

# İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARINDA FARKLI BAKIŞ AÇILARI

EDİTÖR  
Dr. Öğr. Üyesi Murat KIRANŞAN



İKSAD  
Publishing House

# **İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARINDA FARKLI BAKIŞ AÇILARI**

## **EDİTÖR**

Dr. Öğr. Üyesi Murat KIRANŞAN

## **YAZARLAR**

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL

Prof. Dr. Mucip TAPAN

Doç. Dr. Hasan DİLBAS

Dr. Öğr. Üyesi Kadir YILMAZ

Dr. Taner ÇARKIT

Öğr. Gör. Taner DİNDAR

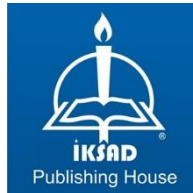
İnş. Yük. Müh. Alican NERGİS

İnş. Yük. Müh. Jinda ATAMAN

Yük. Müh. Tahir Nezihi ÖZDEMİR

Karahan KARAKURT

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14031541>



Copyright © 2024 by iksad publishing house  
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: [iksadyayinevi@gmail.com](mailto:iksadyayinevi@gmail.com)

[www.iksadyayinevi.com](http://www.iksadyayinevi.com)

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

Iksad Publications – 2024©

**ISBN: 978-625-367-912-5**

Cover Design: İbrahim KAYA

November / 2024

Ankara / Türkiye

Size = 16x24 cm

# İÇİNDEKİLER

## ÖNSÖZ

*Dr. Öğr. Üyesi Murat KIRANŞAN* .....1

## BÖLÜM 1

### **MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ GELİŞTİRİLMİŞ KOMPOZİTİN (ECC) AKILLI, SÜRDÜRÜLEBİLİR VE YEŞİL OLMASI İÇİN BİR YAKLAŞIM**

*İnş. Yük. Müh. Jinda ATAMAN*

*İnş. Yük. Müh. Alican NERGİS*

*Doç. Dr. Hasan DİLBAS*

*Prof. Dr. Mucip TAPAN* .....3

## BÖLÜM 2

### **AYDINLATMA SİSTEMİ HESAPLANMASI ÖRNEK BİR UYGULAMA**

*Öğr. Gör. Taner DİNDAR*

*Dr. Öğr. Üyesi Kadir YILMAZ* .....41

## BÖLÜM 3

### **BASRA KÖRFEZİ'NDE FAALİYET GÖSTEREN KÜÇÜK SAHİL KONTROL GEMİLERİNDE EKSTREM HAVA KOŞULLARINDA HAVALANDIRMA VE SOĞUTMA UYGULAMALARI**

*Yük. Müh. Tahir Nezihi ÖZDEMİR*

*Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL* .....53

## BÖLÜM 4

### **ÇEŞİTLİ LİTYUM-İYON BATARYA BLOKLARINDA KULLANILAN ORTAK YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI**

*Dr. Taner ÇARKIT* .....71

**BÖLÜM 5**  
**ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE SÜRÜŞ DÖNGÜLERİ**

*Dr. Öğr. Üyesi Kadir YILMAZ*

*Öğr. Gör. Taner DİNDAR* .....89

**BÖLÜM 6**  
**ŞAMANDIRALARIN HİDROMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN**  
**ANALİZİ**

*Karahan KARAKURT*

*Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL* .....123

## ÖN SÖZ

Günümüzde, mühendislik teknolojilerinin gelişmesi yaşam standartlarını yükseltmesinden dolayı yeni mühendislik alanlarına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Sunulan bu çalışma, elektrikli araçların gelişimi, yeni teknolojik akıllı ev sistemlerinde meydana gelen gelişmeler, gıda güvenliği ve sağlıklı gıdaya ulaşma, yapay zekanın günümüz mühendislik teknolojilerindeki önemi hakkında farklı bakış açıları sunmaktadır.

Bu kitapta, mühendislik özellikleri geliştirilmiş kompozitin (ECC) akıllı sürdürülebilir ve yeşil olması için bir yaklaşım, aydınlatma sistemi hesaplanması örnek bir uygulama, Basra körfezi'nde faaliyet gösteren küçük sahil kontrol gemilerinde ekstrem hava koşullarında havalandırma ve soğutma uygulamaları, çeşitli lityum-iyon batarya bloklarında kullanılan ortak yönetim sistemi tasarımı, elektrikli araçlar ve sürüş döngüleri, şamandıraların hidromekanik özelliklerinin analizi gibi farklı mühendislik disiplinlerinde çalışmalara yer verilmiştir. Teknolojik gelişmeler ve günümüzde mühendislik uygulamalarının hızlı bir şekilde gelişim göstermesinden dolayı, ülkemizde uygulanabilirliğine yönelik çalışmalar oluşturmak için yol gösterici mahiyette olduğunu düşündüğüm her bir bölümün özellikle akademik alanda ilgi uyandıracak ümidiyle saygılarımı sunarım.

**Dr. Öğr. Üyesi Murat KIRANŞAN**

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**

Editör



## BÖLÜM 1

### MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ GELİŞTİRİLMİŞ KOMPOZİTİN (ECC) AKILLI, SÜRDÜRÜLEBİLİR VE YEŞİL OLMASI İÇİN BİR YAKLAŞIM

İnş. Yük. Müh. Jinda ATAMAN<sup>1</sup>

İnş. Yük. Müh. Alican NERGİS<sup>2</sup>

Doç. Dr. Hasan DİLBAS<sup>3</sup>

Prof. Dr. Mucip TAPAN<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Van, Türkiy. ejindartmm@gmail.com  
ORCID: 0009-0002-2302-6214

<sup>2</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Van, Türkiy. eanergis18@gmail.com  
ORCID: 0009-0002-9971-8874

<sup>3</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Van, Türkiye. hasandilbas@yyu.edu.tr  
ORCID: 0000-0002-3780-8818

<sup>4</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Van, Türkiye. mtapan@yyu.edu.tr  
ORCID: 0000-0003-4403-4408





## 1. GİRİŞ

“Engineered Cementitious Composites” (Mühendislik özellikleri geliştirilmiş çimento esaslı kompozitler veya kısa bir ifade ile çimento esaslı kompozitler (ECC)), mikro mekanik prensiplerle tasarlanmış yüksek performanslı lif takviyeli çimento esaslı kompozitin özel bir türüdür(V. C. Li & Kanda, 1998a). ECC, çimentolu matrisin içine yerleştirilmiş lif matrisi ile birleşiminden oluşur. ECC'nin en önemli avantajı normal bir beton numunesine kıyasla içerdiği lifler sayesinde çekme ve eğilme kapasitesinin çok daha yüksek olmasıdır.

ECC çimento, ince silika kumu, su ve liflerin uygun miktarlarda karışımından elde edilir. Yapılmış çalışmalarda kullanılan malzemeler incelendiğinde çimento tipi; CEM I, II, III, IV ve V tipi çimentolar kullanılmıştır ('15. Z. Zhang, S. Qian, Influence of crumb rubber... - Google Akademik', n.d.; Afefy & Mahmoud, 2014; Ali N. Al-Gemeel, Zhuge, & Youssf, 2019; Ali Nassir Al-Gemeel & Zhuge, 2019; Ali, Soliman, & Nehdi, 2017; Azmi Megat Johari, Hashim, Altwair, Megat Johari, & Saiyid Hashim, 2013; Bell, Zhang, Soe, & Hermes, 2012; Chen, Yang, & Yao, 2012; Chung, Ghannam, & Zhang, 2018; Composites & 2014, 2014; Deng, 2018; Felekoglu, Tosun-Felekoglu, ..., & 2014, n.d.; Fischer & Li, 2002b, 2002a; Gencturk, Engineering, & 2015, 2015; T Huang, Structural, & 2014, 2014; Ting Huang, Zhang, Lo, & Lee, 2017; X. Huang, Ranade, Ni, & Li, 2013; X. Huang, Ranade, Zhang, Ni, & Li, 2013; Kamada & Li, 2000a, 2000b; Kan & Shi, 2012; Kawamata, Mihashi, & Fukuyama, 2003; Keoleian et al., n.d.; Kim, Fischer, Lim, Journal, & 2004, 2004; Lawler, Zampini, & Shah, 2005; Lepech & Li, 2009b, 2009a; Leung, Cheung, Research, & 2007, n.d.; J. Li, Composites, & 2017, 2017; J. Li & Zhang, 2011; M. Li & Li, 2014; M. Li, structures, & 2013, 2013; Liu, Zhang, Li, Su, & Gu, 2017; Lu, Li, & Leung, 2018; Maalej, Quek, & Zhang, 2005; Maciej Serda et al., 2015; D Meng, Huang, Zhang, Materials, & 2017, n.d.; Dan Meng, Lee, & Zhang, 2017; Merchant, Engineering, & 2015, 2015; Mohammed, Khed, & Liew, 2018; Monuments & 2003, 2003; Paegle, Composites, & 2016, 2016; Pakravan, Jamshidi, & Latifi, 2016; Pan, Wu, Liu, Wang, & Liu, 2015; Qiu, Research, & 2017, 2017; Qudah & Maalej, 2014; Rana, Lee, Al-Deen, & Zhang, 2018; R Ranade, Zhang, Lynch, Research, & 2014, 2016; Ravi Ranade et al., 2013;

Sahmaran, Lachemi, Hossain, Ranade, & Li, 2009; M Şahmaran, Özbay, ..., & 2011, n.d.; M Şahmaran, Özbay, Yücel, Composites, & 2012, n.d.; Mustafa Şahmaran, Lachemi, Hossain, & Li, 2009; Mustafa Şahmaran & Li, 2009; Said & Abdul Razak, 2016; Said & Razak, 2015; Said, Razak, & Othman, 2015a, 2015b; Sasmal & Avinash, 2016; Shang & Lu, 2015; M. Singh, Saini, Engineering, & 2019, n.d.-a, n.d.-b; S. Singh, ..., & 2015, n.d.; Soe, Zhang, & Zhang, 2013b, 2013a; Tian & Zhang, 2016, 2017; Tian, Zhang, Ye, & Yang, 2015; Tosun-Felekoğlu, Felekoğlu, Ranade, Lee, & Li, 2014; Q. Wang, Yi, Ma, Composites, & 2019, n.d.; S. Wang & Li, 2006, 2007; E. H. Yang, Yang, & Li, 2007; Y. Yang, Lepech, Yang, & Li, 2009; Y. Yang, Yang, & Li, 2011; Yu, Wang, Yu, & Xu, 2017; Yuan et al., 2014; Yuan, Pan, Asce, Leung, & Asce, 2013; J Zhang, Leung, technology, & 2006, 2006; Jun Zhang, Gong, Guo, & Zhang, 2009; Jun Zhang, Li, Asce, Nowak, & Wang, 2002; Z. Zhang, Qian, & Ma, 2014; Zhou, Quian, Breugel, FramCos-7, & 2010, n.d.; Zhu, Yang, & Yao, 2012) Bağlayıcı olarak kullanılan diğer malzemeler ise silis dumanı, yüksek fırın cürufu, uçucu küldür ('15. Z. Zhang, S. Qian, Influence of crumb rubber... - Google Akademik', n.d.; Afefy & Mahmoud, 2014; Ali N. Al-Gemeel et al., 2019; Ali Nassir Al-Gemeel & Zhuge, 2019; Ali et al., 2017; Azmi Megat Johari et al., 2013; Bell et al., 2012; Chen et al., 2012; Chung et al., 2018; Composites & 2014, 2014; Deng, 2018; Felekoglu et al., n.d.; Fischer & Li, 2002b, 2002a; Gencturk et al., 2015; T Huang et al., 2014; Ting Huang et al., 2017; X. Huang, Ranade, Ni, et al., 2013; X. Huang, Ranade, Zhang, et al., 2013; Kamada & Li, 2000a, 2000b; Kan & Shi, 2012; Kawamata et al., 2003; Keoleian et al., n.d.; Kim et al., 2004; Lawler et al., 2005; Lepech & Li, 2009b, 2009a; Leung et al., n.d.; J. Li et al., 2017; J. Li & Zhang, 2011; M. Li & Li, 2014; M. Li et al., 2013; Liu et al., 2017; Lu et al., 2018; Maalej et al., 2005; Maciej Serda et al., 2015; D Meng et al., n.d.; Dan Meng et al., 2017; Merchant et al., 2015; Mohammed et al., 2018; Monuments & 2003, 2003; Paegle et al., 2016; Pakravan et al., 2016; Pan et al., 2015; Qiu et al., 2017; Qudah & Maalej, 2014; Rana et al., 2018; R Ranade et al., 2016; Ravi Ranade et al., 2013; Sahmaran et al., 2009; M Şahmaran, Özbay, ..., et al., n.d.; M Şahmaran, Özbay, Yücel, et al., n.d.; Mustafa Şahmaran et al., 2009; Mustafa Şahmaran & Li, 2009; Said & Abdul Razak, 2016; Said & Razak, 2015; Said et al., 2015a, 2015b; Sasmal & Avinash, 2016; Shang & Lu,

2015; M. Singh et al., n.d.-a, n.d.-b; S. Singh et al., n.d.; Soe et al., 2013b, 2013a; Tian & Zhang, 2016, 2017; Tian et al., 2015; Tosun-Felekoğlu et al., 2014; Q. Wang et al., n.d.; S. Wang & Li, 2006, 2007; E. H. Yang et al., 2007; Y. Yang et al., 2009, 2011; Yu et al., 2017; Yuan et al., 2014, 2013; J Zhang et al., 2006; Jun Zhang et al., 2009, 2002; Z. Zhang et al., 2014; Zhou et al., n.d.; Zhu et al., 2012) Çimentolu matrisin içerisine yerleştirilmiş olan lif matrisinde ise kullanılan fiber tipleri; PVA (Polivinilalkol), PE (Polietilen), PP (Polipropilen), Çelik, Bazalt ve cam fiberler kullanılmış ('15. Z. Zhang, S. Qian, Influence of crumb rubber... - Google Akademik', n.d.; Afefy & Mahmoud, 2014; Ali N. Al-Gemeel et al., 2019; Ali Nassir Al-Gemeel & Zhuge, 2019; Ali et al., 2017; Azmi Megat Johari et al., 2013; Bell et al., 2012; Chen et al., 2012; Chung et al., 2018; Composites & 2014, 2014; Deng, 2018; Felekoglu et al., n.d.; Fischer & Li, 2002b, 2002a; Gencturk et al., 2015; T Huang et al., 2014; Ting Huang et al., 2017; X. Huang, Ranade, Ni, et al., 2013; X. Huang, Ranade, Zhang, et al., 2013; Kamada & Li, 2000a, 2000b; Kan & Shi, 2012; Kawamata et al., 2003; Keoleian et al., n.d.; Kim et al., 2004; Lawler et al., 2005; Lepech & Li, 2009b, 2009a; Leung et al., n.d.; J. Li et al., 2017; J. Li & Zhang, 2011; M. Li & Li, 2014; M. Li et al., 2013; Liu et al., 2017; Lu et al., 2018; Maalej et al., 2005; Maciej Serda et al., 2015; D Meng et al., n.d.; Dan Meng et al., 2017; Merchant et al., 2015; Mohammed et al., 2018; Monuments & 2003, 2003; Paegle et al., 2016; Pakravan et al., 2016; Pan et al., 2015; Qiu et al., 2017; Qudah & Maalej, 2014; Rana et al., 2018; R Ranade et al., 2016; Ravi Ranade et al., 2013; Sahmaran et al., 2009; M Şahmaran, Özbay, ..., et al., n.d.; M Şahmaran, Özbay, Yücel, et al., n.d.; Mustafa Şahmaran et al., 2009; Mustafa Şahmaran & Li, 2009; Said & Abdul Razak, 2016; Said & Razak, 2015; Said et al., 2015a, 2015b; Sasmal & Avinash, 2016; Shang & Lu, 2015; M. Singh et al., n.d.-a, n.d.-b; S. Singh et al., n.d.; Soe et al., 2013b, 2013a; Tian & Zhang, 2016, 2017; Tian et al., 2015; Tosun-Felekoğlu et al., 2014; Q. Wang et al., n.d.; S. Wang & Li, 2006, 2007; E. H. Yang et al., 2007; Y. Yang et al., 2009, 2011; Yu et al., 2017; Yuan et al., 2014, 2013; J Zhang et al., 2006; Jun Zhang et al., 2009, 2002; Z. Zhang et al., 2014; Zhou et al., n.d.; Zhu et al., 2012). Agrega olarak genelde ince silika kumunun kullanıldığı görülmektedir ('15. Z. Zhang, S. Qian, Influence of crumb rubber... - Google Akademik', n.d.; Afefy & Mahmoud, 2014; Ali N. Al-

Gemeel et al., 2019; Ali Nassir Al-Gemeel & Zhuge, 2019; Ali et al., 2017; Azmi Megat Johari et al., 2013; Bell et al., 2012; Chen et al., 2012; Chung et al., 2018; Composites & 2014, 2014; Deng, 2018; Felekoglu et al., n.d.; Fischer & Li, 2002b, 2002a; Gencturk et al., 2015; T Huang et al., 2014; Ting Huang et al., 2017; X. Huang, Ranade, Ni, et al., 2013; X. Huang, Ranade, Zhang, et al., 2013; Kamada & Li, 2000a, 2000b; Kan & Shi, 2012; Kawamata et al., 2003; Keoleian et al., n.d.; Kim et al., 2004; Lawler et al., 2005; Lepech & Li, 2009b, 2009a; Leung et al., n.d.; J. Li et al., 2017; J. Li & Zhang, 2011; M. Li & Li, 2014; M. Li et al., 2013; Liu et al., 2017; Lu et al., 2018; Maalej et al., 2005; Maciej Serda et al., 2015; D Meng et al., n.d.; Dan Meng et al., 2017; Merchant et al., 2015; Mohammed et al., 2018; Monuments & 2003, 2003; Paegle et al., 2016; Pakravan et al., 2016; Pan et al., 2015; Qiu et al., 2017; Qudah & Maalej, 2014; Rana et al., 2018; R Ranade et al., 2016; Ravi Ranade et al., 2013; Sahmaran et al., 2009; M Şahmaran, Özbay, ..., et al., n.d.; M Şahmaran, Özbay, Yücel, et al., n.d.; Mustafa Şahmaran et al., 2009; Mustafa Şahmaran & Li, 2009; Said & Abdul Razak, 2016; Said & Razak, 2015; Said et al., 2015a, 2015b; Sasmal & Avinash, 2016; Shang & Lu, 2015; M. Singh et al., n.d.-a, n.d.-b; S. Singh et al., n.d.; Soe et al., 2013b, 2013a; Tian & Zhang, 2016, 2017; Tian et al., 2015; Tosun-Felekoğlu et al., 2014; Q. Wang et al., n.d.; S. Wang & Li, 2006, 2007; E. H. Yang et al., 2007; Y. Yang et al., 2009, 2011; Yu et al., 2017; Yuan et al., 2014, 2013; J Zhang et al., 2006; Jun Zhang et al., 2009, 2002; Z. Zhang et al., 2014; Zhou et al., n.d.; Zhu et al., 2012). Yapılan çalışmalarda kimyasal katkı olarak süper akışkanlaştırıcı ve polikarboksilik-eter bazlı yüksek oranda su azaltıcı (HRWRA) kullanılmıştır. ('15. Z. Zhang, S. Qian, Influence of crumb rubber... - Google Akademik', n.d.; Afefy & Mahmoud, 2014; Ali N. Al-Gemeel et al., 2019; Ali Nassir Al-Gemeel & Zhuge, 2019; Ali et al., 2017; Azmi Megat Johari et al., 2013; Bell et al., 2012; Chen et al., 2012; Chung et al., 2018; Composites & 2014, 2014; Deng, 2018; Felekoglu et al., n.d.; Fischer & Li, 2002b, 2002a; Gencturk et al., 2015; T Huang et al., 2014; Ting Huang et al., 2017; X. Huang, Ranade, Ni, et al., 2013; X. Huang, Ranade, Zhang, et al., 2013; Kamada & Li, 2000a, 2000b; Kan & Shi, 2012; Kawamata et al., 2003; Keoleian et al., n.d.; Kim et al., 2004; Lawler et al., 2005; Lepech & Li, 2009b, 2009a; Leung et al., n.d.; J. Li et al., 2017; J. Li & Zhang, 2011; M. Li & Li, 2014; M. Li et

al., 2013; Liu et al., 2017; Lu et al., 2018; Maalej et al., 2005; Maciej Serda et al., 2015; D Meng et al., n.d.; Dan Meng et al., 2017; Merchant et al., 2015; Mohammed et al., 2018; Monuments & 2003, 2003; Paegle et al., 2016; Pakravan et al., 2016; Pan et al., 2015; Qiu et al., 2017; Qudah & Maalej, 2014; Rana et al., 2018; R Ranade et al., 2016; Ravi Ranade et al., 2013; Sahmaran et al., 2009; M Şahmaran, Özbay, ..., et al., n.d.; M Şahmaran, Özbay, Yücel, et al., n.d.; Mustafa Şahmaran et al., 2009; Mustafa Şahmaran & Li, 2009; Said & Abdul Razak, 2016; Said & Razak, 2015; Said et al., 2015a, 2015b; Sasmal & Avinash, 2016; Shang & Lu, 2015; M. Singh et al., n.d.-a, n.d.-b; S. Singh et al., n.d.; Soe et al., 2013b, 2013a; Tian & Zhang, 2016, 2017; Tian et al., 2015; Tosun-Felekoğlu et al., 2014; Q. Wang et al., n.d.; S. Wang & Li, 2006, 2007; E. H. Yang et al., 2007; Y. Yang et al., 2009, 2011; Yu et al., 2017; Yuan et al., 2014, 2013; J Zhang et al., 2006; Jun Zhang et al., 2009, 2002; Z. Zhang et al., 2014; Zhou et al., n.d.; Zhu et al., 2012). Yapılan çalışmalar incelendiğinde su/bağlayıcı oranı genellikle 0,3-0,5 bandında olduğu görülmüştür.

Bu çalışma üzerine yapılan literatür taramasından elde edilen veriler doğrultusunda, incelenen literatürde yapılmış çalışmaların %77,38'de (65 adet çalışma) CEM I çimento tipi kullanılmıştır (Afefy & Mahmoud, 2014; Ali N. Al-Gemeel et al., 2019; Ali Nassir Al-Gemeel & Zhuge, 2019; Ali et al., 2017; Bell et al., 2012; Chen et al., 2012; Chung et al., 2018; Composites & 2014, 2014; Felekoglu et al., n.d.; T Huang et al., 2014; Ting Huang et al., 2017; X. Huang, Ranade, Ni, et al., 2013; X. Huang, Ranade, Zhang, et al., 2013; Kamada & Li, 2000a; Kawamata et al., 2003; Keoleian et al., n.d.; Lepech & Li, 2009b, 2009a; Leung et al., n.d.; J. Li et al., 2017; J. Li & Zhang, 2011; M. Li & Li, 2014; M. Li et al., 2013; V. C. Li & Kanda, 1998b; Liu et al., 2017; Lu et al., 2018; D Meng et al., n.d.; Dan Meng et al., 2017; Mohammed et al., 2018; Monuments & 2003, 2003; Paegle et al., 2016; Pakravan et al., 2016; Qiu et al., 2017; Rana et al., 2018; R Ranade et al., 2016; Ravi Ranade et al., 2013; M Şahmaran, Özbay, ..., et al., n.d.; M Şahmaran, Özbay, Yücel, et al., n.d.; Mustafa Şahmaran et al., 2009; Mustafa Şahmaran & Li, 2009; Said & Abdul Razak, 2016; Said & Razak, 2015; Said et al., 2015a; Sasmal & Avinash, 2016; S. Singh et al., n.d.; Soe et al., 2013b, 2013a; Tian & Zhang, 2016, 2017; Tian et al., 2015; Tosun-

Felekoğlu et al., 2014; Q. Wang et al., n.d.; Y. Yang et al., 2009, 2011; Yu et al., 2017; J Zhang et al., 2006; Jun Zhang et al., 2009, 2002; Z. Zhang et al., 2014; Zhou et al., n.d.; Zhu et al., 2012). İncelenen 84 çalışmadan sadece 2'sinde CEM II türü çimento kullanıldığı görülmüştür (Deng, 2018; Pan et al., 2015). Bu çalışmaların sadece bir tanesinde CEM III türü çimento tipi kullanıldığı ve aynı şekilde CEM IV tipi çimento sadece bir çalışmada yer bulmuştur (Gencturk et al., 2015; S. Singh et al., n.d.). Bu noktada farklı çimento tiplerinin aynı anda kullanıldığı ve sonuçlarının karşılaştırıldığı çalışmaların nadir olarak çalışıldığı mevcut literatürden anlaşılmaktadır.

ECC üzerine yapılan çalışmalarda, mineral katkı türlerinden silis dumanı (SD) 84 adet çalışmadan sadece 11 tanesinde kullanılmıştır (Afefy & Mahmoud, 2014; Deng, 2018; Gencturk et al., 2015; Kawamata et al., 2003; J. Li & Zhang, 2011; Maalej et al., 2005; Monuments & 2003, 2003; Qudah & Maalej, 2014; Q. Wang et al., n.d.; Yu et al., 2017; Zhou et al., n.d.). Diğer bir mineral katkı olan yüksek fırın cürufu 7 çalışmada, uçucu kül ise F ve C olarak iki tip olmak üzere 60 tanesinde kullanılmıştır. Uçucu külün diğer minerallere oranla çalışmalarda sıklıkla kullanılmasının sebebi erişilebilirliğinin kolay olmasının yanında küresel geometriye sahip olması sebebi ile işlenebilirliğe olan katkısının diğerlerine göre daha fazla olmasıdır denebilir. Çünkü silis dumanı göreceli olarak daha fazla yüzey alanına sahip olduğu ve yüksek fırın cürufunun tane şeklinin köşeli olduğu için işlenebilirliği azalttığı bilinmektedir (Bülent Baradan, Halit Yazıcı, & Serdar Ayd, 2015). Ayrıca mineral katkının ECC çalışmalarında kullanımının bir sebebi de dayanım ve dayanıklılığa olan olumlu etkisidir. Her ne kadar bu mineral katkıları ECC içinde kullanılmış olsa da su kürü etkisi altında ECC iç kısımlarında kullanılan mineral katkıları tam olarak aktifleşmemektedir ve sadece agrega olarak davranmaktadır. Bu sebeple mineral katkıların daha aktif olarak iç kısımlarda içsel kütleme ile daha aktif hale getirilmesi sonucu olarak serbest haldeki kalsiyum hidroksili bağlamasıyla dayanım, dayanıklılığa katkı sağlanabilir.

ECC çalışmalarında kullanılan fiber tiplerinden çelik fiberler 84 çalışmanın 13'ünü, polipropilen (PP) 6'sını, polivinilalkol (PVA) lif türü 67'sini ve polietilen (PE) lif türü ise bazı çalışmalarda PVA lif ile birlikte kullanılmış olmak üzere 22'sini oluşturmaktadır. Kullanılan fiberlerin

çoğunun çelik ve petrol esaslı olduğu dikkatleri çekmiş ve diğer fiber türlerinin (bazalt, selülozik fiberler vb.) ECC karışımlarında yaygın olarak kullanılmadığı dikkat çekmiştir. Fiber kullanımının başta ECC'nin eğilme ve çekme dayanımını artırdığı ve aynı zamanda tokluk özelliğini de artırdığı görülmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda fiber taze haldeki karışımın hava içeriğini artırmış fakat mineral katkı kullanımı azaltmıştır (Turhan Y. Erdoğan, 2003). Bu noktada ECC karışımında fiber ve mineral katkının birlikte kullanımı taze haldeki hava içeriğini azaltacağından uygun bir mineral katkının kullanımı önem arz etmektedir.

ECC üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, kullanılan agrega tipleri bakımından silis kumu çoğunlukla tercih edilmiş olup (63 tane), diğer çalışmalarda IOTS, öğütülmüş kauçuk, geri kazanılmış agrega vb. kullanıldığı görülmektedir. Kullanılan agregalar genellikle boşluk doldurucu etkisi yanında tepkimeye girerek dayanım ve dayanıklılık artırıcı etkilerde bulunması için diğer agrega tipleri kullanılmıştır. Silis kumunun tercih edilmesinin bir sebebi RİLEM kumu kullanılması ve sonuçların dünya çapında diğer çalışmalarla karşılaştırıla bilirliliğini sağlamak olabilir. Fakat kum çeşitleri düşünüldüğünde birçok ECC varyasyonu geliştirilebilir. (Pomza tozu, Geri kazanılmış agrega tozu, Mermer tozu vb.) Geliştirilen ECC'ler böylelikle yeşil, sürdürülebilir, çevre dostu olacaktır.

Yürütülecek bu çalışmada, sürdürülebilir, yeşil ve çevreci bir ECC üretimi hedeflenmektedir. Üretilecek ECC atık malzeme olarak geri kazanılmış agrega tozu, mermer tozu, yerel malzeme olarak pomza tozu içermesi sonucu atıkların çevre yükünün azaltımı da hedeflenmiştir. Önceki yürütülen çalışmalarda karşılaşılan mineral katkı/bağlayıcı kullanımı durumunda, malzemelerin yetersiz su varlığı sebebiyle tam anlamıyla bağlayıcılık özelliği gösterememesi problemi bu çalışma kapsamında süper absorban polimer (SAP) kullanılarak giderilmesi ve içsel kütleme ile ECC özelliklerinin iyileştirilmesi öngörülmüştür. Deney çalışmaları 3 aşamada gerçekleştirilmiş olup, ECC farklı kür şartlarında maruz kalarak en yüksek dayanım özelliklerinin elde edilmesi hedeflenmiştir.



## **1. MATERYAL VE YÖNTEM**

### **1.1. Bağlayıcı**

Çalışmada çimento tipi standart CEM I çimento tipi kullanılacaktır. Çalışmanın seyrine göre projenin amacına uygun kullanım miktarları tespit edilecek. Kullanılacak çimento R tipi olarak seçildi, böylelikle proje amacında belirtilen erken dayanımı yüksek ECC elde edilmesine katkı sağlaması hedeflenmiştir. Karışımda erken ve ileri yaşlardaki dayanımı artırması ve bağlayıcı olarak çimentonun yerine kullanılarak çimento miktarını azaltması hedeflerine ulaşabilmek amacıyla pomza tozu kullanılacaktır.

### **1.2. Agrega**

Bunun yanında yapıların geri dönüşümüne katkısını artırmak amacıyla geri kazanılmış agregası (0-2 mm) kullanılacaktır. Dayanıma etkisi ve oluşturulacak yapı malzemesinin daha sonra geri dönüşüme kazanılmasında aktif rol oynayacak diğer bir malzeme mermer tozu kullanılacaktır. Mermer tozunun (<63 µm) karışımlardaki beklenen etkisinin boşlukları doldurması ve kompakt bir yapının oluşmasını sağlamasıdır. ECC’de çoklu çatlak anlayışı istenmektedir. İçerdiği fiberler sayesinde lokal olarak yüksek çekme dayanımını gösterebilmesi için çatlakların minik ve sayısının çok olması istenmektedir. Bu nedenden ötürü agregası boyutu düşük tutulmalıdır. Minimum boşluk maksimum doluluk ve maksimum dayanım prensibiyle (Turhan Y. Erdoğan, 2003). Standart harçlarda kullanılan tane çapındaki agregaları (0-2 mm) bu çalışmada kullanılmayacak ve toz içeriğe daha fazla önem verilecektir. Mermer tozunun ince tane yapısıyla hem dayanıklılığı desteklemesi, ayrıca atık olması projede kullanılacak agregası için uygun görülmüştür. Diğer yönden geri kazanılmış agregasının öğütülerek ince tanecik yapısıyla kullanımı ile de hem çevreye hem de çalışmaya katkı sağlaması beklenmektedir. Böylelikle, geri kazanılmış agregasının (<63 µm) da kullanımı ile geri dönüştürülmüş malzeme kullanım miktarı ECC’de artırılmış olabilecektir.

### 1.3. Kimyasal Katkı

Karışımlarda kullanılacak ince taneli bağlayıcı ve agrega içeriğinin olması sebebiyle, karışımların kalıplara yerleştirilmesi güçleşecektir. Bunu engellemek amacıyla polikarboksilat esaslı kimyasal katkı kullanılacaktır. Kimyasal katkı, aynı zamanda kohezyonu sağlayan yapıda olacak olup segregasyon riski engellenmiş olacaktır. Ayrıca, karışımda içsel kürlenme ile mineral katkıların daha etkin olarak ek C-S-H oluşturmalarını sağlamak amacıyla süper absorban polimer katkı (SAP) kullanılacaktır. SAP çalışma prensibinde, ilk aşamada karışım suyu çok hızlı bir şekilde SAP bünyesine çekilir ve SAP şişer. Ardından zamana bağlı olarak bu su, ortama bırakılır (Mechtcherine et al., 2021). Bağlayıcılar, ortama salınan suyu alarak içsel kürlenme ile yavaş yavaş hidrate olacaktır. Bu sayede, su küüründe içeri kadar suyun giremediği ortamlar su ile buluşacak ve bağlayıcılar tam anlamıyla kürlenmiş olabilecektir.

### 1.4. Karışım Tasarımı

Karışım tasarımları, ilk olarak atık mermer tozu, pomza tozu ve atık betondan elde edilen geri kazanılmış beton tozunun etkilerini anlamak amacıyla çeşitli deneyler yapılmıştır. Deneylerden alınan sonuçlardan çıkarımlar, yorumlar ve analizler yapılarak, maksimum basınç gerilme kapasitesi, maksimum atık kullanımı için optimizasyonlar yapıp sonraki deney aşamaları tasarlanmıştır. İlk aşamada üç deney yapılmıştır. Bu deneylerin karışım içerikleri Tablo (1-3)'te verilmiştir.

### 1.5. Kür

Kür, standart su kürü (TS EN 12390-2 (2010)) ve laboratuvar ortamında hava kürü (%50 nem ve 22°C) olarak numunelere uygulanacaktır. Kür süresi olarak 1 ve 7 gün seçilmiştir.

### 1.6. Yapılan Deney

Numuneler 4x4x16 cm boyutlarına sahip kiriş numuneler olarak dökülmüştür. Öncelikli olarak gerekli mühendislik özelliği basınç dayanımı seçilmiştir. Basınç dayanımı için bir günlük kür sonunda minimum 25 MPa, yedi günlük kür sonunda ise 35 MPa hedef dayanımlar belirlenmiştir.

Üretilen yeşil, akıllı ve sürdürülebilir ECC'lerin hedef basınç dayanım gereksinimlerini karşılaması sonucu harç bünyesine fiberler katılacaktır. Bu sayede adım adım ECC modifiye edilip gerekli olacak mühendislik özellikleri karşılanmış olacaktır. Basınç testi için TS EN 196-1:2016 yönetmeliği esas alınmıştır. Üçüncü deney tasarımı için iki türlü kür (hava ve su) uygulanmıştır. Bu sayede SAP'ın ve diğer malzemelerin etkisi daha iyi anlaşılacağı düşünülmüştür. Üçüncü deney tasarımında her numune hem havada hem de suda kür edilmiş olup kontrol numunesi ile birlikte 33 numune dökümü yapılmıştır.

**Tablo 1.** Birinci Deney Karışım Miktarları

Notasyon*	Çimento (g)	Mermer tozu (g)	Pomza Tozu (g)	Kum (g)	Su (g)	SAP (g)
R	450	0	0	1350	225	0
RS	450	0	0	1350	225	1,35
M	450	135	0	1215	225	0
MS	450	135	0	1215	225	1,35
H	450	0	135	1215	225	0
HS	450	0	135	1215	225	1,35
MH	450	67,5	67,5	1215	225	0
MHS	450	67,5	67,5	1215	225	1,35

\*R: Referans; S: SAP; M: Mermer Tozu; H: Pomza Tozu

**Tablo 2.** İkinci Deney Karışım Miktarları

Notasyon*	Çimento (g)	Mermer Tozu (g)	Pomza Tozu (g)	Kum (g)	Su (g)	SAP (g)	Kimyasal Katkı (g)
H	450	0	135	1215	225	0	0
HS	450	0	135	1215	225	1,35	0
HKK	450	0	135	1215	170	1,35	5
HSKK	450	0	135	1215	170	1,35	5

\*S: SAP; M: Mermer Tozu; H: Pomza Tozu; KK: Süper Akışkanlaştırıcı

**Tablo 3.** Üçüncü Deney Karışım Miktarları (gr)

Notasyon*	Atık beton (g)	Mermer tozu (g)	Pomza Tozu (g)	Atık beton tozu (g)	Çimento (g)	Su (g)	Kimyasal Katkı (g)	SAP (g)
K-R100-W	850	0	0	0	360	144	18	0
R60-M40-A	510	340	0	0	360	144	18	0
R60-P40-A	510	0	340	0	360	144	18	0
R60-Rp40-A	510	0	0	340	360	144	18	0
R60-M20P20-A	510	170	170	0	360	144	18	0
R80-M20-A	680	170	0	0	360	144	18	0
R80-P20-A	680	0	170	0	360	144	18	0
R80-Rp20-A	680	0	0	170	360	144	18	0
R80-M10P10-A	680	85	85	0	360	144	18	0
R60-M40-A-S	510	340	0	0	360	144	18	1,08
R60-P40-A-S	510	0	340	0	360	144	18	1,08
R60-Rp40-A-S	510	0	0	340	360	144	18	1,08
R60-M20P20-A-S	510	170	170	0	360	144	18	1,08
R80-M20-A-S	680	170	0	0	360	144	18	1,08
R80-P20-A-S	680	0	170	0	360	144	18	1,08
R80-Rp20-A-S	680	0	0	170	360	144	18	1,08
R80-M10P10-A-S	680	85	85	0	360	144	18	1,08

\* S: SAP; RA: Atık Beton (0-2 mm); M: Mermer Tozu; P: Pomza Tozu; Rp: Atık Beton Tozu; W: Su Kürü; A: Hava Kürü

## 2. SONUÇLAR

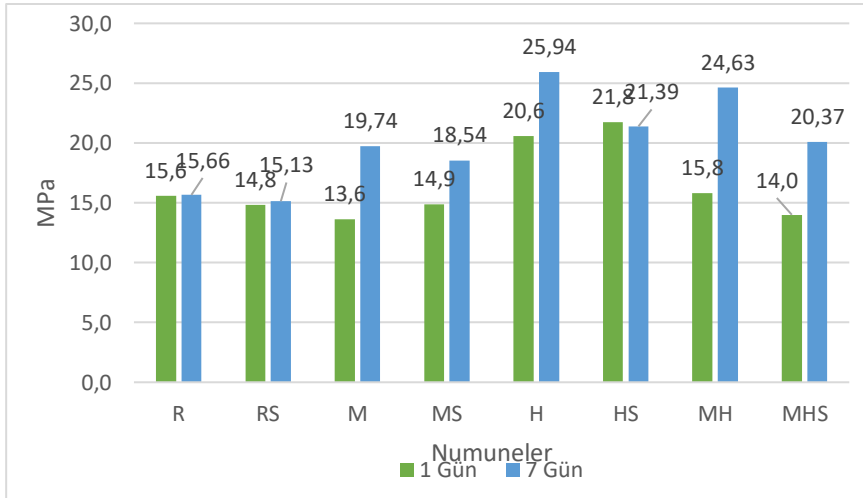
Yapılan üç ayrı deney tasarımının sonuçları Tablo 4-7’de verilmiştir. Ayrıca bu sonuçların grafikleri ise Şekil (1-3)’te verilmiştir. Deney karışımlarının deney basınç testi sonuçlarına göre nasıl ve karışım oranlarının neye göre seçildiği tartışma bölümünde verilmiştir.

### a. Birinci Deney

**Tablo 4.** Birinci Deney Basınç Testi Sonuçları

Notasyon*	Dayanım (1 Günlük, MPa)	Dayanım (7 Günlük, MPa)
R	15,06	15,66
RS	14,81	15,13
M	13,63	19,74
MS	14,88	18,54
H	20,56	25,94
HS	21,75	21,39
MH	15,81	24,63
MHS	14,00	20,07

\*R: Referans; S: SAP; M: Mermer Tozu; H: Pomza Tozu;



**Şekil 1.** Birinci Deney Basınç Testis Grafıksel Sonuçları

Farklı karışım içeriklerinin ECC üzerindeki etkisinin ne gibi sonuçlar doğuracağı bilinmediği için, ilk aşamada kontrol olarak silis kumu seçilerek, mermer tozu ve pomza tozu karışımlara ayrı ayrı ve birlikte katılmış basınç dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiş ve karışımlarda içsel kür sağlanması ve etkisinin incelenmesi için süper absorban polimer katkı kullanılmıştır. Yapılan karışım tasarımı sonucunda, deneysel olarak 4x4x16cm prizmatik numuneler üretilip 1 ve 7 günlük basınç dayanımı deney sonuçları elde edilmiştir (Şekil 1). Deney sonuçlarına göre kullanılan agregaların ayrı ayrı içeriklere dahil edilmesi sonucunda, R, M ve H basınç dayanımı değerleri 1 günlük kür sonucunda 15,6 MPa, 13,6 MPa ve 20,6 MPa olarak elde edilmiş ve 7 günlük kür sonucunda 15,7 MPa, 19,7 MPa ve 25,9 MPa olarak belirlenmiştir. Basınç dayanımlarının silis kumu ve mermer tozu içeriği kullanımı durumunda 1 günlük kür sonucunda pek değişmediği, fakat pomza tozu içeren karışımlarda 1 günlük basınç dayanımının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Diğer yandan, mermer tozu ve pomza tozu içeriğinin 7 günlük dayanımları kontrolden daha yüksek olduğu ve pomza tozunun en yüksek değerlere ulaşmada daha etkili olduğu görülmüştür. Pomza tozunun tane yapısıyla daha yoğun bir karışım elde edilmesine yol açması yanında pomza tozunun ince öğütülmesi sonucu bağlayıcılık özelliği de kazanmasının burada etkili olduğu düşünülmektedir (Yaltay, Dergisi, & 2013, 2013).

Öte yandan agregaların hem süper absorban polimer ile hem de birbirleriyle karıştırılarak oluşturulan RS, MS, HS, MH ve MHS numunelerin 1 günlük kür sonucundaki basınç dayanımı değerleri 14,8 MPa, 14,88 MPa, 21,75 MPa, 15,8 ve 14 MPa olarak belirlenmiş ve 7 günlük kür sonucunda ise 15,1 MPa, 18,5 MPa, 21,4 MPa, 24,6 MPa ve 20,37 MPa olarak ölçülmüştür. Silis kumlu referans numunesine göre 1 günlük kür sonucunda silis kumlu ve süper absorban polimerli numune (RS), mermer tozlu ve saplı numune (MS), mermer tozlu ve pomza tozlu numune (MH) ve mermer tozu ile hem pomza tozu hem de süper absorban polimerin kullanıldığı (MHS) numunesinin basınç dayanımlarının çok değişmediği, fakat pomza tozlu ve saplı olan numune (HS) numunesinin dayanımının daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Öte yandan 7 günlük kür sonuçlarına bakıldığında silis kumlu ve saplı numunenin (RS) basınç

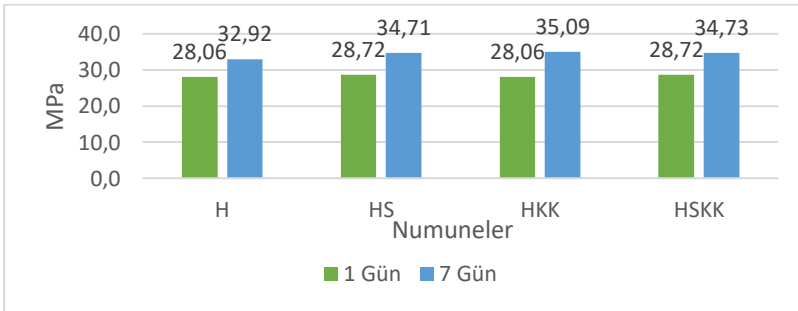
dayanımında pek değişmediği, fakat mermer tozlu ve süper absorban polimerli (MS), pomza tozlu ve süper absorban polimerli (HS), mermer tozlu ve pomza tozlu (MH) ve mermer tozlu ile hem pomza tozlu hem de süper absorban polimerin kullanıldığı (MHS) numunelerinin dayanımlarında ciddi artışların olduğu görülmüştür. Pomza tozunun 7 günlük dayanımları artırmasında önceki paragrafta belirtildiği gibi ince öğütülmesi sonucu bağlayıcılık özelliği kazanarak numunede dayanım artışında etkili olduğu söylenmişti. Bunun yanında 7 günlük dayanım artışlarına katkısı olan süper absorban polimerin, döküm yapılırken bünyedeki suyu bir anda çekip daha sonra zamana bağlı bir şekilde düzenli olarak numuneye hidrasyon için gerekli olan suyu geri vermesiyle bağlayıcıların (çimento, ince öğütülmüş pomza) tam olarak aktifleşmesini sağlaması sonucu basınç dayanım artışlarında etkili olduğu düşünülmektedir.

## b. İkinci Deney

**Tablo 5.** İkinci Deney Basınç Testi Sonuçları

Notasyon*	Dayanım (1 Günlük, MPa)	Dayanım (7 Günlük, MPa)
H	28,06	32,92
HS	28,72	34,71
HKK	28,06	35,09
HSKK	28,72	34,73

\*S: SAP; M: Mermer Tozu; H: Pomza Tozu; KK: Süper Akışkanlaştırıcı



**Şekil 2.** İkinci Deney Basınç Testi Grafikselsel Sonuçlar

Birinci deney tasarımı sonuçlarından yola çıkılarak en yüksek değerleri alan pomza tozu üzerinden ikinci bir deney tasarımı için pomza tozu üzerinden bir özelleştirme yapıldı. Pomza tozu ile birlikte karışımlara su miktarını azaltmak amacıyla polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı eklenmiştir. Bunun yanında karışımlarda içsel kür sağlaması ve etkisinin incelenmesi için süper absorban polimer katkı kullanılmıştır. Yapılan karışım tasarımı sonucunda, deneysel olarak 4x4x16cm prizmatik numuneler üretilip 1 ve 7 günlük basınç dayanımı deney sonuçları elde edilmiştir (Şekil21). Deney sonuçlarına göre kullanılan pomza tozunun süper absorban polimer ve kimyasal katkı ile ikamesi ayrı ayrı içeriklere dahil edilmesi sonucunda, H, HS, HKK ve HSKK basınç dayanımı değerleri 1 günlük kür sonucunda 28,06 MPa, 28,72 MPa, 28,06 MPa ve 28,72 MPa olarak elde edilmiş ve 7 günlük kür sonucunda 32,92 MPa, 34,71 MPa, 35,09 MPa ve 34,73 MPa olarak belirlenmiştir. Basınç dayanımlarının pomza tozu, pomza tozu ile süper absorban polimer, pomza tozu ve süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı ve pomza tozu, süper absorban polimer ile süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı içeriklerinin kullanımı durumunda 1 günlük kür sonucunda pek değişmediği görülmüştür. Diğer yönden, 7 günlük basınç dayanımların ise 1 günlük dayanımlara göre iyi bir artış yaptığı görülmektedir. En yüksek dayanıma ise pomza tozu ile süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkının kullanıldığı (HKK) numunesi ulaşmıştır. Birinci deneyden yola çıkarak en yüksek değeri veren pomza tozunun süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı ile bileşiminden oluşan numune en iyi artışı göstermiştir. Süper absorban polimerin kontrollü içsel kürleme ile pomza tozunun bağlayıcılık özelliğini kazandırarak dayanıma katkısının daha fazla kürleme süresi sonucu ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu şekilde etkisinin daha iyi anlaşılacağı düşünülmektedir.

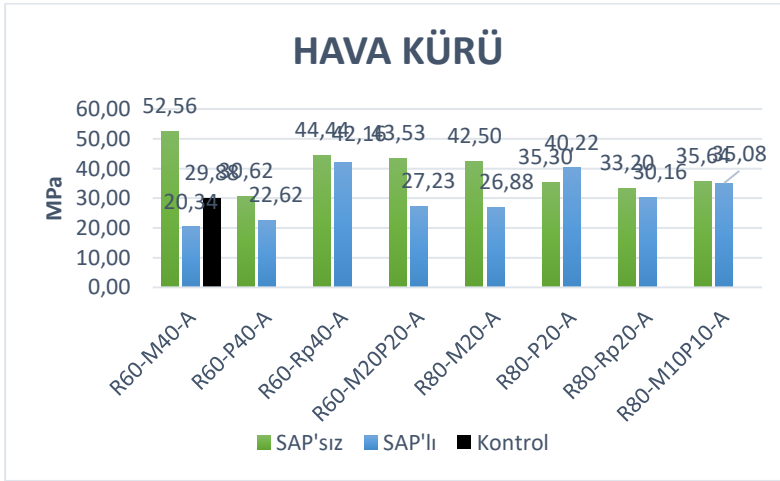


### c. Üçüncü Deney

**Tablo 6.** Üçüncü Deney Basınç Testi Sonuçları-Hava Kürü

Numune Kodu	Hava Kürü				
	SAP'sız		Numune Kodu	SAP'lı	
	Basınç Yüğü (kN)	Gerilme (MPa)		Basınç Yüğü (kN)	Gerilme (MPa)
R60-M40-A	84,09	52,56	R60-M40-A-S	32,54	20,34
R60-P40-A	48,99	30,62	R60-P40-A-S	36,19	22,62
R60-Rp40-A	71,11	44,44	R60-Rp40-A-S	67,45	42,16
R60-M20P20-A	69,55	43,53	R60-M20P20-S	43,57	27,23
R80-M20-A	68,00	42,50	R80-M20-A-S	43,00	26,88
R80-P20-A	56,48	35,30	R80-P20-A-S	64,35	40,22
R80-Rp20-A	53,12	33,20	R80-Rp20-A-S	48,26	30,16
R80-M10P10-A	57,03	35,64	R80-M10P10-A-S	56,12	35,08

S: SAP; M: Mermer Tozu; P: Pomza Tozu; Ra: Atık Beton Tozu (0-2 mm); Rp: Atık Beton Tozu (Filler <63 µm); KK: Süper Akışkanlaştırıcı; W: Su Kürü; A: Hava Kürü



Şekil 3. Üçüncü Deney Basınç Testi Grafikselsel Sonuçlar – Hava Kürü

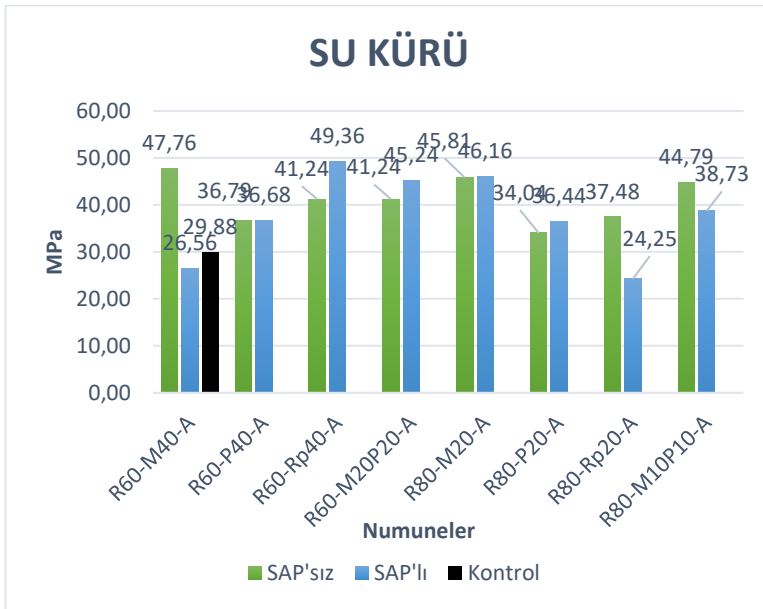
Birinci ve ikinci deney tasarımı sonuçlarından yola çıkılarak sürdürülebilir bir ECC için gerekli olan malzemelerden atık mermer tozu, pomza tozu, atık beton agregası ve atık beton tozunun her birinin ayrı ayrı etkilerini görmek amacıyla üçüncü bir deney tasarımının gereksinimi görüldü. Bu yüzden farklı oranlarda tüm malzemelerin ayrı ayrı ve birleşik karışımlarından oluşan bir deney tasarımı yapıldı. Bu deney tasarımında hem içsel kürlenme hem de kontrollü bir hidrasyon için kullanılan süper absorban polimerin etkisinin de anlaşılabilmesi için numuneler hem havada hem de suda küre bırakılmış ayrıca numuneler süper absorban polimerli ve süper absorban polimersiz olarak üretilmiştir. Yapılan karışım tasarımı sonucunda, deneysel olarak 4x4x16cm prizmatik numuneler üretilip numuneler hava kürüne bırakılmıştır. İlk etapta numuneler 7 günlük hava kürüne bırakıldı ve kürlenme sonucunda basınç dayanımı deney sonuçları elde edildi. (Tablo 6 ve Şekil 3). Deney sonuçlarına göre içerdiği agrega bakımından Tablo 3'te görüleceği üzere, kullanılan atık beton agregası ve mermer tozu ikamesi ile üretilen R60-M40-A numunesi, atık beton agregası ve pomza tozu ikamesi ile üretilen R60-P40-A numunesi, atık beton agregası ve atık beton tozu ile ikame edilmiş R60-Rp40-A numunesi, atık beton agregası, atık mermer tozu ve pomza tozunun bileşik olarak ikame edilen R60-M20P20-A numunesi, atık beton agregası ve atık mermer tozunun ikame edildiği R80-M20-A numunesi, atık beton agregası ve pomza tozunun

ikame edildiği R80-P20-A numunesi, atık beton agregası ve atık beton tozu ile üretilen R80-Rp20-A numunesi, atık beton agregası, mermer tozu ve pomza tozu ikamesi ile üretilmiş olan R80-M10P10-A numunesi ve son olarak tamamı atık beton agregası ikame edilen kontrol numunesi olan K-R100-W numunelerinin 7 günlük kür sonucunda süper absorban polimersiz olarak 52,56 MPa, 30,62 MPa, 44,44 MPa, 43,53 MPa, 42,50 MPa, 35,30 MPa, 33,20 MPa , 35,64 MPa ve 29,88 MPa olarak elde edilmiştir. Süper absorban polimer ikamesi ile elde ilen 7 günlük kür sonuçları ise 20,34 MPa, 22,62 MPa, 42,16 MPa, 27,23 MPa 26,88 MPa, 40,22 MPa, 30,16 MPa ve 35,08 MPa olarak elde edilmiştir.

**Tablo 7.** Üçüncü Deney Basınç Testi Sonuçları-Su Kürü

Su Kürü					
Numune Kodu	SAP'sız		Numune Kodu	SAP'lı	
	Basınç Yüğü (kN)	Gerilme (MPa)		Basınç Yüğü (kN)	Gerilme (MPa)
R60-M40-W	76,41	47,76	R60-M40-W-S	42,49	26,56
R60-P40-W	58,86	36,79	R60-P40-W-S	58,68	36,68
R60-Rp40-W	65,99	41,24	R60-Rp40-W	78,97	49,36
R60-M20P20-W	65,99	41,24	R60-M20P20-W-S	72,39	45,24
R80-M20-W	73,30	45,81	R80-M20-W-S	73,85	46,16
R80-P20-W	54,47	34,04	R80-P20-W-S	58,30	36,44
R80-Rp20-W	59,96	37,48	R80-Rp20-W-S	38,80	24,25
R80-M10P10-W	71,66	44,79	R80-M10P10-W-S	61,97	38,73
K-R100-W	47,80	29,88			

S: SAP; M: Mermer Tozu; P: Pomza Tozu; Ra: Atık Beton Tozu (0-2 mm); Rp: Atık Beton Tozu (Filler <63 µm); KK: Süper Akışkanlaştırıcı; W: Su Kürü; A: Hava Kürü



**Şekil 4.** Üçüncü Deney Basınç Testi Grafikselsel Sonuçlar – Su Kürü

Birinci ve ikinci deney tasarımı sonuçlarından yola çıkılarak sürdürülebilir bir ECC için gerekli olan malzemelerden atık mermer tozu, pomza tozu, atık beton agregası ve atık beton tozunun her birinin ayrı ayrı etkilerini görmek amacıyla üçüncü bir deney tasarımının gereksinimi görüldü. Bu yüzden farklı oranlarda tüm malzemelerin ayrı ayrı ve birleşik karışımlarından oluşan bir deney tasarımı yapıldı. Bu deney tasarımında hem içsel kürlenme hem de kontrollü bir hidrasyon için kullanılan süper absorban polimerin etkisinin de anlaşılabilmesi için numuneler hem havada hem de suda küre bırakılmış ayrıca numuneler süper absorban polimerli ve süper absorban polimersiz olarak üretilmiştir. Yapılan karışım tasarımı sonucunda, deneysel olarak 4x4x16cm prizmatik numuneler üretilip numuneler hava kürüne bırakılmıştır. İlk etapta numuneler 7 günlük su kürüne bırakıldı ve kürlenme sonucunda basınç dayanımı deney sonuçları elde edildi. (Tablo 7 ve Şekil 4). Deney sonuçlarına göre içerdiği agrega bakımından Tablo 3'te görüleceği üzere, kullanılan atık beton agregası ve mermer tozu ikamesi ile üretilen R60-M40-W numunesi, atık beton agregası ve pomza tozu ikamesi ile üretilen R60-P40-W numunesi, atık beton agregası ve atık beton tozu ile ikame edilmiş R60-Rp40-W numunesi, atık

beton agregası, atık mermer tozu ve pomza tozunun bileşik olarak ikame edilen R60-M20P20-W numunesi, atık beton agregası ve atık mermer tozunun ikame edildiği R80-M20-W numunesi, atık beton agregası ve pomza tozunun ikame edildiği R80-P20-W numunesi, atık beton agregası ve atık beton tozu ile üretilen R80-Rp20-W numunesi, atık beton agregası, mermer tozu ve pomza tozu ikamesi ile üretilmiş olan R80-M10P10-W numunesi ve son olarak tamamı atık beton agregası ikame edilen kontrol numunesi olan K-R100-W numunelerinin 7 günlük kür sonucunda süper absorban polimersiz olarak 47,76 MPa, MPa, 36,79 MPa, 41,24 MPa, 41,24 MPa 45,81 MPa, 34,04 MPa 37,48 MPa, 44,79 MPa ve 29,88 MPa olarak elde edilmiştir. Süper absorban polimer ikamesi ile elde ilen 7 günlük kür sonuçları ise 26,56 MPa, 36,68 MPa, 49,36 MPa, 45,24 MPa 46,16 MPa, 36,44 MPa, 24,25 MPa ve 38,73 MPa olarak elde edilmiştir.

Yapılan ilk deneyde tabloda görülen 8 adet numune basınç testine tabi tutulmuştur. Referans numunesi 1 günlük dayanım olarak 15,06 MPa değerine ulaşmış olup bu numuneler arasında 1 günlük maksimum dayanımı elde eden HS kodlu (Pomza + SAP) numunedir ve dayanımı 21,75 MPa olarak ölçülmüştür. 7 Günlük dayanımlarda ise H kodlu (pomza) numune 25,94 MPa değerine ulaşarak deneyin en yüksek dayanımını vermiştir. Bu veriler ışığında pomza katkılı numunelerin dayanıma olan katkısı görülmüş olup ikinci deney tasarımı yapılmıştır. İkinci deneyde ise pomza, SAP ve süper akışkanlaştırıcı gibi malzemeler üzerinde durulup deney tasarımı buna göre yapılmıştır (Tablo 2.).

İkinci deneyde tasarlanan 4 adet numuneden 1 günlük dayanımda en yüksek değer olan 28,72 MPa hem HS hem de HSKK numunesi ulaşmıştır. 7 Günlük dayanımda ise en yüksek değer olan 35,09 MPa HKK numunesi ulaşmıştır.

Yapılan iki deney tasarımından elde edilen sonuçlar neticesinde harç tasarımında atık malzemelerin kullanımının artırılması ve içsel kürlenme ile de hem hidrasyonun hem de mineral katkıların kontrollü ve iç kısımlarda tam aktifleşmesini sağlamak amacı ile tamamen atıktan oluşan bir deney tasarımı yapılması uygun görüldü. Gelecekte şimdiki mühendislik uygulamalarının erini alabilecek bu yeni bir akıllı, sürdürülebilir bir yapı

malzemesinin ilk tasarım aşaması Tablo 3. 'te verilmiştir. Bu deney tasarımında tamamen nehir kumu matristen çıkartılmış olup bunun yerine tamamen atık betondan elde edilen geri kazanılmış agrega kullanılmıştır. Her malzemenin ayrı ayrı etkisinin araştırılabilmesi için ayrı ayrı olarak ikameleri ve karıştırılıp harç matrisine ikameleri araştırılmıştır. Deney seti hem havada hem de suda kürlenme ile iki ayrı şekilde ve ayrıca SAP'lı ve SAP'sız olarak test edilmiştir. Toplamda hava da ve suda 16'şar olmak üzere 32 numune ve bir de kontrol numunesi olmak üzere 33 numune basınç testine tabi tutulmuştur. Test sonuçlarında ise 7 günlük dayanımlara bakılmış olup en yüksek dayanımı R60-M40-A kodlu numune 52.56 MPa değerine ulaşarak gelecek vaat etmiştir. Deneydeki en yüksek ikinci dayanıma R60-Rp40-W kodlu numune 49.36 MPa değerine ulaşmıştır. Bu her iki en yüksek dayanım biri tamamen atık mermer tozu ikamesi (R60-M40-A) ve tamamen atık betondan elde edilmiş olan geri kazanılmış agrega ikamesi (R60-Rp40-W) ile elde edilmiştir. Diğer numunelerin birçoğu ise 40 MPa değerini aştığı hem Tablo 6-7 hem de Şekil 3-4'te görülmektedir.

Yapılan tüm deneylere bakıldığında malzeme matrisinde sürekli olarak sürdürülebilirlik için geliştirmeler yapıldığı görülecektir. Birbirinin hem devamı olan hem de gelecekteki sürdürülebilir, akıllı ve yeşil bir yapı malzemesinin literatüre kazandırılması için ön bir çalışma olan bu deneylerin önemi özellikle 3. Deneyde anlaşılmıştır. İlk iki deney tasarımı ve deneyler yapılırken 1 günlük dayanım için 25 MPa ve 7 gün için ise 35 MPa değeri hedefleri belirlenerek tasarlandı. 3. Deney tasarımı ise tamamen atık malzemelerden sürdürülebilir akıllı bir ECC için tüm atıkların etkileri ve ulaşılacak maksimum dayanım hedefleriyle tasarlandı.

Tüm deney tasarımları ve sonuçlarından da görüleceği üzere atıklardan üretilmiş sürdürülebilir, akıllı ve yeşil olan ECC, oluşan/oluşabilecek yapı yıkıntı atıklarını içererek katma değeri yüksek bir hal alacak ve atıktan ürüne geçiş sağlanabilmesi mümkün olabilecektir. Fakat, aydınlatılması gerekli noktalar olduğu için ECC'nin bu perspektifte gelişimini tamamlaması gerekmektedir.

### **3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA**

ECC'nin sürdürülebilir, akıllı bir yapı malzemesine dönüştürülmesi bunun için bir taban olarak kullanılması elde edilen basınç testi sonuçlarından görülmüştür. Halihazırda mevcut yapı stoklarının birçoğunda bile 50 MPa dayanım değerlerinin görülmesi oldukça nadirdir. Bu nedenle betonarme üretimi için doğaya bıraktığımız karbon ayak izimizin azaltılması ve ileride sıfıra indirilmesi için bu çalışma oldukça önem arz etmektedir. Çalışmada ilk aşamada sadece basınç testine tabi tutulan deney tasarımları ileriki çalışmalarda fiber eklenmesi ile eğilme dayanımında da önemli sonuçlar elde edilebilmesi için tasarlanacaktır. Bu sayede literatürde artık tamamen sürdürülebilir, akıllı bir yapı malzemesi olarak yerini alacaktır. İlk 3 deney tasarımının yerine yüzey tepki yöntemi kullanılarak sürdürülebilir, akıllı ve yeşil ECC'nin ulaşılabilecek en yüksek mühendislik gereksinimleri (basınç, eğilme, çekme vb. dayanımları) elde edilecektir.

### **4. FİNANSAL DESTEK BİLGİLENDİRMESİ**

Bu deneysel çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Destek Fonu (BAP) tarafından desteklenmiştir. Yazarlar, projeye verdikleri finansal destekten dolayı Bilimsel Araştırma Koordinasyon Birimi (BAPK)'ne en içten şükranlarını sunarlar (Proje numarası: **FBA-2023-10501**).

## KAYNAKÇA

- Z. Zhang, S. Qian, Influence of crumb rubber... - Google Akademik. (n.d.). Retrieved 22 January 2023, from [https://scholar.google.com/scholar?hl=tr&as\\_sdt=0%2C5&q=15.%09Z.+Zhang%2C+S.+Qian%2C+Influence+of+crumb+rubber+on+the+mechanical+behavior+of+engineering+cementitious+composites%2C+VIII+International+Conference+on+FractureMechanics+of+Concrete+and+Concrete+Structures+FramCOS-8+Toledo+%28Spain%29+Proceedings%2C+2013&btnG=](https://scholar.google.com/scholar?hl=tr&as_sdt=0%2C5&q=15.%09Z.+Zhang%2C+S.+Qian%2C+Influence+of+crumb+rubber+on+the+mechanical+behavior+of+engineering+cementitious+composites%2C+VIII+International+Conference+on+FractureMechanics+of+Concrete+and+Concrete+Structures+FramCOS-8+Toledo+%28Spain%29+Proceedings%2C+2013&btnG=)
- Afey, H. M. E. D., & Mahmoud, M. H. (2014). Structural performance of RC slabs provided by pre-cast ECC strips in tension cover zone. *Construction and Building Materials*, 65, 103–113. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.04.096>
- Al-Gemeel, Ali N., Zhuge, Y., & Youssf, O. (2019). Experimental Investigation Of Basalt Textile Reinforced Engineered Cementitious Composite Under Apparent Hoop Tensile Loading. *Journal of Building Engineering*, 23, 270–279. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2019.01.037>
- Al-Gemeel, Ali Nassir, & Zhuge, Y. (2019). Using textile reinforced engineered cementitious composite for concrete columns confinement. *Composite Structures*, 210, 695–706. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2018.11.093>
- Ali, M. A. E. M., Soliman, A. M., & Nehdi, M. L. (2017). Hybrid-fiber reinforced engineered cementitious composite under tensile and impact loading. *Materials and Design*, 117, 139–149. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2016.12.047>
- Azmi Megat Johari, M., Hashim, Sf., Altwair, N. M., Megat Johari, M., & Saiyid Hashim, S. (2013). Flexural performance of green engineered cementitious composites containing high volume of palm oil fuel ash. *Elsevier*. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1680/adcr.11.00056>



- Bell, J., Zhang, Y. X., Soe, K., & Hermes, P. (2012). High velocity impact behaviour of hybrid-fiber engineered cementitious composite panels. *Advanced Materials Research*, 450–451, 563–567. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMR.450-451.563>
- Bülent Baradan, Halit Yazıcı, & Serdar Ayd. (2015). *BETON*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fak.
- Chen, Z., Yang, Y., & Yao, Y. (2012). Impact properties of engineered cementitious composites with high volume fly ash using SHPB test. *Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition*, 27(3), 590–596. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1007/S11595-012-0511-6>
- Chung, K. L., Ghannam, M., & Zhang, C. (2018). Effect of Specimen Shapes on Compressive Strength of Engineered Cementitious Composites (ECCs) with Different Values of Water-to-Binder Ratio and PVA Fiber. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(4), 1825–1837. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1007/S13369-017-2776-8>
- Composites, T. E.-C. and C., & 2014, undefined. (2014). Specimen size effect on the residual properties of engineered cementitious composites subjected to high temperatures. *Elsevier*, 45, 1–8. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.09.019>
- Deng, H. (2018). Utilization of Local Ingredients for the Production of High-Early-Strength Engineered Cementitious Composites. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1155/2018/8159869>
- Felekoglu, B., Tosun-Felekoglu, K., ... R. R.-C. P. B., & 2014, undefined. (n.d.). Influence of matrix flowability, fiber mixing procedure, and curing conditions on the mechanical performance of HTPP-ECC. *Elsevier*. Retrieved 22 January 2023 from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836813008068>
- Fischer, G., & Li, V. C. (2002a). Effect of matrix ductility on deformation behavior of steel Reinforced ECC flexural members under reversed

- cyclic loading conditions. *ACI Structural Journal*, 99(6), 781–790. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.14359/12343>
- Fischer, G., & Li, V. C. (2002b). Influence of matrix ductility on tension-stiffening behavior of steel reinforced engineered cementitious composites (ECC). *ACI Structural Journal*, 99(1), 104–111. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.14359/11041>
- Gençtürk, B., Engineering, F. H.-C. J. of C., & 2015, undefined. (2015). Evaluation of reinforced concrete and reinforced engineered cementitious composite (ECC) members and structures using small-scale testing. *Cdnsciencepub.Com*, 42(3), 164–177. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1139/cjce-2013-0445>
- Huang, T, Structural, Y. Z.-S. S. in, & 2014, undefined. (2014). Mechanical properties of a PVA fiber reinforced engineered cementitious composite. *Scholar.Archive.Org*. Retrieved 22 January 2023 from [https://scholar.archive.org/work/dqwhld7nqbhe5kzfsbyrbjxxiq/access/wayback/https://www.isec-society.org/ISEC\\_PRESS/ASEA-SEC\\_02/pdf/M-6\\_v4\\_46.pdf](https://scholar.archive.org/work/dqwhld7nqbhe5kzfsbyrbjxxiq/access/wayback/https://www.isec-society.org/ISEC_PRESS/ASEA-SEC_02/pdf/M-6_v4_46.pdf)
- Huang, Ting, Zhang, Y. X., Lo, S. R., & Lee, C. K. (2017). Experimental study on crack bridging in engineered cementitious composites under fatigue tensile loading. *Construction and Building Materials*, 154, 167–175. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.07.193>
- Huang, X., Ranade, R., Ni, W., & Li, V. C. (2013). On the use of recycled tire rubber to develop low E-modulus ECC for durable concrete repairs. *Construction and Building Materials*, 46, 134–141. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.04.027>
- Huang, X., Ranade, R., Zhang, Q., Ni, W., & Li, V. C. (2013). Mechanical and thermal properties of green lightweight engineered cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 48, 954–960. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.07.104>
- Kamada, T., & Li, V. C. (2000a). Effects of surface preparation on the fracture behavior of ECC/concrete repair system. *Cement and*

- Concrete Composites*, 22(6), 423–431. Retrieved 22 January 2023 from [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00042-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00042-1)
- Kamada, T., & Li, V. C. (2000b). Effects of surface preparation on the fracture behavior of ECC/concrete repair system. *Cement and Concrete Composites*, 22(6), 423–431. Retrieved 22 January 2023 from [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(00\)00042-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(00)00042-1)
- Kan, L. L., & Shi, H. S. (2012). Investigation of self-healing behavior of Engineered Cementitious Composites (ECC) materials. *Construction and Building Materials*, 29, 348–356. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.10.051>
- Kawamata, A., Mihashi, H., & Fukuyama, H. (2003). Properties of Hybrid Fiber Reinforced Cement - based Composites. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(3), 283–290. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.3151/JACT.1.283>
- Keoleian, G. A., Kendall, A., Dettling, J. E., Smith, V. M., Richard, ;, Chandler, F., ... Li, V. C. (n.d.). Life cycle modeling of concrete bridge design: Comparison of engineered cementitious composite link slabs and conventional steel expansion joints. *Ascelibrary.Org*. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1061/ASCE1076-0342200511:151>
- Kim, Y., Fischer, G., Lim, Y., Journal, V. L.-M., & 2004, undefined. (2004). Mechanical performance of sprayed engineered cementitious composite using wet-mix shotcreting process for repair applications. *Researchgate.Net*. Retrieved 22 January 2023 from [https://www.researchgate.net/profile/Yun-Lim/publication/242367396\\_Mechanical\\_Performance\\_of\\_Sprayed\\_Engineered\\_Cementitious\\_Composite\\_Using\\_Wet-Mix\\_Shotcreting\\_Process\\_for\\_Repair\\_Applications/links/0deec52d540cd8a7f5000000/Mechanical-Performance-of-Sprayed-Engineered-Cementitious-Composite-Using-Wet-Mix-Shotcreting-Process-for-Repair-Applications.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Yun-Lim/publication/242367396_Mechanical_Performance_of_Sprayed_Engineered_Cementitious_Composite_Using_Wet-Mix_Shotcreting_Process_for_Repair_Applications/links/0deec52d540cd8a7f5000000/Mechanical-Performance-of-Sprayed-Engineered-Cementitious-Composite-Using-Wet-Mix-Shotcreting-Process-for-Repair-Applications.pdf)
- Lawler, J. S., Zampini, D., & Shah, S. P. (2005). Microfiber and Macrofiber Hybrid Fiber-Reinforced Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 17(5), 595–604. Retrieved 22 January 2023 from [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2005\)17:5\(595\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2005)17:5(595))

- Lepech, M. D., & Li, V. C. (2009a). Application of ECC for bridge deck link slabs. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 42(9), 1185–1195. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1617/S11527-009-9544-5>
- Lepech, M. D., & Li, V. C. (2009b). Water permeability of engineered cementitious composites. *Cement and Concrete Composites*, 31(10), 744–753. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2009.07.002>
- Leung, C., Cheung, Y., Research, J. Z.-C. and C., & 2007, undefined. (n.d.). Fatigue enhancement of concrete beam with ECC layer. *Elsevier*. Retrieved 22 January 2023 from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884607000373>
- Li, J., Composites, E. Y.-C. and C., & 2017, undefined. (2017). Macroscopic and microstructural properties of engineered cementitious composites incorporating recycled concrete fines. *Elsevier*, 78, 33–42. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.12.013>
- Li, J., & Zhang, Y. X. (2011). Evolution and calibration of a numerical model for modelling of hybrid-fibre ECC panels under high-velocity impact. *Composite Structures*, 93(11), 2714–2722. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2011.05.033>
- Li, M., & Li, V. C. (2014). Behavior of ECC/Concrete Layered Repair System Under Drying Shrinkage Conditions / Das Verhalten eines geschichteten Instandsetzungssystems aus ECC und Beton unter der Einwirkung von Trocknungsschwinden. *Restoration of Buildings and Monuments*, 12(2), 143–160. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1515/RBM-2006-6040>
- Li, M., structures, V. L.-M. and, & 2013, undefined. (2013). Rheology, fiber dispersion, and robust properties of engineered cementitious composites. *Springer*, 46(3), 405–420. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9909-z>
- Li, V. C., & Kanda, T. (1998a). INNOVATIONS FORUM: Engineered Cementitious Composites for Structural Applications. *Journal of*

- Materials in Civil Engineering*, 10(2), 66–69. Retrieved 22 January 2023 from [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1998\)10:2\(66\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1998)10:2(66))
- Li, V. C., & Kanda, T. (1998b). INNOVATIONS FORUM: Engineered Cementitious Composites for Structural Applications. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 10(2), 66–69. Retrieved 22 January 2023 from [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1998\)10:2\(66\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1998)10:2(66))
- Liu, H., Zhang, Q., Li, V., Su, H., & Gu, C. (2017). Durability study on engineered cementitious composites (ECC) under sulfate and chloride environment. *Construction and Building Materials*, 133, 171–181. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.12.074>
- Lu, C., Li, V. C., & Leung, C. K. Y. (2018). Flaw characterization and correlation with cracking strength in Engineered Cementitious Composites (ECC). *Cement and Concrete Research*, 107, 64–74. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2018.02.024>
- Maalej, M., Quek, S. T., & Zhang, J. (2005). Behavior of Hybrid-Fiber Engineered Cementitious Composites Subjected to Dynamic Tensile Loading and Projectile Impact. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 17(2), 143–152. Retrieved 22 January 2023 from [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2005\)17:2\(143\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2005)17:2(143))
- Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., ... (2015). فاطمی, ح. Parametric Study on BENDABLE Concrete. *International Journal for Scientific Research and Development*, 3(4), 1494–1497. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- Mechtcherine, V., Wyrzykowski, M., Schröfl, C., Snoeck, D., Lura, P., De Belie, N., ... Igarashi, S. I. (2021). Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction—update of RILEM state-of-the-art report. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 54(2). Retrieved 23 January 2023 from <https://doi.org/10.1617/S11527-021-01668-Z>
- Meng, D, Huang, T., Zhang, Y., Materials, C. L.-C. and B., & 2017, undefined. (n.d.). Mechanical behaviour of a polyvinyl alcohol fibre reinforced engineered cementitious composite (PVA-ECC) using

- local ingredients. *Elsevier*. Retrieved 22 January 2023 from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061817303628>
- Meng, Dan, Lee, C. K., & Zhang, Y. X. (2017). Flexural and shear behaviours of plain and reinforced polyvinyl alcohol-engineered cementitious composite beams. *Engineering Structures*, 151, 261–272. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2017.08.036>
- Merchant, B., Engineering, A. G.-I. J. of, & 2015, undefined. (2015). Evaluation of engineering cementitious composites (ECC) with different percentage of fibers. *Researchgate.Net*. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.17577/IJERTV4IS060084>
- Mohammed, B. S., Khed, V. C., & Liew, M. S. (2018). Optimization of hybrid fibres in engineered cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 190, 24–37. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.08.188>
- Monuments, V. L.-R. of B. and, & 2003, undefined. (2003). Durable Overlay Systems with Engineered Cementitious Composites (ECC)/Dauerhafte Beschichtungssysteme aus technisch entwickelten zementgebundenen. *Degruyter.Com*, 9(2), 1–20. Retrieved 22 January 2023 from <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/rbm-2003-5759/html>
- Paegle, I., Composites, G. F.-C. and C., & 2016, undefined. (2016). Phenomenological interpretation of the shear behavior of reinforced engineered cementitious composite beams. *Elsevier*, 22, 2023. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.07.018>
- Pakravan, H. R., Jamshidi, M., & Latifi, M. (2016). The effect of hybridization and geometry of polypropylene fibers on engineered cementitious composites reinforced by polyvinyl alcohol fibers. *Journal of Composite Materials*, 50(8), 1007–1020. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1177/0021998315586078>
- Pan, Z., Wu, C., Liu, J., Wang, W., & Liu, J. (2015). Study on mechanical properties of cost-effective polyvinyl alcohol engineered cementitious composites (PVA-ECC). *Construction and Building Materials*, 78,

- 397–404. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.12.071>
- Qiu, J., Research, E. Y.-C. and C., & 2017, undefined. (2017). Micromechanics-based investigation of fatigue deterioration of engineered cementitious composite (ECC). *Elsevier*, 95, 65–74. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.029>
- Qudah, S., & Maalej, M. (2014). Application of Engineered Cementitious Composites (ECC) in interior beam-column connections for enhanced seismic resistance. *Engineering Structures*, 69, 235–245. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2014.03.026>
- Rana, M. M., Lee, C. K., Al-Deen, S., & Zhang, Y. X. (2018). Flexural behaviour of steel composite beams encased by engineered cementitious composites. *Journal of Constructional Steel Research*, 143, 279–290. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.JCSR.2018.01.004>
- Ranade, R, Zhang, J., Lynch, J., Research, V. L.-C. and C., & 2014, undefined. (2016). Influence of micro-cracking on the composite resistivity of engineered cementitious composites. *Elsevier*. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.05.016>
- Ranade, Ravi, Li, V., Huang, X., Ranade, ; Ravi, Li, V. C., & Asce, F. (2013). Feasibility study of developing green ECC using iron ore tailings powder as cement replacement. *Researchgate.Net*, 25(7), 923–931. Retrieved 22 January 2023 from [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000674](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000674)
- Sahmaran, M., Lachemi, M., Hossain, K. M. A., Ranade, R., & Li, V. C. (2009). Influence of aggregate type and size on ductility and mechanical properties of engineered cementitious composites. *ACI Materials Journal*, 106(3), 308–316. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.14359/56556>
- Şahmaran, M, Özbay, E., ... H. Y.-J. of materials, & 2011, undefined. (n.d.). Effect of fly ash and PVA fiber on microstructural damage and residual properties of engineered cementitious composites exposed to

- high temperatures. *Acemrl.Engin.Umich.Edu*. Retrieved 22 January 2023 from <http://acemrl.engin.umich.edu/wp-content/uploads/sites/412/2018/10/Effect-of-Fly-Ash-and-PVA-Fiber-on-Microstructural-Damage-and-Residual-Properties-of-Engineered-Cementitious-Composites-Exposed-to-High-Temperatures.pdf>
- Şahmaran, M, Özbay, E., Yücel, H., Composites, M. L.-... C., & 2012, undefined. (n.d.). Frost resistance and microstructure of Engineered Cementitious Composites: Influence of fly ash and micro poly-vinyl-alcohol fiber. *Elsevier*. Retrieved 22 January 2023 from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946511001880>
- Şahmaran, Mustafa, Lachemi, M., Hossain, K. M. A., & Li, V. C. (2009). Internal curing of engineered cementitious composites for prevention of early age autogenous shrinkage cracking. *Cement and Concrete Research*, 39(10), 893–901. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2009.07.006>
- Şahmaran, Mustafa, & Li, V. C. (2009). Durability properties of micro-cracked ECC containing high volumes fly ash. *Cement and Concrete Research*, 39(11), 1033–1043. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2009.07.009>
- Said, S. H., & Abdul Razak, H. (2016). Structural behavior of RC engineered cementitious composite (ECC) exterior beam-column joints under reversed cyclic loading. *Construction and Building Materials*, 107, 226–234. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.01.001>
- Said, S. H., & Razak, H. A. (2015). The effect of synthetic polyethylene fiber on the strain hardening behavior of engineered cementitious composite (ECC). *Materials and Design*, 86, 447–457. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2015.07.125>
- Said, S. H., Razak, H. A., & Othman, I. (2015a). Flexural behavior of engineered cementitious composite (ECC) slabs with polyvinyl alcohol fibers. *Construction and Building Materials*, 75, 176–188. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.10.036>



- Said, S. H., Razak, H. A., & Othman, I. (2015b). Strength and deformation characteristics of engineered cementitious composite slabs with different polymer fibres. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 34(23), 1950–1962. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1177/0731684415607393>
- Sasmal, S., & Avinash, G. (2016). Investigations on mechanical performance of cementitious composites micro-engineered with poly vinyl alcohol fibers. *Construction and Building Materials*, 128, 136–147. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.10.025>
- Shang, X. Y., & Lu, Z. D. (2015). Mechanical properties of engineered cementitious composites exposed to elevated temperatures. *Cailiao Rechuli Xuebao/Transactions of Materials and Heat Treatment*, 36(5), 24–28. Retrieved 22 January 2023 from [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001241](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001241)
- Singh, M., Saini, B., Engineering, H. C.-J. of B., & 2019, undefined. (n.d.-a). Performance and composition analysis of engineered cementitious composite (ECC)–A review. *Elsevier*. Retrieved 22 January 2023 from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219302748>
- Singh, M., Saini, B., Engineering, H. C.-J. of B., & 2019, undefined. (n.d.-b). Performance and composition analysis of engineered cementitious composite (ECC)–A review. *Elsevier*. Retrieved 22 January 2023 from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219302748>
- Singh, S., ... P. M.-J. of engineering, & 2015, undefined. (n.d.). Strengthening of masonry beam with ECC as bed joint. *Jestec.Taylor's.Edu.My*. Retrieved 22 January 2023 from [http://jestec.taylor's.edu.my/Special%20Issue%20ACEE%202015/UT\\_M\\_ACEE\\_029-039.pdf](http://jestec.taylor's.edu.my/Special%20Issue%20ACEE%202015/UT_M_ACEE_029-039.pdf)
- Soe, K. T., Zhang, Y. X., & Zhang, L. C. (2013a). Impact resistance of hybrid-fiber engineered cementitious composite panels. *Composite*

- Structures*, 104, 320–330. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2013.01.029>
- Soe, K. T., Zhang, Y. X., & Zhang, L. C. (2013b). Material properties of a new hybrid fibre-reinforced engineered cementitious composite. *Construction and Building Materials*, 43, 399–407. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.02.021>
- Tian, H., & Zhang, Y. X. (2016). The influence of bagasse fibre and fly ash on the long-term properties of green cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 111, 237–250. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.02.103>
- Tian, H., & Zhang, Y. X. (2017). Ageing effect on tensile and shrinkage behaviour of new green hybrid fibre-reinforced cementitious composites. *Cement and Concrete Composites*, 75, 38–50. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2016.11.005>
- Tian, H., Zhang, Y. X., Ye, L., & Yang, C. (2015). Mechanical behaviours of green hybrid fibre-reinforced cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 95, 152–163. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.07.143>
- Tosun-Felekoğlu, K., Felekoğlu, B., Ranade, R., Lee, B. Y., & Li, V. C. (2014). The role of flaw size and fiber distribution on tensile ductility of PVA-ECC. *Composites Part B: Engineering*, 56, 536–545. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.COMPOSITESB.2013.08.089>
- Turhan Y. Erdoğan. (2003). *BETON*. ANKARA: ODTÜ.
- Wang, Q., Yi, Y., Ma, G., Composites, H. L.-C. and C., & 2019, undefined. (n.d.). Hybrid effects of steel fibers, basalt fibers and calcium sulfate on mechanical performance of PVA-ECC containing high-volume fly ash. *Elsevier*. Retrieved 22 January 2023 from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946518308655>

- Wang, S., & Li, V. C. (2006). High-early-strength engineered cementitious composites. *ACI Materials Journal*, 103(2), 97–105. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.14359/15260>
- Wang, S., & Li, V. C. (2007). Engineered cementitious composites with high-volume fly ash. *ACI Materials Journal*, 104(3), 233–241. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.14359/18668>
- Yaltay, N., Dergisi, C. E.-U. T. B., & 2013, undefined. (2013). KOLEMANİT KATKILI VE POMZA AGREGALI HAFİF BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ALTINDAKİ BASINÇ MUKAVEMETİ ÖZELLİĞİNİN TAHRİBATSIZ YÖNTEMLE. *Dergipark.Org.Tr*, 30(2), 30–41. Retrieved 22 January 2023 from <https://dergipark.org.tr/en/pub/utbd/issue/26208/275921>
- Yang, E. H., Yang, Y., & Li, V. C. (2007). Use of high volumes of fly ash to improve ECC mechanical properties and material greenness. *ACI Materials Journal*, 104(6), 620–628. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.14359/18966>
- Yang, Y., Lepech, M. D., Yang, E. H., & Li, V. C. (2009). Autogenous healing of engineered cementitious composites under wet-dry cycles. *Cement and Concrete Research*, 39(5), 382–390. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2009.01.013>
- Yang, Y., Yang, E. H., & Li, V. C. (2011). Autogenous healing of engineered cementitious composites at early age. *Cement and Concrete Research*, 41(2), 176–183. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2010.11.002>
- Yu, K., Wang, Y., Yu, J., & Xu, S. (2017). A strain-hardening cementitious composites with the tensile capacity up to 8%. *Construction and Building Materials*, 137, 410–419. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.01.060>
- Yuan, F., Pan, J., Asce, A. M., Dong, ; Luoting, Leung, C. K. Y., & Asce, F. (2014). Mechanical behaviors of steel reinforced ECC or ECC/concrete composite beams under reversed cyclic loading. *Researchgate.Net*, 26(8). Retrieved 22 January 2023 from [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000935](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000935)

- Yuan, F., Pan, J., Asce, A. M., Leung, C. K. Y., & Asce, F. (2013). Flexural behaviors of ECC and concrete/ECC composite beams reinforced with basalt fiber-reinforced polymer. *Researchgate.Net*, 17(5), 591–602. Retrieved 22 January 2023 from [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0000381](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000381)
- Zhang, J, Leung, C., technology, Y. C.-C. science and, & 2006, undefined. (2006). Flexural performance of layered ECC-concrete composite beam. *Elsevier*, 66(11–12), 1501–1512. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.11.024>
- Zhang, Jun, Gong, C., Guo, Z., & Zhang, M. (2009). Engineered cementitious composite with characteristic of low drying shrinkage. *Cement and Concrete Research*, 39(4), 303–312. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2008.11.012>
- Zhang, Jun, Li, V. C., Asce, F., Nowak, A. S., & Wang, S. (2002). Introducing ductile strip for durability enhancement of concrete slabs. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1061/ASCE0899-1561200214:3253>
- Zhang, Z., Qian, S., & Ma, H. (2014). Investigating mechanical properties and self-healing behavior of micro-cracked ECC with different volume of fly ash. *Construction and Building Materials*, 52, 17–23. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.11.001>
- Zhou, J., Quian, S., Breugel, K. Van, FramCos-7, G. Y.-P., & 2010, undefined. (n.d.). Engineered cementitious composites with low volume of cementitious materials. *Framcos.Org*. Retrieved 22 January 2023 from <http://framcos.org/FraMCoS-7/13-03.pdf>
- Zhu, Y., Yang, Y., & Yao, Y. (2012). Use of slag to improve mechanical properties of engineered cementitious composites (ECCs) with high volumes of fly ash. *Construction and Building Materials*, 36, 1076–1081. Retrieved 22 January 2023 from <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.04.031>



## BÖLÜM 2

### AYDINLATMA SİSTEMİ HESAPLANMASI ÖRNEK BİR UYGULAMA

Öğr. Gör Taner DİNDAR<sup>1</sup>

Dr. Öğr. Üyesi Kadir YILMAZ<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksek Okulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara, Türkiye, tdindar@ankara.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-4112-2114

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, kayel@kocaeli.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0819-3420



## 1.GİRİŞ

Aydınlatma, insanların var oluşundan beri olan bir ihtiyaçtır. Günümüzde insanın fizyolojik, psikolojik, biyolojik ihtiyaçlarının ve etrafına katmış olduğu bütüncül bir sistemdir. Aydınlatma tasarımı insanların rahat bir ortamda yaşaması ve çalışması açısından önemlidir. Aydınlatmanın iyi bir şekilde sağlanması sağlık açısından önemli olduğu gibi iş kazalarını da minimum seviyede olmasını ve konforu sağlar. Çalışma ortamlarının iyi bir koşul altında olması çalışanların konforu ve verimi açısından önemlidir. [1]. Çalışanların ortamının iyi bir aydınlatma olması durumunda enerji harcaması daha az olmaktadır. Sağlık ve konfor açısından değerlendirilirse aydınlatma, mimari tasarımda önemli bir yer olarak düşünülmelidir [2]. Yapılan çalışmalarda mobilya tasarımı yapılırken aynı zamanda aydınlatmada konfor açısından da değerlendirilmesi gerektiği böylelikle de aydınlatma gereksiniminin çalışma alanlarında önemine değinilmiştir. [4]

## 2.AYDINLATMA TASARIMININ GENEL İLKELERİ

Evler ve çalışma alanlarında verimli bir aydınlatma olması açısından görsel performans koşullarının sağlanması gerekmektedir. Kullanıcının verimli çalışması ve konforu dikkate alınarak iç mimari tasarıma uygun bir şekilde aydınlatma tasarımı yapılmalıdır. Çalışma ortamında bulunan kişilerin yaşı, cinsiyeti ve göz sağlığı gibi fiziksel özellikleri görsel konforu etkilemektedir ve böylece çalışma alanının konfor ve tasarımı da etkilenmektedir [4].

Çalışma alanının aydınlatması konfor koşulları aşağıdaki maddelere bağlıdır;

**Aydınlık düzeyi:** Genellikle lüks (lx) birimi ile ölçülür ve bir yüzeye düşen ışık miktarını belirtir. Aydınlık düzeyi, ortamın aydınlatma koşullarını, konforunu ve görsel algıyı etkileyen önemli bir faktördür [5].

**Işığın rengi:** Aydınlık düzeyi ve ışığın rengi, ortamın atmosferini, ruh halini ve görsel algıyı etkileyen önemli unsurlardır. Hangi tür ışığın kullanılacağı, mekânın amacına ve kullanıcıların ihtiyaçlarına göre seçilir. [6].



Işığın doğrusal yapısı ışığın yayılma yönünü ve davranışını tanımlar. Işık, elektromanyetik dalgalar şeklinde yayılır ve bu dalgaların belirli özellikleri vardır. Doğrusal yapı, ışığın farklı ortamlarda nasıl hareket ettiğini, yansıdığını, kırıldığını ve interferansa neden olduğunu anlamamıza yardımcı olur.

Işıklılık (parıltı): Işıklılık parıltısı, genellikle ışığın bir yüzeye veya ortama düşerek oluşturduğu parlaklık veya ışıma etkisidir. Bu terim, özellikle görsel algı ve ışık kaynaklarının görsel etkileri ile ilgilidir. Işıklılık parıltısı, çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir; göz yanılması, kırılma ve yüzey parıltısı. [9].

### **3. ÇALIŞMA ALANININ AYDINLATMA PARAMETRELERİ**

Aydınlatma hesabı yapılırken odanın boyutları, tavan yüksekliği ve yaşam alanı olarak kullanılacak yerler belirlenmelidir. Aydınlatılacak yere doğru miktarda ışığın sağlanması verimlilik ve güvenlik açısından oldukça önemlidir. Herhangi bir yeri düzgün bir şekilde aydınlatmak için gereken ışık miktarı, uygulamaya göre değişiklik gösterebilir. Aydınlatma ölçümleri, genellikle lüksmetre kullanılarak gerçekleştirilir. Işığın odadaki dağılımını daha iyi anlayabilmek için bazı yüzeylerin aydınlık seviyeleri de lüksmetre ile ölçülmelidir. Bu ölçümlerin, genellikle gündüz saatlerinde aydınlatılan zemin üzerinde yapılması tercih edilir. Elde edilen veriler, detaylı bir rapor halinde düzenlenir. Doğal ışığın yoğunluğu sürekli değiştiği için, dışarıdaki anlık yatay aydınlık seviyesi ile iç mekanlardaki belirlenen noktaların aydınlık seviyeleri arasındaki oran hesaplanmalıdır. [10]

Oda aydınlatmasında çalışma alanı olarak belirlenen yer de önemli bir yere sahiptir. Çalışma alanının okul, ev, işyeri ve depo olması durumuna göre aydınlık şiddeti belirlenir. Aydınlık şiddeti aslında lüks ve lümen ile ifade edilir. Lüks kavramı, bir yüzeye düşen ışık miktarına aydınlanma şiddeti denir ve lüks cinsinden ölçülür. Aydınlanma şiddeti, belirli bir alandaki ışık yoğunluğu olarak tanımlanır. Aslında lümen miktarı ne kadar yüksek ise o kadar iyidir denilebilir.

Yaşam alanını, toplam alanın metrekaresini ve metrekare başına düşecek lümen miktarını bilmek aydınlatma hesabında bize avantaj

sağlayacaktır. Tablo 1’de verilen farklı oda tipleri için aydınlatma seviyesi standartları gösterilmiştir. Aydınlatma yapılacak yaşam alanının belirlenen sabit sayıları vardır ve bunlara göre lamba sayıları hesaplanır.

**Tablo 1.** Aydınlatma seviyesi normları N (lk)

<b>Yaşam alanlarının aydınlatılması</b>	
Günlük odalar	150
Mutfak ve alanları	150
Çalışma, çocuk odaları çocuklar için	200
Kütüphaneler	300
Salon misafir odaları	50
Alışveriş yerleri	300
Spor alanları	150
<b>İdari Bina aydınlatma</b>	
Makam ve çalışma yerleri	300
Mimari proje yerleri	500
<b>Eğitim kurumlarının aydınlatılması</b>	
Öğrencilerin derslik alanları	500
Bilgisayar laboratuvarları	200
Mimari çizim, teknik çizim alanları	500
Eğiticilerin toplanma alanları	300
<b>Otel odalarının aydınlatması</b>	
Ofisler	200
Misafir odaları	150

**Y** – Oda uzunluğunun metre cinsinden değeri

**X** – Oda genişliği metre cinsinden değeri

**Z** – Taban ile Tavan arasındaki mesafe metre cinsinden değeri

**L** – Alandaki lambaların sayısı

**N** – Alanların aydınlatma seviyesi bir metrekare başına

Bu bilgilere dayanılarak bir evin aydınlatma hesabı ve lamba sayısı belirlenmektedir. Oda aydınlatma hesabının temel adımları:

**Oda Boyutlarının Belirlenmesi:** İlk olarak, aydınlatma hesabı için odanın uzunluğu, genişliği ve yüksekliği gibi boyutları belirlenir. Bu ölçümler metrekare cinsinden olmalıdır.

**Kullanım Amacının Belirlenmesi:** Odanın kullanım amacı belirlenmelidir. Örneğin, ofis, oturma odası, okuma köşesi gibi farklı amaçlar farklı ışık seviyeleri gerektirebilir. Tablo 1’de verilen katsayılar kullanılmaktadır.

**Işık Seviyesinin Belirlenmesi:** Belirlenen kullanım amacına göre gerekli ortalama aydınlatma düzeyi belirlenir. Bu genellikle lux (lüks) biriminde ifade edilir. Örneğin, ofislerde 300-500 lux, okuma köşelerinde 500-1000 lux gibi değerler yaygın olarak kabul edilir. Burada kullanılan armatürler verim açısından önemlidir. Led armatür kullanılması maliyeti düşürürken enerji tasarrufunu artıracaktır.

**Aydınlatma Yüksekliğinin Belirlenmesi:** Aydınlatma armatürlerinin monte edileceği yükseklik belirlenmelidir. Bu da odanın tavan yüksekliği ile ilgilidir.

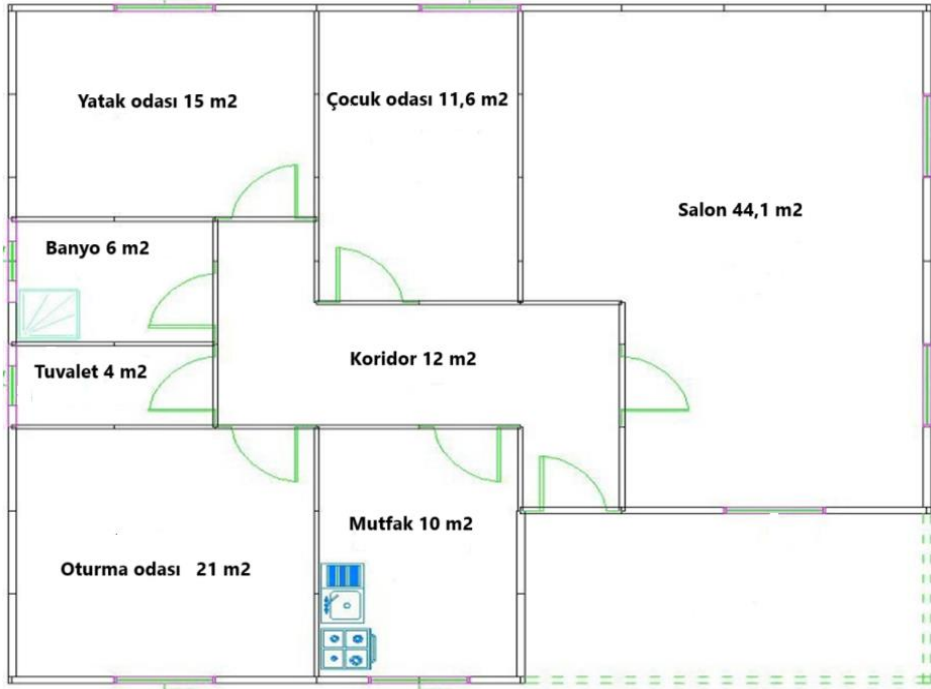
**Aydınlatma Ekipmanlarının Seçimi:** Belirlenen ışık seviyesine ulaşmak için gerekli aydınlatma armatürlerinin ve lambaların tipi, gücü ve sayısı gibi faktörler hesaplanır. LED, floresan veya halojen gibi farklı ışık kaynakları kullanılabilir.

**Hesaplama ve Değerlendirme:** Odanın tam olarak aydınlatılması için gereken toplam ışık gücü ve armatürlerin yerleşimi hesaplanır. Bu adım genellikle matematiksel formüller ve hesap makineleriyle yapılır.

**Uygulama ve Deneme:** Hesaplamalar yapıldıktan sonra, belirlenen aydınlatma düzenlemeleri uygulanabilir ve sonuçlar gözlemlenerek gerekirse ayarlamalar yapılabilir.

### 3.1 ODA AYDINLATMA HESABI ÖRNEK BİR UYGULAMA

Oda aydınlatma hesabı, doğru aydınlatma seviyesine ulaşmak ve enerji verimliliğini artırmak için önemlidir. Bu nedenle, profesyonel bir elektrik mühendisi veya aydınlatma tasarımcısından yardım almak genellikle önerilir. Ayrıca, yerel aydınlatma standartlarına ve yönetmeliklerine uyulması da önemlidir.



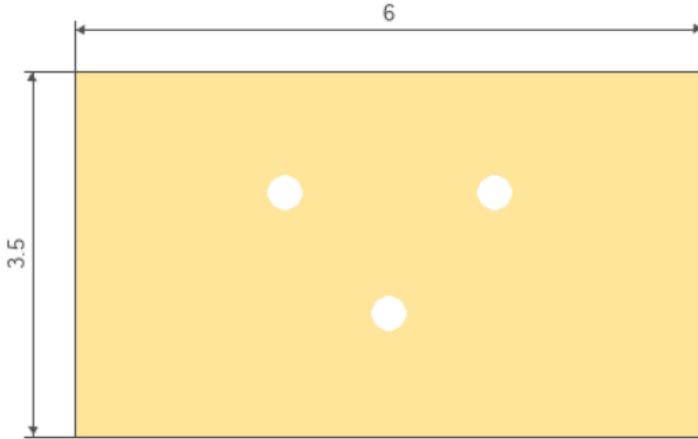
Şekil 1. Örnek bir dairenin yerleşim planı

Yatak odası için aydınlatma hesabı yapıldığında odanın toplam alanı **15** metrekare olup, Gerekli oda aydınlatması 2250 lümen olması gerekmektedir. Bir lambanın ışık akısı **1125** lümen olarak belirlenirse aşağıdaki gibi armatürler belirlenebilir; LED Işık ampuller 2 adet 22 watt, flüoresan lambalar 2 adet 56 watt, veya akkor flamanlı 226 watt gücünde lambalar yerleştirilebilir.



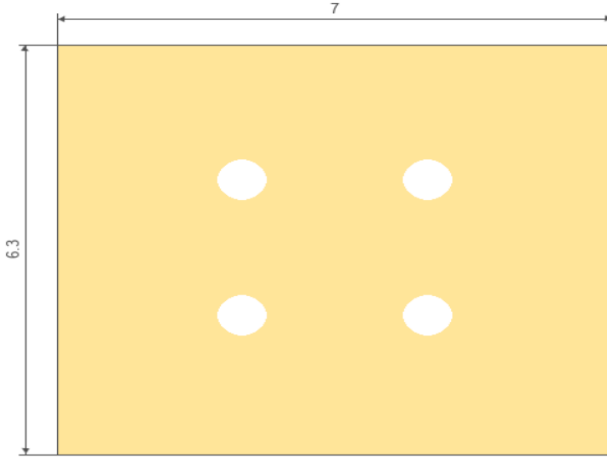
Şekil 2. Yatak odası için lambaların yerleşim planı

Oturma odası için aydınlatma hesabı yapıldığında odanın toplam alanı 21 metrekare olup, Gerekli oda aydınlatması 3150 lümen olması gerekmektedir. Bir lambanın ışık akısı 1050 lümen olarak belirlenirse aşağıdaki gibi armatürler belirlenebilir; LED Işık ampuller 3 adet 33 watt, flüoresan lambalar 3 adet 78 watt, veya akkor flemanlı 315 watt gücünde lambalar yerleştirilebilir.



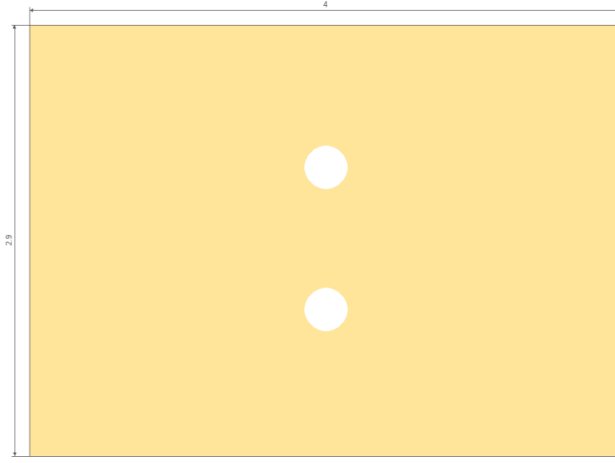
Şekil 3. Oturma odası için lambaların yerleşim planı

Salon için aydınlatma hesabı yapıldığında odanın toplam alanı 44,1 metrekare olup, Gerekli oda aydınlatması 6615 lümen olması gerekmektedir. Bir lambanın ışık akısı 1654 lümen olarak belirlenirse aşağıdaki gibi armatürler belirlenebilir; LED Işık ampuller 4 adet 68 watt, flüoresan lambalar 3 adet 164 watt veya akkor flemenlı 660 watt gücünde lambalar yerleştirilebilir.



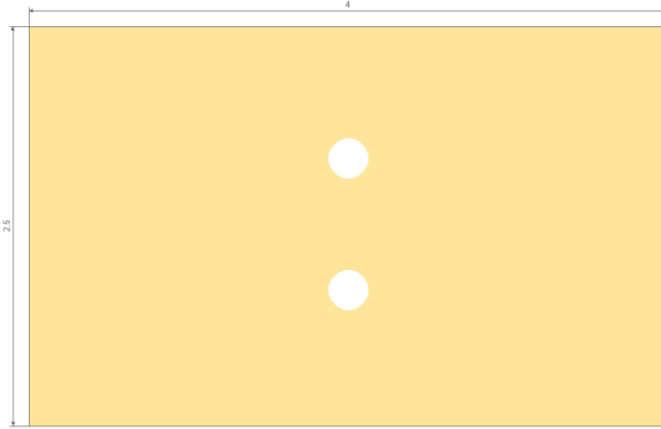
**Şekil 4.** Salon için lambaların yerleşim planı

Çocuk odası için aydınlatma hesabı yapıldığında odanın toplam alanı 11,6 metrekare olup, Gerekli oda aydınlatması 2320 lümen olması gerekmektedir. Bir lambanın ışık akısı 1160 lümen olarak belirlenirse aşağıdaki gibi armatürler belirlenebilir; LED Işık ampuller 2 adet 24 watt, flüoresan lambalar 2 adet 58 watt, veya akkor flemenlı 2 adet 232 watt gücünde lambalar yerleştirilebilir.



**Şekil 5.** Çocuk odası için lambaların yerleşim planı

Mutfak için aydınlatma hesabı yapıldığında odanın toplam alanı 10 metrekare olup, Gerekli oda aydınlatması 1500 lümen olması gerekmektedir. Bir lambanın ışık akısı 750 lümen olarak belirlenirse aşağıdaki gibi armatürler belirlenebilir; LED Işık ampuller 2 adet 16 watt, flüoresan lambalar 2 adet 38 watt, veya akkor flemenlı 2 adet 150 watt gücünde lambalar yerleştirilebilir.



**Şekil 6.** Mutfak için lambaların yerleşim planı

#### 4. SONUÇ

Son zamanlarda, iyi bir aydınlatma hesabı yaparak enerji tasarrufu sağlamak mümkün hale gelmiştir. Bu hesaplamalarda üç farklı tür lamba kullanılmıştır. Odaların metrekare ve lümen değerleri belirlenmiş ve harcanan güç hesaplanmıştır. Çalışmada, yüksek güç tüketen lambaların daha düşük güç tüketen lambalarla değiştirilmesinin, aynı lümen değerinde aydınlatma sağladığı gösterilmiştir. LED lambalar, floresan lambalara kıyasla daha düşük enerji tüketimi nedeniyle maliyet tasarrufu sunmaktadır. Ancak, LED armatürlerinin ilk yatırım maliyeti floresan lambalara göre daha yüksektir. Yine de LED armatürlerin kullanımı, iyi bir aydınlatma sağlarken uzun vadede maliyet açısından avantaj sunacaktır.



## KAYNAKÇA

- [1] Uyan, E., Küçükdoğu, M. Ş., Aydemir, I., 2018. Aydınlatma Kalitesini Belirleyen Psikolojik Parametrelerin Çalışma Alanı Örneğinde İncelenmesi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 17(33), 51-60.
- [2] Özkum, E., 2011. Doğal ve Yapay Aydınlatmanın İnsan Psikolojisi Üzerindeki Etkisi. Marmara Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 140, İstanbul.
- [3] Philips Lighting, 2008. Basics Of Light And Lighting. Philips, 54, N.V
- [4] Çağal Taşdelen, D., 2020. Aydınlatma Tasarımı İlkeleri ve İç Mimari Projelendirme Sürecindeki Yerin Farklı Fonksiyondaki İç Mekân Modelleri Üzerinden Analizi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 269, İstanbul.
- [5] Marangoz, E., 2018. İç Mimaride Aydınlatmanın Tanımı ve Ofis Mekanlarında Aydınlatma Kriterlerinin İncelenmesi. Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56, İstanbul
- [6] Aydınlatma Portalı, 2020b. Doğru Işık Rengi Nasıl Seçilir. Erişim Tarihi: 23.10.2022. <https://www.aydinlatma.org/dogru-isik-rengi-nasil-secilir.html>
- [7] Alkan, İ., 2010. Ofis Mekanlarında Işık ve Renk İlişkisinin Görsel Konfora Etkisi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 125, İstanbul.
- [8] Bayram, F., 2009. Işık ve Aydınlatma: Işığın Televizyon ve Sinemada İşlevsel Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme, Akademia Dergisi, 1(2), 122-131.
- [9] Ünal, A., 2004. Aydınlatma Tasarımı ve Proje Uygulamaları. Birsen Yayınevi, 479, İstanbul.
- [10] Kazanasmaz, Z. T. (2009) Binaların doğal aydınlatma performanslarının değerlendirilmesi, 5. Ulusal Aydınlatma Sempozyumu, 25-36.

## BÖLÜM 3

# BASRA KÖRFEZİ'NDE FAALİYET GÖSTEREN KÜÇÜK SAHİL KONTROL GEMİLERİNDE EKSTREM HAVA KOŞULLARINDA HAVALANDIRMA VE SOĞUTMA UYGULAMALARI

Yük. Müh. Tahir Nezih ÖZDEMİR<sup>1</sup>

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, Balçova- 35330 İzmir, Türkiye.

ORCID NO: 0000-0002-5830-5582 (tezih@gmail.com, +90 532 6167627)

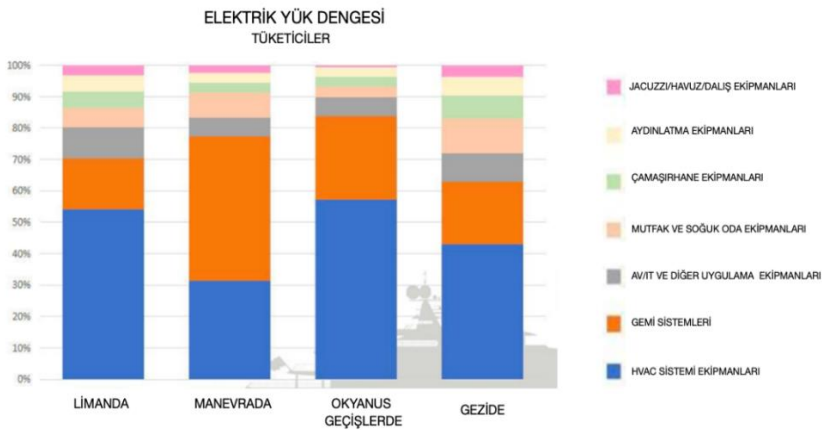
<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, Balçova- 35330 İzmir, Türkiye.

ORCID NO: 0000-0002-9681-680X (turgut.gursel@deu.edu.tr, +90 536 544 2802)



## GİRİŞ

Gemilerdeki HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning, Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) sistemleri gemilerin tipine, ana boyutlarına ve kullanım amacı ile rotasına göre tamamen farklılıklar gösterir. Bu sistemlerin programlandığı şekilde kontrollü ve verimli çalışması hem mürettebatın hem de yolcuların ısıl konforunu sağlamak ve geminin seyir güvenliğini korumak için büyük önem arz etmektedir. Gemilerin HVAC sistemleri, gemilerin genel olarak çalışacağı bölgelerin hava koşullarına göre yani sıcaklık, nem ve diğer iklim özelliklerine uygun olarak tasarlanmak zorundadır. 1960'lı yıllardan günümüze kadar teorik ve deneysel yöntemlerle bir dizi ısıl konfor parametresi belirlenmiştir. İnsanların zamanlarını geçirdiği, yaşadığı ve çalıştığı modern binalarda iklimlendirme bu esaslara göre yapılmaktadır. Fakat, genel olarak gemiler için özel olarak hazırlanmış kapsamlı çalışmalar bulunmamakta, daha ziyade binalar için belirlenen temel prensipler dönüştürülerek gemilerin yaşam mahallerine uygulanmak zorunda kalmaktadır. Genel olarak bir deniz aracının ısıtma, soğutma, havalandırma veya iklimlendirme yükü, enerji üretiminin yaklaşık %10 ila %50'sini tüketir (Şekil 1). Bu yüksek enerji tüketimi, ısıl konfor parametrelerinin kesin olarak belirlenmesi ve bu alandaki etki faktörlerinin elde edilmesiyle etkili oranda azaltılabilir.



**Şekil 1:** 83 m boyundaki bir yatın farklı çalışma koşullarında elektrik tüketimi (Analysis of HVAC Design, 2016)

Bu çalışmanın temel amacı, Basra Körfezi'nde faaliyet göstermek üzere tasarlanan üç farklı tipteki sahil kontrol gemileri için ısı konfor temelli saha ölçümlerini yaparak ve ısı konfor kapsamındaki etki faktörlerini belirleyerek, yapılan soğutma hesaplarının doğruluğunu tespit etmektir. Bu amaçla 5 adet 22 metre, 10 adet 33 metre ve 2 adet 47 metre boya sahip sahil güvenlik gemileri üzerinde fabrika test kabul ölçümleri (Factory Acceptance Testing, FAT), liman test kabul ölçümleri (Harbour Acceptance Testing, HAT) ve seyir test kabul ölçümleri (Site Acceptance Testing, SAT) olmak üzere standartlarda belirtildiği üzere üç grupta ölçümler yapılmış ve elde edilen sonuçlar hesaplama yöntemine göre elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Şekil 2).



**Şekil 2:** 22 metre, 33 metre ve 47 metre boya sahip sahil kontrol gemileri (OMS Marine Projects, 2024)

## 1. MATERYAL VE YÖNTEM

Soğutma yükü analiz ve hesaplamalarında, gemi iç mekanlarını belirli bir sıcaklığa kadar soğutmak için gereken enerji miktarını hesaplamak ve uygun kapasitedeki HVAC sistemlerini belirlemek için kullanılan özel yazılımlar bulunmaktadır. Bu tip yazılımlar, gemilerin inşa malzemesi ve yalıtımları başta olmak üzere birçok konstrüksiyon özelliğini, iklim

koşullarını, iç yapı ve donanım bileşenlerini, aydınlatma, mürettebat ile yolcu ve ekipman gibi bir dizi faktörü göz önünde bulundurarak detaylı hesaplamalar yapmaktadır (ASHRAE, 2024). Bu çalışmada ölçümler; fabrika test ölçümleri (FAT), liman test ölçümleri (HAT) ve seyir test ölçümleri (SAT) olmak üzere üç grupta gerçekleştirilmiştir.

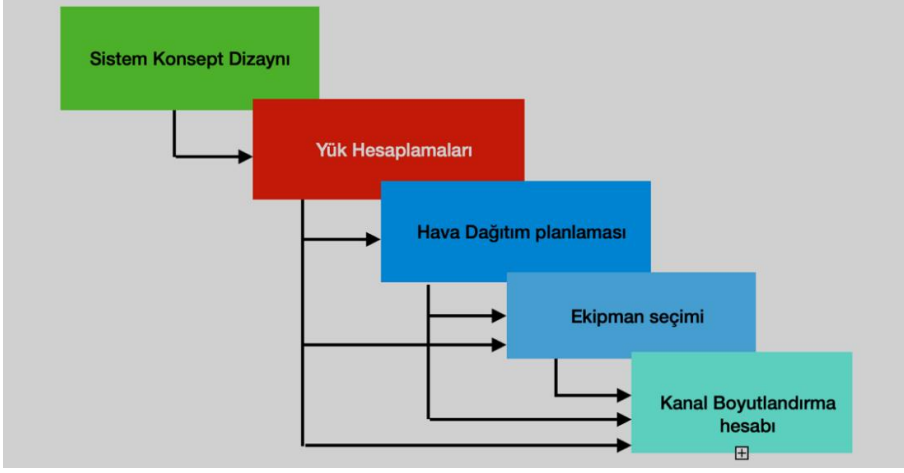
Temel tasarım koşulu olarak iç ortam sıcaklığının 60 dakika içerisinde 50 °C'den 20 °C'ye düşürülmesi şartı, teknik şartname gereği dikkate alınmıştır. Tüm testler hem en geniş yüzey alanına sahip olan, hem de tüm dış etkenlere açık olan kaptan köşkü için gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla teknelerin kaptan köşklerinde, deneyler için 50 °C iç ortam sıcaklığına ulaşıldıktan sonra soğutma prosedürü başlatılmıştır. Ayrıca, kullanılan hesaplama yöntemine göre elde edilen sonuçlar saha ölçümleri ve kontrolleri ile ayrıntılı olarak karşılaştırılmıştır (Aqua Air Cooling Calculations, 2023).

## 2. FARKLI SAHİL KORUMA GEMİLERİ İÇİN HVAC TASARIMLARI

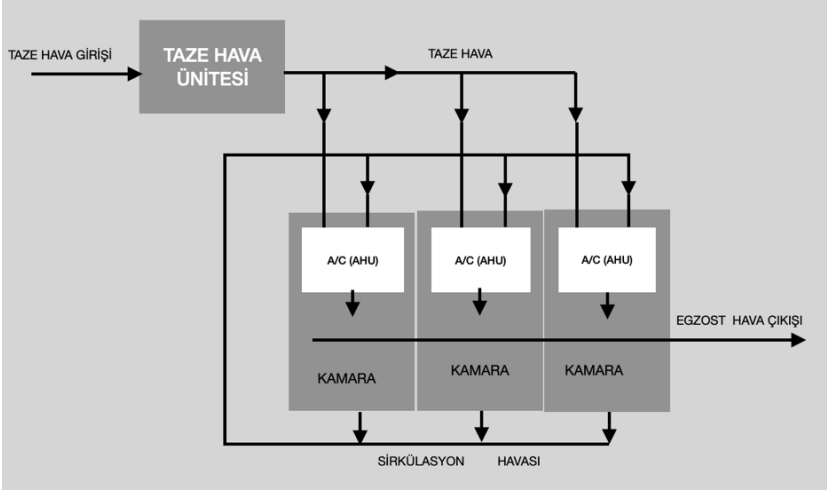
Her gemide, tasarımına, amacına ve gereksinimlerine bağlı olarak farklı HVAC sistem kombinasyonları kullanılır; bu nedenle HVAC sistem tasarımı, istemler ve çevresel koşullara göre yapılacak yük hesaplamalarına göre gerçekleştirildikten sonra diğer teknik detaylar belirlenir (Şekil 2). Bu sistemlerin programlandığı ve planlandığı şekilde verimli çalışması, geminin seyir güvenliği ile iç mekanlarda ısı konforunun sağlanması için kritik öneme sahiptir. Gemilerdeki HVAC sistemleri, gemi tipine, amacına, boyutuna ve çalışma alanlarına göre çeşitlilik gösterir (Şekil 3).

Gemilerde kullanılan yaygın HVAC sistem türleri şunlardır:

- i. Bireysel (Paket tipi) Havalandırma ve İklimlendirme Sistemi: Gemilerde veya diğer iç mekanlarda bireysel kamaralar veya bölmeler için kullanılan bağımsız havalandırma sistemleridir (Şekil 4). Bu üniteler, her kamaranın veya bölmenin hava kalitesini ve konforunu bağımsız olarak kontrol etmeyi amaçlar. Böylece, farklı kişisel tercihlere ve ihtiyaçlara göre özelleştirilmiş bir havalandırma ve iklimlendirme çözümü sunarlar.



Şekil 3: HVAC sistem tasarım aşamaları

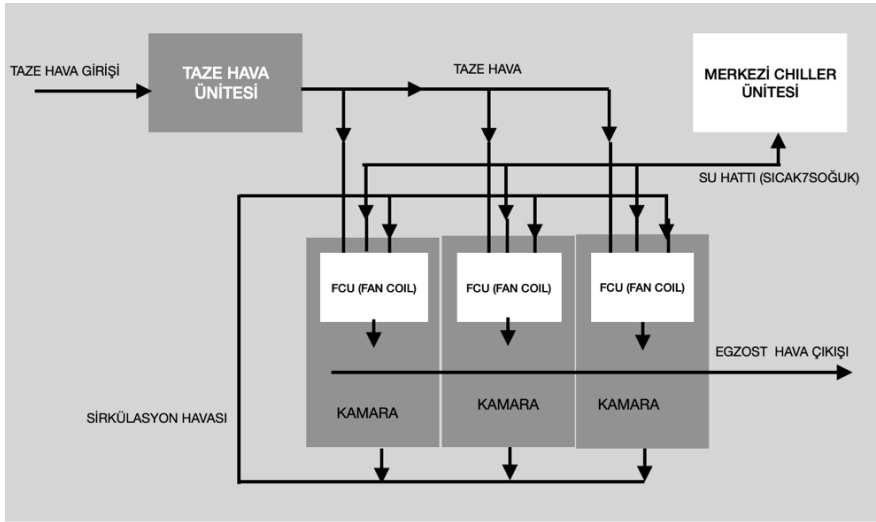


Şekil 4: Paket tipi bireysel havalandırma sistemi

- ii. Merkezi Havalandırma ve Klima Sistemleri: Bu tür sistemler, binanın farklı bölümlerine merkezi bir üniteden hava temini sağlar. Merkezi havalandırma sistemleri, havanın filtrelenmesi, ısıtılması veya soğutulması ve ardından farklı bölgelere dağıtılması işlevini yerine getirir. Bu tür sistemlerde; her bir kamara veya bölme için ayrı havalandırma üniteleri kullanılabileceği gibi (Fan Coil Unit, FCU), ayrıca ana kanallar ile dağıtım yapabilen AHU (Air Handler

Unit) üniteler de kullanılabilir. Merkezi Chiller ünitesi (Central Chiller Unit) ve FCU sistemi, konforu artırırken her kamarada özel hava akışını düzenlemek için kullanılır. Bu yaklaşım, farklı alanların gereksinimlerine daha özelleştirilmiş bir çözüm sunar. Merkezi Chiller Ünite ve AHU sistemi ise, merkezi bir üniteden geminin farklı bölümlerine hava beslemesi sağlar. Merkezi iklimlendirme sistemleri havayı filtreler, ısıtır veya soğutur ve ardından farklı alanlara dağıtır.

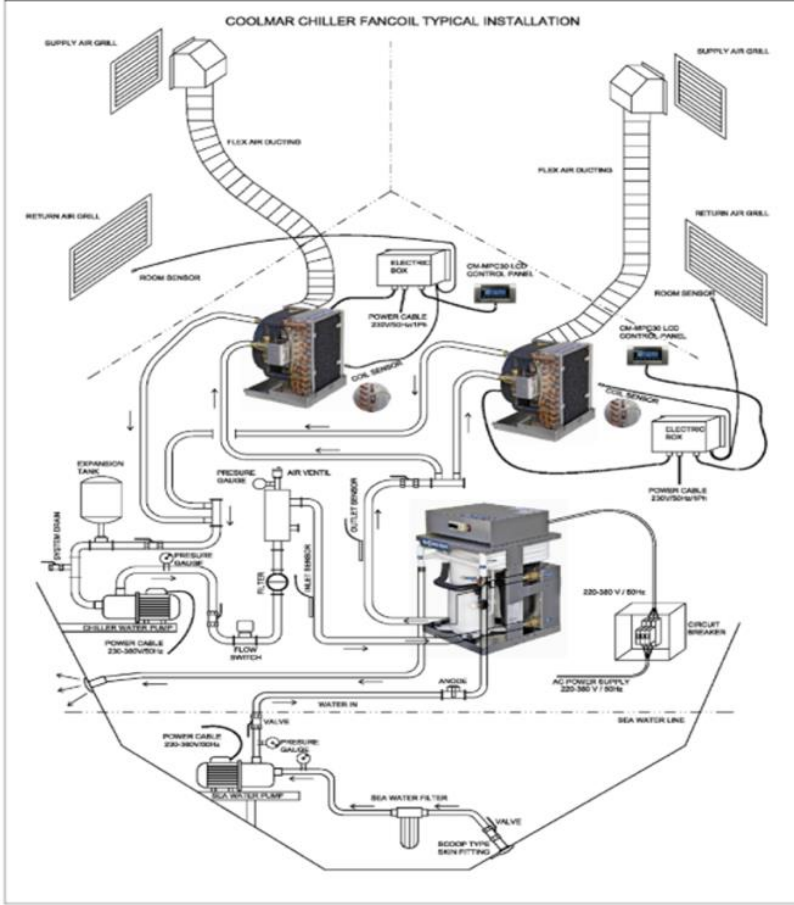
- iii. Merkezi ve FCU Klima Sistemi (Şekil 5): Her kamarada, genellikle fan coil ünitesi (FCU) olarak adlandırılan küçük bir yerel AHU ile donatılmıştır. Temiz hava beslemesi merkezi bir temiz hava ünitesi (Fresh Air Unit-FAU) tarafından sağlanır.



Şekil 5: Merkezi Chiller ve FCU Sistemi

Bu sistemin en büyük avantajı bireysel kontrolün iyi olması ve gemi genelinde küçük hava kanallarına ihtiyaç duyulmasıdır (Şekil 6). Bu sistemin dezavantajı, her kamaranın kendi FCU'su için özel sıcak ve soğuk su kaynağına ihtiyaç duyması ve bunun da daha fazla boru altyapısına neden olmasıdır.

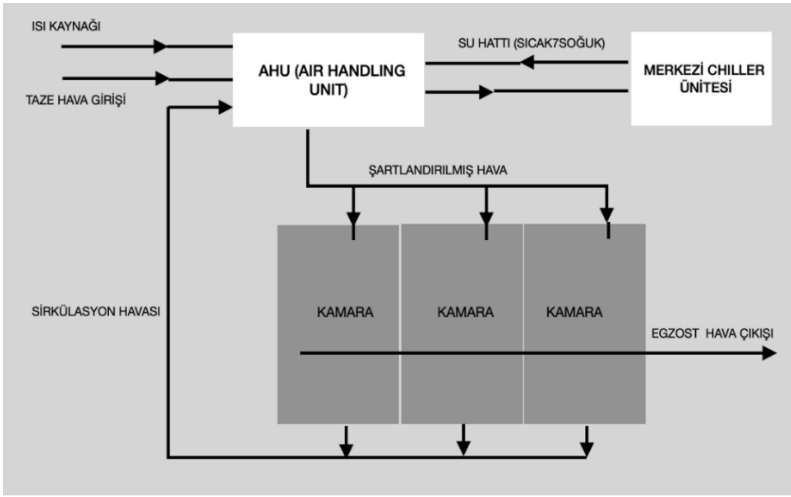




Şekil 6: Chiller ve fancoil sistemi montaj şeması

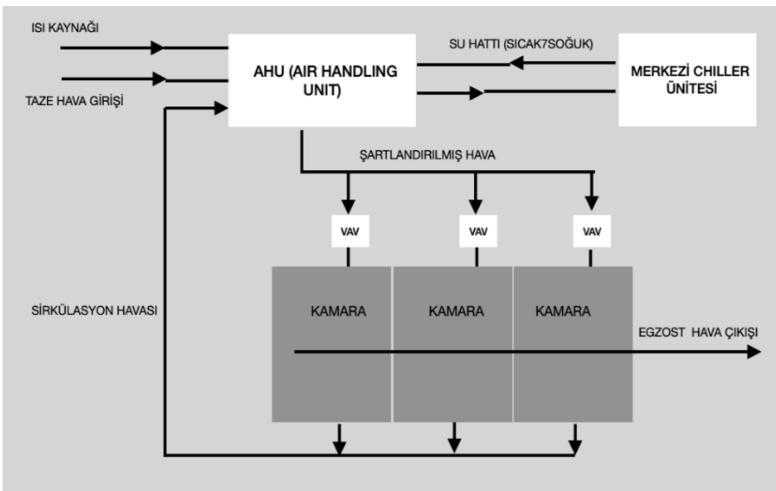
iv. Merkezi ve AHU Kanallı Klima Sistemi: Temel bir merkezi HVAC sistemi Şekil 7'de gösterilmektedir ve aşağıdaki ana bileşenlerden oluşmaktadır:

- Hava işleme ünitesi (AHU)
- Isı kaynağı (elektrikli-sıcak su ısıtıcıları)
- Soğuk su beslemesi (chiller ünitesinden gelen soğutulmuş su)
- Temiz hava beslemesi, kamaralara dağıtımı, egzoz ve sürekli devir için kanal şebekesi



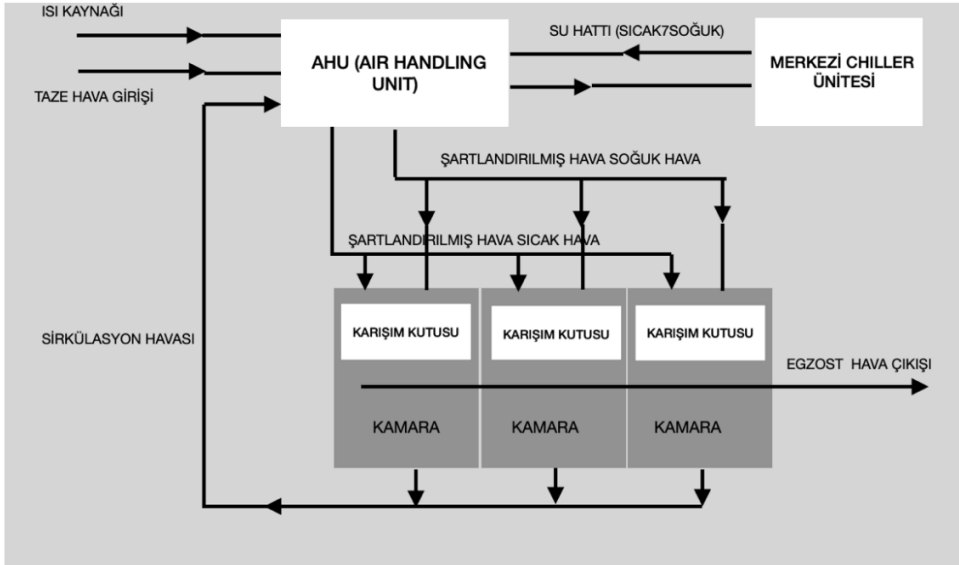
Şekil 7: Soğutma grubu chiller ve AHU Sistemi temel düzeni

Şekil 7'deki merkezi sistem, her kamaranın sıcaklığını kontrol etme olanağından sahip değildir ve bu da kaçınılmaz olarak değişen yerel ısı yükleri nedeniyle farklı kamaralar sıcaklıklarına yol açacaktır. Şekil 8'deki yerel değişken hava hacmi (VAV- Variable Air Volume) kontrollü merkezi HVAC sistemi, her kamaraya sağlanan şartlandırılmış hava miktarını düzenleyebilmekte ve bu havayı bağımsız olarak yeniden iklimlendirebilmektedir.



Şekil 8: VAV kontrollü chiller ve AHU sistemi yerleşimi

- v. Çift Kanal Sistemli Merkezi HVAC Sistemi (Şekil 9): Her kamaraya ayrı bir sıcak ve soğuk hava akımı sağlar ve gerekli hava koşulunu elde etmek için bunları yerel olarak karıştırmayı mümkün kılar. Bu sistem minimum otomatik kontrol gerektirmesi ve yerel ısıtma ve soğutma ekipmanına ihtiyaç göstermemesi avantajına sahiptir. Bu sistemin en büyük dezavantajı, sıcaklığın ve daha da önemlisi nemin hassas bir şekilde kontrol edilememesidir; bu da özellikle yolcu gemisi uygulamalarında bu sistemin kullanılmaması için temel bir nedendir (ASHRAE CH11, 2007).



Şekil 9: Merkezi Sistem, Duo-Kanal düzeni yerleşimi

Genel olarak, daha küçük ve özelleştirilmiş alanlarda chiller ve fan coil sistemleri tercih edilirken, büyük gemiler ve alanlar için genellikle chiller ve AHU sistemlerinin kullanılması temel yaklaşımdır. Bu iki sistem de geminin veya yatın tasarım parametrelerine, kullanım amacı ile enerji gereksinimlerine ve armatörün / yat sahibinin istemlerine göre seçilir (International Association of Classification-IACS, 1978; International Maritime Organization-IMO, 2014).

Bu araştırmada incelenen sahil kontrol gemilerinde, iç mekân konforunu sağlamak ve enerji verimliliğini artırmak için chiller ve fan coil

sistemleri kullanılmış olup, chiller sistemi merkezi soğutma sağlayacak şekilde tasarlanmışken, fan coil birimleri ile bireysel sıcaklık istemlerine göre kamaralar bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir. Tüm bu incelenen sistemler, gemilerin farklı seyir bölgelerine ve kullanım gereksinimlerine göre tasarlanıp uygulanabilmektedir.

### 3. TERMAL KAPASİTE HESAPLAMALARI

Soğutma yükü analizi ve hesaplamaları, gemi iç mekanlarını hedeflenen sıcaklığa kadar soğutmak için gereken enerji yükünü belirlemek ve optimal boyuttaki HVAC sistemlerini saptamak için kullanılan özel yazılımlarla yapılmaktadır. Bu tip yazılımlar, geminin konstrüksiyon özellikleri, iklim koşulları, iç bileşenler, aydınlatma, mürettebat ile yolcu ve ekipman gibi birçok etkeni dikkate alarak ayrıntılı hesaplamalar yapmaktadır (Carrier HAP, 2023; EnergyPlus Engineering Reference, 2023; Det Norske Veritas-Germanischer Lloyd, 2023; IES Virtual Environment Performance, 2023).

Bu çalışmada ölçümler; fabrika test ölçümleri (FAT), liman test ölçümleri (HAT) ve seyir test ölçümleri (SAT) olmak üzere üç grupta gerçekleştirilmiştir. Kullanılan hesaplama yöntemine göre elde edilen sonuçlar saha ölçümleri ve kontrolleri ile karşılaştırılmıştır.

Sahadaki bu test çalışmaları sırasında, gemilerin tüm konstrüksiyon yapısı ile HVAC sistem çalışma verimi ve tüm yalıtımlar incelenmiştir. Tespit edilen eksiklikler ve yetersizlikler gemilerin konstrüksiyon özelliklerine ve HVAC sistem yapılarına göre gruplandırılmış ve bir önlem/çözüm listesi oluşturulmuştur.

### 4. UYGULANAN SİSTEMLERİN ANALİZİ

Bu bölümde Şekil 2’de görülen alüminyum malzeme ile inşa edilmiş sahil kontrol ve devriye botlarının kapasite hesapları sunulmuştur. Bu sahil güvenlik gemilerinin çalışma alanları Umman Denizi ile Basra körfezi olup, çalışma koşulları Tablo 1’de listelenmiştir. Temel tasarım koşulu olarak kabin sıcaklığı 60 dakika içerisinde 50 °C’den 20 °C’ye düşürülmelidir.

**Tablo 1:** Çalışma koşulları ve tasarım şartları

ORTAM SICAKLIĞI	YAZ (°C)	KIŞ (°C)
Kamara Sıcaklığı	22 (Soğutma)	22 (Isıtma)
Dış Ortam Sıcaklığı	50	5
Deniz Suyu Sıcaklığı	35	15

i. Gemi soğutma kapasitesinin hesaplaması

Teknelerin boyları dikkate alındığında ve küçük soğutma alanları (Şekil 10) ve sınırlı mürettebat sayısı (Şekil 11) nedeniyle, soğutma grupları ve fan coillerden oluşan bir HVAC sistemi tasarlanmış ve ekipman buna göre hesaplanmıştır. Buna ek olarak, AHU ve kanallı sistem kurulumu için yeterli yer olmaması, chiller ve fan coil sistemini bu gemiler için en uygun çözümler haline getirmiştir (Trane TRACE, 2023).

**Şekil 10:** Teknik alan için FCU kapasite hesaplaması

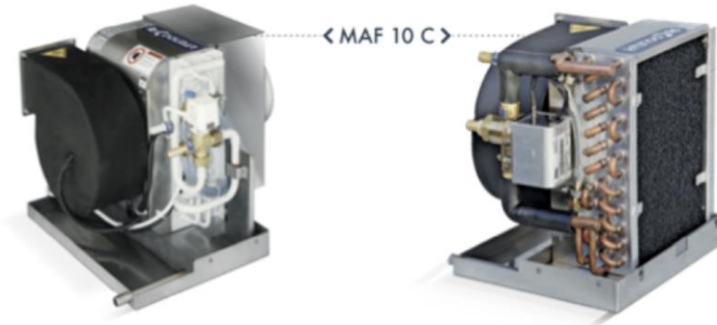
**Şekil 11:** Mürettebat kamarası için FCU kapasite hesaplaması

ii. HVAC sistem ekipmanları

Yük hesaplamalarına (Şekil 10 ve Şekil 11) göre, bu gemiler için HVAC sistem ekipmanları; bir merkezi chiller ünitesi (Şekil 12) ve bunlara bağlı, fan coil (Şekil 13), exproof, 2 adet taze hava ünitesi, 2 adet chiller pompası ve 2 adet deniz suyu pompasından oluşmaktadır.



Şekil 12: Chiller



Şekil 13: Fan Coil üniteleri

## 5. BULGULAR

5 adet 22 metre, 10 adet 33 metre ve 2 adet 47 metre boya sahip sahil güvenlik gemilerinin kaptan köşklerinde elde edilen ölçüm sonuçları sırayla Tablo 2 ve Tablo 3 ile Tablo 4'de ve bu sonuçların dizayn şartı ile karşılaştırma grafikleri de Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16'da verilmiştir. Ölçüm sonuçları incelendiğinde, temel tasarım koşulunun sorunsuz bir şekilde karşılandığı görülmektedir.

**Tablo 2.** 5 adet 22 metrelik sahil koruma gemisine ait °C olarak ölçüm sonuçları

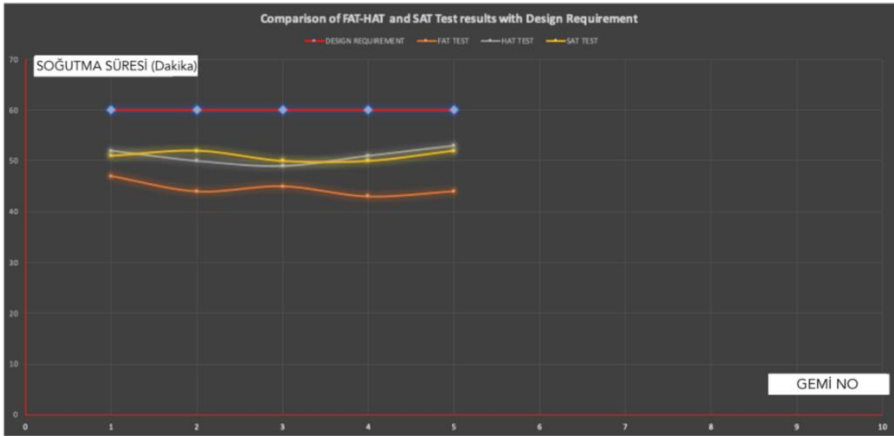
GEMİ NO	DİZAYN ŞARTI	FAT TESTİ	HAT TESTİ	SAT TESTİ
G1	60	47	52	51
G2	60	44	50	52
G3	60	45	49	50
G4	60	43	51	50
G5	60	44	53	52

**Tablo 3:** 10 adet 33 metrelik sahil koruma gemisine ait °C olarak ölçüm sonuçları

GEMİ NO	DİZAYN ŞARTI	FAT TESTİ	HAT TESTİ	SAT TESTİ
G6	60	46	49	48
G7	60	45	48	49
G8	60	44	48	47
G9	60	45	49	49
G10	60	40	44	47
G11	60	45	50	52
G12	60	47	51	50
G13	60	49	53	50
G14	60	46	49	48
G15	60	46	48	49

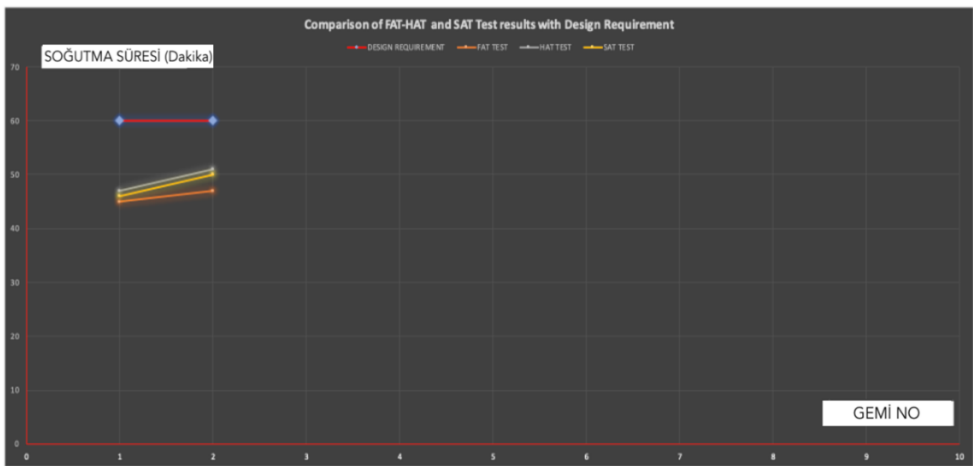
**Tablo 4:** 2 adet 47 metrelik sahil koruma gemisine ait °C olarak ölçüm sonuçları

GEMİ NO	DİZAYN ŞARTI	FAT TESTİ	HAT TESTİ	SAT TESTİ
G16	60	45	47	46
G17	60	47	51	50

**Şekil 14:** 5 adet 22 metrelik sahil koruma gemisinin FAT, HAT ve SAT sonuçları



Şekil 15: 10 adet 33 metrelik sahil koruma gemisinin FAT, HAT ve SAT sonuçları



Şekil 16: 2 adet 47 metrelik sahil koruma gemisinin FAT, HAT ve SAT sonuçları

## SONUÇLAR

Üç farklı gruptaki sahil güvenlik gemilerinin kaptan köşklerinden elde edilen ölçüm sonuçları incelendiğinde, tasarlanan HVAC sistemlerinin yeterli olduğu ve tasarım şartlarını karşıladığı saptanmıştır. Ancak, gemilerin başta yaşam mahalleri olmak üzere, tasarım ve konstrüksiyonlarında yapılabilecek geliştirmeler ile seçilecek HVAC sisteminin kapasitesinin azaltılabileceği sonucuna da varılmıştır.

Özellikle kaptan köşkü çevresinde daha iyi yalıtımın gerçekleştirilmesi, lomboz ve dışa açılan bölgelerde gölgeleme sistemlerinin kullanılması ile



HVAC sistemi üzerine gelebilecek ek yükler elimine edilerek yüksek oranlarda enerji tasarruf yapılabilecektir.

## KAYNAKÇA

- Aqua Air Cooling Calculations, [Çevrimiçi]. <http://www.aquaair.net/Quick-Calc.html>, (Erişim tarihi: 2 Şubat 2023)
- Analysis of the impact of adjustments to the on board HVAC design by time domain simulations, Delft University of Technology Faculty of Mechanical, Maritime and Materials Engineering (3mE), 2016
- ASHRAE . 2004 . ANSI/ASHRAE Standart 55-2004 –Thermal environmental conditions for human occupancy , American Society of Heating , Refrigerating and Air conditioning Engineers , Atlanta , USA.
- Carrier HAP (Hourly Analysis Program), [Çevrimiçi]. <https://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/hourly-analysis-program/> (Erişim tarihi: 10 Mart 2023)
- Det Norske Veritas-Germanischer Lloyd. Seagoing Ships-21 Ventilation; 2014;[Çevrimiçi]. [https://rules.dnv.com/docs/pdf/gl/maritimerrules/gl\\_i-1-21\\_e.pdf](https://rules.dnv.com/docs/pdf/gl/maritimerrules/gl_i-1-21_e.pdf) (accessed on 10 July 2023).
- EnergyPlus Engineering Reference. “The Reference to EnergyPlus Calculations,” [Çevrimiçi]. <https://energyplus.net/sites/default/files/pdf/>, (Erişim tarihi: 10 Mart 2023)
- eQUEST Energy Modelling Program, [Çevrimiçi]. <https://energy-models.com/software/equest>, (Erişim tarihi:20 Haziran 2023)
- IES Virtual Environment Performance simulation, [Çevrimiçi]. <https://www.iesve.com/software/virtual-environment>, (Erişim tarihi: 20 Haziran 2023)
- International Association of Classification-IACS. UR-M28 Requirements Concerning Machinery Installations—Ambient Reference Conditions; International Association of Classification: Kolkata, India, 1978.
- International Maritime Organization-IMO. Load Lines, 1966/1988-International Convention on Load Lines, 1966, as Amended by the Protocol of 1988; Lloyd’s Register Rulefinder 2020 Version 9.33-Fix; International Maritime Organization: London, UK, 2014.
- OMS Marine Projects, [Çevrimiçi]. <https://www.omsmarine.com/portfolio/m-v-hercules-23m/>, <https://www.omsmarine.com/portfolio/m-v-hercules-33m/>

<https://www.omsmarine.com/portfolio/m-v-hercules-47m/> ,(Erişim tarihi: 10 Mayıs 2024)

Trane TRACE Design and Analysis Tools, [Çevrimiçi].  
<https://www.trane.com/commercial/north-america/us/en/products-systems/design-and-analysis-tools/trane-design-tools/trace-700.html>,  
(Erişim tarihi: 15 Nisan 2023)

## BÖLÜM 4

### ÇEŞİTLİ LİTYUM-İYON BATARYA BLOKLARINDA KULLANILAN ORTAK YÖNETİM SİSTEMİ TASARIMI

Dr. Taner ÇARKIT<sup>1,2</sup>

---

<sup>1</sup>Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırklareli, Türkiye. tanercarkit@klu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-5511-8773

<sup>2</sup>Bu çalışmanın bir bölümü Prof. Dr. Mustafa ALÇI danışmanlığında tamamlanan yüksek lisans ve doktora tezlerinden üretilmiştir.



## 1. GİRİŞ

21. yüzyılın ilk çeyreğinde ülkelerin ve bilgiyi kullanan toplumların, her yerde ve her alanda talep ettiği enerjinin önemi artarak devam etmektedir. Enerji temel girdi olup enerjinin tüketimi ve tüketilebilecek olan enerjinin üretimi gelişmişlik düzeyini ölçmede kullanılan uluslararası en geçerli göstergelerden biri olarak görülmektedir [URL-1, 2023]. Bu bağlamda, batarya teknolojilerinin öneminin artmasında, günümüz teknolojisinin ilerleyişi ile doğru akım (DC) güç kaynaklarının öneminin artması etkili olmuştur. Hayatımızın vazgeçilmezleri arasına girerek çok geniş alanda kullanılan bataryaların temelinde kimyasal pil hücreleri ve batarya yönetim sistemleri (BYS) yer almaktadır. Bataryalar; içerisinde yer alan pil hücrelerinin özelliklerine ve elektriksel olarak şarj edilebilme durumlarına göre ikiye ayrılmaktadır;

- Şarj edilebilen (sekonder) bataryalar,
- Şarj edilemeyen (primer) bataryalar.

Kullanıcıların günlük hayatında şarj edilemeyen (primer) piller çok sık karşımıza çıkarken, gelişen teknoloji ile birlikte önemli sistemlerde de şarj edilebilen (sekonder) piller tercih edilmektedir. Günümüzde şarj edilebilen bataryaların bir elektronik cihaz olarak kendilerini gösterdikleri alanları şu şekilde sıralamak mümkündür [Çarkıt & Alçı, 2018]:

- Elektrikli otomobil, elektrikli otobüs ve elektrikli bisiklet gibi elektrikli araç (EA) teknolojileri,
- Enerji depolama istemleri (EDS),
- Kesintisiz güç kaynakları (KGK),
- İnsansız hava araçları (İHA),
- Roket ve füze ateşleme sistemleri,
- Havacılıkta kullanılan diğer silah sistemler
- Yenilenebilir enerji entegreli yeni nesil aydınlatma sistemleri,
- Cep telefonu, tablet, diz üstü bilgisayar ve powerbank gibi günlük kullanımdaki elektronik cihazlar,
- Metro, tranway ve tren gibi yeni nesil elektrikli raylı sistem ulaşım araçları,

- Deniz altı, gemi gibi denizcilikte kullanılan araçlar,
- Baz istasyonu ve uydu gibi haberleşme sistemleri,
- Uzay araştırma araçları,
- Robot sistemleri... vb.

Elektronik cihazlar, istenen herhangi bir yerde, tasarlandıkları şekilleriyle görevlerini yapabilmelidirler [Özsoy vd., 1988; Çarkıt & Alçı, 2018]. Tasarlanan bataryalar da bir elektronik cihaz olarak, yer aldıkları sistemlerde görevlerini yapabilmeleri için iç donanımlarının ve yapılarının, kullanıcı yük profiline göre oluşturulması gerekmektedir. Bataryaların farklı kullanım alanlarında tercih edilmelerini etkileyen, bataryaların performansını değiştirebilen ve kontrol edilmesi gereken önemli parametreler aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır:

- Deşarj derinliği (DoD),
- Batarya sağlamlık durumu (SoH),
- Aşırı şarj ve deşarj kabiliyeti,
- Hızlı şarj ve deşarj kabiliyeti,
- Sarj durumu (SoC),
- Aşırı şarj ve deşarj durumu,
- Döngü sayısı ( $D_s$ ),
- Yüksek ve düşük sıcaklık,
- Yüksek şarj akımı ve kısa devre,
- Açık devre gerilimi ( $V_{oc}$ ),
- Hücre gerilimleri, toplam gerilim ( $V_T$ ),
- İç direnç ( $R_{in}$ ),
- Hücre gerilim dengesizlikleri.

Yukarıdaki parametrelerden birçoğu, batarya yönetim sistemleri (BYS) ve batarya koruma devreleri (BKD) ile kontrol altına alınabilmektedir [Sarıkurt, 2017; URL-2, 2024]. Bu çalışma neticesinde; örnek bir BYS göz önüne alınmak suretiyle, araştırılıp tasarlanacak olan çok amaçlı batarya yönetim sisteminin (ÇA-BYS) farklı kimyalara ve farklı sayıdaki pil bağlantı konfigürasyonlara cevap verebilir olması amaçlanmaktadır.

## 2. BATARYA TEKNOLOJİLERİ

Batarya sistemleri, kimyasal olarak anot ve katot da kullanılan maddenin özelliklerine göre yeni isimler almaktadır. Ancak bütün bu anot ve katot tabanlı teknolojileri “Batarya Teknolojisi” adı altında toplamak mümkündür. Günümüzde popüler olan bazı batarya teknolojileri şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Kurşun asit (Pb-asit),
- Akışkan Vanadyum (Redox),
- Çinko Bromin (ZnBr),
- Polisülfür Bromür (PSB),
- Metal Hava,
- Nikel Cadmiyum (NiCd),
- Nikel Metal Hidrid (NiMH),
- Sodyum Sülfür (NaS),
- Lityum İyon (Li-CoO<sub>2</sub>, Li-MnO<sub>2</sub>, Li-S, Li-FePO<sub>4</sub>).

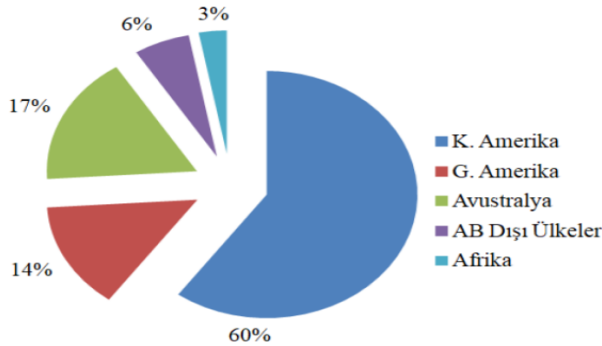
Söz konusu bütün bu bataryalar arasında kurşun asit batarya teknolojileri olgunluğa ulaşmış ve güç sistemi uygulamalarında sıklıkla kullanılan en eski yöntem olarak görülmektedir. Teknolojik gelişmeler ve uzman araştırmaları takip edildiğinde kurşun asit bataryaların kullanıldığı alanların Li-Ion tabanlı sistemler ile değiştirilmek istendiği görülürken, bu yönde sürdürülen farklı araştırma geliştirme (Ar-Ge) çalışmaları devam etmektedir. Metal-hava tipi bataryalar yüksek enerji yoğunluğuna ve düşük maliyete sahip olmalarından dolayı ideal bir sistem gibi görünse de tekrar şarj olmaları konusunda zorluklar yaşanmaktadır. Redox bataryalar da kendiliğinden deşarj olmama özellikleriyle uzun süreli enerji gereksinimi duyan mobil olmayan uygulama alanları için tercih edilmesine karşın; pompa sistemleri, harici bir sistem ile akış kontrolü sağlanması gibi ekipman ve işletme maliyeti gerektirmeleri nedeniyle ekonomik yük oluşturabilmektedir. Lityum iyon (Li-ion), Sodyum Sülfür (NaS), Nikel Kadmiyum (NiCd) gibi bataryalar, sahip olduğu kimyasal avantajlarından dolayı güç gereksinimi fazla olan, güç yoğunluğu gerektiren uygulama alanlarında sıklıkla tercih edilmektedir. [Özdemir vd., 2014; Çarkıt, 2017].



Söz konusu bu batarya teknolojileri içerisinde Li-ion teknolojisinin gelişim ve kararlılığı bakımından büyük potansiyele sahip olduğu açıktır. Boyutlarının ve ağırlığının küçük olması sebebiyle, Li-ion bataryalar %100'e yakın depolama kapasitesi ve yüksek enerji yoğunluğu sunmaktadır. Bu özellikleri itibari ile Li-ion, taşınabilir/mobil batarya sistemleri için ideal bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

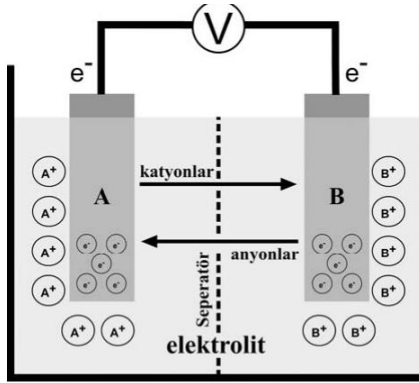
“Li” sembolü ile gösterilen lityum elementinin atom numarası 3'tür ve periyodik tabloda alkali metaller grubunda yer almaktadır. Bu özelliklerinden dolayı yoğunluğu en düşük olan metal olarak görülmektedir. Alkali metal olmasının yanında, toprak alkali (2.grup) özelliği de gösterebilmektedir. Li; son yörüngesinde 1 tane elektron ( $e^-$ ) bulunduğu için, bu elektronu verme konusunda çok istekli olup, pozitif hale geçmek istemektedir. Lityum su ile çok kısa zamanda reaksiyona girmekte ve yeryüzünde doğal halde bulunabilmektedir. Yüksek özgül ısı (3582 J/kg.K) ve sıvı haldeki geniş sıcaklık değer aralığı, kullanışlı bir metal haline gelmesinde büyük rol oynamaktadır. Sahip olduğu avantajlardan dolayı batarya teknolojilerinin içerisinde çok geniş yer kaplamaktadır.

Lityuma kaynak sağlayan doğadaki materyaller; killer, mineraller ve salamuralar (tuzlu yer altı suları) olarak sıralanabilmektedir. Ticari olarak kullanım imkanı veren lityum malzemesinin ticari ölçekte üretimi; mineraller ve salamuralardan sağlanmaktadır. 150'den fazla lityum ve türevi mineralinin varlığı bilinmesine rağmen bunlardan; spodümen, lepidolit, petalit ve ambligonit gibi çok az türü ticarileşebilir özelliğe sahiptir [Çarkıt, 2017].



Şekil 1. Lityum rezervinin dünya üzerindeki dağılımı

1976'da yapılan araştırmalar neticesinde Avrupa'nın rezervlerinin toplamda element düzeyinde 10,6 milyon ton olduğu hesaplanmıştır. Daha sonraki keşifleri; özellikle Güney And Dağları'ndaki Batı Çin Platoları ve Tibet'teki keşifler oluştururken, telaffuz edilen rakamı belirgin bir şekilde yükseltmiştir. Dünya rezervlerinin büyük bir çoğunluğu Bolivya'da bulunmaktadır (5,4x10<sup>6</sup> ton). Bu ülkeyi sırasıyla Şili (1,4x10<sup>6</sup> ton), Avustralya (0,44x10<sup>6</sup> ton) ve ABD (0,41x10<sup>6</sup> ton) izlemektedir. Keşfedilen rezervler sayesinde Çin, günümüz lityum tabanlı pillerin merkezi haline gelmiştir. Çin'in sahip olduğu bu özelliklerinden dolayı birçok batarya teknolojilerinin çıkış noktası uzak Asya olmaktadır. Lityum rezervlerinin dünya üzerindeki dağılımları Şekil-1'de yüzdesel olarak verilmektedir [Çarkıt, 2017]. Dünyada yaklaşık olarak toplam 30 milyon ton lityum rezervinin bulunduğu tahmin edilmektedir. Mevcut enerji üretimi ve teknolojik koşullar göz önüne alındığında söz konusu bu rezervin yaklaşık olarak 1800 yıl boyunca günümüz talebini karşılayacak oranda olduğu ifade edilmektedir.



Şekil 2: Temel pil hücresinin yapısı

Ülkemizde lityum cevheri yok kabul edilmektedir. Türkiye'de, Gördes ve Akdağ Madeni masiflerinde bazı pegmatitlerde lityumlu mika varlığı rapor edilmekle birlikte, önemli büyüklükte rezervlerden söz edilememektedir. Ayrıca MTA (Maden Tetkik ve Arama ) tarafından Tuz Gölü'nde yapılan çalışmalarda lityum yoğunluğu mevsimine göre 60 ppm dolayında saptanmıştır [Uygun & Şen, 1978; Çarkıt, 2017]. Ülkemizde yapılan çalışmalar neticesinde, Tuz Gölü'nün ve Kırka-Bigadiç bölgelerindeki killerin, lityum bileşikleri açısından potansiyel kaynak olabilecekleri tespit

edilmiştir. Lityum metali; cep telefonu bataryası, kamera bataryası, enerji depolama sistemleri, havacılıkta kullanılan bataryalar gibi şarj edilebilir ünitelerde kullanılmaktadır. En temel anlamıyla bir batarya hücresini oluşturan bileşenler, biri pozitif elektrot diğeri negatif elektrot olarak ifade edilmektedir. Bünyesinde bu elektrotları barındıran pil yapısında, elektrot ayrımı yapmak için elektrolit kullanılmaktadır. Bu elektrolit yapısı iyonik olarak iletken, elektriksel açıdan yalıtkan özellik göstermektedir. Şekil 2’de temel pil yapısı gösterilmektedir. [Turan & Yönetken, 2016].

### **3. BATARYA YÖNETİM SİSTEMİ VE KONTROL PARAMETRELERİ**

Gelişen teknolojik ilerlemelerle birlikte batarya yönetim sistemlerinin geliştirilmesi de kaçınılmaz ve zorunludur. Batarya yönetim sistemi; alt fonksiyonu olan pil doluluk oranını kullanarak pillerin denetiminin ve yönetiminin yapıldığı üniteler, olarak tanımlanmaktadır [Pastor vd., 2016].

Batarya paketlerinin anlık durumlarını gözlemleyerek; gerilim, sıcaklık, şarj durumu, deşarj durumu, sağlamlık durumu, giriş ve çıkış akımlarını izleyen, elde ettiği verileri hesaplayan ve bu veriler neticesinde sistemi ve bataryayı koruyan ve kontrol eden, herhangi bir olağan dışı durumu yönetebilen akıllı birime batarya yönetim sistemi denmektedir. Tasarlanacak olan bir BYSS, aşağıda sıralanmakta olan verileri izleyebilmeli ve kontrol edebilmelidir:

- Batarya paketindeki toplam gerilim,
- Batarya içerisinde yer alan tek bir hücrenin gerilimi,
- Minimum ve maksimum pil hücresi gerilimleri,
- Paketteki minimum ve maksimum gerilim,
- Şarj esnasında oluşabilecek yüksek gerilime karşı koruma,
- Bataryanın şarj/deşarj giriş akımları,
- Bataryanın şarj/deşarj çıkış akımları,
- Maksimum şarj akımı hesabı,
- Maksimum deşarj akımı hesabı,
- Yüksek akım çıkışına karşı koruma,
- Kaçak akıma karşı koruma,

- Batarya paketinin ortalama sıcaklığı,
- Batarya içerisinde yer alan her bir pil hücresinin sıcaklığı,
- Soğutma giriş ve çıkış sıcaklığı,
- Düşük ve yüksek sıcaklığa karşı koruma,
- Gerekli durumlarda yüksek basınca karşı koruma,
- Bir sistem olarak bataryanın ve her bir pil hücresinin sağlamlığı,
- Bir sistem olarak bataryanın ve her bir pil hücresinin sağlık durumu,
- Bir sistem olarak bataryanın ve her bir pil hücresinin şarj seviyesi,
- Batarya bloğunu oluşturan pil hücrelerinin iç empedans hesabı,
- Toplam çalışma süresi,
- Toplam şarj/deşarj döngü sayısı,
- Anlık verilerin monitör ekranında görüntülenmesi,
- Bilgisayar (PC) ile haberleşme sağlanması,
- Batarya paketinin iç tüketiminin (self-discharge),
- Hücre dengesizliklerinin kontrolü ve dengesizliklerin giderilmesi.

Bataryalarda güç yönetim modülü (power management) devresi elektromekanik bir sistemin işlevini yerine getirmektedir. Bu yönetim birimleri; görevlerini ifa ederken gerekli enerjiyi en ekonomik şekilde kullanabilmesi için sistemin kullanılmayan kısımlarının enerjisini minimum seviyeye indiren, bataryaların durumunu kullanıcıya bildiren, batarya hücrelerinin zayıflaması durumunda şarj edilmesini sağlayan devrelerdir. Bu birimin temel görevi giriş geriliminin, batarya hücrelerinin kullanabileceği değerlere dönüştürmek ve hücrelerin kullanımına sunmaktır. Güç modülünün görevi, besleme gerilimi türüne göre değişiklik göstermektedir. Dışarıdan beslemeli olduğunda enerji dönüşüm kontrolü (EDK), güç modülünün çıkış geriliminin ve çıkış akımının gerekli üniteler ile ölçülmesini ve kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bataryanın istenmeyen şarj vedeşarj durumlarında zarar görmemesi için, karar verilmiş değerler şarj kontrol ünitesi tarafından belirlenmektedir. BYS'ni aşağıdaki şekilde beş ana bölümde incelemek mümkündür:

- Batarya,
- Yük,
- DC/DC Dönüştürücü,

- İletişim ve haberleşme,
- Güç yönetim (PM) modülü.

Batarya yönetim sisteminin bileşenlerinden biri olan batarya şu şekilde tanımlanmaktadır: Bir enerji kaynağından elde edilen enerjiyi elektrokimyasal yöntemler ve reaksiyonlar ile depo edebilen, gerektiğinde depo edilen bu enerjiyi kullanıma sunan bileşenlerdir. Gelen elektriğin batarya girişi için uygun formata dönüştürülmesi için ve batarya sisteminin besleyeceği yük profiline uygun seviyeye indirilip/yükseltilmesi için AC/DC, DC/DC, DC/AC dönüştürücülerden yararlanılmaktadır. DC/DC dönüştürücüler, batarya yönetim sisteminin bileşenleri içerisinde yer almaktadır. Batarya yönetim sistemine ait birimlerin birbirleri ile haberleşmesi, monitör ve haberleşme sinyallerinin aktarılması için iletişim kanalları kullanılmaktadır. Batarya ve pil konfigürasyonu ne kadar karmaşık olursa haberleşme sistemi de orantılı olarak karmaşık hale gelmektedir. Batarya sistemlerinin şarj operasyonlarında, hızlı şarj (fast charging) ve yavaş şarj (slow charging) sağlayan elektronik devreler kullanılmaktadır. Optimizasyon yöntemleri aracılığıyla batarya şarj ve deşarjı üzerine yapılacak olan bir iyileştirme, bataryaların en iyi şekilde nasıl kontrol edileceğini ve toplam faydanın en üst seviyelere nasıl çıkarılacağını belirleyecektir [Çarkıt, 2022].

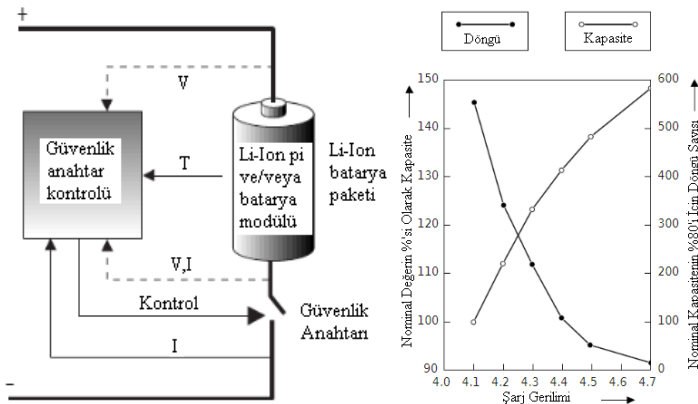
Şarj ve deşarj oranı limitleri, batarya hücreleri için belirlenen maksimum çalışma sınırlarını aşabilmektedir. Bunun sonucunda hücre ömürlerinde istenmeyen bir azalış meydana gelirken, batarya sisteminde de stresler ortaya çıkmaktadır. Batarya sistemleri, yüksek oranda dalgalanma faktörü gösteren yük taleplerini desteklemeye tabi tutulduklarında, üzerindeki stres seviyelerinin arttığı bilinmektedir. Bu stres, şarj ve deşarj döngülerindeki artışlar olarak gün yüzüne çıkmakta ve sonuç olarak bataryaların kullanım ömürleri azalmaktadır [Kollimalla vd., 2017].

Şarj ve deşarj limitlerinin yanı sıra bataryalar için kontrol edilmesi gereken önemli parametrelerden biri de SoC olarak isimlendirilen bataryanın şarj durumudur. SoC değeri belli bir aralıkta tutulmaya çalışılmaktadır. Çünkü SoC belirli bir aralıkların dışına çıktığında bataryanın verimi, dolayısıyla kullanılabilir enerji miktarı azalmaktadır. SoC %20 ile %80 olduğunda batarya verimi %100'e yakın olmaktadır. SoC %20'nin altına düştüğünde ise

bariz şekilde verim düşmektedir. SoC aralığı batarya verimini ve batarya ömrünü etkileyen önemli etkenlerdendir [Lian vd., 2017].

SoC'nin alt değeri ve üst değeri, kullanılmakta olan batarya teknolojisine göre değişiklik gösterebilmektedir. Pil hücrelerinde ve batarya modülünde istenmeyen akım ve gerilim durumlarında kapasite kaybı oluşmaması için Şekil 3'teki gibi koruma devreleri oluşturulmaktadır [Bergveld, 2001]. Pillerin şarj durumu doğrudan pil üzerinden ölçülemediği için, pil modellerinin oluşturulması zorunlu hale gelmiştir. Oluşturulan pil modelleri ile akım ve gerilim gibi ölçülebilen değerlerin kestirilmesi gerekmektedir [Chen vd., 2015; Muratoğlu, 2017]. Literatür incelendiğinde; karar verilen elektronik eşdeğer devre modeliyle, lityum tabanlı batarya hücrelerinin şarj durumunun kestirilmesinde aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır:

- Coulomb sayma veya akım integrali olarak isimlendirilen amper-saat sayma [Ng vd., 2009],
- Açık devre gerilimi takibi [Lee vd., 2008],
- Yapay sinir ağları [Charkhgard & Farrokhi, 2010], yapay zeka (AI) [Shanshan & Jin, 2024], tahmine dayalı çeşitli optimizasyon yöntemleri,
- Bulanık mantık [Deng vd., 2016],
- Kalman tabanlı filtreler [Spagnol vd., 2011; Zhigang vd., 2016].



Şekil 3: Li-ion batarya koruma devre bloğu, kapasite ve döngü değişimi

Pil fonksiyon durumu (SoF), pil sağlık durumu (SoH) ve pil şarj durumu (SoC) gibi parametrelerin elde edilebilmesi için literatürde birçok pil devre modeli yer almaktadır. Bu modelleri aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- Elektrokimyasal devre modelleri,
- İstatistiksel devre modelleri,
- Deneysel (Analitik) devre modelleri,
- Elektriksel devre modelleri,

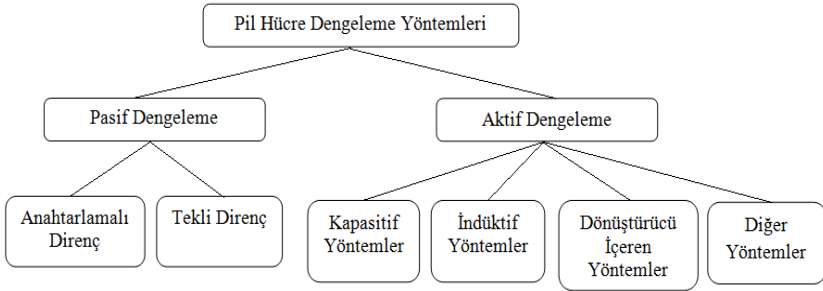
Bu modeller içerisinde en çok tercih edilen model “Elektriksel Devre Modelleri” olarak görülmektedir. Elektriksel modeller matematiksel işlemlere olanak sağlayarak batarya modelindeki doğruluk özelliğini artırmaktadır.

Batarya yönetim sistemlerinin kontrol edip aktarması gereken bir görevi de; pil empedans parametre kestirimidir. Ölçülmesi gereken parametreler; zamana ve kullanıma bağlı olarak her pilin yaşlanma durumuna göre değişiklik göstermektedir. Pil empedans parametre kestirimi için yararlanılan modeller üç grupta incelenebilmektedir [Fleischer vd., 2014; Muratoğlu & Alkaya, 2016].

- Elektrokimyasal empedans modeli,
- Elektriksel devre modeli,
- Elektrokimyasal model.

#### **4. HÜCRE Dengeleme Yöntemleri**

Bu modeller içerisinde kullanıcıların tercihi “Elektriksel Devre Modeli” üzerine olmaktadır. BYS'nin en temel görevleri içerisinde; birçok pil hücresinden oluşan bataryalar için hücre gerilim dengesizliklerinin giderilmesi yer almaktadır. Hücre dengesizliklerinin giderilmesi için kullanılan yöntemler; aktif ve pasif dengeleme yöntemleri olarak iki ana kategoriye ayrılabilir. Dengeleme yöntemleri Şekil 4'teki gibi sınıflandırılabilir [Sarıkurt, 2017].

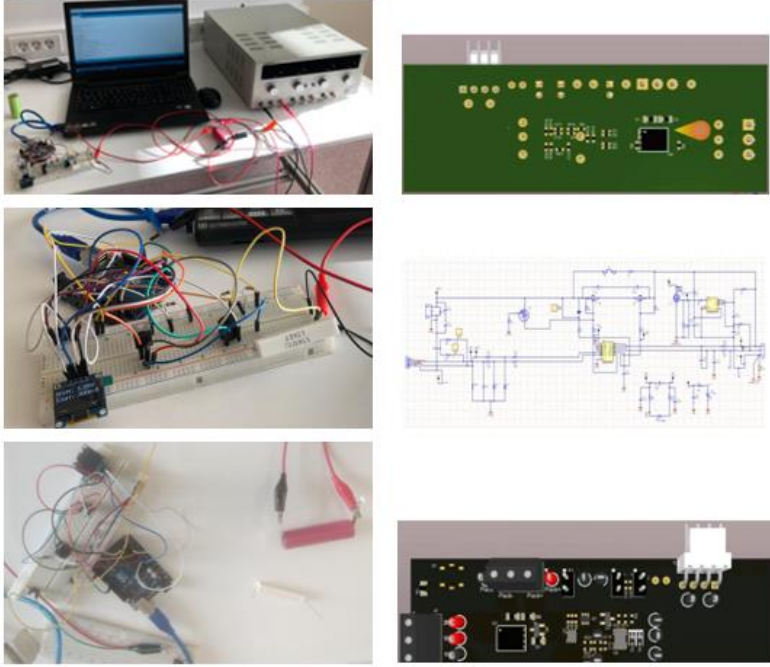


**Şekil 4:** Hücre gerilimi dengeleme topolojileri/yöntemleri

Pasif dengeleme yöntemleri uygulanması kolay ve basit olarak görüldüğü için kullanım alanında sıklıkla tercih edilmektedir. Birleştirilmiş pil hücresi konfigürasyonunda en düşük gerilimli hücre tespit edilerek, yüksek gerilime sahip diğer hücrelerin referans gerilimden yüksek gerilimleri, paralel dirençler üzerinde harcanarak, bütün hücrelerin aynı gerilim seviyesinde dengelenmesi amaçlanmaktadır. Fazla enerjinin, paralel dirençler üzerinden ısıya dönüştürülmesi enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Çalışma alanları içerisinde, söz konusu enerji sarfiyatının önlenmesi için yapılacak araştırma ve tedbir yollarının yer alması gerekmektedir.

Pasif dengelemedeki boşa harcanan enerjinin verimli kullanılabilmesi için diğer bir yöntem olan “aktif dengeleme” çözümleri uygulanmaktadır. Aktif yöntemlerde fazla enerji, hücreler arasında paylaşılarak dengeleme sistemi tamamlanmış olmaktadır. Ancak, aktif dengeleme sistemleri batarya yönetim sistemlerinin tasarımı konusunda karmaşıklığa neden olmaktadır [Rahimi vd., 2013].





Şekil 5: Tasarlanan BYS için çalışma ve test aşamaları

## 5. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın konusunu oluşturan çok amaçlı BYS tasarlanırken A123 Systems, LG, Panasonic, Kokam marka 26650, 18650, 21700 modellenli yüksek akım sağlayabilen ve güvenlik oranı yüksek olan Li-ion (NMC, LTO, Li-FePO<sub>4</sub>) kimyasına sahip pil hücreleri dikkate alınmıştır. İlgili hücrelerden oluşan batarya bloğunda, sıcaklık sensörü seçilmesinde hassasiyet ( $\pm$  %0,24 ve  $\pm$ 1 °C) faktörü ve gösterge (display) entegre devreleri içerisinde yer alan sıcaklık sensörleri de göz önüne alınarak sensör sayısı kararlaştırılıp seçim yapılması gerekmektedir. Akım sensörü seçilmesinde doğruluk ( $\pm$ %1 ve %0,6 °C), ölçüm aralığı, çalışma gerilim ve akımı ...vb özellikleri baz alınarak, sensörler içerisinde elektronik kart (PCB) montajlı veya hall-effect akım sensörleri tercih edilmektedir. Batarya modül yönetim entegresi seçiminde; desteklenen hücre sayısı (8-12-16-24), dahili ve harici bileşenler, bağlantı şekli ve akım tüketimi (self consumption) göz önüne alınarak, Texas Instruments BQ76PL455A (16 seri), Linear Technology LTC6811 (12 seri) veya bu ürünlere muadil ürünler karşılaştırılıp kullanımda tercih edilmektedir.

Yapılan çalışmalardaki test düzeneği, bilgisayar ortamında tasarlanan BY5 kartı Şekil 5'te görülmektedir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Lityum tabanlı sistemlerin diğer kimyalara göre üstünlükleri göz önüne alındığında, günümüz ve ileriki teknolojiye popülerliğinin artması ve kullanım alanının genişlemesi kaçınılmazdır. Tasarlanması planlanan ürün ile farklı pil kimyasına sahip farklı sayıda konfigürasyona sahip bataryaların yönetimini sağlayan yenilikçi bir prototip amaçlanmaktadır. Söz konusu çalışmayla BY5 geliştirme kartları ile testler yapılarak, yeni bir elektronik PCB kart oluşturulması öngörülmüştür. Elde edilmesi hedeflenen ürün ile; elektrikli araç, denizaltı, gemi, insansız hava aracı, uydu, cep telefonu, bilgisayar gibi pek çok farklı alanda batarya kontrolü ve yönetimini sağlayabilecek bir sistemin elde edilmesi öngörülmektedir. Çok amaçlı ve geniş alanda kullanılabilir bir ürün ortaya çıkartılması için; farklı konfigürasyonlarda ve farklı kimyasal yapıda geniş kullanım alanına hizmet edebilen BY5 entegresi (IC) tercih edilmesine önem verilmektedir. Tasarlanacak olan bir BY5'nin, bazı verileri izleyebilmeli ve kontrol edebilmesi önem arz etmektedir. Bunlar; batarya paketindeki toplam gerilim, minimum ve maksimum pil hücresi gerilimleri, hücredeki minimum ve maksimum gerilim, şarj esnasında oluşacak yüksek gerilime karşı koruma, bataryanın şarj/deşarj giriş akımları, bataryanın şarj/deşarj çıkış akımları, maksimum şarj akımı hesabı, maksimumdeşarj akımı hesabı, batarya paketinin ortalama sıcaklığı, kaçak akıma karşı koruma, düşük ve yüksek sıcaklığa karşı koruma, bataryanın ve pil hücresinin sağlık durumu, bataryanın ve pil hücresinin şarj seviyesi, toplam çalışma süresi, toplam şarj/deşarj döngü sayısı, bataryan tüketiminin iç tüketimi.

## **KAYNAKÇA**

- Bergveld, H.J. (2001). Battery management systems: Design by modelling. University of Twente, Doktora Tezi.
- Charkhgard, M., Farrokhi, M. (2010). State-of-charge estimation for lithium-ion batteries using neural networks and EKF. IEEE transactions on industrial electronics. 57(12), 4178-4187.
- Chen, Z., Xia, B. Mi, C.C. (2015). A novel state-of-charge estimation method for lithiumion battery pack of electric vehicles. IEEE In Transportation Electrification Conference and Expo, 1-6.
- Çarkıt, T. (2017). Yenilenebilir enerji kaynakları depolama sistemlerinin incelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 124.
- Çarkıt, T. (2022). Batarya enerji depolama sistemlerinde verimin artırılması için yeni bir yaklaşım geliştirilmesi. Erciyes Üniversitesi, Doktora Lisans Tezi, 182.
- Çarkıt, T., Alçı, M. (2018). Batarya hücrelerindeki elektrokimyasal gürültülerin incelenmesi. Kırklareli University Journal of Engineering and Science, 4(2), 163-175.
- Deng, Z., Yang, L., Cai, Y., Deng, H. (2016). Online identification with reliability criterion and state of charge estimation based on a fuzzy adaptive extended Kalman filter for lithium- ion batteries. Energies. 9(6), 472.
- Fleischer, C., Waag, W., Heyn, H.M., Sauer, D.U. (2014). On-line adaptive battery impedance parameter and state estimation considering physical principles in reduced order equivalent circuit battery models: Part 1. Requirements, critical review of methods and modeling. Journal of Power Source, 260, 276-291.
- Kollimalla, S.K., Manandhar, U., Ukil, A. (2017). Optimization of charge/discharge rates of battery using two stage rate limit control. IEEE Transaction on Sustainable Energy, 8, 516-529.
- Lee, S., Kim, J., Lee, J., Cho, B.H. (2008). State-of-charge and capacity estimation of lithium-ion battery using a new open-circuit voltage versus state-of-charge. Journal of power sources. 185(2), 1367-1373.

- Lian, B., Sims, A., Yu, D., Cheng, W., Dunn, R.W. (2017). Optimizing LiFePO<sub>4</sub> battery energy storage systems for frequency response in the UK system. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8(1), 385-394.
- Muratoğlu, Y., Alkaya, A. (2016). Elektrikli araç teknolojisi ve pil yönetim sistemi-inceleme. *EMO Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 458, 10-14.
- Muratoğlu, Y. (2017). Elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon pillerin şarj durumlarının kokusuz kalman filtresi ile kestirilmesi. Mersin Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 78.
- Ng, K.S., Moo, C.S., Chen, Y.P., Hsieh, Y.C. (2009). Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries. *Applied energy*. 86(9), 1506-1511.
- Özdemir, E., Çaliker, A., Koç, İ.M. (2014). Yenilenebilir enerji kaynağından beslenen elektrik güç sistemleri için hibrit enerji depolama teknolojileri. *ICCI Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı*, 68-72.
- Özsoy, S., Yılbaş, B.S., Alçı, M. (1988). Elektronik cihazların elektromagnetik etkilerden korunma teknikleri. 2'nci Ulusal Üniversite ve Sanayi İşbirliği Sempozyumu, 77-93.
- Pastor-Fernandez, C., Bruen, T., Widanage, W.D., Gama-Valdez, M.A., Marco, J. (2016). A study of cell-to-cell interactions and degradation in parallel strings: Implications for the battery management system. *Journal of Power Sources*, 329, 574-585.
- Rahimi-Eichi, H., Ojha, H., Baronti, F., Chow, M.Y. (2013). Battery management system: An overview of its application in the smart grid and electric vehicles. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 7(2), 4-16.
- Sarı Kurt, T. (2017). Batarya yönetim sistemleri. TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü.
- Shanshan, W., Jin, Z. (2024). Artificial intelligence is empowering chemistry research. *National Science Open*. 3(2), 20240008.
- Spagnol, P., Rossi, S., Savaresi, S.M. (2011). Kalman filter SoC estimation for Li-ion batteries. *IEEE International Conference on Control Applications*, 587-592.
- Turan, D., Yönetken, A. (2016). Enerji depolama sistemlerinin araştırılması ve analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(Özel Sayı 1), 113-121.

- URL-1: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/2804257.stm>, (Erişim tarihi: Aralık 2023).
- URL-2: <http://www.ti.com/tool/TIDA-01537#0>, (Erişim tarihi: Haziran 2024).
- Uygun, A., Şen, E. (1978) Tuz gölü suyunun jeokimyası. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 21, 113-120.
- Zhigang, H., Dong, C., Chaofeng, P., Long, C., Shaohua, W. (2016). State of charge estimation of power Li-ion batteries using a hybrid estimation algorithm based on UKF. *Electrochimica Acta*, 211, 101-109.

## BÖLÜM 5

### ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE SÜRÜŞ DÖNGÜLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Kadir YILMAZ<sup>1</sup>

Öğr. Gör Taner DİNDAR<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi, Nallıhan Meslek Yüksek Okulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Ankara, Türkiye, tdindar@ankara.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-4112-2114

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, kayel@kocaeli.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0819-3420



## 1. GİRİŞ

- **Sürüş döngülerinin tanımı**
- **Sürüş döngülerinin önemi ve kullanım alanları**
- **Tarihsel gelişim ve temel kavramlar**

Sürüş döngüleri, bir aracın belirli bir süre boyunca çeşitli hız, duraklama ve hızlanma profillerini simüle eden test protokolleridir. Bu döngüler, araçların enerji tüketimi, emisyon performansı ve genel verimlilikleri hakkında tutarlı ve karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmeye yarar. Temelde bir aracın çeşitli yol koşullarında ve farklı hızlarda nasıl performans gösterdiğini anlamaya yönelik testlerdir. Bu döngüler hem üreticiler hem de düzenleyici kurumlar için kritik öneme sahiptir çünkü araçların çevresel etkileri ve enerji verimlilikleri hakkında önemli bilgiler sunar [1].

Sürüş döngüleri, araç tasarımı, test süreci ve yasal düzenlemeler için merkezi bir rol oynamaktadır. Otomobil üreticileri, sürüş döngülerini araç performansını optimize etmek ve enerji verimliliğini artırmak için kullanırken, düzenleyici kurumlar bu döngüleri emisyon sınırlarını belirlemek ve araç sertifikasyonu için kullanır. Ayrıca, elektrikli ve hibrit araçlarda batarya performansını ve menzil hesaplamalarını yapmak için de kritik bir araçtır [2].

Tarihsel olarak sürüş döngüleri, ilk başlarda sadece laboratuvar koşullarında testler yapmak amacıyla geliştirilmiştir. 20. yüzyılın başlarında, yakıt ekonomisinin değerlendirilmesi amacıyla ABD'de kullanılan ilk sürüş döngüleri basit hız ve yavaşlama döngülerinden ibaretti. Ancak zamanla, EPA (Environmental Protection Agency) gibi düzenleyici kurumların çalışmalarıyla daha karmaşık ve gerçeğe yakın döngüler oluşturulmaya başlanmıştır. 1970'lerde NEDC (New European Driving Cycle) gibi standartlar Avrupa'da, daha sonra ise WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) gibi küresel standartlar devreye girmiştir [3]. Sürüş döngüleri, gelişen teknoloji ve artan çevresel hassasiyetler doğrultusunda sürekli olarak evrim geçirmektedir.

Sürüş döngülerinin evrimiyle birlikte, modern araçlarda enerji yönetimi ve batarya optimizasyonu gibi konular giderek daha önemli hale gelmiştir. Bu



bağlamda, yeni test standartları geliştirilirken, sadece fosil yakıtla çalışan araçlar değil, aynı zamanda elektrikli ve hibrit araçların da performanslarını daha gerçekçi şekilde değerlendirmek hedeflenmektedir [4].

## 2. SÜRÜŞ DÖNGÜLERİNİN ÇEŞİTLERİ

- **Şehir içi sürüş döngüleri**
- **Karayolu sürüş döngüleri**
- **Karma sürüş döngüleri**
- **Özel amaçlı sürüş döngüleri** (ör. elektrikli araçlar için geliştirilmiş döngüler)

Sürüş döngüleri, farklı sürüş koşullarını simüle etmek amacıyla geliştirilmiş hız, duraklama, ivmelenme ve yavaşlama profillerini içerir. Her sürüş döngüsü, bir aracın belirli bir ortamda nasıl performans göstereceğini test etmek için tasarlanmıştır. Bu döngüler, şehir içi gibi düşük hız, sık dur-kalk yaşanan koşullardan, karayolu gibi daha yüksek hız ve sabit seyir şartlarına kadar geniş bir yelpazede değerlendirmeler sağlar. Ayrıca, karma döngüler ve elektrikli araçlar gibi özel amaçlı döngüler de mevcuttur. Bu bölümler sürüş döngülerinin çeşitlerini ve bu döngülerin kullanım amaçlarını detaylandırmaktadır.

### 2.1. ŞEHİR İÇİ SÜRÜŞ DÖNGÜLERİ

Şehir içi sürüş döngüleri, genellikle düşük hızda, sık sık durma ve kalkışların olduğu ortamlarda aracın performansını değerlendirmek için kullanılır. NEDC (New European Driving Cycle) ve FTP-75 (Federal Test Procedure) gibi test döngüleri, şehir içi koşulları simüle eden popüler örneklerdendir. Bu döngüler, özellikle aracın hızlanma, yavaşlama, boşta çalışma ve kısa mesafeli hız sabitleme süreçlerini kapsar. Bu tür döngülerde, ortalama hız genellikle 20-30 km/s civarındadır ve bu da yoğun şehir trafiği için uygundur [5].

Şehir içi sürüş döngülerinin amacı, düşük hızlarda yakıt tüketimi ve emisyon performansını ölçmektir. Bu döngüler, özellikle içten yanmalı motorların düşük hızlardaki enerji verimliliğini ve elektrikli araçların düşük hızlarda enerji tüketimini analiz etmek için kullanılır. Aynı zamanda sık dur-

kalk yapan araçlarda frenleme enerji geri kazanımı gibi teknolojilerin test edilmesine olanak sağlar. Şehir içi sürüş döngülerinde elde edilen veriler, araçların şehir içinde ne kadar verimli olduğunu belirlemede kritik rol oynar [6].

## 2.2. KARAYOLU SÜRÜŞ DÖNGÜLERİ

Karayolu sürüş döngüleri, yüksek hızda ve genellikle sabit hızla seyredilen uzun yol koşullarını simüle eder. Bu tür döngülerde hız profili genellikle daha sabittir ve hızlanma ile yavaşlama oranları şehir içi döngülere göre daha düşüktür. Highway Fuel Economy Test (HWFET) ve WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) döngüleri, karayolu koşullarını simüle eden en yaygın kullanılan döngülerdir. Karayolu sürüş döngülerinde hız ortalaması genellikle 90-120 km/s civarındadır ve dur-kalk işlemleri neredeyse yoktur [7]

Bu tür döngüler, özellikle uzun mesafeli sürüşlerde yakıt tüketimini ve batarya performansını test etmek amacıyla kullanılır. Araçların yüksek hızda enerji tüketimi, aerodinamik yapıları ve motor verimlilikleri bu döngülerde test edilir. Özellikle elektrikli araçlar için yüksek hızda menzil performansı önemli bir gösterge haline gelmiştir. Karayolu sürüş döngüleri ayrıca uzun yolculuklarda şarj stratejileri ve enerji yönetimi hakkında önemli veriler sağlar [8].

## 2.3. KARMA SÜRÜŞ DÖNGÜLERİ

Karma sürüş döngüleri hem şehir içi hem de karayolu koşullarını içeren döngülerdir. Bu döngüler, bir aracın farklı sürüş ortamlarında nasıl performans gösterdiğini test etmek için kullanılır. WLTP döngüsü gibi standartlar hem düşük hızlarda hem de yüksek hızlarda aracın performansını test ederek, gerçek dünya koşullarını daha iyi simüle etmeyi amaçlar [9]. Karma sürüş döngüleri, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek için geliştirilmiştir ve hem şehir trafiğinde hem de açık yollarda performansı ölçer.

Bu döngülerde, aracın hız profili sürekli değişir ve çeşitli hızlanma, yavaşlama, duraklama süreçlerini içerir. Karma sürüş döngüleri, ortalama enerji tüketimi ve genel emisyon performansını değerlendirmede daha gerçekçi sonuçlar verdiği için günümüzde birçok düzenleyici kurum

tarafından tercih edilmektedir [10]. Bu döngüler, özellikle hibrit araçlar için, şehir içi ve uzun yol performanslarını aynı anda analiz edebilmek adına önemli veriler sağlar.

## **2.4. ÖZEL AMAÇLI SÜRÜŞ DÖNGÜLERİ**

Özel amaçlı sürüş döngüleri, belirli tipte araçlar veya belirli test amaçları için geliştirilmiş döngülerdir. Örneğin, elektrikli araçlar için geliştirilen sürüş döngüleri, batarya performansını ve enerji tüketimini test etmek için optimize edilmiştir. SAE J1634 gibi elektrikli araçlar için geliştirilmiş özel döngüler, aracın menzilini ve batarya kullanımını ölçmek için kullanılır. Bu tür döngülerde, rejeneratif frenleme, batarya şarj yönetimi ve enerji geri kazanımı gibi unsurlar da değerlendirilir [11].

Elektrikli araçlar için geliştirilen bu tür döngülerde hız profili, genellikle elektrikli araçların enerji tasarrufu sağlayacak hızlarda nasıl performans gösterdiğini test etmek amacıyla düzenlenir. Ayrıca, bu döngülerde farklı sıcaklık koşullarında batarya performansı da test edilir. Özellikle düşük sıcaklıklarda batarya performansındaki düşüşler ve menzil kayıpları bu tür testlerle değerlendirilir [12].

## **3. SÜRÜŞ DÖNGÜLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE STANDARTLAR**

- Geliştirme aşamaları ve metodları
- Mevcut standartlar (örneğin, EPA, WLTP, NEDC)
- Test süreçleri ve araç performansının değerlendirilmesi

### **3.1 SÜRÜŞ DÖNGÜLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ VE STANDARTLAR**

Sürüş döngüleri, araçların enerji tüketimi, emisyonlar ve performansını test etmek için kullanılır. Bu döngüler, gerçek dünya sürüş koşullarını simüle ederek, araçların belirlenen kriterlere uygun olup olmadığını değerlendirir. Sürüş döngülerinin geliştirilmesi uzun bir süreç olup, çeşitli standartlar aracılığıyla küresel olarak uygulanmaktadır.

## 3.2 GELİŞTİRME AŞAMALARI VE METOTLARI

Sürüş döngülerinin geliştirilme süreci hem teorik hem de deneysel aşamaları içerir. İlk aşama, sürüş profillerini belirlemekle başlar. Bu profil, belirli bir araç tipi için yapılan ortalama yolculukları ve hızlanma, frenleme gibi dinamik hareketleri temel alır. Gerçek yol koşullarındaki araç hareketleri, sürücü davranışları ve trafik akışı verileri toplanarak analiz edilir [13]. Bu veriler, istatistiksel yöntemlerle işlenir ve araç performansının simüle edilebileceği hız-zaman eğrileri oluşturulur.

Bir sürüş döngüsü geliştirilirken dikkate alınması gereken birkaç temel faktör bulunmaktadır:

- **Gerçekçilik:** Döngünün, araçların gerçek dünyada karşılaşılabileceği sürüş koşullarını mümkün olduğunca doğru şekilde yansıtması gerekmektedir.
- **Tekrar edilebilirlik:** Testlerin laboratuvar ortamında tekrarlanabilir ve karşılaştırılabilir olması zorunludur.
- **Düzenleyici gereklilikler:** Sürüş döngüleri, ulusal ve uluslararası düzenleyici kurumların koyduğu emisyon ve yakıt ekonomisi gerekliliklerine uygun olmalıdır.

Sürüş döngüleri ayrıca araç teknolojisindeki gelişmelere göre de güncellenir. Örneğin, elektrikli ve hibrit araçların artışı ile birlikte, enerji verimliliği ve batarya performansı değerlendirilirken düşük hızda dur-kalk hareketleri ve rejeneratif frenleme gibi parametreler önemli hale gelmiştir [14].

## 3.3 MEVCUT STANDARTLAR

Farklı ülkeler ve bölgeler, araçların performansını değerlendirmek için çeşitli sürüş döngüleri ve standartlar geliştirmiştir. En yaygın kullanılan sürüş döngüleri arasında NEDC (New European Driving Cycle), WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) ve EPA (Environmental Protection Agency) döngüleri bulunmaktadır.

- **NEDC:** 1970'lerde Avrupa'da geliştirilen bu sürüş döngüsü, uzun yıllar boyunca emisyon ve yakıt tüketim testleri için standart olarak kullanılmıştır. NEDC, şehir içi ve şehir dışı olmak üzere iki ana bölüme ayrılır. Şehir içi bölüm, düşük hızlarda ve sık dur-kalk hareketleriyle araç performansını test ederken, şehir dışı bölüm daha yüksek hızlardaki sürüşleri simüle eder [15] Ancak NEDC, gerçek dünya koşullarını yeterince yansıtmadığı ve düşük hızlarda test ettiği için eleştirilmiştir.
- **WLTP:** NEDC'nin yerine geçen WLTP, 2017 yılında uygulanmaya başlamıştır ve sürüş koşullarını daha dinamik ve gerçekçi şekilde simüle eder. WLTP, araçların şehir içi, şehir dışı ve otoyol koşullarında performansını test ederek, hızlanma, yavaşlama ve hız profillerini gerçeğe daha yakın hale getirmiştir. Bu yeni döngü, enerji tüketimi ve emisyon testlerinde daha kesin ve güvenilir sonuçlar sunmaktadır [16]
- **EPA Döngüleri:** ABD'de kullanılan EPA döngüleri, şehir içi (Urban Dynamometer Driving Schedule - UDDS) ve otoyol sürüş döngüleri (Highway Fuel Economy Test - HWFET) olarak ikiye ayrılır. UDDS, araçların düşük hızlarda, sık dur-kalk yaptığı şehir içi yolculukları simüle ederken, HWFET daha sabit ve yüksek hızlardaki karayolu koşullarını test eder [17].

### 3.4 TEST SÜREÇLERİ VE ARAÇ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Sürüş döngüleri, araç performansını değerlendirmek amacıyla laboratuvar ortamında çeşitli testlere tabi tutulur. Bu testlerde, araçlar dinamometreler üzerine yerleştirilir ve belirli hız profillerine göre çalıştırılır. Dinamometreler, araçların hızlanma, frenleme ve durağan durumlarındaki enerji tüketimini ve emisyonlarını ölçer [18].

Araç performansı, sürüş döngüsüne göre birkaç ana başlık altında değerlendirilir:

- **Yakıt tüketimi:** Sürüş döngüleri, belirlenen hız profilleri boyunca aracın ortalama yakıt tüketimini ölçer. Bu değer, araç üreticileri için önemli bir satış noktası olmasının yanı sıra, çevre regülasyonları açısından da büyük önem taşır.
- **Emisyonlar:** Sürüş döngüleri, özellikle CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve partikül madde gibi zararlı emisyonların ölçümünde kritik bir rol oynar. Avrupa'da WLTP, ABD'de ise EPA döngüleri, emisyon standartlarının belirlenmesi ve araçların bu standartlara uygun olup olmadığını test etmek için kullanılır [19].
- **Elektrikli araç performansı:** Elektrikli ve hibrit araçlar için test süreçleri, rejeneratif frenleme, batarya yönetimi ve menzil analizini içerir. Bu araçlarda, özellikle enerji tüketimi ve geri kazanımı kritik performans kriterleri olarak öne çıkar [20].

Sürüş döngülerine dayalı testler, araçların sadece laboratuvar ortamında değil, aynı zamanda gerçek dünya koşullarında nasıl performans gösterdiği konusunda da bilgi verir. Gerçek dünya koşullarına uygunluğu sağlamak için laboratuvar sonuçları saha testleriyle karşılaştırılmakta ve sonuçlar, nihai araç sertifikasyonu için kullanılmaktadır.

## 4. SÜRÜŞ DÖNGÜLERİNİN ENERJİ VE EMİSYON ANALİZİNE ETKİSİ

- Araç yakıt tüketimi ve enerji verimliliği
- Sürüş döngülerinin emisyon analizindeki rolü
- Farklı sürüş döngülerinde elektrikli ve hibrit araç performansları

### 4.1 SÜRÜŞ DÖNGÜLERİNİN ENERJİ VE EMİSYON ANALİZİNE ETKİSİ

### 4.2 ARAÇ YAKIT TÜKETİMİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Sürüş döngüleri, araçların yakıt tüketimi ve enerji verimliliğini ölçmede kritik bir rol oynar. Bu döngüler, araçların belirlenen hız profilleri altında nasıl performans gösterdiğini simüle ederek, ortalama yakıt tüketimini belirler. Yakıt tüketim testleri, sürüş döngülerinin karakteristiğine göre

değişiklik gösterebilir. Örneğin, New European Driving Cycle (NEDC), düşük hızlardaki şehir içi sürüş koşullarına odaklanarak yakıt ekonomisini ölçerken, Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP), daha geniş hız aralıklarında test yaparak daha gerçekçi sonuçlar sunar [21]. Bu döngülerde, araçların hızlanma, yavaşlama ve durağan durumlarındaki yakıt tüketimi hesaplanarak, enerji verimliliği değerlendirilir.

Araç teknolojisindeki ilerlemeler, özellikle elektrikli ve hibrit araçların enerji verimliliğini test etmek için özel sürüş döngüleri geliştirilmesine neden olmuştur. Elektrikli araçlar için düşük hızlardaki enerji tüketimi ve rejeneratif frenlemenin verimliliği, enerji yönetiminin en önemli unsurlarından biridir. Bu nedenle, sürüş döngüleri araçların şehir içi ve otoyol gibi farklı koşullarda enerji verimliliğini anlamak için kritik öneme sahiptir [22].

### **4.3 SÜRÜŞ DÖNGÜLERİNİN EMİSYON ANALİZİNDEKİ ROLÜ**

Sürüş döngüleri, araçların emisyon analizlerinde de merkezi bir rol oynar. Özellikle, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve partikül madde gibi zararlı emisyonların ölçümü, sürüş döngüleri kullanılarak yapılır. Farklı sürüş döngüleri, araçların hız profillerine göre emisyon miktarlarını hesaplar ve bu veriler, çevre regülasyonlarına uyum sağlamak amacıyla kullanılır. NEDC gibi döngüler, emisyonların düşük hızlarda nasıl değiştiğini incelerken, WLTP gibi daha yeni sürüş döngüleri, gerçek dünya koşullarında daha geniş hız aralıklarında emisyon analizine olanak tanır [23].

Elektrikli araçlar sıfır egzoz emisyonuna sahip olsa da hibrit araçlar için rejeneratif frenleme sırasında veya motorun belirli hızlarda devreye girmesiyle emisyon seviyeleri değişiklik gösterebilir. Bu yüzden, sürüş döngüleri, özellikle hibrit araçların farklı çalışma modlarında ne kadar emisyon ürettiğini tespit etmek için kritik bir test aracıdır [24]

### **4.4 FARKLI SÜRÜŞ DÖNGÜLERİNDE ELEKTRİKLİ VE HİBRİT ARAÇ PERFORMANSLARI**

Elektrikli ve hibrit araçlar, sürüş döngülerinde test edilirken, geleneksel içten yanmalı motorlara kıyasla farklı performans kriterlerine sahiptir.

Elektrikli araçlarda enerji tüketimi, menzil ve rejeneratif frenleme gibi unsurlar incelenirken, hibrit araçlar hem yakıt tüketimi hem de elektrik enerjisi kullanımı açısından değerlendirilir. Örneğin, elektrikli araçlar için geliştirilen Electric Vehicle Urban Driving Cycle (EVUDC), düşük hızlardaki enerji tüketimini ve rejeneratif frenleme performansını ölçer [25]

Elektrikli ve hibrit araçlar, özellikle düşük hızlardaki dur-kalk hareketlerinde enerji verimliliği açısından avantaj sağlar. Ancak, yüksek hızlarda batarya tüketimi artabilir ve bu durum araç menziline etkileyebilir. Hibrit araçlarda ise sürüş döngüsüne göre içten yanmalı motorun ne zaman devreye girdiği, enerji tüketimi ve emisyon seviyelerini önemli ölçüde etkiler. Bu yüzden, hibrit araçların performansını değerlendirirken, şehir içi ve karayolu sürüş döngüleri gibi farklı döngülerde elde edilen sonuçlar oldukça değişken olabilir [26].

## **5. SÜRÜŞ DÖNGÜLERİNİN ELEKTRİKLİ ARAÇLARA ETKİSİ**

- Pil ömrü ve enerji yönetimi üzerindeki etkiler
- Farklı döngülerde menzil performansı
- Rejeneratif frenleme ve enerji geri kazanımı analizi

## **5. SÜRÜŞ DÖNGÜLERİNİN ELEKTRİKLİ ARAÇLARA ETKİSİ**

### **5.1 PİL ÖMRÜ VE ENERJİ YÖNETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİLER**

Elektrikli araçlar (EV'ler) için sürüş döngüleri, pil ömrü ve enerji yönetimi açısından kritik öneme sahiptir. Sürüş döngüleri, hızlanma, yavaşlama, durağanlık gibi farklı sürüş koşullarını simüle ederken, batarya tüketim hızını ve bu süreçte yaşanan enerji geri kazanımını etkiler. Özellikle yüksek hız, sık dur-kalk hareketleri veya agresif sürüş gibi faktörler, bataryanın daha hızlı boşalmasına neden olabilir. Bu durum, pil ömrünü kısaltabilir ve aracın enerji yönetim sistemleri üzerindeki yükü artırabilir [27].



Bu bağlamda, elektrikli araçların daha verimli çalışabilmesi için sürüş döngüleri ile optimize edilmiş enerji yönetim stratejileri geliştirilir.

Sürüş döngüleri, pil ömrünü artırmak için enerji tüketiminin düzenlenmesine de yardımcı olur. Bataryaların yüksek deşarj oranlarından korunması ve uygun çalışma sıcaklıklarının sağlanması gibi kriterler, farklı sürüş döngülerinde test edilir. WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) gibi sürüş döngüleri, gerçek dünya koşullarını daha iyi yansıttığı için elektrikli araçların enerji yönetiminde daha güvenilir sonuçlar sunar [28].

## **5.2 FARKLI DÖNGÜLERDE MENZİL PERFORMANSI**

Elektrikli araçların menzil performansı, kullanılan sürüş döngüsüne bağlı olarak büyük farklılık gösterebilir. Şehir içi sürüş döngüleri genellikle düşük hızlarda ve sık dur-kalk hareketleri içerirken, otoyol sürüş döngüleri yüksek hızlarda daha sabit bir hız profili sunar. Bu farklılıklar, batarya tüketimini doğrudan etkileyerek menzil performansını değiştirir. Örneğin, şehir içi sürüşlerde rejeneratif frenleme sayesinde enerji geri kazanımı yüksek olabilir ve bu durum menzili uzatabilir. Ancak yüksek hızlarda ve sürekli hareket halinde batarya tüketimi artar ve menzil kısalabilir [29].

EPA (Environmental Protection Agency) tarafından geliştirilen şehir içi ve otoyol sürüş döngüleri, elektrikli araçların farklı koşullardaki menzil performansını test etmek için kullanılır. Şehir içi döngülerde daha sık enerji geri kazanımı yaşandığı için menzil genellikle daha uzun çıkar. Ancak otoyol koşullarında batarya sürekli yüksek hızda deşarj olduğundan, menzil performansı belirgin şekilde azalabilir. Bu tür testler, gerçek dünya koşullarında elektrikli araç menzilinı doğru bir şekilde tahmin etmek için hayati öneme sahiptir [30]

## **5.3 REJENERATİF FRENLEME VE ENERJİ GERİ KAZANIMI ANALİZİ**

Elektrikli araçların sürüş döngüleri sırasında en önemli avantajlarından biri, rejeneratif frenleme ile enerji geri kazanımıdır. Rejeneratif frenleme, araç yavaşladığında veya fren yaptığında açığa çıkan kinetik enerjinin elektrik

enerjisine dönüştürülerek bataryaya geri gönderilmesini sağlar. Bu süreç, özellikle şehir içi sürüş döngülerinde sıkça meydana gelir ve enerji verimliliğini artırarak menzil performansını olumlu etkiler [31]

Rejeneratif frenleme, enerji geri kazanımı kapasitesi açısından farklı sürüş döngülerinde test edilir. Şehir içi sürüş döngülerinde, dur-kalk hareketleri sık olduğundan daha fazla enerji geri kazanılabilir. Bu da aracın toplam enerji tüketimini azaltır ve bataryanın kullanım ömrünü uzatır. WLTP gibi sürüş döngüleri, rejeneratif frenleme performansını gerçek dünya koşullarına yakın bir şekilde değerlendirerek, elektrikli araçların enerji geri kazanım stratejilerini optimize etmeye yardımcı olur [32].

## 6. SİMÜLASYON VE MODELLEME TEKNİKLERİ

- Sürüş döngülerinin simülasyonu (örneğin MATLAB, Simulink)
- Gerçek zamanlı test ve modelleme
- Yapay zekâ ve makine öğrenmesi kullanımı ile döngü optimizasyonu

## 6. SİMÜLASYON VE MODELLEME TEKNİKLERİ

### 6.1 SÜRÜŞ DÖNGÜLERİNİN SİMÜLASYONU

Sürüş döngülerinin simülasyonu, araç performansını analiz etmek ve enerji verimliliği gibi durumlar için kullanılmaktadır. Bu simülasyonlar, genellikle MATLAB ve Simulink gibi platformlar aracılığıyla gerçekleştirilir. MATLAB, araç dinamiklerini ve sürüş döngülerini modellemek için geniş bir araç seti sunarken, Simulink, bu modelleri grafiksel bir ortamda simüle etmek için kullanılan güçlü bir araçtır [33] Bu araçlar, sürüş döngülerinin hız, ivme, yavaşlama ve duraklama gibi parametrelerini kullanarak, araçların enerji tüketimi, emisyon performansı ve menzil tahmini gibi unsurlarını değerlendirmeye olanak tanır.

Simülasyon ortamları, farklı sürüş döngüleri altında araçların nasıl performans gösterdiğini test etmek için kullanılır. Özellikle elektrikli ve hibrit araçlar için, batarya tüketimi, rejeneratif frenleme ve enerji geri kazanımı gibi kritik performans parametreleri, bu simülasyonlar sayesinde ayrıntılı bir

şekilde analiz edilebilir. Ayrıca, NEDC, WLTP veya EPA gibi farklı sürüş döngüleri simüle edilerek, çeşitli sürüş koşullarında araç performansının karşılaştırılması mümkün hale gelir [34]

## **6.2 GERÇEK ZAMANLI TEST VE MODELLEME**

Gerçek zamanlı test ve modelleme, araçların sürüş koşullarında nasıl performans gösterdiğini anlık olarak incelemeye olanak sağlar. Bu teknik, özellikle sürüş döngülerinin gerçek dünya koşullarına daha yakın hale getirilmesi amacıyla kullanılır. Hardware-in-the-Loop (HIL) testleri, sürüş döngülerini gerçek zamanlı olarak simüle ederek, araç sistemlerinin fiziksel donanımlarla nasıl entegre çalıştığını test eder [35]. Bu yöntem, araçların sürüş koşullarındaki tepkilerini anlık olarak izleyip, kontrol sistemleri üzerinde iyileştirmeler yapılmasına olanak tanır.

Gerçek zamanlı testler, sürüş döngülerindeki hızlanma, yavaşlama ve frenleme gibi olayların anında modellenmesiyle, enerji yönetim stratejilerinin ve araç kontrol sistemlerinin performansını optimize etmeye yardımcı olur. Ayrıca bu teknik, sürüş dinamiklerinin karmaşıklığını azaltmak ve test sürelerini hızlandırmak amacıyla kullanılır.

## **6.3 YAPAY ZEKÂ VE MAKİNE ÖĞRENMESİ KULLANIMI İLE DÖNGÜ OPTİMİZASYONU**

Yapay zekâ (AI) ve makine öğrenmesi (ML) teknikleri, sürüş döngülerinin optimizasyonunda devrim yaratmıştır. AI ve ML, araç performansını analiz eden büyük veri setlerini kullanarak, en uygun sürüş stratejilerini belirleyebilir ve sürüş döngülerinin daha verimli hale getirilmesine katkıda bulunabilir [36]. Bu teknikler, sürüş döngüleri sırasında enerji tüketimini, rejeneratif frenleme potansiyelini ve batarya kullanımını optimize etmek için kullanılabilir.

Makine öğrenmesi algoritmaları, sürüş verilerini analiz ederek, belirli sürüş koşullarında aracın enerji tüketimini en aza indireyecek ya da menzili uzatacak optimal stratejileri belirleyebilir. Ayrıca, yapay zekâ, farklı sürüş döngülerinin öğrenilmesini sağlayarak, araçların kendini adapte etme yeteneğini geliştirir. Böylece araçlar, gerçek zamanlı verilerle sürüş tarzını optimize edebilir ve enerji verimliliğini artırabilir [37]).

## 7. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

- Sürüş döngüleri üzerine mevcut araştırmaların özeti
- Gelecekteki araştırmalar için öneriler ve geliştirme alanları

## 7. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

### 7.1 SÜRÜŞ DÖNGÜLERİ ÜZERİNE MEVCUT ARAŞTIRMALARIN ÖZETİ

Sürüş döngüleri, araç performansını değerlendirmek, yakıt tüketimini ölçmek ve emisyonları analiz etmek için kritik bir araç olarak kullanılmaktadır. Mevcut araştırmalar, sürüş döngülerinin elektrikli ve hibrit araçlardan içten yanmalı motorlara kadar geniş bir araç yelpazesinde enerji yönetimi, menzil ve çevresel etkiler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. NEDC, WLTP ve EPA gibi standart sürüş döngüleri, araçların yakıt tüketimini ve emisyon performansını laboratuvar ortamında analiz etmek için geliştirilmiş olup, gerçek dünya koşullarına daha yakın simülasyonlar sunmaktadır [38] Özellikle elektrikli araçlar için rejeneratif frenleme ve enerji geri kazanımı gibi unsurların farklı sürüş döngülerinde nasıl optimize edileceği üzerine yapılan çalışmalar, enerji verimliliğinin artırılmasına katkı sağlamaktadır [39].

Sürüş döngüleri üzerine yapılan simülasyonlar, MATLAB, Simulink gibi platformlar aracılığıyla enerji tüketimi ve batarya performansını ölçme imkanı sunarken, gerçek zamanlı testler ve yapay zeka teknikleri kullanılarak bu döngülerin optimizasyonu üzerine önemli gelişmeler kaydedilmiştir[40]Yapay zeka ve makine öğrenmesi algoritmaları, sürüş döngülerini daha verimli hale getirmek amacıyla enerji yönetimi stratejileri geliştirmekte ve gelecekte sürüş dinamiklerini optimize etme potansiyeline sahiptir [41]

## **7.2 GELECEKTEKİ ARAŞTIRMALAR İÇİN ÖNERİLER VE GELİŞTİRME ALANLARI**

Gelecekteki araştırmalar için önemli geliştirme alanları mevcuttur. Birincisi, sürüş döngülerinin gerçek dünya sürüş koşullarını daha doğru şekilde yansıtacak şekilde daha esnek hale getirilmesi gerekmektedir. Günümüzde kullanılan standart döngüler, her ne kadar birçok açıdan faydalı olsa da şehir içi ve şehir dışı trafik koşullarının karmaşıklığını tam anlamıyla yansıtamamaktadır. Özellikle yapay zekâ ve makine öğrenmesi ile entegre edilmiş kişiselleştirilmiş sürüş döngüleri, her sürücünün farklı sürüş alışkanlıklarını ve rotalarını daha doğru şekilde simüle edebilir ve araçların gerçek tüketim ve emisyon performansını daha iyi tahmin edebilir [42]).

İkinci olarak, elektrikli araçların batarya teknolojilerinde yaşanan ilerlemeler ile, sürüş döngülerinin bu gelişmeleri yakalayacak şekilde optimize edilmesi gerekmektedir. Yeni nesil batarya sistemleri, daha yüksek enerji yoğunluğu ve hızlı şarj kapasitesine sahip olduğundan, bu özelliklerin sürüş döngülerinde nasıl değerlendirileceği üzerine araştırmalar yapılmalıdır. Özellikle rejeneratif frenleme ve enerji geri kazanımı süreçlerinin geliştirilmesi, elektrikli araçların menzil ve verimliliği açısından büyük potansiyele sahiptir [43]

Son olarak, şehir içi ve otoyol sürüş koşulları gibi farklı döngülerde çevresel etkilerin daha derinlemesine analiz edilmesi ve bu döngülerin karbon salınımı üzerindeki uzun vadeli etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmalar, sürdürülebilir ulaşım çözümlerinin geliştirilmesine ve araçların çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik stratejilerin belirlenmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

## **7.3 YENİ ENERJİLİ ARAÇLAR (NEV) İÇİN SÜRÜŞ DÖNGÜLERİ**

Yeni enerjili araçlar için sürüş döngüleri, aracın farklı kullanım senaryolarında nasıl performans göstereceğini ve enerji tüketimini nasıl etkileyebileceğini incelemek için kullanılan standartlaştırılmış test ve simülasyon prosedürleridir.

## 8. NEDC (NEW EUROPEAN DRIVING CYCLE)

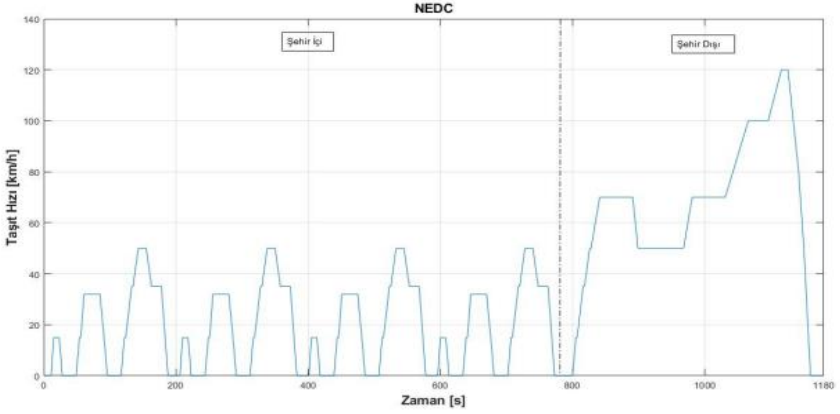
Avrupa'da otomobil emisyonlarını ve yakıt tüketimini ölçmek için kullanılan standart bir test döngüsüdür. NEDC, otomobillerin yakıt ekonomisi ve emisyonlarını belirlemek amacıyla tasarlanmış bir laboratuvar testidir. Ancak, NEDC'nin gerçek dünya sürüş koşullarını tam olarak yansıtmadığı ve bu nedenle gerçek dünya performansıyla büyük farklar gösterdiği eleştirilmiştir. NEDC'nin ana amacı, otomobillerin yakıt tüketimi ve emisyonlarını standart bir test döngüsü kullanarak karşılaştırılabilir hale getirmektir. Ancak, NEDC'nin gerçek dünya sürüş koşullarını yansıtmadığı aşağıdaki nedenlerle eleştirilmiştir;

**Sabit Hızlar ve Hız Değişimleri:** NEDC testi, belirli bir hız ve hız değişimlerine dayanmaktadır. Bu nedenle, gerçek dünya sürüşünde görülen trafik koşulları ve hız değişiklikleri gibi faktörleri tam olarak yansıtmamaktadır.

**Durağanlık:** NEDC testi sırasında araç, genellikle durağan bir şekilde başlar ve durur. Bu, gerçek dünya sürüşünde meydana gelen hızlanma ve frenleme olaylarını dikkate almaz.

**Optimal Koşullar:** NEDC testi laboratuvar koşullarında gerçekleştirilir, bu nedenle yolun durumu, hava koşulları ve diğer faktörler gerçek dünya sürüşünü yansıtmaz.

Bu nedenlerle, Avrupa Birliği, daha gerçekçi bir test olan WLTP'yi kullanmaya başlamıştır. WLTP, daha geniş bir hız aralığını ve daha dinamik sürüş koşullarını içerir ve otomobillerin yakıt tüketimi ve emisyonlarını dahagerçekçi bir şekilde hesaplar. WLTP, 2017 yılında resmi olarak kullanılmaya başlanmıştır ve otomobil üreticilerinin araçlarının yakıt tüketimi ve emisyonlarını açıklamak için kullanmaları gereken bir standart haline gelmiştir.



Şekil 1. NEDC Hız Profili

Sonuç olarak, Yeni Avrupa Sürüş Döngüsü (NEDC), otomobil yakıt tüketimi ve emisyonlarını ölçmek için kullanılan eski bir standart test döngüsüdür ve yerini Dünya Geneline Uyumlu Hafif Araç Test Prosedürü (WLTP) gibi daha gerçekçi bir test döngüsü almıştır.

## 9. WLTP (WORLDWIDE HARMONIZED LIGHT VEHICLES TEST PROCEDURE)

WLTP, daha önce kullanılan NEDC (New European Driving Cycle) testini daha gerçekçi ve güncel bir test döngüsüyle değiştirmek amacıyla geliştirilmiştir. WLTP'nin geliştirilmesi, daha önceki test döngüsü NEDC'nin gerçek dünya sürüş koşullarını yansıtmadığının ve otomobil üreticilerinin yakıt tüketimi ve emisyon verilerini yanıltıcı şekillerde raporlayabileceğinin anlaşılmasıyla başladı. WLTP, daha gerçekçi bir temelde otomobil performansını ve emisyonlarını değerlendirmeyi amaçlamıştır.

### 9.1 WLTP'İN TEMEL ÖZELLİKLERİ

**Genişletilmiş Hız Aralığı:** WLTP, daha geniş bir hız aralığını kapsar, bu da daha gerçekçi sürüş koşullarının simüle edilmesine yardımcı olur.

**Daha Fazla Hız Değişimi:** Test döngüsü, daha fazla hız değişikliği içerir, böylece otomobilin hızlanma, frenleme ve sürekli hız değişimlerine nasıl tepki verdiğini değerlendirebilir.

**Daha Uzun Süre:** WLTP testi, NEDC'ye göre daha uzun bir süre boyunca gerçekleştirilir, bu da daha uzun bir sürüş döngüsünün simüle edilmesine olanak tanır.

**Farklı Sürüş Senaryoları:** WLTP, farklı sürüş senaryolarını yansıtmak üzere tasarlanmıştır.

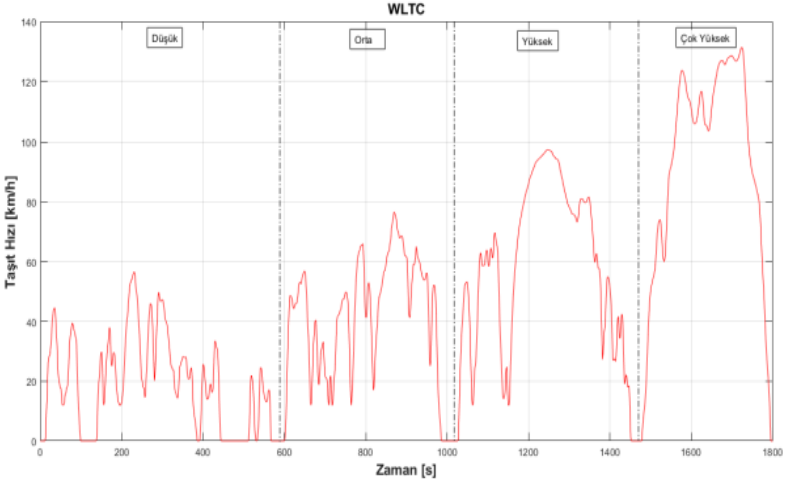
**WLTP ve Emisyon Standartları:** WLTP, otomobil üreticilerinin emisyon verilerini daha doğru bir şekilde raporlamalarına yardımcı olur. Ayrıca, WLTP sonuçlarına dayalı olarak Avrupa Birliği gibi bölgeler, otomobil emisyonlarını ve yakıt tüketimini sınırlamak için yeni standartlar belirlemiştir.

**Uluslararası Kabul:** WLTP, birçok ülke ve bölge tarafından kabul edilmiş ve uygulanmıştır. Bu, otomobil üreticilerinin dünya genelinde benzer test prosedürlerini kullanmalarına olanak tanır ve tüketiciye daha karşılaştırılabilir veriler sunar.

**İyileştirilmiş Veri Güvenilirliği:** WLTP, otomobil üreticilerinin emisyon ve yakıt tüketimi verilerini daha güvenilir ve karşılaştırılabilir bir şekilde sunmalarına yardımcı olur. Bu, tüketicilerin daha bilinçli araç seçimleri yapmalarına olanak tanır.

WLTP, otomobil endüstrisinde daha doğru ve güvenilir yakıt tüketimi ve emisyon ölçümleri için önemli bir adım olarak kabul edilmektedir. Bu prosedür, otomobil üreticileri, düzenleyiciler ve tüketiciler arasında daha fazla şeffaflık ve güvenilirlik sağlamak için tasarlanmıştır.





**Şekil 2.** WLTP Hız Profili

WLTP testi, otomobillerin emisyonlarını ve yakıt tüketimini ölçmeyi amaçladığı için, elektrik motorlarının tasarımı ve performansı bu testi geçmek için kritik öneme sahiptir. Bir elektrikli araçta WLTP testini geçmek için dikkate alınması gereken bazı elektrik motoru tasarım faktörleri;

**Verimlilik:** Elektrik motorunun yüksek verimlilik seviyelerine sahip olması önemlidir. Daha verimli bir motor, daha az enerji tüketir ve daha az emisyon üretir.

**Güç:** WLTP testi, farklı hızlarda ve hızlanma oranlarında sürüş koşullarını simgeler. Bu nedenle elektrik motorunun yeterli güce sahip olması ve bu farklı koşullarda etkili bir şekilde çalışabilmesi gerekir.

**Hız Aralığı:** Elektrik motorunun tasarımı, düşük hızlardan yüksek hızlara kadar geniş bir aralıkta etkili olmalıdır. WLTP testi farklı hızlarda sürüşü içerdiğinden, motorun bu hız aralığında iyi performans göstermesi önemlidir.

**Enerji Depolama:** WLTP testi sırasında kullanılan enerjiyi sağlamak için güçlü bir batarya veya başka bir enerji depolama çözümü gereklidir. Bu, testi geçmek ve belirtilen menzil değerlerini karşılamak için önemlidir.

**Soğutma Sistemi:** Elektrik motorunun verimli bir şekilde çalışabilmesi için etkili bir soğutma sistemine ihtiyaç vardır. Bu, motorun aşırı ısınmasını önler ve performansını optimize eder.

**Regeneratif Frenleme:** Regeneratif frenleme, frenleme sırasında enerjiyi geri kazanma yeteneği sağlar. Bu, WLTP testi sırasında enerji tüketimini azaltabilir ve menzilin artırılmasına yardımcı olabilir.

**Kontrol Sistemi:** Elektrik motorunun performansını yönetmek için etkili bir kontrol sistemi gerekir. Bu kontrol sistemi, motorun güç çıkışını optimize etmek ve sürüş koşullarına göre ayarlamak için kullanılır.

**Emisyon Kontrolü:** Elektrikli araçlar genellikle sıfır emisyonlu olarak kabul edilir, ancak motor tasarımı ve kontrolü, herhangi bir olası emisyonu minimize etmek için dikkatle düşünülmelidir.

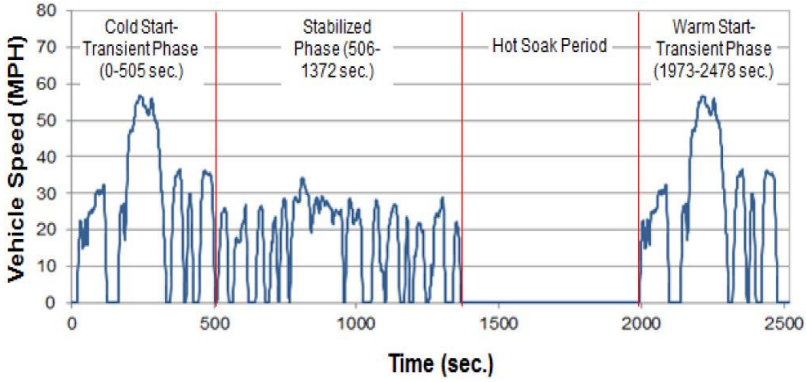
Tüm bu faktörler, WLTP testini başarıyla geçebilmek ve elektrikli aracın yakıt verimliliğini ve emisyonlarını optimize etmek için önemlidir. Elektrikli araç üreticileri, bu gereksinimleri karşılamak için gelişmiş motor tasarımı ve teknolojilerini kullanırlar.

## **10. EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY)**

Environmental Protection Agency (EPA), ABD hükümetine bağlı bir kuruluş olup, çevre koruma ve çevresel düzenlemelerle ilgilenir. EPA'nın sürüş döngüleri, otomobil emisyonlarını ve yakıt ekonomisini ölçmek için kullanılan test döngülerini ifade eder. EPA'nın temel sürüş döngüleri aşağıda verilmiştir.

### **10.1. FTP-75 (FEDERAL TEST PROCEDURE):**

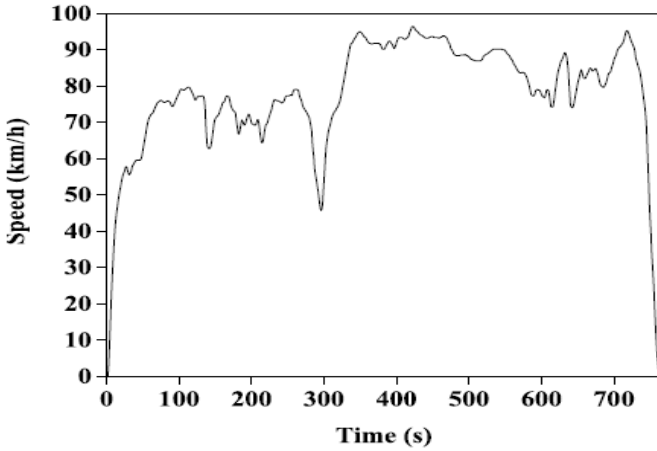
FTP-75, ABD'de hafif yol taşıtlarının (özellikle otomobillerin) emisyonlarını ve yakıt ekonomisini ölçmek için kullanılan temel bir sürüş döngüsüdür. Bu test, yeni araçların emisyon sertifikaları için gereklidir. FTP-75, şehir içi sürüş koşullarını temsil eder. Araç, belirli bir hızla başlar, ardından hızlanır, durur ve tekrar başlar. Bu döngü, tipik şehir içi trafik koşullarını yansıtmayı amaçlar.



Şekil 3. FTP-75 Hız Profili [44]

## 10.2. HFET (HIGHWAY FUEL ECONOMY TEST):

HFET, otomobillerin otoyol sürüş koşullarında yakıt ekonomisini ölçmek için kullanılan bir sürüş döngüsüdür. HFET, daha yüksek hızlarda daha uzun süreli bir sürüş simüle eder. Araç, belirli bir hızda sabit bir hızda ilerler ve bu test, otoyol sürüş koşullarını temsil eder.

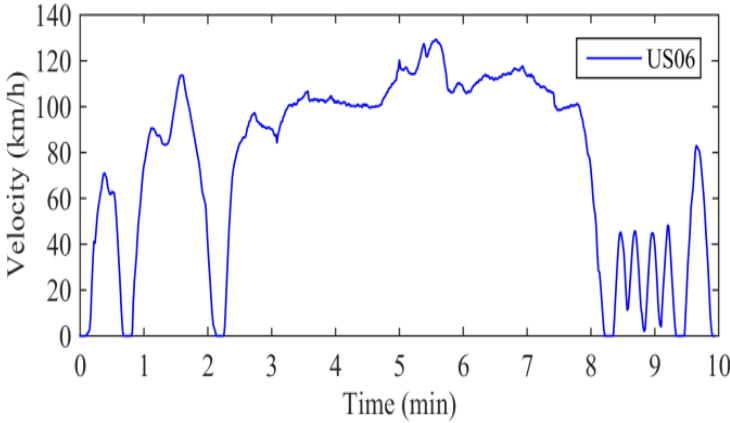


Şekil 4. HFET Hız Profili [45]

### 10.3. US06 (SUPPLEMENTAL FEDERAL TEST PROCEDURE- US06):

US06, otomobillerin daha agresif sürüş koşullarında emisyonlarını ve yakıt ekonomisini ölçmek için kullanılır. Bu test, yüksek hızlı sürüş ve ani hız değişikliklerini içerir. US06, özellikle şehir içi trafik dışında gerçekleşen sürüş koşullarını simüle eder. Bu nedenle, daha agresif bir sürüş tarzını yansıtır ve otomobillerin daha yüksek hızlarda nasıl performans gösterdiğini değerlendirir. Bu EPA sürüş döngüleri, otomobil üreticilerinin emisyonları ve yakıt ekonomisini ölçerken farklı sürüş koşullarını temsil etmelerine yardımcı olur. Bu döngüler, araçların performanslarını ve çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılır ve sürücülere daha gerçekçi veriler sunma potansiyeline sahiptir.

Ayrıca, EPA sürüş döngülerine ek olarak, ABD'de kullanılan CAFE (Corporate Average Fuel Economy) standartları da vardır. CAFE standartları, otomobil üreticilerinin araçlarının ortalama yakıt ekonomisini belirler ve otomobil endüstrisinde daha yakıt verimli araçların teşvik edilmesini amaçlar. EPA sürüş döngüleri, CAFE standartlarının belirlenmesinde önemli bir rol oynar.



Şekil 5. US06 Hız Profili [46]

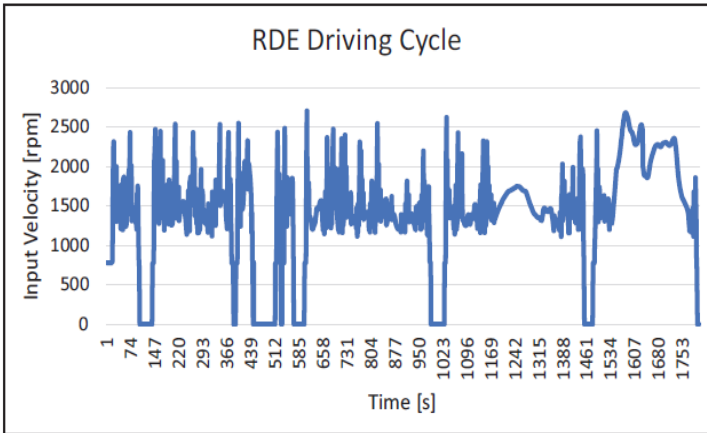
## 10.4. RDE (REAL DRIVING EMISSIONS)

Real Driving Emissions (RDE), gerçek dünya sürüş koşullarında araçların egzoz emisyonlarını ve yakıt tüketimini ölçmek için kullanılan bir emisyon test yöntemidir. RDE, laboratuvar ortamında yapılan standart emisyon testlerinin sınırlamalarını ele almak ve otomobillerin gerçek dünya sürüş koşullarında ne kadar çevre dostu olduğunu daha iyi yansıtmak amacıyla geliştirilmiştir.

RDE, özellikle otomobil emisyonlarındaki skandalların (örneğin, Volkswagen'in NOx emisyonlarıyla ilgili sorunlar) ardından gündeme geldi. Bu tür olaylar, laboratuvar ortamında yapılan emisyon testlerinin gerçek dünya sürüş koşullarını yeterince yansıtmadığını gösterdi. Bu nedenle, RDE, emisyon testlerini daha gerçekçi ve güvenilir hale getirmek için geliştirildi.

RDE testleri, gerçek dünya sürüşlerini simüle etmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu testler sırasında araçlar, farklı hızlarda, hızlanma ve frenleme olayları ile çeşitli yol koşullarında test edilir.

RDE, emisyonların ve yakıt tüketiminin sadece laboratuvar ortamında değil, gerçek dünya sürüşlerinde de sınırlar içinde kalmasını gerektirir. Bu, özellikle NOx (azot oksitler) ve partikül madde emisyonları gibi kirletici maddeler için önemlidir.



Şekil 6. RDE Hız Profili [47]

### **10.4.1 Sınırlamalar ve standartlar**

RDE, emisyon sınırlarını aşan araçlar için yaptırım öngörür. Yani, bir araç RDE testlerini geçemezse, bu araç piyasada satılamaz.

RDE testlerinin yapılma sıklığı ve koşulları düzenleyiciler tarafından belirlenir. Testler, farklı hızlarda, farklı sıcaklıklarda ve farklı yol koşullarında gerçekleştirilir.

### **10.4.2 Avrupa Birliği ve Dünya çapında kabul**

RDE, özellikle Avrupa Birliği'nde egzoz emisyonlarını düzenlemek için benimsenen bir yöntemdir. Ancak, diğer ülkeler ve bölgeler de benzer test yöntemlerini benimsemektedir.

### **10.4.3 Teknolojik gelişmeleri teşvik eder**

RDE, otomobil üreticilerini daha temiz ve çevre dostu araçlar üretmeye teşvik eder. Bu nedenle, otomobil endüstrisinde daha fazla emisyon kontrolü teknolojisinin geliştirilmesine ve benimsenmesine katkıda bulunur.

RDE, otomobil emisyonlarının gerçek dünya koşullarında daha iyi ölçülmesini sağlamak amacıyla önemli bir adımdır. Bu yöntem, otomobil üreticilerinin emisyon sınırlarına uyum sağlamalarını ve çevreye daha az zarar veren araçlar üretmelerini teşvik eder. Ayrıca, RDE, tüketicilere daha gerçekçi ve güvenilir yakıt tüketimi ve emisyon verileri sunar.

## **11. SÜRÜŞ ÇEVİRİMLERİ**

Bu iki test çevrimi arasındaki en önemli fark, hız profillerinin farklılık göstermesidir. NEDC döngüsü, yavaş araç hızı, düşük motor yükü ve düşük egzoz gazı sıcaklığı ile tanımlanan dört benzer şehir içi sürüş aşamasını içerirken, bunu takiben daha agresif ve yüksek hızlara sahip Extra-Urban Driving Cycle (EUDC) şehir dışı sürüş aşamasını kapsar. NEDC'nin şehir içindeki bu dört aşaması benzer özellikler taşıırken, şehir dışındaki döngü daha dinamik bir hız profili sunmaktadır. Öte yandan, WLTC döngüsü ise dört farklı aşamadan oluşur ve artan ortalama ile maksimum hızlara sahiptir.[48]

Daha fazla detaylandırılmak istenirse WLTP'nin NEDC'den ayrılan bütün ana unsurları

Aşağıdaki gibidir.

**1. Yol Yükü Katsayıları**

**2. Test Ağırlığı**

**3. Test döngüsü**

**12. WLTP PROSEDÜRÜ**

WLTP, binek otomobiller ve hafif ticari araçların yakıt tüketimi, CO<sub>2</sub> ve kirletici emisyonlarını ölçmek için kullanılan yeni Küresel Uyumlu Hafif Araç Testini devreye alıyor. Bu yeni protokol, müşterilere aracın günlük kullanımını daha iyi yansıtan gerçekçi veriler sunmayı amaçlıyor. WLTP prosedürü, daha belirgin bir ivmelenme sunan dinamik bir sürüş profili ile tanımlanıyor. Maksimum hız 120 km/h'den 131,3 km/h'ye yükselirken, ortalama hız 46,5 km/h olarak belirleniyor ve toplam döngü süresi 30 dakikaya çıkarak önceki NEDC'ye göre 10 dakika daha uzun sürüyor. Gidilen mesafe ise iki katına çıkarak 11 kilometreden 23,25 kilometreye ulaşıyor. WLTP testi, maksimum hıza göre dört aşamadan oluşuyor: Düşük (56,5 km/h'ye kadar), Orta (76,6 km/h'ye kadar), Yüksek (97,4 km/h'ye kadar) ve Ultra Yüksek (131,3 km/h'ye kadar). Bu döngü parçaları, şehir merkezi ve çevresindeki yollarla, şehir dışı yollar ve otoyolları simüle ediyor. Ayrıca, tüm araçların aerodinamik yapısı, yuvarlanma direnci ve araç kütlesini etkileyen opsiyonel özellikleri dikkate alınarak, her bir aracın özelliklerini yansıtan bir CO<sub>2</sub> değeri elde ediliyor.

## 12.1 NEDC-WLTP Karşılaştırma

**Tablo 1.** NEDC-WLTP

	<b>NEDC</b>	<b>WLTP</b>
Döngü süresi	20 dakika	30 dakika
Mesafe	11 km	23,25 km
Maksimum hız	120 km/h	131,3 km/h
Ortalama hız	34 km/h	46,5 km/h
Sürüş aşamaları	2 aşama	Daha dinamik 4 aşama

Opsiyonel ekipman etkisi Hesaba katılmıyor Ek özellikler (araca göre değişebilir) hesaba katılıyor.

## 13. NEDC'DEN WLTP'YE GEÇİŞ

WLTP prosedürü, kademeli olarak NEDC'nin yerini alacak. Yeni WLTP, 1 Eylül 2017 tarihinden itibaren 1. Sınıf binek otomobiller ve hafif ticari araçlar için tip onaylı yeni modellerde geçerli olacak ve 1 Eylül 2018'den itibaren tüm kayıtlar için zorunlu hale gelecek. 2. ve 3. Sınıf hafif ticari araçlar için ise bu yeni prosedür, 1 Eylül 2018'den itibaren tip onaylı yeni modeller için ve 1 Eylül 2019'dan itibaren tüm kayıtlar için uygulanacak.

2020 yılı sonuna kadar hem WLTP hem de NEDC'den elde edilen yakıt tüketimi ve CO2 emisyon değerleri araç belgelerinde yer alacak. NEDC değerleri, 2020 boyunca Avrupa'da kayıtlı otomobillerin ve hafif ticari araçların ortalama emisyonlarını değerlendirmek amacıyla kullanılacak; bazı ülkeler ise NEDC verilerini mali hesaplamalar için kullanmaya devam edebilir. 2021 yılından itibaren ise tüm araçların yakıt tüketimi ve CO2 emisyon değerleri yalnızca WLTP verileriyle belirlenecek. Kullanılmış araçlar bu değişiklikten etkilenmeyecek ve onaylı NEDC değerlerini koruyacak.

NEDC, Avrupa Birliği'nde araçların yakıt tüketimini ve emisyonlarını ölçmek için uygulanan bir test prosedürüdür. Bu test, şehir içi, şehir dışı ve otoyol sürüşü gibi farklı koşulları simüle eden bir dizi sürüş döngüsünden oluşur. WLTP döngüsü, 30 dakikalık gerçekçi bir sürüş ortamında 23,25



kilometre mesafeyi kapsar. Testte, ortalama hız 46,5 km/s'ye çıkar ve düşük, orta, yüksek ve ultra yüksek hız olmak üzere dört farklı bölüm yer alır; ulaşılan maksimum hız ise 131 km/s'dir [51].

## KAYNAKÇA

- [1] Johnson, T. (2002). "Vehicular Emissions and Sensing Technology." *Journal of Automotive Engineering*, 116(2), 10-15.
- [2] Mock, P., & German, J. (2015). "The Future of Vehicle Emissions Testing and Compliance." *ICCT Report*.
- [3] Fontaras, G., & Dilara, P. (2012). "The Evolution of Vehicle Emissions and Fuel Efficiency Standards." *Environmental Science & Technology*, 46(2), 161-170.
- [4] Fontaras, G., Zacharof, N.-G., & Ciuffo, B. (2017). "Fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions." *Progress in Energy and Combustion Science*, 60, 97-131.
- [5] Zacharof, N.-G., Fontaras, G., Ciuffo, B., & Tsiakmakis, S. (2016). "Review of in-use factors affecting the fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions of passenger cars." *Transport Research Arena*, 14(5), 2814-2823.
- [6] Fontaras, G., Zacharof, N.-G., & Ciuffo, B. (2017). "Fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions." *Progress in Energy and Combustion Science*, 60, 97-131.
- [7] Kwon, S. (2018). "The Impact of Driving Cycles on Energy Efficiency and Consumption in Electric Vehicles." *Energies*, 11(7), 482-497.
- [8] Weiss, M., et al. (2011). "On the Road to 'Real-World' Emissions: The Role of Driving Cycles and Test Protocols." *Environmental Science & Technology*, 45(7), 3135-3143.
- [9] Mock, P., German, J., Bandivadekar, A., & Riemersma, I. (2014). "Discrepancies between type-approval and 'real-world' fuel consumption and CO<sub>2</sub> values." *ICCT Report*.
- [10] Fontaras, G., Zacharof, N.-G., & Ciuffo, B. (2017). "Fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions." *Progress in Energy and Combustion Science*, 60, 97-131.

- [11] An, F., & Santini, D. (2004). "Mass impacts on fuel economies of conventional vs. hybrid electric vehicles." *SAE Technical Paper Series*, 1-8.
- [12] Fiori, C., Ahn, K., & Rakha, H. A. (2016). "Power-based electric vehicle energy consumption model: Model development and validation." *Applied Energy*, 168, 257-268.
- [13] Fontaras, G., Zacharof, N.-G., & Ciuffo, B. (2017). "Fuel consumption and CO2 emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions." *Progress in Energy and Combustion Science*, 60, 97-131.
- [14] Mock, P., & German, J. (2015). "The Future of Vehicle Emissions Testing and Compliance." *ICCT Report*.
- [15] Fontaras, G., & Dilara, P. (2012). "The Evolution of Vehicle Emissions and Fuel Efficiency Standards." *Environmental Science & Technology*, 46(2), 161-170.
- [16] Mock, P., & German, J. (2015). "The Future of Vehicle Emissions Testing and Compliance." *ICCT Report*.
- [17] EPA (2014). "Technical Overview of Vehicle Emissions and Fuel Economy Regulations."
- [18] Johnson, T. (2002). "Vehicular Emissions and Sensing Technology." *Journal of Automotive Engineering*, 116(2), 10-15.
- [19] Fontaras, G., Zacharof, N.-G., & Ciuffo, B. (2017). "Fuel consumption and CO2 emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions."
- [20] Mock, P., & German, J. (2015). "The Future of Vehicle Emissions Testing and Compliance." *ICCT Report*.
- [21] Fontaras, G., & Dilara, P. (2012). "The Evolution of Vehicle Emissions and Fuel Efficiency Standards." *Environmental Science & Technology*, 46(2), 161-170.
- [22] Mock, P., & German, J. (2015). "The Future of Vehicle Emissions Testing and Compliance." *ICCT Report*.
- [23] Fontaras, G., Zacharof, N.-G., & Ciuffo, B. (2017). "Fuel consumption and CO2 emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions." *Progress in Energy and Combustion Science*, 60, 97-131.

- [24] Guzzella, L., & Sciarretta, A. (2013). *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization*. Springer.
- [25] Guzzella, L., & Sciarretta, A. (2013). *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization*. Springer.
- [26] Mock, P., & German, J. (2015). "The Future of Vehicle Emissions Testing and Compliance." *ICCT Report*.
- [27] Guzzella, L., & Sciarretta, A. (2013). *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization*. Springer.
- [28] Mock, P., & German, J. (2015). "The Future of Vehicle Emissions Testing and Compliance." *ICCT Report*.
- [29] Offer, G., Howey, D., Contestabile, M., Clague, R., & Brandon, N. (2010). "Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system." *Energy Policy*, 38(1), 24-29.
- [30] EPA (2014). "Technical Overview of Vehicle Emissions and Fuel Economy Regulations."
- [31] Guzzella, L., & Sciarretta, A. (2013). *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization*. Springer.
- [32] Fontaras, G., Zacharof, N.-G., & Ciuffo, B. (2017). "Fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions." *Progress in Energy and Combustion Science*, 60, 97-131.
- [33] Agarwal, A., Bansal, A., & Sharma, N. (2018). "Development of a MATLAB/Simulink Based Model for Analysis of Vehicle Performance Using Drive Cycle." *International Journal of Engineering Research & Technology*, 7(3).
- [34] Fontaras, G., Zacharof, N.-G., & Ciuffo, B. (2017). "Fuel consumption and CO<sub>2</sub> emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions." *Progress in Energy and Combustion Science*, 60, 97-131.
- [35] Lundström, D., Lövgren, F., & Nilsson, P. (2014). "Real-time modeling and simulation of vehicles and traffic systems." *Simulation Modelling Practice and Theory*, 43, 136-151.

- [36] Zhang, W., Gao, Y., & Zhou, H. (2020). "Drive Cycle Optimization for Electric Vehicles Using Machine Learning." *Journal of Cleaner Production*, 265.
- [37] Rai, A., & Bell, M. (2021). "Artificial Intelligence in Automotive Industry: A Review of Machine Learning Applications and Challenges." *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 6(3), 412-424.
- [38] Fontaras, G., Zacharof, N.-G., & Ciuffo, B. (2017). "Fuel consumption and CO2 emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions." *Progress in Energy and Combustion Science*, 60, 97-131.
- [39] Offer, G., Howey, D., Contestabile, M., Clague, R., & Brandon, N. (2010). "Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system." *Energy Policy*, 38(1), 24-29.
- [40] Agarwal, A., Bansal, A., & Sharma, N. (2018). "Development of a MATLAB/Simulink Based Model for Analysis of Vehicle Performance Using Drive Cycle." *International Journal of Engineering Research & Technology*, 7(3).
- [41] Zhang, W., Gao, Y., & Zhou, H. (2020). "Drive Cycle Optimization for Electric Vehicles Using Machine Learning." *Journal of Cleaner Production*, 265.
- [42] Rai, A., & Bell, M. (2021). "Artificial Intelligence in Automotive Industry: A Review of Machine Learning Applications and Challenges." *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 6(3), 412-424.
- [43] Guzzella, L., & Sciarretta, A. (2013). *Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization*. Springer.
- [44] Karavalakis, G., Short, D., Chen, V., Espinoza, C., Berte, T., Durbin, T., ... & Bergmann, A. (2014). *Evaluating particulate emissions from a flexible fuel vehicle with direct injection when operated on ethanol and iso-butanol blends* (No. 2014-01-2768). SAE Technical Paper.
- [45] Chen, L., Liao, Z., & Ma, X. (2020). Nonlinear model predictive control for heavy-duty hybrid electric vehicles using random power prediction method. *IEEE Access*, 8, 202819-202835.

- [46] Keil, P., Englberger, M., & Jossen, A. (2015). Hybrid energy storage systems for electric vehicles: An experimental analysis of performance improvements at subzero temperatures. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(3), 998-1006.
- [47] Laderou, A., Mohammadpour, M., Theodossiades, S., Wilson, A., & Daubney, R. (2019). Effect of bearing thermally induced preload on the efficiency of automotive manual transmission under RDE. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 233(21-22), 7423-7441.
- [48] Kadir Yıldırım, “Nedc ve Wltc Sürüş Testleri Üzerlerindeki Co2, Nox Emisyonları ile Yakıt Tüketiminin Değerlendirilmesi Y. Lisans Tezi.
- [49] <https://uk.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/46777-driving-cycle-simulink-block>
- [50] <https://github.com/dabo248/nedc>
- [51] <https://acikerisim.uludag.edu.tr/bitstream/11452/11043/1/604955.pdf>.



## BÖLÜM 6

### ŞAMANDIRALARIN HİDROMEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ANALİZİ

Karahan KARAKURT<sup>1</sup>

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL<sup>2</sup>

---

1 Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı,  
Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, İzmir-Türkiye; karahankarakurt1997@gmail.com;  
ORCID ID: 0009-0002-6050-4641.

2 Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı,  
Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, İzmir-Türkiye; turgut.gursel@deu.edu.tr;  
ORCID ID: 0000-0002-9681-680X.





## GİRİŞ

Şamandıralar, denizlerde, kıyı, liman ve boğaz geçişlerinde deniz fenerleri ile aynı işlevler düşünülerek tasarlanan ve uygulamaya konan yüzer işaretleme araçlarıdır. Tüm ülke karayollarında bulunan trafik işaretleri, ışıklandırma ve özel uyarılar, dünya denizlerinde şamandıralar tarafından sağlanmaktadır. Denizlerde belli bir noktaya demirlenen sabit şamandıralar, gemilere yol göstererek ya da tehlike uyarısında bulunarak, deniz yolu güvenliğini sağlarken gemi trafiğini düzenler. Ayrıca, su altındaki tehlikeli bölge ve cisimlerin yerini belirleme ve gemileri bağlama gibi çok farklı maksatlarla kullanılan yüzer elemanlardır. Önceleri, gemilere yön bilgisi verme, deniz ve limanlarda uyarı maksatlı markalama ihtiyacıyla kullanımları söz konusu iken, günümüzde hem ışıklandırma hem de oşinografik ve meteorolojik ölçümlerden havadaki araçlara uyarıda bulunmaya kadar uzanabilen çok geniş bir segmentte yararlanılmaktadır.

Yakın gelecekte ise otonom ticari gemilerin, özellikle de konteyner gemilerinin devreye girmesi ile, rota üzerindeki bir ülkenin karasularına giren bu gemilerin limana ulaşana kadar ve yük elleçleme işlemi bittikten sonra da ilgili ülkenin karasularından ayrılana kadar, başta ilgili bölgedeki liman ve hatta deniz trafiği olmak üzere yoğun güncel veri iletişimine ve gelişen meteorolojik raporlara gereksinim duyacaklardır. Bu aşamada ise gerekli olacak tüm verilerin öncelikle sabit ve kısmen de mobil şamandıralarla sağlanması mümkün olabilecektir. İfade edilen bu altyapıyı tesis edemeyen ülke limanlarına bu gemilerle yük taşınmayacak, dolayısıyla navlun ücretleri yüksek, yani taşıma maliyeti çok yüksek olan günümüzün gemileri ile yük taşımacılığı devam edecektir.

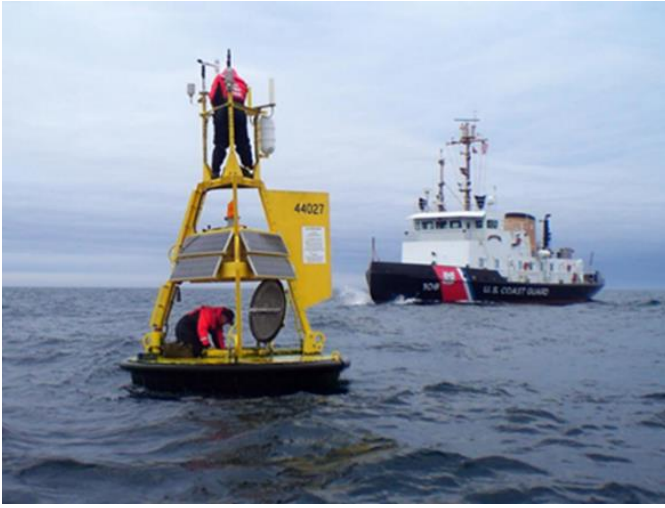
Bu araştırma kapsamında, kısaca sabit ve mobil şamandıraların konstrüksiyonları ile hizmete alınan tüm sabit ve mobil şamandıraların hidromekanik karakteristikleri incelenerek analiz edilecektir. Ayrıca, mobil şamandıraların ağırlık merkezindeki tasarım ivmeleri, farklı hız ve dalga yüksekliklerinin eş zamanlı değerlerine göre Norveç Loyduna göre hesaplanacaktır. Analiz sonuçlarından yararlanılarak gelişmiş limanlarda ve liman açıklarında ihtiyaç duyulabilecek hem otonom hem de bir personel yardımıyla kullanılabilen mobil bir şamandıranın yapısal ve hidrodinamik ön

tasarımı yapılarak, üç boyutlu ölçekli modeli üretilecektir. Tasarlanacak yüksek süratli (mobil) şamandıra, deniz üstü rüzgâr türbini ve dalga enerji konvertörleri vb. her tür deniz istasyonunun bakımını ve onarımını sağlayacak, denizde yardım ve kurtarma çalışmalarına eşlik edecek ve deniz altında çalışan otonom su altı araçlarının ve deniz üstünde drone benzeri hava araçlarının bağlanarak veya güvertesine inerek şarj edilmesini sağlayacak istasyon görevini üstleneceklerdir.

## **1. SABİT ve HAREKETLİ ŞAMANDIRALARIN HİZMET BÖLGELERİ**

Deniz ve okyanuslarda mal ve can güvenliğinin tesis edilmesi, entegre ve gelişmiş kıyı yönetimlerinin oluşturulması, güvenilir oşinografik ve meteorolojik verilerin elde edilmesi için çok sayıda ulusal ve uluslararası nitelikteki kurum tarafından denizlerde çok sayıda şamandıra kullanılmaktadır. Söz konusu bu şamandıraların yararlandığı alanlar aşağıdaki gibi listelenebilir:

- i. Deniz altında ve üzerindeki inşaat çalışmaları ve çeşitli sistemler ile istasyonların tesis işlemleri (Şekil 1 ve 2),
- ii. Oşinografik ve meteorolojik verilerin toplanması (Şekil 2),
- iii. Bölgede bulunan gemiler için bir demirleme noktası oluşturması (Şekil 2)
- iv. Denizde afetlerin önlenmesi bakımından veri sağlanması (Şekil 1 ve 2),
- v. Askeri ve güvenlik açısından tanımlanan çeşitli görevler,
- vi. Küçük gemi ve tekneler için enerji sağlama ve depolama görevi,
- vii. Çevredeki gemiler için navigasyon verisi sağlama (Şekil 1)
- viii. Farklı su sporları etkinlikleri (Şekil 3)
- ix. Gelecekte devreye alınacak otonom gemiler için seyir ve denetlemeleri gerçekleştirmek.



Şekil 1: Oşinografik ve meteorolojik verilerin toplayan sabit şamandıra



Şekil 2: Bölgede bulunan gemiler için bir demirleme noktası



Şekil 3: Çeşitli su sporları faaliyetlerinde kullanım

## **2. SABİT ŞAMANDIRALARIN TEMEL ÖZELLİKLERİ**

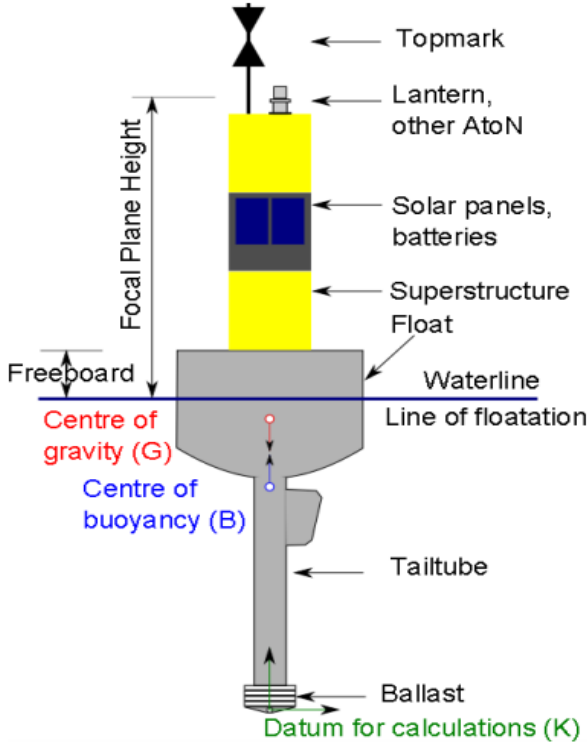
Ağır deniz koşullarında sabit şamandıraların dalgalardan etkilenmeden görevlerini sürdürebilmeleri için hem hidromekanik karakteristiklerinin hem de yapısal özelliklerinin yani malzeme ve üretim kalitesinin çok yüksek seviyede olması gerekmektedir. Tasarımın başlangıç noktasını, şamandıraların üzerine sabitlenecek ekipman listesinin ve ağırlıklarının saptanması ve tüm bu sistemlerin toplamı oluşturur. Genel olarak temel şamandıra yapım malzemesi olarak başta çelik olmak üzere, alüminyum, yüksek yoğunluklu polietilen (high density polyethylene, HDPE) kullanılmaktadır (Tablo 1).

Polietilen gibi termoplastik malzemelere ait yatırım maliyetleri diğer malzemelere yakın olsa da, bakım ve onarım maliyetleri belirgin oranda düşüktür. Ayrıca çelik yapılarda ortaya çıkan yaygın korozyon problemi bu malzeme için geçerli değildir. Tablo 1’de, International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA) tarafından verilen bir şamandıradaki kullanılabilecek malzemeler ayrıntılı olarak tanıtılmıştır.

Tüm yüzen araçlarda olduğu gibi, şamandıraların tasarımında öne çıkan iki farklı stabilite tipi vardır. Form stabilitesi olarak adlandırılan ilki, şamandıranın su içindeki kısmı ile su hattı formunun oluşturduğu stabiledir (Şekil 4). Silindirik kesitli konvansiyonel bir şamandıradaki, şamandıranın çapı ile form stabilitesi orantılıdır. Şamandıranın ağırlık merkezinin (G) sephiye merkezinin (B) üzerinde şamandırayı doğrultacak bir konumda bulunması ağırlık stabilitesini oluşturur. Bu stabilizeyi artırmak için şamandıranın dip kısmına balast yerleştirilerek doğrultma momentinin yükselmesi sağlanır (Şekil 4). Form stabilitesi ile ağırlık stabilitesinin birleşik etkileri statik stabilizeyi oluşturur (Şekil 5).

**Tablo 1:** Şamandıralara ait temel karakteristikleri  
(<https://www.iala-aism.org/product-category/publications>)

Component	Material Type	Ease of Recycling	Recycling Method
Hull	Polyethylene	Easy – Readily Accepted	Plastics Recycling Depot
	Polyurethane Foam	Is to separate from the other buoy materials	Plastics Recycling Depot
	Glass reinforced plastic (GRP)	Not recyclable	
Foam Filling	Fused Expanded Polystyrene	Easy – Readily Accepted	Plastics Recycling Depot
	Polyurethane Foam	Is to separate from the other buoy materials	Plastics Recycling Depot
Superstructure	Polyethylene	Easy – Readily Accepted	Plastics Recycling Depot
	Aluminium	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Radar Reflector	Aluminium	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Ladders & Railings	Stainless Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
	Aluminium	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Core Structure	Polyethylene	Easy – Readily Accepted	Plastics Recycling Depot
	Galvanized Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Lifting & Mooring Connection Bars	Stainless Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
	Galvanized Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Threaded Inserts	Stainless Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
	Brass	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Fasteners	Stainless Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
	Galvanized Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
	Aluminium	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
Ballast	Concrete	Easy – Readily Accepted	Clean Fill Designated Infill
	Steel	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot
	Cast Iron	Easy – Readily Accepted	Metal Recycling Depot



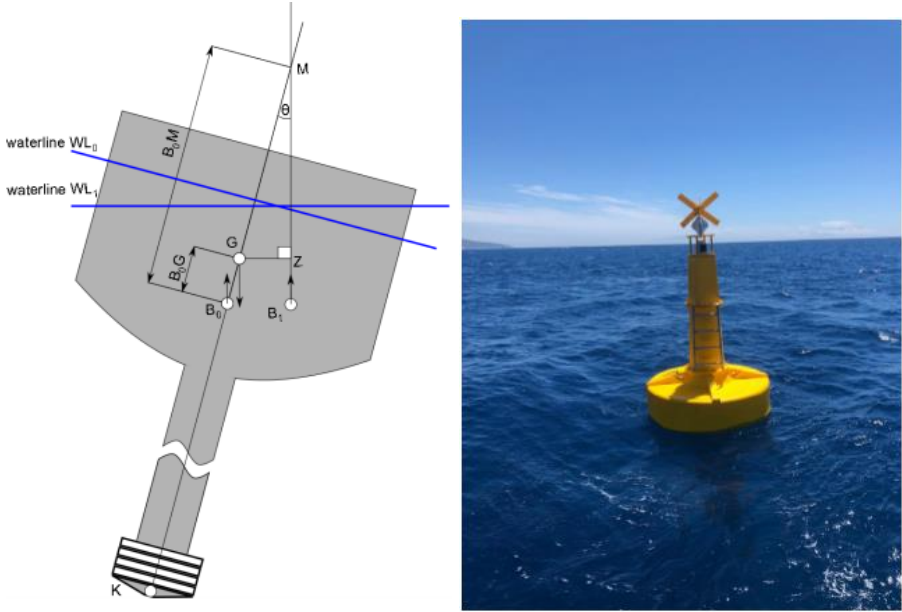
**Şekil 4:** Sabit şamandıranın yapısı ve hidrostatik nitelikleri (<https://www.iala-aism.org/wiki/>).

Şamandıraya ait temel hidrostatik özellikleri saptamak için önce toplam kütesinin ( $m$ ) ve buna bağlı olarak ağırlık merkezi ( $G$ ) ile şamandıraya uygulanan kaldırma kuvveti (sephiye) ve bu kuvvetin uygulama merkezinin ( $B$ ) belirlenerek metasantrik yüksekliğin ( $GM$ ) hesaplanması gerekir (Denklem 1).

$$\overline{GM} = \overline{KB} + \overline{BM} \quad (\text{Denklem 1})$$

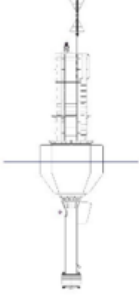
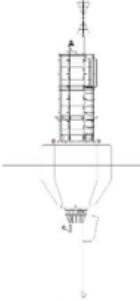
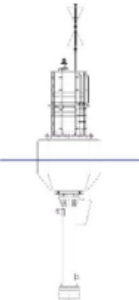
Metasantrik yükseklik, şamandıranın ağırlık merkezinden ( $G$ ) etkileyen ağırlık kuvveti ile sephiye merkezinden ( $B$ ) etkileyen kaldırma kuvvet çiftinin oluşturduğu doğrultma (düzeltme) momentinin temel bir ölçüsüdür. Şamandıranın her zaman kararlı (stabil) olması için, mutlaka metasantrik yükseklik değeri pozitif değere sahip olmalı ve metasantr noktası ( $M$ ) her

zaman ağırlık merkezinin (G) üzerinde bulunmalıdır (Şekil 5). Şekil 6’da IALA tarafından verilen farklı malzemelerden üretilmiş, farklı yalpa doğal frekansı ile farklı sephiye değerlerine sahip sabit şamandıralar görülmektedir.






**Şekil 5:** Şamandıralara ait temel hidrostatik özellikleri (<https://www.iala-aism.org/wiki/>) ve HDPE malzemeden üretilmiş bir şamandıra (<http://www.martek.com.tr/demirleme-ve-isaretleme-samandiralari.html>).



Modular plastic buoys	A8L	B6L	CSL
Ballast 650 kg			
Volume	9 m <sup>3</sup>	7 m <sup>3</sup>	6 m <sup>3</sup>
Mass	3 650 kg	3 400 kg	3 150 kg
Natural roll period	4.85 seconds	4.70 seconds	4.20 seconds

Steel buoys			
Volume	7.50 m <sup>3</sup>	12 m <sup>3</sup>	26 m <sup>3</sup>
Mass	5 000 kg	9 500 kg	15 000 kg
Natural roll period	5.80 seconds	7 seconds	7 seconds

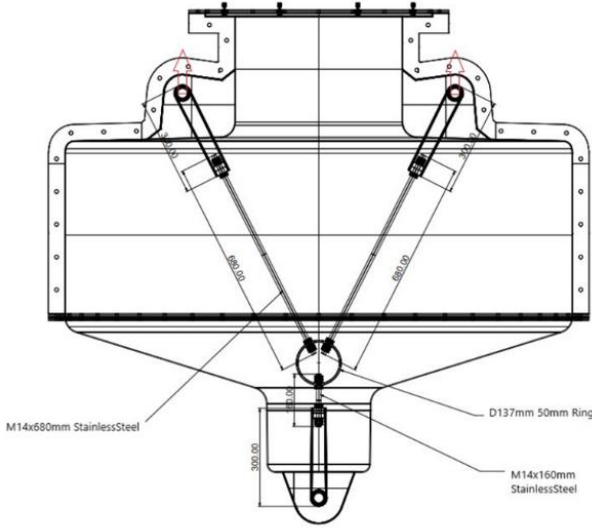
**Şekil 6:** HDPE ve çelik malzemeden üretilmiş şamandıraların yalpa periyotları ve toplam kütleleri (<https://www.iala-aism.org/product-category/publications/>)

### 3. ŞAMANDIRA ÜRETİM SÜRECİ

#### i. Tasarım ve Planlama

Şamandıra üretim sürecinin ilk aşaması olan “tasarım ve planlama” aşamasında, şamandıranın kullanılacağı deniz bölgesinin koşulları, derinliği, akıntı durumu ve çevresel faktörler değerlendirilerek ihtiyaç analizi yapılır ve

yüzer, demirlemiş, ışıklı veya ışısız olacak şekilde şamandıranın tipi ve boyutları belirlenir. Daha sonra IALA standartlarına veya başka standartlara ve ilgili ulusal düzenlemelere uygunluk sağlanır. Modüler bileşenlerin standartlaştırılmış yapısı ve işlevleri belirlenir. İzleyen aşamada şamandıranın tasarımı çeşitli yazılımlardan yararlanılarak yapılır. Yapısal analizler ve simülasyonlar gerçekleştirilir (Şekil 7). Son aşamada gövde, ağırlıklar, bağlantı parçaları, işaret lambaları gibi modüler bileşenlerin tasarımı ile tamamlanır.



Şekil 7: Şamandıraların “tasarım ve planlama aşaması”

## ii. Malzeme Seçimi

Genel olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), deniz sınıfı alüminyum gibi deniz suyuna ve korozyona dayanıklı malzemeler seçilir (Tablo 1).



Şekil 8: Şamandıraların “üretim aşaması”

### iii. Üretim

Gövde ve diğer bileşenler için kalıplar hazırlanır. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemeler kullanılarak gövde dökümü yapılır (Şekil 8). Gövde, yüzer bileşenler, demirleme halkaları ve diğer modüler bileşenler monte edilir. Kaynak, cıvata ve perçinleme gibi yöntemlerle birleştirme işlemleri gerçekleştirilir (Şekil 9).

### iv. Montaj ve Kurulum

Fabrikada tüm elemanların ön montaj yapılır ve her bileşenin uyumluluğu test edilir (Şekil 9). Modüler bileşenler nakliye ve kurulum için paketlenerek taşınır ve kurulum yerine güvenli bir şekilde ulaşması sağlanır. Demirleme sistemleri ve bağlantı elemanları yerinde kurulur. Şamandıra bileşenleri, deniz üzerinde tamamen monte edilerek sabitlenir (Şekil 10 ve 11).



Şekil 9: Şamandıraların montaj ve kurulumu

#### v. Test ve Devreye Alma

Şamandıranın yüzerliği, stabilitesi ve işaret lambalarının işlevselliği test edilir. Demirleme ve bağlantı sistemlerinin sağlamlığı kontrol edilir. Son aşamada, tüm sistemler ve yapı, kalite kontrol prosedürlerine göre denetlenir. IALA standartlarına uygunluk teyit edilir. Yerel bakım ekiplerine eğitim verilir. Kullanım ve bakım kılavuzları hazırlanır (Şekil 10 ve 11).



Şekil 10: Şamandıraların kurulumu ve testi



Şekil 11: Şamandıraların denize indirilmesi

#### vi. Bakım ve İzleme

Belirli aralıklarla şamandıra ve demirleme sistemlerinin bakımı yapılır. Korozyon kontrolü, boyama ve temizlik işlemleri gerçekleştirilir. Modern şamandıralar, uzaktan izleme sistemleri ile donatılır. Işık ve enerji sistemlerinin performansı izlenir ve arızalar anında tespit edilir.

### 4. HAREKETLİ ŞAMANDIRALARIN TEMEL ÖZELLİKLERİ

“Sailbuoy” isimli tasarım (<http://www.sailbuoy.no/>), hareketli şamandıralara verilebilecek en basit ve kullanışlı tasarım örneğini oluşturmaktadır (Şekil 12). Sevk gücü olarak rüzgâr enerjisi öngörülen şamandıradada, güneş panelleri, elektronik sistemlerin ve aktüatörlerin enerjisini

karşılmaktadır (Şekil 12). Iridium uydu sistemi aracılığıyla, veri iletişimi ve kontrolü gerçek zamanlı olarak sağlanmaktadır. Şamandıraya ait oşinografik ve meteorolojik enstrümantasyon çok uzun süreli otonom operasyonlarda kullanılabildiğinden araç, yelkenli ve insansız deniz yüzey aracı klasmanına alınmıştır. Aracın boyu  $L=2$  metre uzunluğunda olup, ortalama hızı da rüzgâr hızına bağlı olarak 1-2 knot arasında ve kütlesi  $m=60$  kg'dır. Sailbuoy, birçok oşinografik ve atmosferik parametrenin ölçülmesinden petrol sızıntılarının izlenmesine ve denizaltı ya da otonom su altı araçları ile iletişim istasyonu olarak görev yapmaya kadar, çok farklı deniz uygulamaları için kullanılabilecek kapasitedir.



Şekil 12: ‘SailBuoy’ isimli hareketli (Mobil) Şamandıra Örneği  
(<http://www.sailbuoy.no/>)

Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) ile Singapur Teknoloji ve Tasarım Üniversitesi tarafından 2018 yılında yürütülen bir projede (Zoss vd., 2018), sürü tipinde görev yapan çok sayıda mobil şamandıra kullanılmıştır (Şekil 13). Başta okyanus ve deniz kıyı alanları olmak üzere tüm göl ve nehir kıyıları dinamik olarak fiziksel, biyolojik ve jeokimyasal prosesler açısından çok karmaşık bir etkileşime uğramaktadırlar. Son yüzyıldaki insan müdahaleleri ve etkinlikleri ile, bu ortamların dinamiği çok daha karmaşık bir duruma gelmiştir. Çevre bilimciler ve oşinograflar, bu süreçleri analiz edebilmek ve insan etkisini incelemek için çözünmüş oksijen konsantrasyonu, sıcaklık, tuzluluk ve bir dizi biyolojik veriler gibi çok çeşitli ölçümlere ihtiyaç duymaktadır. Geliştirilen insansız/otonom yüzey ve su altı araçlarının sahip olduğu cihazlar ve algılayıcı ağları ile gereksinim duyulan bu veriler günümüzde güvenilir bir şekilde toplanıp depolanabilmektedir (Şekil 13).

2020'de Ocean Power Technologies'in (OPT) ürettiği Hybrid PowerBuoy yüzer elektrik santrali şamandırası olarak görev yapmaktadır (Şekil 14). PowerBuoy, denizdeki bakım ve onarım çalışmalarında kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu mobil şamandıranın üzerinde bulunan güneş panelleri yardımıyla aracın lityum demir fosfat pilleri şarj edilir (Şekil 14). Güneş enerjisinin veya panellerin yetersiz kaldığı durumlarda, araçta bulunan bir Stirling motoru pilleri şarj etmek için devreye alınır.



Şekil 13: Sürü halinde görev yapan mobil Şamandıra Örneği (Zoss vd., 2018)

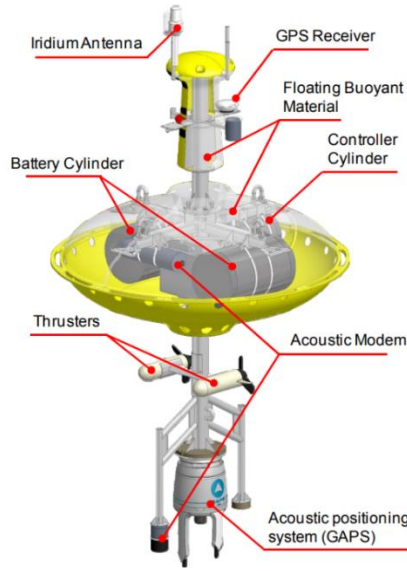


Şekil 14: “Hybrid Powerbuoy” isimli mobil (hareketli) şamandıra  
(<https://oceanpowertechnologies.com/platform/opt-hybrid-powerbuoy/>)



Genel olarak maliyeti çok yüksek olan enstrümanlar barındıran otonom/insansız su altı araçlarının (AUV) güvenliği ve sürekli izlenmeleri amacıyla akustik konumlandırma ve kontrol sistemlerine sahip destek gemileri gereklidir. Bu durum araştırma maliyetlerini çok yükselttiğinden, düşük maliyetlerle herhangi bir AUV'nin izlenmesini ve denetlenmesini sağlayan otonom bir mobil şamandıra geliştirilmiştir (Şekil 15).

Tokyo Üniversitesi'nin 2015 yılında geliştirdiği, otonom su altı araçlarını (AUV) uzaktan izleyecek şekilde görev yapan otonom mobil şamandıra sistemi Şekil 15'de görülmektedir ve araç, dinamik konumlandırma sistemine sahiptir.



Şekil 15: "ABA" adlı mobil şamandıraya ait perspektif görünüm  
(<https://www.semanticscholar.org>)

#### 4.1 Mobil Şamandıra Ön Tasarımı
















Mobil bir şamandıranın ön tasarımında öncelikle mevcut gereksinimler yani ihtiyaçlar listesi ile bunları karşılama kapsamındaki amaç ve hedefler

belirlenmelidir. Temel ihtiyaçlar listesi örnek olarak şu şekilde sıralanabilir (Şekil 16):

- Şamandıra her koşulda tamamen yüzer ve su geçirmez olmalıdır.
- Başta rüzgâr ve dalgalar olmak üzere tüm dış etkenlere karşın pozisyonunu koruyabilmelidir.
- İlgili deniz araçlarına ve gemilere iletilecek verileri uzaktan alabilecek sistemlere sahip olmalıdır.
- Tasarım gereği her tür görev için verilen ve değiştirilen konum koordinatlarına kendi sevk sistemi ile ulaşabilmelidir.

Mobil bir şamandıranın temel amaç ve görevleri örnek olarak aşağıdaki gibi belirlenebilir (Şekil 16):

- Koordinatları verilen bir gemiye, deniz aracına veya platformuna otonom olarak ulaşabilen ve veri bağlantısı kurarak yerini sabitleyen mobil bir şamandıra tasarlanmalıdır.
- Mobil şamandıra, komuta merkezi ile sürekli bağlantıda kalacak ve açık denizde her zaman ulaşılabilen bir bilgi işlem üssü misyonuna sahip olacaktır.
- Denizde bulunduğu konumunu, GPS tabanlı otonom dinamik pozisyonlama sistemi aracılığıyla her zaman koruyacak sistemlere sahip olmalıdır.
- Mobil şamandıranın izlediği rotanın koordinatları, varış noktası ve görev durumu ile üzerindeki sevk dahil tüm sistemlerin durumu, kıyıdaki özel bir komuta arayüzünden gerçek zamanlı olarak izlenmelidir.

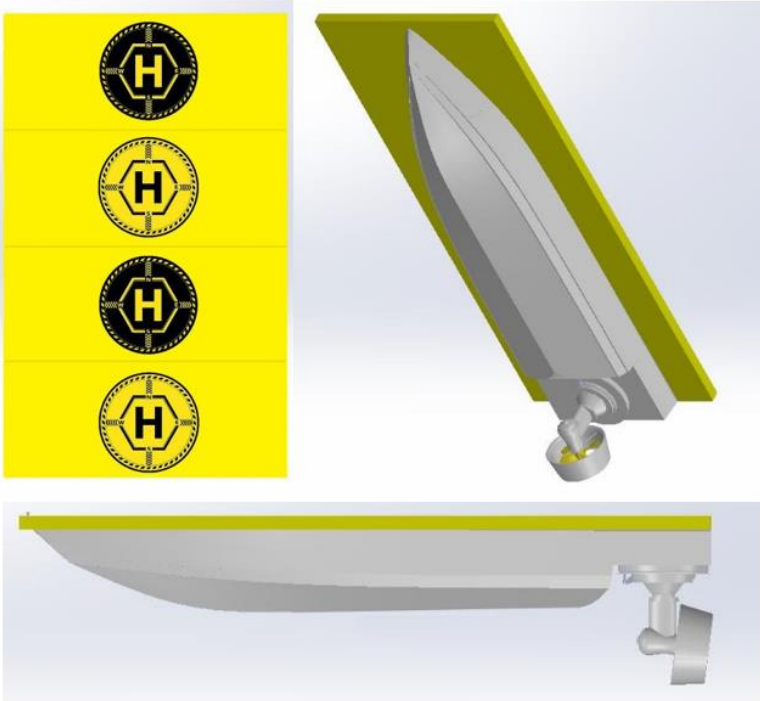
Solution Path		1	2	3	4
Sub Units					
A	Hull				
B	Fixing	 (Without anchor)	 (Anchor)	 (Anchor with release mechanism)	
C	Sensors	 Meteorological	 Meteorological - oceanographic	 Meteorological - oceanographic acoustic	
D	Processor	 mProc	 FPGA		
E	Communication	 GSM	 RF	 SAT	
F	Battery	 Ni-Cd	 Ni-Mh	 Li-Ion	 Li-Fe-Po4

Şekil 16: Mobil bir şamandıranın tasarımında çözüm aşamaları (Börklü vd., 2017)

Mobil bir şamandıranın tasarımı sırasında aşağıdaki parametreler mutlaka değerlendirilmek zorundadır (Börklü vd., 2017):

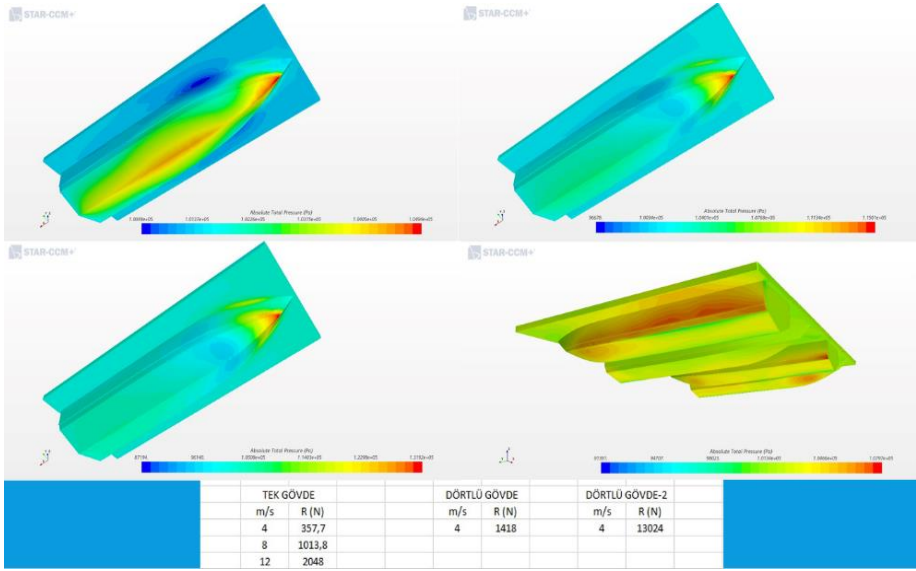
- Kıyıya yakınlığı ile ilişkili olarak bağlama tipinin belirlenmesi,
- Gereklilik ve hassasiyet derecesine göre duyurga tipi ile ölçüm aralığının seçimi,
- Ölçülen ve toplanan verilerin kapsamı, boyut ve doğruluğu ile verilerin işleme hızına bağlı olarak donanım sistemlerinin belirlenmesi,
- Kıyıya yakınlığı ile ilişkili olarak veri bağlantısı ve iletişim tipinin belirlenmesi,
- Operasyon yarıçapı ve bu sırada tüketilen elektrik enerjisi, güç miktarı ve süresi ile bağlantılı olarak batarya tipinin belirlenmesi gereklidir.

Bundan sonraki evrede, daha önce de ifade edildiği gibi, bu parametreler analiz edilerek mobil şamandıranın iç hacmi ve kütlesi gibi temel tasarım parametreleri belirlenir ve şamandıraya optimal dış gövde formu verilerek şamandıranın ön tasarımı sonuçlandırılır.



Şekil 17: Mobil bir şamandıranın ön tasarımı

Bu araştırma kapsamında ele alınan her tip sabit şamandıranın bakım ve kontrol işlemleri ile diğer tüm açık deniz araç ve platformları ile çalışma istasyonlarını destekleyecek ve acil durumlarda da müdahale edecek kapasitede, hem personel aracılığıyla yönetilebilen, hem de otonom niteliklere sahip olarak bir komuta merkezinden yönetilen mobil bir şamandıranın ön tasarımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 17). Bu araç tek olarak ve gerektiğinde sürü halinde operasyonlara katılacak şekilde kontrol edilebilir özellikler taşımaktadır. Bunlara ek olarak bu şamandıraların 4 ilâ 8 adeti borda bordaya bağlanarak Şekil 17’de görüldüğü gibi drone vb. araçlar için, 12-16 ve üzerindeki mobil şamandıralar ise borda bordaya bağlanarak helikopter vb. için iniş pisti oluşturabilecek özelliklere sahiptir (Lomax vd.; 2005, Sujit vd.; 2009, Kim vd., 2018).



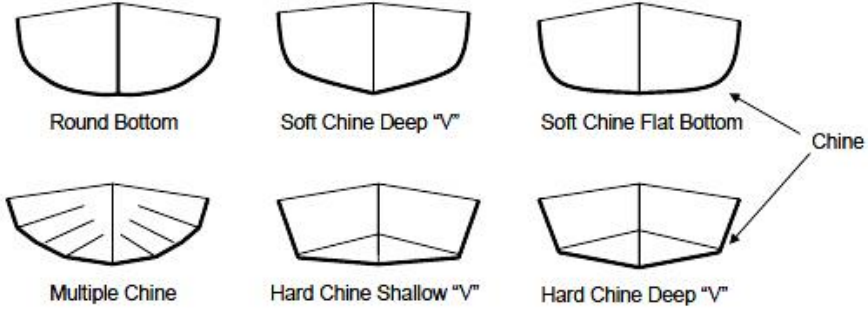
Şekil 18: STAR-CCM+ yazılımı ile yürütülen analizlerin sonuçları

Yaklaşık 24 kn (12 m/s) hıza ulaşması öngörülen bu mobil şamandıranın ön tasarımı gerçekleştirilerek, bu hız aralığında ortaya çıkan hidrodinamik direnç değerleri STAR-CCM+ yazılımı aracılığıyla analiz edilmiş ve maksimum hızdaki direnç değeri 2048 N olarak saptanmıştır (Şekil 18) (Begovic vd., 2015; Gürsel ve Taner, 2019). Yapılan hesaplamalar sonucunda söz konusu maksimum hız değerlerine erişmek için  $P_B=40$  kW nominal makina gücü gereklidir. Şekil 18'den de anlaşıldığı gibi mobil şamandıralar, tek, dörtlü ve sekizli birleşik formasyonda her doğrultuda ilerleyebilecek sevk ve manevra kapasitesine sahiptir. Ayrıca mobil şamandıralar, sahip oldukları  $360^\circ$  döndürülebilir özel pervane sistemleri ile tek ve birleşik formasyonda akıntı, rüzgâr ve dalga kuvvetleri gibi dış etkilere karşı sabit bir noktada öngörülen operasyonları dinamik pozisyonlama yazılımları yardımıyla sorunsuz olarak sürdürebilir.

#### 4.2 Hareketli Şamandıradaki Düşey İvmenin Hesaplanması

Düşey ivme, geminin denizde hareket ederken düşey yöndeki hız değişimidir. Bu ivme, dalga hareketleri, geminin kendi manevraları ve su yüzeyindeki dinamik etkiler nedeniyle ortaya çıkar. Gemilerde düşey ivmenin

(vertical acceleration) hesaplanması, geminin denizdeki hareketlerinin anlaşılması ve bu hareketlerin gemi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu hesaplamalar, geminin tasarımı, stabilitesi, yolcu ve yük güvenliği ile konforu açısından büyük bir rol oynar.



Şekil 19: Yüksek hızlı teknelere ait farklı enkesitler

Teknelerin farklı gövde tasarımları, teknenin kullanım amacına ve deniz koşullarına göre farklı düşey ivme değerleri oluşturur. Çeneli derin V karinalı (hard chine deep V), yuvarlak çeneli derin V karinalı (soft chine deep V) forma sahip tekneler, yüksek hızlarda ve dalgalı sularda daha iyi performans gösterirken, çeneli V karinalı (hard chine shallow V) ve yuvarlak çeneli düz dip karinalı (soft chine flat bottom) forma sahip tekneler sığ sularda ve daha düşük hızlarda daha iyi performans sunar (Şekil 19). Yuvarlak karinalı forma (round bottom) sahip tekneler ise orta ve düşük hızlar ile daha sakin sularda kullanım için uygundur (Şekil 19). Bu tasarımların düşey ivme hesaplamaları, orta ve yüksek süratli teknelerin tasarımı ve mühendisliğinde önem arz eder ve bu nedenle bu hesaplama ve analizler teknelerin güvenlik ve konforu açısından kritik değere sahiptir.

Düşey ivme, tekne veya geminin denizde hareket ederken dalıp-çıkma yönündeki hızının birim zamandaki değişimidir. Bu ivme değerleri, teknenin/geminin kendi hız ve manevrası ile dalga hareketleri ve su yüzeyindeki dinamik etkiler nedeniyle ortaya çıkar. Bu nedenle düşey ivme hesapları, tasarlanan mobil şamandıranın stabilitesi, yolcu ve yükün güvenliği

ile konforu ve servisin başarıyla tamamlanması açısından Norveç Loydu kurallarına göre yapılmıştır. Sonuç olarak Tablo 2’de verilen değerler saptanmıştır. Bu sonuçlara göre mobil şamandıra, düşük ve orta hızlarda başarılı bir şekilde hizmet verebilecektir.

**Tablo 2:** Tasarlanan mobil şamandıranın düşey ivme değerleri

Karakteristik dalga yüksekliği (m)	,25	,50	,00	,50	,00	,00
Düşey ivme değerleri (m/s <sup>2</sup> )	,10	,54	,52	2,23	6,67	4,33

## 5. SONUÇ

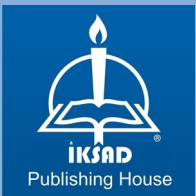
Bu çalışma kapsamında sabit ve mobil tüm şamandıraların genel bir tanıtımı yapılarak özellikleri ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Yapılan inceleme sonucunda, mobil şamandıraların konstrüksiyon ve sevk özellikleri ile kullanım amaçları açısından, otonom/insansız yüzey araçlarını (ASV) ve otonom/insansız su altı araçlarını veri iletişimi açısından destekleyen deniz araçları ile önemli benzerlikler taşıdığı saptanmıştır. Ayrıca, her tip sabit şamandıranın bakım ve kontrol işlemleri ile diğer tüm deniz araç ve platformları ile çalışma istasyonlarını destekleyecek ve acil durumlarda da müdahale edecek kapasitede, hem personel aracılığıyla yönetilebilen, hem de otonom niteliklere sahip olarak bir komuta merkezinden yönetilen mobil bir şamandıranın ön tasarımı gerçekleştirilerek, elde edilen sonuçlara göre hidromekanik nitelikleri ile belirlenen makine gücünün ifade edilen görevleri yürütmek açısından yeterli olacağı sonucuna varılmıştır. Bu araştırmanın devamında, ön tasarımı yapılan mobil şamandıranın otonom özellikleri ile sürü davranışına odaklanılacaktır.

## KAYNAKÇA

- Begovic, E., Bertorello, C., Mancini, S. (2015). *Hydrodynamic performances of small size SWATH craft*. Brodogradnja/ Shipbuilding, 66 (4).
- Börklü, H. R., Helvacilar, E., Özdemir, V. Conceptual Design of a New Buoy, GU J Sci, Part A, 4(4): 125-143 (2017).
- Gürsel, K.T.,Taner, M. (2019). *Hydrodynamic Potential Improvement of Pontoon Boats*, Naval Engineers Journal, June 2019; No. 131-2.  
<https://www.iala-aism.org/>  
[https://www.iala-aism.org/wiki/dictionary/index.php/Category:7.5\\_Design](https://www.iala-aism.org/wiki/dictionary/index.php/Category:7.5_Design)  
<https://www.martek.com.tr/demirleme-ve-isaretleme-samandiralari.html>  
<http://www.sailbuoy.no/>  
<https://www.semanticscholar.org>
- Kim, H.; Mokdad, L.; Ben-Othman, J. Designing UAV surveillance frameworks for smart city and extensive ocean with differential perspectives. IEEE Commun. Mag. 2018, 56, 98–104.
- Lomax, A.; Corso, W.; Etro, J. Employing unmanned aerial vehicles (UAVs) as an element of the Integrated Ocean Observing System. In Proceedings of the OCEANS 2005 MTS/IEEE, Washington, DC, USA, 17–23 September 2005; pp. 184–190.
- National Data Buoy Center. Available online: <http://www.ndbc.noaa.gov/> .
- Sujit, P.; Sousa, J.; Pereira, F.L. UAV and AUVs coordination for ocean exploration. In Proceedings of the Oceans 2009-Europe, Bremen, Germany, 11–14 May 2009; pp. 1–7.
- Zoss, B. M., Mateo, D., Kuan, Y., Tokić, G., Chamanbaz, M., Goh, L., Vallegra, F., Bouffanais, R., & Yue, D. (2018). Distributed system of autonomous buoys for scalable deployment and monitoring of large waterbodies, *Autonomous Robots* (2018) 42:1669–1689; <https://doi.org/10.1007/s10514-018-9702-0>







**ISBN: 978-625-367-912-5**