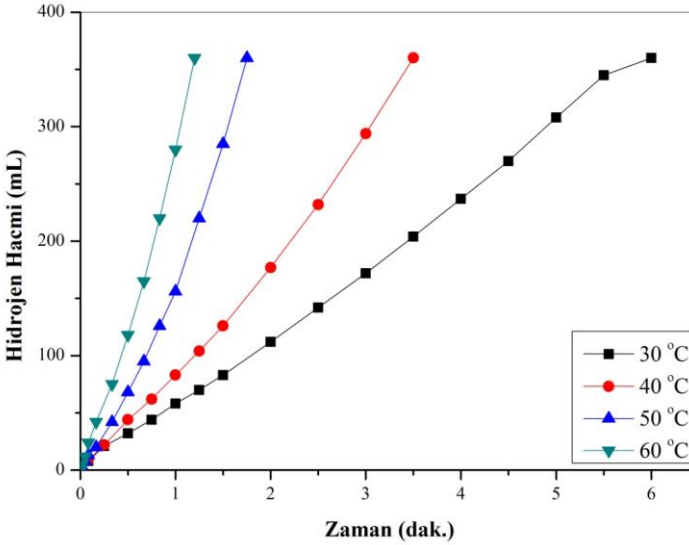
Elde edilen Grafen oksitin, Co-Cr-B metalinin üzerine yüklenmesiyle elde edilen katalitik aktivitesi yüksek olan destekli katalizörün farklı potasyum borhidrür konsantrasyonlarında etkinliği sonucu elde edilen hidrojen hacimlerinin zamanla değişimi Şekil 6'da verilmiştir. Katalizör çalışmalarında farklı konsantrasyonda hidrojen depolama kaynağı olan borhidrürlerin etkinliğinin araştırılmasının mantığı; farklı konsantrasyon davranışlarının ve kinetiğinin önceden belirlenmesi ve olası bir yakıt pilli veya başka bir uygulamadan önce üretilecek olan hidrojen hacminin belirlenmesi ve ona bağlı olarak uygulama cihazının ve çözelti konsantrasyonunun belirlenmesidir. Şekilde

görülebileceği üzere potasyum bor hidrürün konsantrasyonu arttıkça elde edilen hidrojen hacminin arttığı görülmektedir. % 4 KBH_4 konsantrasyonu varlığında 720 mL hidrojen gazı elde edilirken, %1 KBH_4 konsantrasyonu varlığında elde edilen hidrojen hacminin 170 mL olduğu görülmektedir. Ancak burada etkin konsantrasyonu görmek için şekil içinde verilen grafik içinde daha net görülmektedir. burada etkin konsantrasyonun % 2 KBH_4 konsantrasyonu varlığında olduğu görülmektedir. Yani % 2 potasyum borhidrür konsantrasyonundan sonraki hidrojen üretim hızının düştüğü görülmektedir. Bu durumun sebebi artan viskozitenin hidrojen üretimini engellenmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 6. Farklı potasyum borhidrürün miktarları varlığında potasyum borhidrürün hidrolizinde elde edilen hidrojen hacimlerinin zamanla değişimi

Katalizör çalışmalarında incelenmesi gereken belki de en önemli parametre sıcaklık etkinliğidir. Şekil 7 de grafen oksit destekli katalizörün sıcaklığa bağlı hidroliz sonuçlarını göstermektedir. Şekilden görüleceği gibi sıcaklık arttıkça hidroliz süresinin azaldığı görülmektedir. 30 °C de hidrolizi 7 dakikada tamamlarken 60 °C de 1 dakika gibi kısa sürede bitirdiği görülmektedir.



Şekil 7. Farklı sıcaklıklardaki potasyum borhidrürün hidrolizinde elde edilen hidrojen hacimlerinin zamanla değişimi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada potasyum borhidrürden hidrojen üretimi için CoCr-B/GO kimyasal çöktürme yöntemi ile sentezlenmiştir. Bu bağlamda hidrojen üretimini etkileyecek olan parametreler, farklı metal oranları, NaOH konsantrasyonu, katalizör miktarı, NaBH₄ konsantrasyonu ve

sıcaklık gibi parametreler incelenmiştir. Bu çalışmada optimum grafen oksit destek miktarının %70, optimum KOH miktarının % 7.5 olduğu, en etkin katalizör miktarının 30 mg olduğu ve en uygun poyasyum bor hidrür konsantrasyonunun %2 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 30 °C hidrojen üretim hızının, 7165 ml/dk'dan 60 °C de 27165ml/dk.gr kadar çıktığı görülmektedir.

KAYNAKÇA

- Arı, V., 2007. Türkiye Enerji Kaynakları, Enerji Planlaması ve Enerji Stratejileri. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 24
- Jeong, S., Kim, R., Cho, E., Kim, H. J., Nam, S. W., Oh, I. H., Kim, S. H., 2005. A study on hydrogen generation from NaBH₄ solution using the high-performance Co-B catalyst. *Journal of Power Sources*, 144(1), 129-134.
- İzgi, M. S., 2016, "Effect of microwaveirritated Co-B-Cr catalyst on thehydrolysis of sodiumborohydride", *EnergySources, Part A: Recovery, Utilization, andEnvironmentalEffects*, 38(17), 2590-2597.
- Izgi, M. S., Şahin, Ö., Saka, C., 2016. Hydrogen production from NaBH₄ using Co CuB catalysts prepared in methanol: Effect of plasmatre atment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41: 1600-1608.
- İzgi MS. Onat E. Kazıcı H and Şahin Ö. 2019. Hydrogen Production Through the Cooperationof a Catalyst Synthesized in Ethanol Medium and the Effect of thePlasma. Doi: 10.1080/15567036.2019.1677814
- İzgi, MS, Şahin, Ö., Tayboğa, S., Kazıcı, HÇ. 2021.Effect of Plasma Pretreatment of Co-Cu-B Catalyst on Hydrogen Generation from Sodium Borohydride Methanolysis. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 2021: p. 1-7.

- Karluk, S. R., 2007. Cumhuriyet'in İlanından Günümüze Türkiye Ekonomisi'nde Yapısal Dönüşüm, (11. Baskı). Beta, İstanbul, 234 - 239.
- Kılıç, F. Ç., ve Kılıç, M. K., 2013. Jeotermal Enerji ve Türkiye. Engineer and The Machinery Magazine (639). 45 - 56.
- Şahin Ö., Dolaş, H., Özdemir, M., 2007 The effect of various factors on the hydrogen generation by hydrolysis reaction of potassium borohydride. International Journal of Hydrogen Energy, 32:2330-2336
- Şahin, Ö., İzgi, M. S., Onat, E., ve Saka, C., 2016, "Influence of the using of methanol instead of water in the preparation of Co-B-TiO₂ catalyst for hydrogen production by NaBH₄ hydrolysis and plasma treatment effect on the Co-B-TiO₂ catalyst", *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(4), 2539-2546.
- Şahin Ömer, Bozkurt Ali, Yayla Müge, Çelik Kazıcı Hilal, İzgi Mehmet Sait "As a highly efficient reduced graphene oxide-supported ternary catalysts for the fast hydrogen release from NaBH₄" *Graphene Technology*, 2020, 5(3), 103-111
- Yavuzaslan, K., 2009. Türkiye'nin Enerji Politikaları ve Nükleer Enerji İhtiyacı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 5 – 9.



ISBN: 978-625-8061-06-2