



EUROPEAN JOURNAL OF
**ENGINEERING AND
APPLIED SCIENCES**

ISSN:2651-3412. Volume:5 Number:2



European Journal of Engineering and Applied Sciences

Volume: 5 Number: 2 December 2022

Eur J Eng Appl Sci

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejeas>

email: ejeas@nku.edu.tr

ISSN: 2651-3412



Owner



On behalf of Tekirdağ Namık Kemal University,
 Dean of Çorlu Faculty of Engineering,
 Prof. Dr. Lokman Hakan TECER

Editor-in-Chief

Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ

Vice Editor

Asst. Prof. Dr. Rabia KORKMAZ TAN
 Asst. Prof. Dr. Suna Özden ÇELİK
 Asst. Prof. Dr. Gülen ÖZKULA

Section Editors

Prof. Dr. Hafız ALİSOY
 Assoc. Prof. Dr. Rafet AKDENİZ
 Prof. Dr. Günay YILDIZ TÖRE
 Assoc. Prof. Dr. Koray ÇİFTÇİ
 Assoc. Prof. Dr. Reşat MUTLU
 Prof. Dr. Uğur AKYOL

Prof. Dr. Erdinç UZUN
 Asst. Prof. Dr. Ulviye POLAT
 Prof. Dr. Aylin AKYILDIZ
 Asst. Prof. Dr. Suna Özden ÇELİK
 Asst. Prof. Dr. Rabia KORKMAZ TAN
 Asst. Prof. Dr. Gülen ÖZKULA

Language Editör

Assoc. Prof. Dr. Ufuk ÇETİN

Namık Kemal University

Turkey

Editorial Board

Prof. Dr. Lokman Hakan Tecer
 Prof. Dr. Gülen İskender
 Prof. Dr. Aşkın Demirkol
 Prof. Dr. Yılmaz Kılıçaslan
 Prof. Dr. Oğuzhan Çiçekoğlu
 Prof. Dr. Gül Kremer
 Prof. Dr. Nevin Çiğdem Gürsoy
 Prof. Dr. Rızvan Erol
 Prof. Dr. Gülgün Kayakutlu
 Prof. Dr. Emine Çokgör
 Asst. Prof. Dr. İsmail Faik Başkaya
 Assoc. Prof. Dr. Kristina Uzuneanu
 Asst. Prof. Dr. Feride Şermin Utku
 Dr. Giusy Lofrano

Namık Kemal University
 Istanbul Technical University
 Sakarya University
 Adnan Menderes University
 Boğaziçi University
 Iowa State University
 Istanbul Technical University
 Cukurova University
 Istanbul Technical University
 Istanbul Technical University
 Boğaziçi University
 "Dunarea de Jos" University of Galati
 Yeditepe University
 University of Salerno

Turkey
 Turkey
 Turkey
 Turkey
 Turkey
 USA
 Turkey
 Turkey
 Turkey
 Turkey
 Turkey
 Romania
 Turkey
 Italy

Correspondance Address

T.N.K.Ü. Çorlu Mühendislik Fakültesi Dekanlığı Silahtarağa Mahallesi Üniversite 1. Sokak No:13 59860
 Çorlu / Tekirdağ, TURKEY
 e-mail: ejeas@nku.edu.tr
 Tel: +90 282 2502300
 Fax: +90 282 2509924

Front & Back Pages Designed by Abdurrahman Özdemir



Yayın hayatına başlarken,

Trakya'nın kalbinde 1992 yılında kurulan Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi'nin "European Journal of Engineering and Applied Sciences (EJEAS)" isimli dergisi yayın hayatına başlıyor. Temel ve uygulamalı mühendislik konularında evrensel düzeyde bilgi üretmek, ürettiği bilgiyle teknolojik gelişmelere yön verebilmek ve bu bilgileri toplumsal faydaya dönüştürmek misyonuna sahip fakültemizin bu ilk sayısı ile yayın hayatına kazandırdığı dergimiz yılda iki kez yayınlanacaktır.

European Journal of Engineering and Applied Science (EJEAS) disiplinler arası alanlarda orjinal araştırma makalelerini, vaka çalışmalarını ve teknik raporları, derleme ve analiz raporlarını yayınlamayı amaçlamaktadır. Yayın ücreti bulunmayan ve bilimsel hakemli araştırma dergisinde Fen ve Mühendislik Bilimlerinde deneysel, teorik veya hesaplamalı Türkçe ve İngilizce hazırlanmış güncel ve özgün bilimsel çalışmalara yer verilecektir. EJEAS konusu aşağıdaki disiplinlerdeki çalışmaları kapsayacaktır, ancak konu kapsamı bunlarla sınırlı tutulmayacaktır:

- Otomasyon ve mekatronik mühendisliği
- Biyomedikal mühendisliği
- Bilgisayar bilimi ve yazılım mühendisliği
- İnşaat mühendisliği ve mimarlık
- Elektrik, elektronik ve telekomünikasyon mühendisliği
- Çevre mühendisliği
- Endüstriyel ve imalat mühendisliği
- Makine mühendisliği
- Malzeme bilgisi
- Tekstil mühendisliği

Dergiye gelen tüm çalışmalar çift-kör hakem değerlendirme sürecinden geçerek uygun bulunanalar yayınlanma sürecine alınacaktır.

Bu ilk sayısı ile yayın hayatına başlayan dergimizin size ulaşmasında emeği geçen herkese teşekkür eder, dergimize yayın hayatında başarılar dilerim.

Prof. Dr. Lokman Hakan TECER
Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi Dekanı



Değerli Bilim İnsanları,

“European Journal of Engineering and Applied Sciences (EJEAS)” isimli dergimiz, 2018 yılında yayın hayatına başlamış olup, bilimsel hakemli dergi olarak, Fen ve Mühendislik disiplinlerinde “Türkçe ve İngilizce” hazırlanmış güncel araştırma ve derleme çalışmalarına yer vermekte ve yılda iki sayı olarak yayınlanmaktadır.

Dergimizin ilk yılında, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi'nin farklı disiplinlerinde görev yapmakta olan çok değerli akademisyenleri, gönüllü olarak dergimizin tüm süreçlerine destek vermiştir. Bu durum bizleri daha güçlü kılmış ve çalışmalarımızda sinerji yaratarak, azim ve kararlılığımıza önemli katkı sağlamıştır. Dergimizin ilerleyen sayılarında daha güçlü bir yapı ile daha iyi noktalara ulaşmasını, alana ve literatüre daha fazla katkı sağlayarak tüm dünyadaki bilim insanları tarafından yayın gönderilen bir dergi konumuna gelmesini ümit ediyorum.

Dergimizin bu iki sayısında değerli çalışmalarını bizimle paylaşmış dergimizde yayınlanmasına katkı sağlayan tüm yazarlarımıza, yayınların değerlendirilmesi ve süreç içerisinde her türlü bilgi ve tecrübesi ile bizleri yalnız bırakmayan çok değerli hakemlerimize, makalelerin dergimizde yayınlanma sürecinin başından sonuna kadar özveriyle çalışan alan editörlerimize ve editörler kurulumuza, bu süreçte desteklerini esirgemeyen Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi'nin dekanı sayın Prof. Dr. Lokman Hakan Tecer'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ
EJEAS Baş Editörü



Dear Colleagues,

Our “European Journal of Engineering and Applied Sciences (EJEAS)” journal has begun in 2018 as a scientific refereed journal. EJEAS includes up to date Turkish and English languages based research in Science and Engineering and publishes two issues in a year.

In the first year of EJEAS, very valuable academicians of Tekirdag Namik Kemal University have contributed and supported all the processes voluntarily. This made us stronger and with the synergy, it boosted our willingness. I hope that it will achieve better success soon, contribute more to the community, and become a globally recognized journal which publishes journals to entire science community in the world.

For these two issues, I would like to thank our authors who share their studies with us to contribute the journal, our reviewers for assessing the articles with their knowledge and experience, our editors and editorial board for their willingness from the beginning to the end, lastly, dear Dean of Engineering at Tekirdag Namik Kemal University, Prof. Dr. Lokman Hakan Tecer for his ultimate support.

Prof. Dr. Aysun SAĞBAŞ
Editor in-Chief pf EJEAS



CONTENT

Research Articles

1. *Taner Mustafa CENGİZ, Haluk HALİSDEMİR* **49-54**
Altyapı Yapım İşlerinde Kazısız Teknolojilerin Avantajları
4. *Ersoy MEVSİM, Reşat MUTLU* **80-85**
A Microcontroller-based Liénard Oscillator
5. *Mert PAŞAOĞLU, Muhammet Fatih CANSEVEN, Harun Berk IŞIK, Deniz Gül DEMİR, Ufuk SAKARYA* **86-93**
System Engineering-Based Conceptual Design of Indoor Navigation System of Unmanned Aerial Vehicles
7. *Erdal KILIÇ, Reşat MUTLU, Ertuğrul KARAKULAK* **100-105**
A Thermovoltaic Voltage Source Integrated with a Samovar
8. *Hafız ALİSOY, Mahir YASAR, Selcen AKINCI, Merve DAMAR, Mohammadreza MASOUMİSOUREH* **106-111**
Mathematical Modeling of the Response of a Buck Converter to Disturbances
9. *Aysun SAĞBAŞ, Ulviye POLAT* **112-121**
Doğrusal Hedef Programlama Yaklaşımı İle Şehir İçi Toplu Ulaşım Sistemlerinin Modellenmesi



Reviews

2. *Günay YILDIZ TÖRE Gülay ELİTAŞ* **55-72**
Industrial Energy Efficiency Technologies and Management Applications in Turkey
3. *Merve KONCAGÜL Neslihan ERDEM DÜLGER Abdullah YİNANÇ* **73-79**
Dünyada ve Marmara Denizi'nde Müsilaj Oluşumu ve Etkileri
6. *Pelin GÜRKAN ÜNAL* **94-99**
Flok Üretimi, Karşılaşılan Hatalar ve Çözüm Önerileri

Araştırma Makalesi

Altyapı Yapım İşlerinde Kazısız Teknolojilerin Avantajları

Taner Mustafa CENGİZ^{1, a} , Haluk HALİSDEMİR^{2, b, *} 

¹ İnşaat Mühendisliği, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59030

² İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ/Süleymanpaşa, 59860

^atcengiz@nku.edu.tr, ^bhalukhalisdemir@gmail.com

Geliş: 26.06.2022

Kabul: 24.11.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1135980

Öz. Altyapı sistemleri, kentsel sistemin temel öğelerindendir. Elektrik, su, doğalgaz ve internet gibi temel ihtiyaçların kesintisiz sağlanabilmesi, kullanım sonucu açığa çıkan atık suların güvenli bir şekilde uzaklaştırılabilmesi için altyapı sistemlerinin gelişen kent hayatına cevap verebilecek nitelikte ve sürdürülebilir olması gerekmektedir. Kırsal alanlardan kentlere doğru olan göçler sonucu artan kent nüfusu, altyapı sistemlerinin önemini arttırmaktadır. Yeni hatlarının yapımı, var olan hatların bakım ve onarımı özellikle yoğun nüfuslu kentlerde önem kazanan bir konu haline gelmektedir. Söz konusu işlemler açık kazı yöntemiyle yapılabileceği gibi, sosyal ve ekonomik maliyetlerin yüksek olmasından dolayı kazısız yöntemler son yıllarda tercih edilmektedir. Özellikle hızla gelişen teknolojiler ile birlikte kazısız yöntemler, geleneksel açık kazı yöntemlerine göre teknik, ekonomik ve sosyal açılardan daha uygulanabilir olmaktadır.

Anahtar kelimeler: Açık Kazı, Altyapı Hizmetleri, Atıksu, Kazısız Teknoloji Yöntemleri.

Advantages Of Trenchless Technologies In Infrastructure Construction

Abstract: Infrastructure systems are one of the basic elements of the urban system. In order to provide uninterrupted basic needs such as electricity, water, natural gas and internet, and to safely remove wastewater from use, infrastructure systems must be sustainable and capable of responding to the developing city life. Increasing urban population as a result of migration from rural areas to cities increases the importance of infrastructure systems. The construction of new lines, the maintenance and repair of existing lines are becoming an important issue especially in densely populated cities. Although these operations can be done with the open excavation method, trenchless methods have been preferred in recent years due to the high social and economic costs. Especially with the rapidly developing technologies, trenchless methods are more applicable technically, economically and socially than traditional open excavation methods.

Keywords: Open Excavation, Infrastructure Services, Wastewater, Trenchless Technology Methods..

1. Giriş

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 04.02.2021 tarihli yayımına göre Türkiye'de 2019 yılında %92,8 olan il ve ilçe merkezlerinde yaşayanların oranı 2020 yılında %93 olmuştur. Ülkemizde hızlı nüfus artışı ile birlikte kırsal alanların iticiliğine karşı kentlerin çekiciliği sonucu artan kentsel nüfus ile şehir sınırları genişlemekte, bunun sonucunda plansız ve uygun altyapıdan yoksun yerleşim alanları oluşmaktadır.

Özellikle temel ihtiyaçlardan olan elektrik, su, doğalgaz, telefon ve fiber gibi altyapı tesislerine olan ihtiyaç artmaktadır. Ayrıca plansız kentleşme sonucu mevcut altyapı tesisleri ihtiyacı karşılayamaz duruma gelmektedir. Böyle durumlarda mevcut altyapı tesislerinin rehabilitasyonu yapılarak kesit büyütülmekte, bazen de mevcut hatlar iptal edilerek yeni hatların döşenmesi gerekmektedir. Şehirlerde artan nüfusa bağlı olarak yetersiz kalan altyapı hizmetleri sonucu insanların yaşam kalitesinde düşüşler yaşanmaktadır. Özellikle gelir ve

*Sorumlu yazar

E-mail adresi: halukhalisdemir@gmail.com (H. Halisdemir)

refah seviyesindeki iyileşme sonucu şehirlerde yaşayan insanların yaşam kalitesine ilişkin beklentileri artmıştır. Kentsel yaşam kalitesi; toplumsal, ekonomik ve mekânsal özellikler açısından kent olarak tanımlanan yerlerde; kentsel altyapı, iletişim, ulaşım, konut gibi temel hizmetlerin sunulma düzeyinin, asgari standartların üstünde olması olarak tanımlanmaktadır [1].

Altyapı hizmetlerinin inşası ve rehabilitasyonunda iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; klasik açık kazı ve kazısız teknoloji yöntemidir. Klasik açık kazılı yöntemler; altyapı hizmet sağlayıcısı tarafından zeminden başlanarak proje derinliğine kadar kazı yapılması, uygun derinlikte imalat yapıldıktan sonra dolgu yapılarak üst kaplamanın yapılması işlemidir. Klasik açık kazılı yöntemlerde imalat esnasında kazı ve dolgu işlemleri nedeniyle büyük miktarda hafriyat meydana gelmekte, mevcut altyapı – üstyapı tesislerine zarar verilmekte, yaya ve araç güvenliği tehlikeye atılmakta ve yoğun araç trafiği meydana gelmektedir. Tüm bu durumlar klasik açık kazılı imalatları uygulanabilir bir yöntem olmaktan çıkardığından alternatif yöntemler aranmıştır. Gelişen teknoloji ve ar-ge çalışmaları neticesinde kazısız teknolojik yöntemler geliştirilmiş olup zamanla her türlü ihtiyaca cevap verebilecek şekilde uyarlanmıştır. Özellikle derin kazı gerektiren, trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde kazısız teknolojik yöntemler çok avantajlı hale gelmektedir. Örneğin Ankara – İstanbul Otoyolu altından geçirilmesi planlanan bir altyapı tesisinin klasik aç – kapat yöntemle yapılarak yolun günlerce kapatılması düşünülemez. Eski, yıpranmış veya tarihi bir yapının yakınında derin bir kazı yapılması durumunda binanın zarar görme ihtimali yüksektir.

Klasik açık kazılı yöntemler ile inşa edilemeyecek durumlar da bulunmaktadır. Özellikle derin kazı gerektiren projelerde kazısız teknolojik yöntemler tercih edilmek zorundadır. Yerin ortalama 20 metre derinliğinde yapılması planlanan bir atık su tünelinin klasik açık kazılı yöntemler ile inşa edilmesi neredeyse imkânsızdır. Kazısız teknolojiler o kadar önemli ki şehirdeki trafik problemi, kazıdan kaynaklanan bir takım gürtütlü problemleri gibi birçok problemi ortadan kaldıran, sessiz, sedasız, şehrin normal yaşayışını etkilemeden problemi çözen bir sistemdir [2].

2. Kazılı Yöntemlerin İncelenmesi

Geleneksel olarak nitelendirilebilen klasik açık kazılı yöntemler özellikle mevcut altyapı tesislerinde hasar oluşması ve tamirat yapılarak sorunun çözülebileceği durumlarda uygulanmaktadır. Bu yöntem; zeminden başlanarak proje kotuna kadar kazı yapılması, zeminin taşıma gücüne göre gerekli iyileştirme yapıldıktan sonra proje kotunda imalat yapılması ve teknik şartnamesine uygun evsafa dolgu malzemesi ile dolgununun yapılması işlemlerinden oluşmaktadır. Klasik açık kazılı imalatlarda çalışma yapılacak alanda gerekli güvenlik önlemleri alınır. Yaya ve araç trafiği için yönlendirme levhaları yerleştirilir. Gerekmesi halinde servis yolları yapılır. Çalışma yapılacak alan güzergahı kullanan yaya ve araçlardan izole hale getirilerek çalışmalara başlanır. Mevcut zemin kaplaması kaldırıldıktan sonra kazıya başlanır. Kazı derinliğine ve zeminin kendini tutma niteliğine göre iksalı veya şevli kazı yapılır. Kazıdan çıkan inşaat artığı malzeme kamyonlar vasıtasıyla kesin depoya nakledilir.

Zeminin taşıma gücüne göre boru altında gerekli iyileştirme yapılır. Gevşek kum zeminlerde taşıma gücünü artırmak ve sıvılaşma potansiyelini azaltmak için, yumuşak kil zeminlerde ise genelde taşıma gücünü artırmak, konsolidasyon oturmalarını azaltmak veya sınırlandırmak için zemin iyileştirmesine gidilmektedir [3].

Kazı yapılan zeminin kendini tutma niteliğinin düşük olması durumunda göçmeler meydana gelebilmektedir. Hendek kazısı yan yüzeylerindeki zeminin kayarak hendek çukuru dolmasını önlemek, çalışanların can ve mal güvenliğini korumak amacıyla açık kazılar iksalı veya şevli yapılmaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2018/10 sayılı Genelgesine göre 1,75 m'den daha derin bir kazı yapılması gerektiği takdirde, kazının uygun şev açıları verilmek suretiyle şevli olarak yapılması veya kazıya başlanmadan önce kazı çukuru çevresinde bir iksa sistemi (dayanma yapısı) inşa edilerek yatay toprak basınçlarının karşılanması suretiyle önlem alınması zorunludur [4].

3. Kazısız Yöntemlerin İncelenmesi

Şehir nüfusunun arttığı ve yeni yerleşim yerlerinin açıldığı bölgelerde altyapı sistemlerinin rehabilitasyonu ve imalatı büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmaların geleneksel açık kazılı yöntemler ile yapılmasının meydana getirdiği olumsuzluklar sonucu alternatif yöntemler aranmıştır. Gelişen teknoloji ve bu alanda yapılan çalışmalar neticesinde kazısız teknolojik yöntemler geliştirilmiştir.

Kazısız yöntemler, adından da anlaşılacağı üzere çalışmanın açık kazı olmadan yerin altından gerçekleştirilmesidir. Bu yöntem ile yapılan imalatlarda zemin üzerinde herhangi bir çalışma yapılmamaktadır. Bu sayede gündelik hayat etkilenmemekte, sosyal hayat ve doğaya etkisi en aza indirilmektedir.

Kazısız teknoloji, yeraltı hatlarının döşenmesi, değiştirilmesi, incelenmesi, yerlerinin tespit edilmesi ve kaçakların belirlenmesi eylemlerinin toprak yüzeyinden en az kazı yapılarak gerçekleştirilmesidir [5].

Klasik açık kazılı yöntemlerdeki olumsuzluklar karşısında geliştirilen ve özellikle gelişmiş ülkelerin aktif olarak kullandığı kazısız teknolojik yöntemler ile gerek gürtütlü, toz, çamur ve ulaşım gecikme gibi çevresel faktörler en aza inmekte, gerekse iş ve işçi kazalarını en aza indirerek ve beklenmeyen maliyetler oluşturmayarak günümüz dünyasında her geçen gün önem kazanmaktadır.

4. Kazılı Yöntemler ile Kazısız Yöntemlerin Kıyaslanması

Geleneksel açık kazılı yöntemler ile kazısız teknolojik yöntemler kıyaslandığında kazısız yöntemlerin avantajları öne çıkmaktadır. Uzaktan kumanda edilebilirliği sayesinde güvenliği ön plana çıkarken inşaat artığı hafriyat malzemenin az olması ve beklenmeyen maliyetler oluşmaması sayesinde ekonomiktir. Sosyal ve ekonomik alanda pozitif etkilerinin yanı sıra çevreye verilen hasarın az olması da kazısız teknolojik yöntemlerin avantajlarındandır. Geleneksel açık kazılı yöntemler ile kıyaslandığında sosyal, çevresel ve ekonomik olmak üzere üç ana başlıkta kıyaslamak mümkündür.

4.1. Sosyal Etkiler

Sosyal maliyet, ilgili faaliyet dolayısıyla kullanılan kıt kaynakların veya o faaliyetin toplumun diğer bireylerinde yol açtığı refah kaybı ve maliyet artışını ifade eder [6].

Bir projenin hayata geçirilmesi esnasında oluşan fakat proje maliyetine dahil edilmeyen sosyal maliyetler toplum tarafından ödenmektedir. Çoğunlukla göz ardı edilen bu maliyetler bazen proje maliyetlerinin üstüne çıkabilmektedir. Çalışma yapılan güzergahı kullanan araç ve yayaların zaman kaybı yaşaması ve yaşam kalitelerindeki düşüş, hesaplanamayan sosyal maliyetleri oluşturmaktadır.

4.1.1. Zaman Kaybı

Açık kazı yapılan güzergahlarda araç ve yayaların alternatif yollara yönlendirilmesi hem araç kullanıcıları hem de yayalar için zaman kayıplarına sebep olmaktadır. Ulaşımında aksama nedeniyle çalışanların iş yerlerine gecikmesi gelir kayıplarına sebep olmaktadır. Ayrıca trafik yoğunluğunun sürücüler üzerinde psikolojik etkisi de vardır. Tüm bunlar sosyal maliyetler olarak toplum tarafından ödenmektedir. Geleneksel açık kazılı yöntemlerin aksine kazısız teknolojik yöntemlerde herhangi bir kazı işlemi olmadığından yolların daraltılması, kapatılması veya alternatif güzergahlara verilmesi söz konusu değildir. Bu nedenle çalışma yapılan cadde ve sokaklardaki gündelik hayatın olağan akışı etkilenmemektedir.

4.1.2. Servis Sağlayıcılarda Meydana Gelen Aksaklıklar

Açık kazı imalatlarında proje kotuna kadar yapılan kazılar esnasında zemindeki farklı altyapı tesislerine zarar verilebilmektedir. Çalışmalara başlanmadan önce sondaj kazıları yapılsa veya ilgili kurumlardan bilgi alınsa bile proje kotunda olmayan veya hatalı imalat yapılan altyapı tesislerine zararlar verilebilmektedir.

4.1.3. Yaşam Kalitesinde Düşüş

Geleneksel açık kazılı imatatlarda kapatılan yolları kullanan insanların gideceği yere ulaşamama endişesi ve trafikte daha fazla zaman geçirmenin oluşturduğu stres hem iş hayatını hem de gündelik yaşantısını olumsuz etkilemektedir. Park yeri bulamama ve trafik yoğunluğuna bağlı olarak meydana gelen kazalar insanların yaşam kalitesinde azalma meydana getirmektedir.

Fransa'da yapılan araştırmada kazılı teknolojilerin topluma verdiği toplam göreceli rahatsızlık dereceleri şu şekildedir: [7]

Etken	Rahatsızlık Derecesi
Ses – Gürültü	% 98
Toz – Kirlilik	% 58
Ulaşımında Gecikme	% 55
Eve Endişeli Girme	% 50

Geleneksel açık kazılı yöntemlerin sosyal alanda meydana getirdiği olumsuzluklardan engelli insanlar da etkilenmektedir. Gündelik hayatlarını kolaylıkla devam ettirebilmeleri için yapılan engelli yürüyüş yolu ve rampası gibi alanlar, açık kazılı imatatlarda esnasında kaldırılmakta, bu durum engelli insanların yaşamlarını olumsuz yönde etkilemektedir.

4.2. Ekonomik Etkiler

Geleneksel açık kazılı yöntemler sonucu fazladan araç-ekipman kullanılması, çok fazla insan gücüne ihtiyaç duyulması, yollarda meydana gelen bozulmaların giderilmesi, sosyal etkiler sonucu üretkenliğin düşmesi ve gelir kayıpları yaşanması, yakıt tüketiminde ve kazalarda artış yaşanması gibi etkenler sonucu proje maliyetinin çok daha üstünde ekonomik etkiler meydana gelmektedir.

4.2.1. Yol Hasarı

Açık kazı ile yapılan uygulamalarda imalat tamamlandıktan sonra yol üst kaplaması asfalt, parke, beton, stabilize vs. şeklinde komple yapılır. Üst kaplamanın tamamının yenilenmesi ekonomik açıdan çok büyük maliyetler oluşturduğundan bazen yama şeklinde de üst kaplama yapılmaktadır.

4.2.2. Servis Yolları

Geleneksel açık kazılı yöntemlerde çalışma yapılan yolların kapanması nedeniyle trafik servis yolları üzerinden sağlanmaktadır. Bunun için yeni yollar yapılması gerekmektedir. Çalışma süresince kullanılan ve sonradan işlevini yitiren bu yollara harcanan maliyetlerin yanında mevcut yolun kapatılarak servis yollarına yönlendirilebilmesi için levha ve bariyer gibi işaretlere, işaretçi ve bayrakçılara da ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm bunlar ek maliyetleri oluşturmaktadır.

4.2.3. Fazladan Ekip – Ekipman ve Yakıt Kullanımı

Kazısız teknolojik yöntemlerle kıyaslandığında açık kazılı imatatlarda için çok daha fazla araç, ekip – ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. İş gücüne olan ihtiyaç daha fazladır. Bu nedenle daha fazla personel ve iş makinesi kullanılmaktadır. Bu durum projenin maliyetini arttırmaktadır. Çalışma yapılan güzergahın trafiğe kapatılarak alternatif yollara verilmesi durumunda yol uzunluğunun artması ve trafiğin yoğunluğunun artmasına bağlı olarak yakıt tüketimi de artmaktadır.

4.2.4. Trafik Kazalarında Artış

Geleneksel açık kazılı imatatlarda esnasında yolların daraltılması veya kapatılması durumunda trafik yoğunluğu oluşmaktadır. Bu yoğunluğa bağlı olarak trafik kazalarında artış meydana gelmektedir. Özellikle çevre yolu – otoban gibi hız limitlerinin yüksek olduğu ana arterlerdeki yol çalışmalarında dikkatsizlik sonucu trafik kazaları büyük oranda artmakta, can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Trafiğin yönlendirildiği tali yolların genellikle stabilize, dar, keskin virajlı ve eksik aydınlatılması, ayrıca sürücülerin yolu bilmemesi nedeniyle trafik kazalarında artış yaşanmaktadır. Kazısız teknolojik yöntemlerde ise trafiğin olağan akışına herhangi bir müdahale söz konusu değildir.

4.2.5. Gelir Kaybı

Kazı yapılan güzergahların araç – yaya trafiğine kapatılması nedeniyle bölgedeki esnafın büyük gelir kayıpları yaşamaktadır. Çalışmaların tamamlanıp yolların yeniden ulaşımına açılmasına dek geçen sürede ekonomik faaliyetler büyük ölçüde azalmaktadır. Trafik yoğunluğuna bağlı olarak park yeri bulamaması da esnaf için olumsuz bir durumdur.

Trafik yoğunluğu nedeniyle iş yerinde geçirmesi gereken zamanı trafikte geçiren bir çalışan büyük ölçekte gelir kaybı olarak düşünülebilir. Ayrıca trafikte geçirdiği süre içerisinde işe geç gitme ve işe ulaşamama kaygısı da kişinin bir günlük çalışma verimini etkilemektedir.

4.2.6. Servis Sağlayıcılara Verilen Zararlar

Geleneksel açık kazılı imalatlar esnasında kazı yapılacak derinliğe kadar yüzeyden başlanarak kazı yapılmaktadır. Bu esnada farkı kurumlara ait altyapı tesisleri ile karşılaşmaktadır. Kazı çalışması esnasında servis sağlayıcıların hatlarına verilen zararlar büyük ekonomik maliyetler doğurabilmektedir. Örneğin içme suyu hattına verilecek bir hasarda, hattın basınçlı olması nedeniyle çevreye büyük zararlar verebilmektedir. Hasar verilen noktanın tamir edilebilmesi için hattın tamamen boşaltılması gerekmektedir. Elektrik hatlarına verilen olası zararlarda ölümlü kazaların oluşması muhtemeldir. Bu esnada yüksek veya düşük voltaj verilmesi nedeniyle abonelerin elektrikli aletlerinde bozulmalar oluşabilmektedir. Büyük ölçekte üretim yapan fabrikaları besleyen elektrik hatlarına verilen zararlarda fabrikaların durması nedeniyle çok büyük gelir kayıpları ortaya çıkabilmektedir.

Geleneksel açık kazılı imalat ile yapılan 200 m açık kazılı imalatın doğrudan maliyeti 476.635 ₺ iken aynı imalatın kazısız teknolojik yöntemler ile yapılması durumunda doğrudan maliyet 318.600 ₺ olmaktadır. Sadece doğrudan maliyetler açısından kıyaslandığında kazısız teknolojik yöntemlerin çok daha avantajlı olduğu görülmektedir. [8]

4.3. Çevresel Etkiler

Geleneksel açık kazılı imalatların inşalar üzerindeki sosyal ve ekonomik etkilerinin yanı sıra çevre üzerinde de olumsuz etkileri bulunmaktadır. Çalışmalar nedeniyle görüntü ve hava kirliliği meydana gelirken çevredeki binalara ve ağaç köklerine de zarar gelebilmektedir. Kazısız teknolojik yöntemlerle kıyaslandığında çok daha fazla araç – ekipman kullanılmak zorunda kalındığından atmosfere salınan karbonmonoksit gazı miktarında da büyük artış gözlenmektedir. Kazısız teknolojik yöntemlerde ise çalışma yapılan güzergahta herhangi bir kazı olmadığından çevreye verilen zarar çok daha düşüktür.

4.3.1. Görüntü ve Hava Kirliliği

Açık kazılı imalatlar esnasında kazısız teknolojik yöntemlere kıyasla çok daha fazla ve ağır iş makineleri kullanılmaktadır. Bu iş makinaları çalışmaları sırasında fazlaca gürültü çıkartmaktadır. Çalışmalar esnasında yolların daraltılması veya kapatılması nedeniyle oluşan trafik yoğunluğu nedeniyle de bölgede büyük ölçekte bir gürültü kirliliği meydana gelmektedir.

Kazısız teknolojik yöntemlerle kıyaslandığında açık kazılı imalatlar büyük bir görüntü kirliliği de oluşturmaktadır. Özellikle tarihi turistik bölgelerde yapılan çalışmalarda iş makineleri ve hafriyat kamyonlarından meydana gelen görüntü, turizm açısından kötü bir imaj çizmektedir.

4.3.2. Toz ve Çamur

Kazılı yöntemler esnasında yoğun miktarda toz açığa

çıkarmakta, bu durum muhitteki tüm canlıları olumsuz etkilemektedir. Kazısız teknolojilere oranla çok daha fazla inşaat artığı hafriyat malzeme açığa çıkması ve bu malzemelerin kamyonlarla döküm sahalarına nakledilmesi, ocaklardan yeni stabilize malzemelerin getirilmesi esnasında yollarda toz ve çamur oluşumuna neden olmaktadır. Özellikle yağışlı havalarda toprak çamur halini alarak bölgedeki vatandaşları olumsuz etkilemektedir.

4.3.3. Hafriyat Nakilleri

Adından da anlaşılacağı üzere açık kazılı imalatlar ile kazısız teknolojik yöntemlerin en büyük farkı, çalışma esnasında açığa çıkan kazı artığı malzemelerdir. Kazısız teknolojik yöntemler kullanılarak yapılan imalatlar esnasında sadece boru hacmi kadar bir toprağın yer değiştirmesi söz konusudur. Borunun ilerleyebileceği kadarlık bir alan açılır ve açılan boşluğa boru yerleştirilir. Bu durumda sadece boru dış çapı kadar bir hafriyat açığa çıkar ve bunun kesin depoya nakledilmesi gerekir. Genellikle ek olarak ocaktan sağlam stabilize malzemeye ihtiyaç duyulmamaktadır.

İnşaat sektörünün büyümesiyle hafriyat kamyonlarının sayısı da artmaktadır. Bu durum can kayıplarını da beraberinde getirmektedir. 2017'de ağırlıklı olarak hafriyat kamyonları ile beton mikserlerinin karıştığı 42 kazada 13 kişi hayatını kaybetti, 66 kişi yaralandı. 2018'in ilk 4 ayında ise 11 ayrı kazada 4 kişi can verdi, 13 kişi de yaralandı. [9]

Kazısız teknolojik yöntemlerde ise kazı artığı ve stabilize malzeme ihtiyacı çok az olduğundan hafriyat nakilleri minimumdur. Bu yönüyle ekonomik, sosyal ve çevresel açıdan geleneksel açık kazılı yöntemlere oranla çok daha avantajlı durumdadır.

4.3.4. Ağaçlara ve Ekosisteme Verilen Zararlar

Açık kazılı imalatlar esnasında yüzeyden başlanarak imalat yapılacak proje kotuna kadar yapılacak kazı esnasında yer altında yaşayan canlılara büyük zararlar verilmektedir. Özellikle yeşil alanlarda yapılan çalışmalarda ekosistem komple tahrip edilmektedir. Ağaç köklerine zarar verilmekte ve kesilmektedir.

Ekskavatör gibi büyük iş makinelerinin çalışması esnasında dönerken ağaç dallarına zarar verebilmektedir. Kazı derinliğinin fazla olduğu ve zeminin taşıma gücünün düşük olduğu alanlarda yapılan çalışmalarda zeminin şevli açılması nedeniyle bölgedeki ağaçlar tamamen sökülme zorunda kalmaktadır. Kazısız teknolojik yöntemler ile yapılan imalatlarda ise çalışma yapılan güzergahtaki ağaç ve canlılara herhangi bir müdahale söz konusu değildir.

4.3.5. Yeraltı ve İçme Sularında Kirlilik

Geleneksel açık kazılı imalatlar esnasında yüzeyden başlanarak yapılan kazı esnasında içme suyu hatlarıyla karşılaşmaktadır. Bu hatların yerinin ve derinliğinin bilinmemesi, projeye uygun imalat yapılmaması, kazıyı yapan operatörün bir anlık hatası veya içme suyu hattının dirsek gibi noktalarına denk gelinmesi durumunda içme suyu hattının patlayabilmektedir. Böyle bir durumda hattı besleyen su vanalardan kesilerek hat susuzlaştırılır. Bu esnada bu hattan beslenen evlere su verilememesi açık kazılı imalatların olumsuzluklarındandır. Sonrasında hatta meydana gelen

tahribat giderilir ve hatta yeniden su verilir. Bu esnada içme suları kirli akmakta, su ile çalışan makinalarda bozulmalar meydana gelebilmektedir. Sehven atık su hatlarına zarar verilmesi durumunda veya yeni atık su hatlarının kazılı imalatlar ile inşa edilmesi durumunda atık sular sızarak yeraltı sularını kirletebilmektedir. Bu esnada atık suları içme sularıyla karışma tehlikesi de bulunmaktadır. Kazısız teknolojik yöntemlerde ise mevcut altyapı tesislerine verilen zararlar minimumdur.

4.3.6. Salgın Hastalıklar

Açık kazılı imalatlar ile yapılan atık su hatlarının bakım, onarım ve imalatı esnasında atık sular yüzeyden akmaktadır. Bu durum kötü koku oluşturmalarının yanı sıra salgın hastalıkların yayılmasını da arttırmaktadır. Hava yoluyla bulaşan hastalıklar çevredeki tüm canlılar için büyük bir tehdit oluşturmaktadır.

4.3.7. Çevredeki Üstyapı Tesislerine Verilen Zararlar

Geleneksel açık kazılı imalatlar esnasında yüzeyden başlanarak kazı yapılacak kota kadar yapılan şevli kazılar esnasında çevredeki üstyapı tesisleri zarar görmektedir. Örneğin çevrede yer alan elektrik ve aydınlatma direkleri, reklam panoları ve billboardlar çalışma süresince kaldırılmak zorunda kalmaktadır. Ekskavatör gibi ağır ve büyük iş makinelerinin dönmesi esnasında bu tesislere zarar verilebilmektedir.

Kazısız teknolojik yöntemlerde ise üstyapı tesislerine herhangi bir zarar verilmemekte, çalışma yapılan alanı kullanan vatandaşlar ve esnafın gündelik hayatında herhangi bir değişiklik olmamaktadır. Çalışmanın uzaktan kumanda edilmesi sayesinde çalışan güvenliği açısından çok daha avantajlıdır.

5. Türkiye’de Kazısız Teknolojik Yöntemlerin Kullanılma Durumu

Gelişen teknoloji ile birlikte her koşulda ve zemin tipinde çözümler üretebilen makinelerin üretilmesiyle dünyada ve ülkemizde kazısız teknolojik yöntemlerin kullanım alanları artmıştır. Özellikle trafik ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde kamu kurumları kazısız teknolojik yöntemleri zorunlu kılmaktadır. Ülkemizde de kazısız teknolojik yöntemler ve tünelleme alanlarında sempozyumlar düzenlenmekte, alanda hizmet gösteren ulusal/uluslararası kamu ve özel sektör temsilcileri bir araya gelerek sektörün geleceği ve kullanım alanlarının yaygınlaştırılması için çalışmalar yürütmektedir. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü başta olmak üzere büyükşehirlerin su ve kanalizasyon idareleri kazısız teknolojik yöntemleri sıkça kullanmaktadır.

6. Sonuç ve Öneriler

Türkiye nüfusunun hızlı bir şekilde artmasına paralel olarak artan şehir nüfusu ile birlikte su, elektrik, doğalgaz, internet gibi hatlara olan ihtiyaç artmakta, her geçen gün kurumlar hizmet verdikleri abone sayısının artışına bağlı olarak hizmet hacimlerini arttırmaktadır. Bu artış bazı bölgelerde mevcut kapasitenin büyütülmesi olarak gerçekleşirken bazı bölgelerde ise yeni hatların inşa edilmesi şeklinde olmaktadır. Özellikle plansız kentleşme nedeniyle öngörülemez bölgesel nüfus

artış durumlarında, servis sağlayıcılar sürekli hat yenilemek ve kapasite arttırmak zorunda kalmaktadır. Bu bağlamda nüfus artışı ve şehirleşmeye bağlı olarak imara açılacak yeni alanlar önceden tespit edilmeli, tüm kurumlar altyapılarını önceden götürmeli ve şehirleşme başlamadan altyapı tesisleri hazır edilmelidir. Nüfus planlaması yapan kurumlar ile iş birliği içerisinde en az 100 yıl süreyle ihtiyacı karşılayacak kapasitede hatlar döşenmeli ve arıza, bakım – onarım dışında kapasite arttırmak amaçlı kazı yapılmasına izin verilmemelidir. İmara açılacak yeni alanlara altyapı tesisleri getirilirken kazı derinliği en fazla olan kurumlara öncelik verilmeli, en derinden başlayarak yüzeye doğru kurumlar hatlarını inşa etmelidir. Ayrıca ilk olarak mevcut hatlar kaldırılmadan yeni hat döşenmesine izin verilmemeli, tüm altyapı kuruluşları iş birliği içerisinde çalışılmalı, Altyapı Bilgi Sistemi kurularak tüm kurumların altyapı tesislerinin güzergah, çap ve kot değerleri net bir şekilde sisteme işlenmelidir.

Mevcut hatların hizmet ömrünü yitirmesi veya ihtiyacı karşılayamayacak hale gelmesi durumunda kazısız yöntemler tercih edilmelidir. Günümüz dünyasında yeni yeni uygulanmaya başlanan kazısız yöntemler geliştirilmeli ve her zemin tipine, derinliğe ve kesite kısacası her ihtiyaca cevap verebilecek özellikte teknolojiler geliştirilmelidir. Bu konuda yapılacak çalışmalar, kurumlar ve yerel yönetimler tarafından desteklenmeli, araştırma – geliştirme çalışmalarına daha fazla ödenek aktarılmalıdır. Altyapı ve Kazısız Teknolojiler konusunda uluslararası düzeyde fuarlar organize edilmeli, dünyada bu konudaki gelişmeler sürekli takip edilmelidir. Bakanlık ve TÜBİTAK gibi kuruluşlar kazısız teknolojilerin geliştirilmesine yönelik araştırma – geliştirme çalışmalarına teşvik olmalıdır. Ayrıca ülkemizde bu alanda makine üretmeye çalışan kamu ve özel sektör kuruluşları desteklenmeli, mali desteklerle yerli üretim teşvik edilmeli ve sahadaki talebe cevap verecek özellikte makine ve teçhizat üretimi sağlanarak ihracat sağlanmalıdır.

Sonuç olarak baktığımızda; imalat maliyetlerini minimize etmesi, imalat süresini düşürmesi, iş kazalarını neredeyse sıfıra indirmesi, çevre ve doğaya verilen zararı ortadan kaldırması, insanların yaşam kalitesini etkilememesi, trafik problemi oluşturmaması ve daha bir çok etken göz önüne alındığında kazısız yöntemler tercih edilmeli hatta yerel yönetimler tarafından belirli bölgelerde zorunlu kılınmalıdır.

Yazar Katkısı

Veri iyileştirme -Yazar Haluk Halisdemir (HH); Biçimsel analiz – Taner Mustafa Cengiz (TMC); Araştırma - TMC; Deneysel performans - HH; Veri toplama - HH; Veri işleme - HH; Literatür taraması - HH; Yazan - HH; İnceleme ve düzenleme – TMC, HH.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Teşekkür

Uzmanlık tez danışmanlığımı üstlenerek tez çalışmamı katkı sağlayan ve desteğini hiç esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr.

Üyesi Taner Mustafa CENGİZ'e (Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü / Hidrolik Anabilim Dalı) teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu günlere ulaşmamı sağlayan, benden öğütlerini hiç esirgemeyen sevgili aileme, desteklerinden ötürü eşim Tuba HALİSDEMİR'e sonsuz teşekkür ederim

Kaynaklar

- [1] Geray, C., Kentsel Yaşam Kalitesi ve Belediyeler, Türk İdare Dergisi, ss. 323- 345, 1998
- [2] Eroğlu, V., Kazısız Teknolojiler Türkiye Zirvesi (Ekim-Kasım-Aralık 2012)
- [3] Öztoprak, S., Zeminlerin İyileştirilmesi: Yöntemlere Genel Bir Bakış, İMO İstanbul Karaköy Şb., Kasım 2016
- [4] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018/10 sayılı genelge, 31.08.2018

[5] Torun, Y., Altyapı Kazısız Teknolojiler ve Tünelcilik Dergisi, 2012

[6] <https://nedir.com/sosyal-maliyet>, Son Erişim Tarihi: 24.11.2022



[7] Legaz, C., “Outlooks in France regarding How Are Taken Into Account The Social Costs In The Works Of Installation Or Rehabilitation Of Networks”, Mediterranean NO-DIG 2007-XXV International Conference and Exhibition-Roma, Italia, 10/12 September 2007

[8] Halisdemir, H., Altyapı Yapım İşlerinde Kazısız Teknolojilerin Avantajları Ve Boru İtme Yönteminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2022

[9]-<https://sozcu.com.tr/2018/gundem/kucukcekmece-dehseti-2415243>, Son Erişim Tarihi: 24.11.2022

Review Article

Industrial Energy Efficiency Technologies and Management Applications in Turkey

Günay Yıldız Töre^{1, a, *} , Gülay Elitaş^{2, b} 

¹ Çevre Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860

² Çevre Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59030

^agyildiztore@nku.edu.tr, ^belitas.g@hotmail.com

Received: 11.12.2022

Accepted: 26.12.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1217357

Abstract. Efforts to ensure sustainability in energy, reduce foreign dependency and combat climate change require efficient use of energy and energy resources in Turkey as well as in the rest of the world. Implementing environmentally friendly policies and methods in energy production/consumption and creating resource alternatives, and increasing efficiency by avoiding waste has been a policy that has been emphasized in Turkey. Energy efficient technologies in the industry is to use energy with high efficiency and savings without sacrificing production quality. The application of benchmarking methodologies to determine the efficiency of the industrial plant in terms of energy consumption and to compare it with similar enterprises in the same industry will provide a solid basis for the steps to be taken according to the current situation of a particular industrial plant. Therefore, for such a comparative analysis a set of criteria should be determined and applied. For this purpose, there are two main types of criteria that can be used by grouping them as general and sector-specific criteria. In this study, considering both criteria, energy efficiency technologies and management practices that can be applied for different sectors in Turkey have been compiled. Studies conducted in the literature within the scope of good practices in energy efficiency and management for the Textile, Iron-Steel, Cement and Glass sectors were examined, and policy and strategy proposals for the dissemination of these studies to the locomotive sectors in Turkey were discussed.

Keywords: Energy policy and strategy, Industrial energy, Energy efficiency, Energy management.

Türkiye'de Endüstriyel Enerji Verimliliği Teknolojileri ve Yönetim Uygulamaları

Öz. Sanayilerin enerji tasarruf potansiyelinin yüksek olması ve tükettikleri enerjinin büyük kısmının ticari enerji olması nedeniyle enerji tasarrufu çalışmalarında ele alınması gereken önemli bir sektördür. Sanayi sektörü, Türkiye'de birincil enerjinin %24'ünü ve elektriğin %47'sini kullanmaktadır. Enerjide sürdürülebilirliğin sağlanması, dışa bağımlılığın azaltılması ve iklim değişikliği ile mücadele çabaları, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de enerji ve enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını gerektirmektedir. Enerji üretimi/tüketimi konusunda çevre dostu politika ve yöntemlerin uygulanması ve kaynak alternatiflerinin oluşturulması, israftan kaçınılarak verimliliğin artırılması Türkiye'de üzerinde önemle durulan bir politika olmuştur. Sektörde enerji verimli teknolojiler, üretim kalitesinden ödün vermeden enerjiyi yüksek verim ve tasarrufla kullanmaktır. Endüstriyel tesisin enerji tüketimi açısından verimliliğini belirlemek ve aynı sektördeki benzer işletmelerle karşılaştırmak için kıyaslama metodolojilerinin uygulanması, belirli bir endüstriyel tesisin mevcut durumuna göre atılacak adımlar için sağlam bir temel sağlayacaktır. . Bu nedenle, böyle bir karşılaştırmalı analiz için bir dizi kriter belirlenmeli ve uygulanmalıdır. Bu amaçla genel ve sektörel kriterler olarak gruplandırılarak kullanılacak iki ana kriter türü bulunmaktadır. Bu çalışmada her iki kriter dikkate alınarak Türkiye'de farklı sektörler için uygulanabilecek enerji verimliliği teknolojileri ve yönetim uygulamaları derlenmiştir. Tekstil, Demir-Çelik, Çimento ve Cam sektörlerine yönelik enerji verimliliği ve yönetimi konusunda iyi uygulamalar kapsamında literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmaların Türkiye'deki lokomotif sektörlerle yaygınlaştırılmasına yönelik politika ve strateji önerileri tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Enerji politikası ve stratejisi, Endüstriyel enerji, Enerji verimliliği, Enerji yönetimi.

* Corresponding author

Email Address: gyildiztore@nku.edu.tr (G.Yıldız Töre)

This article was presented at 4th International Congress on Applied Sciences, Engineering and Mathematic (ICASEM)

1. Introduction

After the first oil crisis in 1973, the problem of energy security emerged as a prominent issue mostly for developed countries. However, later on, energy security has become a more global issue due to the increase in energy consumption and supply groups and the international agreement of the world energy industry, political turmoil and wars, and continued volatility in energy supply [1].

In order to achieve a sustainable growth, many countries have made meeting their energy demands and needs at the most appropriate scale. If countries cannot meet these needs within their borders, they become dependent on foreign energy. Empirical research conducted in recent years also attributes one of the most important obstacles to industrialization and growth to the high dependence on foreign energy. These studies show that there is a directly proportional relationship between growth and energy consumption, and that growth can be realized with the precondition of energy supply, minimizing foreign dependency [2]. The primary energy supply and the change in primary energy consumption by sectors on the basis of resources in the world and Turkey are shown in Fig. 1 and Fig. 2, respectively. Within the scope of primary energy supply, while the energy supply increased from 544.3 EJ to 612.19 EJ in the period from 2010 to 2019, it decreased to 588.1 EJ in parallel with the slowdown in economic activities with the pandemic period in 2020 [3].

Today, although fossil fuels have a dominant share of 83.4% on the basis of the amount supplied in 2020, it is understood that this trend continues in energy consumption. The energy of

fossil fuels, which have a dominant share among the fuels consumed, is supplied by 34% oil, 30% coal and 24% natural gas resources [4].

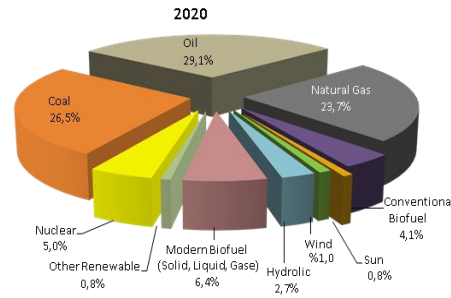


Fig. 1. Sources of World Primary Energy Supply in the world [3]

Resources in 2020 Turkey's Total Energy Supply Amount (MTEP) and Shares of (%)

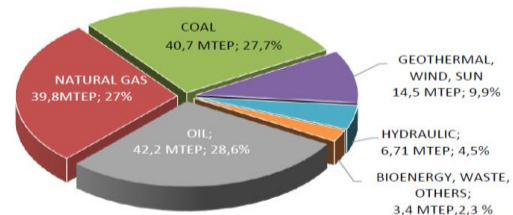


Fig. 2. Distribution of Primary Energy Supply by Sectors in Turkey in 2020 [5]

Forecasts of World Primary Energy Consumption according to different future scenarios of IEA (International Energy Agency) are presented in Table 1.

Table 1 IEA's World Primary Energy Consumption Forecasts [3]

CRITERION	SCENARIOS	REALIZATION	IN CASE OF CURRENT POLICIES' CONTINUE		IN CASE OF THE COMMITMENTS ARE FULFILLED		IN CASE OF IMPLEMENTING THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT POLICIES		IN CASE OF ZERO EMISSIONS POLICIES ARE IMPLEMENTED	
			2020	2030	2050	2030	2050	2030	2050	2030
PRIMARY ENERGY DEMAND	QUANTITY (EJ)	589,1	671,0	743,9	651,1	674,4	599,2	577,9	547,1	543,0
	Change from 2020 to 2050		26,3%		14,5%		-1,9%		-7,7%	
RENEWABLE ENERGY SUPPLY	QUANTITY (EJ)	68,5	109,0	192,5	120,6	248,4	142,7	316,4	166,6	362,1
	Change from 2020 to 2050		181,0%		262,6%		361,9%		428,6%	
OIL PRODUCTION	QUANTITY (Million Barrel /Day)	91,3	103,0	103,0	96,1	78,7	87,6	47,0	No data	
	Change from 2020 to 2050		12,8%		-13,8%		-48,5%			
NATURAL GAS PRODUCTION	QUANTITY (Billion M ³)	4.014,0	4.554,0	5.113,0	4.249,0	3.852,0	4.038,0	2.452,0	No data	
	Change from 2020 to 2050		27,4%		-4,0%		-38,9%			
COAL PRODUCTION	QUANTITY (Mtce)	5.462,0	5.132,0	4.020,0	4.878,0	2.672,0	3.786,0	1.189,0	No data	
	Change from 2020 to 2050		-26,4%		-51,1%		-78,2%			
TOTAL CO2 RELEASE	QUANTITY (CO2)	34.156,0	36.267,0	33.903,0	33.640,0	20.726,0	28.487,0	8.170,0	21.147	0,0
	Change from 2020 to 2050		-0,7%		-39,2%		-76,1%		100%	

The industrial sector uses more energy than any other end-use sector, currently consuming around 37% of the world's total supplied energy.

Energy is consumed in the industrial sector by various industry groups, including manufacturing, agriculture, mining and construction, and for a wide variety of activities such as

processing and assembly, space conditioning and lighting.

When the energy consumption trend is examined from the 1990s to 2019, it has been determined that the consumption of Asian countries increased by 69%, while the consumption of the Americas decreased to 23% and Europe was at the level of 47%. [3,]. Over the next 25 years, worldwide industrial energy consumption is expected to increase by an average of 1.4% per year from 51,275 ZeptoWatt (ZW) in 2006 to 71,961 ZW in 2030 [6].

In the studies carried out, great savings potentials appear in both industry and residences for Turkey, which has an energy-intensive economy. Energy efficiency studies are seen as new initiatives in our country and supply security is at risk compared to Turkey's growth rate. Increases in productivity are vital for Turkey's competitive and sustainable production. Approximately 43% of energy consumption in Turkey is realized in industry and it has the largest share. For this reason, the competent authorities have focused on energy saving studies especially for the industry [7].

In comparison, although Turkey has low energy consumption compared to developed countries, it also has a strong growth potential in terms of energy demand. Energy consumption per capita in Turkey in 2016 is 1.7 TOE, which is less than half of the OECD average (4.1 TOE per capita) and very close to the world average (1.9 TOE per capita). The energy consumption required to produce \$1000 added value (constant 2010 PPP) decreased slightly from 0.086 toe to 0.074 toe between 1990 and 2016. Although this value is below the OECD average of 0.108 and the world average of 0.172, the low energy intensity of an economy may indicate either a less energy-intensive economic structure or/and more efficient energy use. For this reason, examining the sectoral structure and evaluating its effect on energy intensity changes is important in terms of calculating the real energy efficiency of Turkey [1].

Oil and natural gas occupy the first two places in primary energy supply in energy consumption in Turkey (Fig. 1.2), while industry and transportation take the first two places in energy consumption, excluding the Cycle and Energy sectors (Fig. 3.) [5]

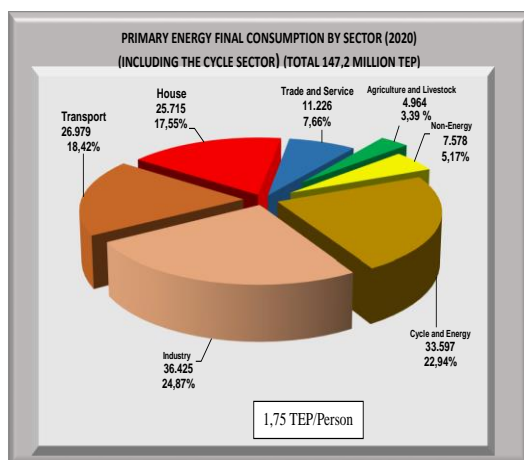


Fig. 3. Distribution of Primary Energy Consumption in 2020 by Sectors [5]

Turkey, which is in a rapid interaction process with the world economy, is in an effort to complete its infrastructure, realize

its development goals, increase social welfare, and raise the industrial sector to a level that can compete in the international arena. This situation brings along a rapid increase in energy demand. However, the efficient use of energy has become increasingly important. The efficient use of energy ensures that less energy is consumed in the production process in order to obtain the same amount of product, thus reducing energy input costs, providing competitive advantages for industrial organizations both in the domestic and foreign markets and using environmentally friendly energy.

Ensuring sustainability in energy, reducing foreign dependency and efforts to combat climate change require efficient use of energy and energy resources in Turkey as well as in the rest of the world. The implementation of environmentally friendly policies and methods in energy production/consumption, the creation of resource alternatives, and the increase of efficiency by avoiding waste have been a policy that has been emphasized in Turkey. Energy efficient technologies in the sector are to use energy with high efficiency and savings without sacrificing production quality. The application of benchmarking methodologies to determine the efficiency of the industrial plant in terms of energy consumption and to compare it with similar enterprises in the same industry will provide a solid basis for the steps to be taken according to the current state of a particular industrial plant. Therefore, a set of criteria must be identified and applied for such a comparative analysis. For this purpose, there are two main types of criteria that can be used by grouping them as general and sectoral criteria.

In line with this information, in this study, considering both criteria, energy efficiency technologies and management practices that can be applied for different sectors in Turkey have been compiled. Studies in the literature within the scope of good practices on energy efficiency and management for the Textile, Iron-Steel, Cement and Glass sectors were examined and policy and strategy proposals for the dissemination of these studies to the locomotive sectors in Turkey were discussed.

2. Energy Efficiency, Savings, Intensity and Importance

Energy is the capacity of a system to do work. Energy can be both a resource, a product and a waste in a system. When it is added to or removed from any system, it causes at least one feature of the system to change (Fig. 4).

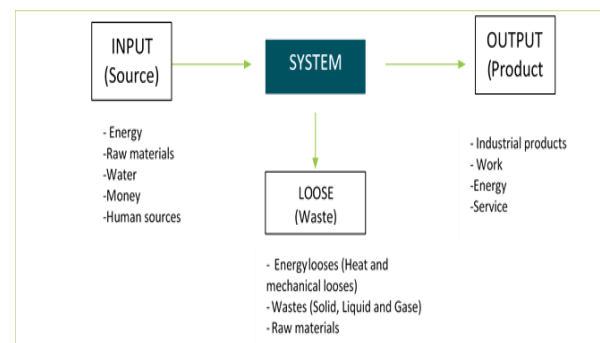


Fig. 4. Energy efficiency in an industrial system [İTÜ Enerji Enstitüsü ve Heinrich Böll Stiftung Derneği Türkiye Temsilciliği]

Efficiency, on the other hand, is the capacity to achieve the most output with the least input, and it can be realized in 3 different ways in any system;

- More output with the same input
- Providing the same output with less input
- Providing more output with less input

Efficiency according to energy, which is one of the most important parameters for a system; It can be defined as the ratio of the energy we use to produce any product to the total energy given to the system [Eq.1].

$$\text{Efficiency} = [\text{Utilized Energy} / \text{Input Energy}] \times 100 \quad [\text{Eq.1}]$$

Therefore, Energy Efficiency covers a wide spectrum from the use of energy resources at the highest efficiency at all stages from production to consumption, minimization of energy losses and evaluation of all kinds of wastes, development of industrial processes and increasing efficiency in energy transmission.

Efficient use of energy is aimed with energy saving and energy efficiency. Energy saving is defined as using energy efficiently, not wasting it, and doing the same work using less energy without any reduction in production, living standards and workforce. Energy efficiency, on the other hand, is the reduction of energy consumption per unit service or product amount without a decrease in the standard of living and service quality in buildings, and production quality and quantity in industrial enterprises [8]

There is a small nuance difference between energy efficiency and energy saving, and the reduction in the amount of energy consumed at each stage to realize a certain amount of production and service with the measures taken by the users is called Energy Saving. A common measure of the Energy Efficiency of a country's economy is its Energy intensity. Energy intensity is a worldwide indicator (\$/MTEP) representing the total amount of primary energy consumed per gross domestic product (GDP). Generally, the amount of TEP consumed for a revenue of \$1000 is expressed in terms of energy intensity on an international scale. In other words, the lower the energy intensity of a country, the lower the energy spent to produce unit output in that country.

The energy density in the production of a good is calculated as follows;

$$\text{Energy Intensity} = E / V \quad [\text{Eq.2}]$$

$$D = (1/ \text{PPI}) \times (\sum \text{Pi} \times \text{Fi})$$

E: Annual energy consumption (TEP) of the enterprise

V: The economic value of the annual production of goods in thousand (1000) TL with the prices of the relevant year,

PPI: Producer Price Index of the relevant sector

Pi: Amount of goods produced during the year

Fi: Factory sales prices of goods produced during the year, in thousand (1000) TL

It is the most important resource for social and economic development, especially for developing countries. Obtaining energy safely, continuously, with high quality and based on

environmental problems will increase people's living standards and well-being. In order for countries to achieve their economic growth, they need to make continuous production and ensure its continuity. Therefore, it is important that energy, which is an important part of production, is provided safely and cheaply [9].

Industrialization activities, efforts to reach new technologies, rising living standards and increasing population in Turkey cause us to consume more energy every year. Efforts to ensure sustainability in energy, reduce foreign dependency and combat climate change require efficient use of energy and energy resources in our country as well as in the rest of the world. Implementing environmentally friendly policies and methods in energy production/consumption and resource diversification, increasing efficiency by avoiding waste has been a policy that is emphasized in our country. Energy efficiency is to use energy with high efficiency and savings without compromising our quality of life, needs and production. Today, it is accepted all over the world that the energy saving, which will be achieved as a result of the efficient use of energy, is the fastest, cheapest and cleanest energy source. The energy that can be saved by increasing energy efficiency for Turkey, is a domestic and clean energy source that is cheaper than others and should be applied first. The increase in energy costs and demand for energy has made energy saving mandatory [10].

Worldwide industrial development will result in greater energy use and a greater concentration of greenhouse gases such as carbon dioxide (CO_2) and other emissions such as sulfur dioxide (SO_2), nitrous oxide (NO_x) and carbon monoxide (CO). All of them have negative consequences for the world's climate, such as increased heat, drought, floods, famine and economic turmoil. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has reported that continued emissions will lead to a temperature increase of 1.4 to 5.8 °C from 1990 to 2100.

The Department of Energy (United States) emphasized that global carbon emissions are more than 2% risky per year and may be more than 50% of 1997 levels by 2015, all due to increased energy demand and inefficient use of energy [6].

Energy efficiency in the industrial sector began to be seen as one of the basic functions in the 1970s. Since then, the world has reduced its energy budget by using higher efficiencies while continuing to grow economically and has realized the importance of protecting the environment [6].

It is important to adopt and maintain a systematic approach in energy efficiency in industrial enterprises. The proof of the existence of a systematic approach in terms of industrial enterprises in Turkey is that the energy policy of the enterprise has been determined, the appointed energy manager is carrying out activities in accordance with the existing legislation, especially the Energy Efficiency Law No. 5627 and the Energy Efficiency Strategy Document, the existence of the TS-EN ISO 50001 Energy Management System, It is the implementation of Energy Audits and studies to increase energy efficiency. Activities to increase energy efficiency are also carried out in organizations that do not implement energy management within the definition of a systematic approach.

However, these studies are generally based on investments based on technological development or on sudden savings decisions. The lack of necessary management planning, documentation, maintenance, measurement and monitoring in the works loses its effect as the savings decision falls off the agenda. It is seen that energy efficiency does not have continuity, and the increase in efficiency gained is lost again after a while [11].

Energy efficiency is a concept that covers a wide area such as protecting the environment, contributing to the world and national economy, a solution to unemployment, and contribution to the family budget. From another perspective, energy efficiency, power generation, transmission and distribution, heating, cooling, lighting, household appliances and office equipment in the home and service sector. While population growth and the development of technology increase the energy demand, new investments are made to meet this need in cases where the current production is not enough to meet this need. On the other hand, it is possible to close the energy gap primarily with energy efficiency investments and energy efficiency, which can be called free energy. Energy efficiency is defined in some sources as megawatts, megajoules, meaning negative energy.

As a result of the studies on energy efficiency in Turkey, it has been determined that there is an energy saving potential of approximately 2.5 billion USD, 30% in the construction sector, 20% in the industrial sector and 15% in the

transportation sector. According to projections for 2020, primary 222-MTEP has the potential to reduce energy demand by at least 15% [4].

An important feature of energy efficiency programs is that they propose models that take environmental priorities into account. The environmental benefits of these programs are clear, as the least polluting energy is the energy that has never been produced. Reducing energy consumption for any need (by insulating houses, increasing engine efficiency, etc.) also automatically and proportionally reduces pollutant emissions.

3. Industrial Energy Efficient Technologies

Studies conducted in Turkey show that we have energy saving potentials of at least 20% in industry, at least 35% in buildings and at least 15% in transportation. When these potentials are evaluated, their energy value is higher than the energy we can produce from our renewable energy sources [10].

Efficiency and savings applications that can be made on a sectoral basis in the industry are directly dependent on the process of the relevant industrial establishment and the energy resources used in the process. In some processes, electrical energy comes to the fore, while in others, waste flue gases formed at very high temperatures or very high temperatures are encountered. For this reason, the measures to be taken to increase energy efficiency in existing and newly established industrial facilities are summarized in Table 2;

Table 2 Measures to be taken to increase energy efficiency in industrial facilities

PRECAUTIONS TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY	PRECAUTIONS TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY IN THE PLANNED NEW FACILITIES
Combustion of fuels in high efficiency combustion plants	Choosing new machines to be purchased from high energy efficient technologies in accordance with standardization attention to this situation in the selection of inputs that will provide uninterrupted energy supply
Increasing efficiency in heating, cooling, air conditioning and heat transfer processes	To design the facility in the most efficient way in terms of thermal insulation
To minimize heat loss by insulating all units that generate, distribute and use heat	To supply and install all measurement and monitoring devices that will ensure the sustainability of energy efficiency during the establishment of the facility
Implementing waste heat recovery	To use appropriate technology for minimizing air pollutant emissions and recycling/re use of waste emissions from consumed energy in a way that pollutes the environment the least and also to make the necessary arrangements
Increasing efficiency in the conversion of heat to work	Preferring the combined heat power generation first
To prevent losses in electricity consumption	
To increase efficiency in the generation and conversion of work and heat from electricity and prefer the combined heat power generation alternative if possible	
To prevent human induced inefficiency applications with automatic control factor applications	
To use appropriate technology for minimizing air pollutant emissions and recycling/re use of waste emissions from consumed energy in a way that pollutes the environment the least.	

3.1. Boilers

Boilers are generally defined as closed vessels that release the chemical energy in the fuel as heat energy and transmit it to the carrier fluid and operate under pressure. Steam boilers are defined as devices that produce steam at the desired pressure, temperature and flow rate.

Boilers, which are produced in many different types according to requirements, are very expensive energy generators in terms

of initial investment and operating costs. For this reason, the boiler should be selected according to the purpose, and due care should be taken in its operation and maintenance.

A detailed analysis should be made in the selection of the boiler, taking into account the following factors:

- Purpose of use of the boiler
- The amount of steam to be produced

- Pressure and temperature
- Feed water inlet temperature to the boiler
- The hardness of the water
- Type of fuel to be used
- Fuel's lower calorific value and analysis
- Price of fuel

Boilers are at the forefront of processes with energy efficiency or savings potential, which are generally applied according to the sectors in the industry. Boilers are generally defined as closed vessels that release the chemical energy in the fuel as heat energy and transmit it to the carrier fluid and operate under pressure. Steam boilers are defined as devices that produce steam at the desired pressure, temperature and flow rate. [13].

Industrial boilers are the main thermal power equipment in many industrial fields such as metallurgy, chemical industry, textile and machinery, and although the number of gas-fired boilers has increased significantly, core-fired ones still account for about 80% of them [14].

Boilers, which are produced in many different types according to the needs used, are very expensive energy generators in terms of initial investment and operating costs. For this reason, the boiler should be selected in accordance with its intended use, and due care should be taken in its operation and maintenance.

In the selection of the boiler, a detailed analysis should be made considering the principles such as the purpose of use of the boiler, the amount of steam to be produced, its pressure and temperature, the inlet temperature of the feed water to the boiler, the hardness of the water, the type of fuel to be used, the lower calorific value and analysis of the fuel, and the price of the fuel [15].

The main factors affecting efficiency in boilers can be listed as follows [13];

- Incomplete combustion
- Excess air
- Heat loss in flue gas due to water vapor
- Flue gas temperature
- Fuel type • Burners
- Boiler load
- Heat losses from the boiler surface
- Heating surface contamination

The most important point to be considered in the efficient operation of the boilers is the flue gas temperature and, if possible, the provision of heat recovery. The waste gases from the chimney are generally discharged from the chimney at a temperature between 40°C and 80°C higher than the temperature of the steam produced. Recovering some of the waste heat will increase boiler efficiency and save fuel. Heat recovery can be accomplished using either an Economizer to preheat the boiler feed water or a combustion air preheater. Normally, it is preferred to have an economizer in the used boilers, but the air preheater is more economical in new boilers.

In many countries, it is preferred to install an economizer in small boilers with a steam production capacity of 2

tonnes/hour [13].

In order to increase efficiency in boilers, careful monitoring of flue gas temperature is of vital importance within the scope of managerial applications. The temperature should be measured immediately after the heat transfer surfaces are cleaned and the temperature rise should be monitored as the contamination gradually increases. The flue gas temperature also changes depending on the steam load of the boiler. For this reason, it should be checked whether the reading temperatures increase/increase in parallel with the steam production.

If the flue gas temperature is 30 °C above the required temperature when the surfaces are clean, the boiler needs to be cleaned. In this case, the extra losses for a well-tuned boiler are around 1-2 percent. [13].

The best method to maintain the cleanliness of a fuel oil-fired boiler is to make proper burner adjustments. Adjustment can be made using a smoke tester. If dark black smoke comes out of the chimney, this is an undesirable soot-forming situation. The brightness of the air and the natural state of the sky can affect the appearance of the smoke.

During operation of a well-maintained and well-operated burner, the measured sootiness of the flue gas is usually 4-5 on the Bacharach Scale. At values below 7, there is no case of serious soot formation. If around 5 readings are read, a soot cleaning is usually sufficient once a week. The ash, which is usually formed in boilers using heavy fuel oil, can cause deposits and corrosion in the hottest parts of the boiler, such as the serpentine pipes, even in very small amounts. Although fuel additives are used to prevent this situation, it should be kept in mind that some additives contain high levels of ash and as a result, high ash accumulation may occur instead of less ash [13].

On the other hand, in coal-fired boilers, soot and ash accumulated in the pipes should be cleaned at least once a day. Soot blowing equipment can be very useful even in small smoke tube boilers. Simple and stationary devices to be used for this purpose are inexpensive and suitable for small boilers. On the other hand, large boilers should be equipped with automatic systems operated by the operator or operating at fixed intervals according to the flue gas temperature. Although steam blowing cleaning is not expensive, compressed air system is mostly preferred. Because the water formed by the condensation of the steam can cause the accumulations to clump together, making further cleaning difficult. The amount of steam used for blowing must be measured. Intermittent blowing systems using high-pressure air are systems designed to keep air flow to a minimum, significantly increasing boiler efficiency.

In order to increase the efficiency of the boiler, the economizer to be used should be purchased very carefully. Since some deposits can easily occur between the blades in the large surface ones (with finned tube) and this will cause serious operational problems, this negative situation can be eliminated by performing periodic washing with a water spray device in cases where the system temperature is low.

3.2. Furnaces

The technical units that raise the materials placed inside or that

are constantly charged to the process temperature by heating them economically and keep them at this temperature for the required period of time are called Furnaces or Oven. Furnaces, especially annealing furnaces operating at high temperatures, are systems that should be operated as efficiently as possible in terms of fuel consumption and pollution caused by waste gases given to the environment in industrial enterprises. Furnaces are at the forefront of the units that use energy most intensively in industrial facilities. Melting, heat treatment, baking, drying, tempering, etc. in industrial furnaces processes are carried out. Furnaces need to be fed with the necessary raw materials and energy to carry out the processes for which they are designed.

The main factors affecting the efficiency of furnaces can be listed as follows [13];

- Incomplete combustion
- Fuel type and air/fuel ratio
- Flue gas temperature
- Recuperators
- Wall losses
- Scale/material and cooling water losses
- Aperture loss
- Features of the combustion unit and material filling temperature

Excess air (O_2) in the furnace also causes an increase in scale/material loss. Therefore, the amount of excess air should be kept as low as possible. In order to achieve this, the level of O_2 in the flue gas must be controlled, the amount of oxygen must be brought to the lowest level possible by adjusting the air. For this purpose, the following steps should be taken:

- Air supply to the furnace must be sufficient and at constant pressure.
- Gas pressure entering the combustion unit must be constant.

One of the important factors affecting the furnace efficiency is the flue gas temperature. If the flue gas temperature is above the accepted values, excess energy will be discharged from the chimney to the atmosphere. This causes a decrease in furnace efficiency. One of the factors affecting the flue gas temperature in furnaces is the high energy discharged from the chimney due to the insufficient heat transfer rate in the recuperator (the heat exchanger that transfers the waste heat from the flue gas to the combustion air). This is followed by factors such as the fact that the combustion air in the furnace is more or less than usual, the flame length is too high in the furnace, and the combustion that may occur in the gas passageways.

In purchasing or projecting a new furnace, care should be taken to ensure that the furnace is of high quality in terms of energy efficiency, so that there is no temperature difference between the upper and lower surfaces of the parts entering the furnace at the entrance and exit, at the wall and core. In addition, suitable firing conditions must be provided in order to reduce the oxidation of the parts during the annealing of the parts at high temperature, which we call scaling, and the formation of the iron oxide layer. Moreover, it should not be affected by the size differences of the parts to be machined, and parts of

different sizes can be heated and the speed of progression can be changed when desired. Especially when a change is made in the feed rate conditions, there should be no mechanical deterioration (bending, surface deterioration, sticking to each other, etc.) in the parts. On the other hand, it is very important in terms of energy efficiency that the flue gases formed at high temperatures are equipped with a system to return them to the furnace in order to save on the heating cost of the furnace. Furthermore, the cooling water used for the cooling of the furnace and exposed to thermal pollution (hot water, steam, boiling water, etc.) should also be returned to the system to be used in the boiler or other units within the facility.

3.3. Electric Motors

Electric Motors are devices that convert electricity into mechanical energy and result in motion.

There are two main types of motors: DC motors and AC motors. AC motors are supplied with an alternating current while DC motors are supplied with direct current. In DC motors, a coil carrying a DC current rotates between two magnets, producing motion. AC motors can use a variation of DC motors to spin a coil in the same way. More common are AC motors, known as induction motors, in which an alternating current is used to deflect the magnetic field of a stationary electromagnet called a stator.

Electric motors are frequently used in different types and capacities in many industrial devices and equipment, especially in pumps, fans and compressors. Considering the energy consumption distribution ratio in electric motors in the industry, it is stated by the practitioners that approximately 20% is in pumps, 17% is in air compressors, 11% is in cooling compressors, 4% is in conveyors, and the remaining 48% is in various other points. The ratio of the mechanical power produced by the motor, which uses electrical energy to generate power, to the electrical energy drawn from the network or system is defined as the motor efficiency. 90% of the electric motors used today are asynchronous motors, therefore it is important to use high efficiency motors by reducing the losses of asynchronous motors in the industry[16].

Basic lost power in asynchronous motors [17] ;

- Friction and wind losses,
- Iron losses,
- Stator conductor (copper) losses,
- Rotor conductor (aluminum) losses,
- Additional losses

There are current studies on the estimation of losses and efficiency of these motors [18; 19]

Most of the industrial equipment used in the manufacturing sector generates power through electric motors. It is inversely proportional to the energy efficiency an electric motor draws for a given power output. Like all motors, electric motors cannot convert all the energy they use into mechanical energy.

The ratio of the mechanical power output of the motor to the electrical power drawn is called the motor efficiency and varies between 70% and 96% depending on the motor type and size [20].

In addition, the efficiency of motors operating at part load is also low. These efficiencies also vary from engine to engine. For example, while the efficiency of a motor is 90% at full load, 87% at half load, and 80% at ¼ load, another motor with the same specifications can operate with an efficiency of 91% at full load and 75% at ¼ load. The energy consumed by electric motors in enterprises constitutes approximately 65 percent of the total energy consumption. The purchase cost of a typical engine is less than 2% of the total cost of that engine. The energy cost can be 98 percent of the total cost. For this reason, it is important to choose “high efficiency” motors in business. The efficiency of electric motors varies depending on the motor type. However, various factors arising from engine design also affect engine efficiency. The efficiency of electric motors falls within wide limits, ranging from 30-35 percent for small universal motors to 95 percent for large three-phase motors [13].

The efficiency of the electric motor is the ratio of the received power to the delivered power. In other words, it is the mechanical power divided by the effective power. It indicates at what rate the electrical power drawn by the electric motor comes out as mechanical power from the motor shaft. Losses are one of the most important factors that reduce engine efficiency.

Energy losses occur in four categories in electric motors [13];

- Power losses
- Magnetic core losses
- Friction and oscillation losses
- Incorrect load losses

The main factors affecting the efficiency of electric motors [13] are:

- Applied voltage and frequency
- Required torque
- Applied load

Some operators rewind old engines over and over again because they are cheap. However, the already low efficiency of rewind old motors may decrease even more (up to 0.5% in each repair), and the cost savings provided by the repair can be lost in a short time with the increased energy consumption. Standard motors that do not stand out in terms of efficiency are in the EFF3 class, those with increased efficiency are in the EFF2 class, and the highest efficiency motors, which are first class in terms of efficiency, are in the EFF1 class. For example, the efficiency of a standard 20 hp engine is around 88%. However, the efficiency of a high efficiency motor with the same power goes up to 91%, and this value reaches 93% in the highest efficiency motors.

Although the cost of high efficiency motors developed in recent years is 15-25% more expensive than standard motors, this difference is recovered in a short time due to the low operating costs most of the time [9]. By increasing the cross section of the copper conductor used in the windings of these motors, the primary I²R losses can be reduced. Iron core losses can be limited by decreasing the flux density, usually by increasing the neck of the stator core. In addition, these losses can be reduced by reducing the plate thickness and using a quality alloy. Furthermore, due to the reduced losses in high-

efficiency motors, the need for the heat to be released is reduced. In case of replacing a standard motor with a high efficiency motor, the energy to be saved can be calculated with the help of the following formula [21];

$$ES = TNP \times WH \times LR \times (1/\eta_{std} - 1/\eta_{he}) \quad [Eq.3]$$

ES: Energy Savings

TNP: Total Nominal Power

WT: working time

LR: load rate (ratio of actual load to full load)

η_{std} : standard type motor efficiency

η_{he} : high efficiency type motor efficiency

The money savings that can be achieved with the calculated amount of energy consumption are calculated with the below formula;

$$MS = ES \times \text{Unit price of energy} \quad [Eq.4]$$

MS: Money saving

Comparison of standard motor and high efficiency motors is given in Table 3 [21].

Table 3 Comparison of motor efficiencies* [21]

Nominal Motor Power (hp)	Nominal Motor Power (kW)	Standart type motor Average Efficiency	High efficiency motor Average Efficiency
1	0.746	0.825	0.865
1.5	1.119	0.840	0.894
2	1.492	0.840	0.888
2.5	1.865	0.812	0.870
3	2.238	0.875	0.895
4	2.984	0.827	0.889
5	3.73	0.875	0.902
7.5	5.595	0.895	0.917
10	7.46	0.895	0.917
15	11.19	0.910	0.930
18	13.428	0.878	0.924
20	14.92	0.910	0.936
25	18.65	0.924	0.941
30	22.38	0.924	0.941
40	29.84	0.930	0.945
50	37.3	0.930	0.950
60	44.76	0.936	0.954
75	55.95	0.941	0.954
100	74.6	0.945	0.958
125	93.25	0.945	0.954
150	111.9	0.950	0.958
200	149.2	0.950	0.958
250	186.5	0.954	0.962
300	223.8	0.954	0.962

* Values are the average value of eight companies and are valid for the engine running at full load.

The application of motor wrapping is both easy and cheap, which is a very common situation in Turkey. However, although it may seem like a low cost of investment over the life of the motor (like 5-6%), the remaining 95% is reflected as energy loss during its operation. The main thing here is to find out why the motor burns out and to eliminate this cause without the need for winding, or to use a high efficiency IE3 electric motor instead. [21].

On the other hand, energy losses in fan systems of motors working with belt-pulley system are very common. Although using direct coupled motors here provides significant benefits, especially if there is a load change in the fans, for example, by

using variable speed drives, a benefit of close to 50% can be achieved in power. In addition, applications such as selecting high-efficiency fans in fan systems, minimizing pressure drops by keeping the filters clean, cleaning the blades regularly, ensuring that it works only when necessary with a control system, and providing a transition from one fan to another to work with the appropriate fan when more than one fan is required, can be done at this point. energy efficient applications.

Among the efficiency applications that can be applied in pump systems may be summarized in the following [10];

- Selection of high-efficiency pump and operating the pump at a point close to the power and load for which it is designed,
- If you always have to work at part load, use a smaller pump or make changes that will reduce the capacity of the existing pump,
- Considering that energy efficiency will decrease in systems to be operated with connected pumps when more than one pump has to be used, minimizing sharp corners to reduce losses in pipes,
- Choosing the new pipes to be installed from those with low friction coefficient and making applications to reduce the friction of the existing pipes, verifying that the pump inlet pressure is sufficient and not above the required value,
- Since the efficiency of a pump that is not maintained can decrease by 10%, regular maintenance of the pump, establishment of an observation system that shows the status of the pump for large capacity pumps.
- Calculation of the optimum time required for regeneration of the pump

Efficient use of energy in pumps can be considered in two stages, during pumping system design and during operation (Table 4).

The system should be chosen to meet the highest capacity, but from an economic point of view, it should be known at what capacity the system will operate for most of the time. Once these are known, the piping system can be designed. If the maximum capacity is required for a very short time, a large diameter pipe is not needed or if the system is operating at maximum capacity for most of the time, this should be taken into account when determining the pipe diameter.

While designing the piping system, the system curve must also be drawn strictly. It is very important to choose the pump with the highest efficiency and the most suitable operating range.

The lifetime costs of the pumps remain only between 3-5 percent of the initial purchase costs, making it mandatory for the operators to choose more carefully when purchasing a pump [10].

As a result, on the basis of all the above-mentioned issues, the following factors should be considered during the use of electric motors in order to save energy: (10)

- A list containing the usage of each electric motor, plate information (rated power, speed, efficiency, etc.) and annual working hours should be prepared in the

enterprise.

- In order to achieve economic and energy efficiency-enhancing results, a motor repair/replacement policy should be prepared such as "replace it with a high efficiency motor immediately or when it fails, send it to the winding with the following features".
- Motors should be labeled for the most appropriate application.
- Motors should be selected in accordance with the load. Larger motor should not be selected. Thus, it should be prevented that the motors operate at low power and therefore with low efficiency compared to the rated powers written on their plates. The higher the load, the higher the efficiency.
- Motor efficiency usually reaches its maximum at 75 percent load.
- The electricity consumed at low loads is increasingly converted into heat instead of mechanical power. In this case, the risk of failure due to overheating of the engine increases and the life of the motor is shortened.
- Variable speed drive systems - also known as inverter or variable frequency drive systems. These systems prevent the motor from drawing excessive load by changing the frequency of the alternating current and thus the rotational speed of the motor. Thus, it is ensured that the same work is done using much less energy. Up to 50 percent energy savings can be achieved by adding an inverter system to the motors. In other words, the amount of electricity consumed by the motor for the same job can be reduced by half. The cost of motors equipped with an inverter is higher. However, in properly selected applications such as pumps and compressors, variable speed drive systems often pay for themselves in the energy they save in two years or less. According to some analyzes, only about 10 percent of the energy saving potential in motor systems can be achieved through efficiency gains. The remaining 90 percent can only be achieved by equipping the motors with inverter systems.
- In systems where the motor power is transmitted indirectly by flat belts or standard V-belts to the direct connection, losses occur between 2 percent and 8 percent due to belt slippage and friction. These losses and belt overheating can be avoided by replacing standard belts with serrated high-efficiency V-belts.

4-Industrial Energy Efficient Technologies In Turkey

In the 1970s, studies on energy efficiency in the industrial sector began to be accepted as one of the main business processes. While the world's industries continue their economic growth without interrupting, they have aimed to consume energy resources, which they consider as an important input source, with high efficiency. In this period, energy efficiency awareness was expanded and the importance of protecting the environment was understood. Large industrial facilities with high energy consumption have considered reducing their energy consumption as an important problem. In the industrial sectors, investments with short payback periods such as heat recovery and reduction of losses gained importance. In industrial enterprises, energy efficiency

can be improved with three different basic approaches:

- Energy saving through management systems [3].
- Energy saving through technological work and investment [3].
- Energy saving through energy policies and legal regulations [6].

Energy Management in Industries is the rational and effective use of energy in order to achieve maximum profit in order to reduce energy costs under competitive conditions. Energy management is the strategy of meeting the required energy demand at the desired time and place. To achieve this, it is necessary to reduce the energy requirement per unit output in energy consuming processes and procedures or to provide the same unit output with less energy cost [22]. As a result of the profile that emerged in the energy audit studies carried out in different sectors; It is seen that it is possible to save energy between 5-40% in 95% of industrial facilities and industrial enterprises. What is even more striking is that it is possible to save at least 10% of energy in industrial facilities and industrial enterprises by implementing measures with little or no investment. This ratio reveals the importance to be given to energy consumption and energy saving. Summary of some energy efficiency applications conducted for this purpose are given in Table 5 [23].

Table 4 Efficient use of energy in pumps [10]

IN PUMPIN SYSTEM DESIGN	IN PUMP AND PUMPING SYSTEM OPERATION
Combustion of fuels in high efficiency combustion plants	Choosing new machines to be purchased from high energy efficient technologies in accordance with standardization and quality security system requirements and also paying attention to this situation in the selection of inputs that will provide uninterrupted energy supply.
Increasing efficiency in heating, cooling, air conditioning and heat transfer processes	To design the facility in the most efficient way in terms of thermal insulation
To minimize heat loss by insulating all units that generate, distribute and use heat	To supply and install all measurement and monitoring devices that will ensure the sustainability of energy efficiency during the establishment of the facility
Implementing waste heat recovery	To use appropriate technology for minimizing air pollutant emissions and recycling/re-use of waste emissions from consumed energy in a way that pollutes the environment the least.and also to make the necessary arrangements.
Increasing efficiency in the conversion of heat to work	Preferring the combined heat-power generation first
To prevent losses in electricity consumption	
To increase efficiency in the generation and conversion of work and heat from electricity, and to prefer the combined heat-power generation alternative if possible.	
To prevent human-induced inefficiency applications with automatic control factor applications	
To use appropriate technology for minimizing air pollutant emissions and recycling/re-use of waste emissions from consumed energy in a way that pollutes the environment the least.	

Sub-sectors such as cement, glass and iron and steel, which we can call energy-intensive industrial sectors, have a significant share in the Turkish industry. Energy costs have a serious place among the production costs of these sectors.

In these sectors, energy costs constitute approximately 20% to 50% of total costs [11].

Table 5 Some energy efficiency applications in the industry

Sector	Energy saving Point	Energy efficiency method	Application	Application results
Chemical [23]	2 steam boilers with the same thermal capacity, one of which is a spare and the other is active.	Heating the feed water supplied to the boiler by making use of the sensible heat of the waste gases discharged from the existing steam boiler chimneys	Common flue gas economizer application for two boilers	Energy Saved: 240.909 Kcal/h Saved Energy Rate: 4% Feed Water Output Temperature: 10 Cost of Saved Energy: 123.480 TL/ (For 7.200 h/year operation) Payback period: 7 months
Textile [23]	2 steam boilers with the same thermal capacity, one of which is a spare and the other is active.	Energy Saving with Steam Boiler Automation	The automatic surface blowdown system automatically measures the conductivity of the boiler water with its conductivity sensor (TDS < 3000 mg/l) and automatically enables the boiler to blow down as needed.	Energy Saved: 82.992 Kcal/h Fuel Economy: 11,83 Nm3/h Water Saving: 1.276,8 kg/h Chemical Saving: 128 gr/h Cost of Saved Energy: 48.312 TL/Y (For 7,200 h/year operation) Payback period: 5 months
Tourism [23]	Condensate line that returned to the boiler room	Energy saving application with Flas Steam Recovery System	Reducing the flash vapor pressure from 4 bar (152 oC) to 0.2 bar	Energy Saved: 91.528,8 Kcal/h Fuel Economy: 13,05 Nm3/h Water Saving: 170,54 kg/h Chemical Saving: 15 gr/h Cost of Saved Energy: 48,620 TL/Y (for 5,000 h/year operation) Payback period:4 Months
Food [23]	7 Chimneys of cooking furnaces	Discharged from the Chimneys of Process Furnaces Energy Saving Application from Gases	Flue gas economizer application to each chimney separately	Amount of Energy Saved: 927.770 K Saved Energy Rate: 4% Monetary Value of Total Savings: 39 TL/Yıl (6.400 h/yıl çalışma için) Payback Period: 9 Months
Textile [23]	Dyeing wastewater	Heat recovery from high flow and temperature wastewater	Heat exchanger application: by making use of the heat energy of the dyed wastewater to pre-heat of the clean water taken into the dyeing operation unit	Clean (Cold) Water Flow: 55.000 kg Clean (Cold) Water Inlet Temperature: 58 °C Clean (Hot) Water Outlet Temperature: 58 °C Energy Saved: 2.090.000 Kcal/h Cost of Saved Energy: 1.011.600 TL (for 7,200 h/year work) Payback Period: 8 Months
Furniture [24]	2 drying fans	Replacing Drying Fans and Electric Motors with Efficiency	Replacing fans and electric motors with more efficient ones	Total Energy Saved: 82.212 kWh/y Total Cost of Saved Er 32.669,72TL/Year Electric motor replacement and cost:119.190,02 TL Payback period: 3,65 years
Pulp and paper [24]	Fans used in dust collection lines	Replacement of Dust Extraction Fans and Line Revision	Preventing unnecessary energy consumption in unused units by placing a separate fan in each unit instead of the currently used single one .	Total Energy Saved: 317,8 kWh/year Total Cost of Saved Er 66.741,49TL/Year Fan investment cost: 28.838,91 TL Revision Cost of Dust Suction I 78.323,56 TL Total investment cost: 107.162,47 TL Payback period: 1,61 years
Industry not specified [24]	2 Fans used for heating	Fan Driver Application	Since these fans are selected with a power above the required capacity, the use of a damper on the suction side of the fans and a frequency converter are applied to both fans in order to adjust the required air amount.	Total Energy Saved: 240240 kWh/y Total Cost of Saved Energy: 475 TL/Year Total purchase price: 103286 TL Payback period: 2,17 years

4.1. Energy Efficient Technologies in Sub-Sectors

4.1.1. Iron and Steel Industry

The raw materials used in the iron and steel industry differ according to the production method. In basic oxygen furnace (BOF) based plants, iron ore, scrap metal and hard coal are used together. On the other hand, in the Electric Arc Furnace (EAO) facilities, production is carried out from scrap metal.

74.4% of global crude steel production is carried out in BOF-based integrated facilities, 25.1% in EAF facilities and 0.5% in other facilities [25]. Iron - Steel sector is a sector in which iron ore is produced by casting, forging, rolling, drawing and similar methods, starting from the concentration of iron ore from the underground. The products produced in the iron and steel sector are examined in three parts as intermediate products, main products and by-products. Intermediate products are products that are produced to be used as inputs in the production of another good. The main product is the products that do not require another process and are produced for final use, and by-products are the products that emerge with the main product at the end of the production process for technical reasons. Considering the diversity of the products produced, it is seen that the importance of the Iron - Steel sector is increasing more and more in technological fields as well as in traditional industries. As a result of the rapid developments in iron and steel production, the industrial revolution has taken place and there have been great developments in the field of technology.

Considering the existing technologies applied in the Iron and Steel Industry, these technologies can be listed as follows;

- Use of closed charging system in coke ovens
- Use of wet quenching process in coke ovens
- Use of dry quenching technology with heat recovery in coke furnace
- Waste gas circulation in sintering
- Blast furnace gas recovery
- Energy recovery at blast furnace peak pressure
- Preheating of scrap in Electric Arc Furnaces
- Heat recovery in the annealing line
- Use of Rotary Kiln, Rotary Stove Furnace, Multi-Stage Furnace (Coal fired)

Among these technologies, applications with potential in terms of energy efficiency especially focus on improving the hot furnace process control and improving the blast furnace process control in iron production, while providing scrap preheating and Oxy fuel burner assembly in steel production comes to the fore. In Rolling and Finishing processes, the use of regenerative burners for reheating furnaces, improvement of insulation and installation of Automation M&T system (cold rolling) becomes more important.

In this context, among the productivity improvement projects (VAP) carried out in Turkey for this sector, revision of the scrap transfer system with a return period of 1.4 years, motor and variable speed drive application in the fans of the power plant, and air purification fans with a return period of 6 months. It is seen that variable speed drive applications attract attention. In addition to this, despite the one-time expenditure of \$762,000 for the improvement of coke dry extinguishing facilities, improvement of ignition furnaces in sinter machines, increasing the efficiency of steam jet water cooling machines, modernization of cooling towers, improvements made in blast furnace stoves and insulation of blast furnace combustion air line, every year Applications with savings of \$4.6 million were also reported, and it was revealed that the expenditures were recovered in less than 2 months with the savings provided. Moreover, in the coal injection facility, insulation of the blast furnace flue gas pipe, changing the combustion periods of the blast furnace stove, completing the missing insulations and repairing the old insulations, making transparent lighting in the workshops, preventing idle running in the belts carrying coke from the coke plant to the blast furnaces, determining the blast furnace combustion air fan pressure values. It has been calculated that 4.9 million dollars can be saved every year, despite the one-time expense of 476,000 dollars by adjusting the water cooling tower, renewing the tower efficiency, using steel mill gas instead of coke gas in blast furnace stoves, and the expenditure can be recovered in about 1 month with the savings provided. Apart from these, with the improvement of the pure water plant, 18.8 million \$ savings can be achieved every year, despite the one-time expenditure of 8 million dollars, and the expenditure is recovered in less than 6 months with the savings provided, once the front bearing design of the motor blower plant is changed. Despite the special spending of \$ 500, it is possible to save \$ 878,000 every year and the spent can be recovered in almost 1 day with the savings, the power plant old coke gas branch in the gas distribution system is converted to blast furnace gas, blast furnace charging facilities

electrofilter and aspiration system improvement and sintering. It has been revealed that with the improvement of the crusher feeders, a one-time expenditure of 730,000 TL will save 37 million TL every year, and the expenditure can be recovered in approximately 1 week with the savings achieved [25].

4.1.2. Cement Industry

The cement sector is a sector that includes hydraulic binders produced by grinding the semi-finished clinker, which is obtained by cooking the raw materials containing silicon, calcium, aluminum, iron oxides, to the degree of sintering with technological methods, with a single or more type of additives.

In the cement production process, first of all, limestone, clay and marl are loaded onto conveyor vehicles in the quarry area as raw materials. Then the raw materials are ground in the mill and turned into raw meal. After then, the raw meal taken by weighing in the raw meal silo is fed to a preheater tower consisting of cyclones, heated from 30°C to 1000°C and calcined at a rate of 90%. The raw meal coming from the preheater is cooked in a rotary kiln at 1500°C and granulated so that it can be calcined, and the resulting product is called clinker. The clinker that comes out of the cooler is considered an intermediate product in cement production and is obtained as a result of grinding the cement clinker with some calcium sulfate.

Considering the existing technologies applied in the Cement Industry, these technologies can be listed as follows;

- Using a rotary kiln with multi-stage preheater and precalcination,
- Ensuring good sealing of rotary kilns,
- Integration of an efficient and modern clinker cooler into the system,
- Reducing the clinker content of cement and cement products,
- Using vertical roller mills with high energy efficiency,
- Establishment of waste heat electricity generation (WHR) systems,
- Use of waste-derived fuels.

About 80% of the energy consumption takes place in clinker kilns.

Although there has been an increase of 28.8% in electrical energy production from waste heat with heat recovery projects in the last five years in the sector, an upward trend has been observed in the specific energy consumption of integrated and grinding plants.

The specific energy consumption of Turkey in 2020 was 0.098 TEP/tonne-cement for integrated facilities and 0.004 TEP/tonne-cement for grinding/packaging plants [26].

Among these technologies, applications with high potential in terms of energy efficiency, replacing ball mills with high efficiency roller mills as raw materials, optimizing combustion efficiency in kilns, reducing kiln body heat losses and cold air leaks, using efficient coolers in clinker production, process control and can be listed as applications to improve optimization conditions. Among the productivity improvement projects (VAP) carried out for this sector in Turkey, the installation of an elevator system instead of the

pneumatic system in the Rotary kiln feeding system with a return period of 3.1 years, the application of variable speed drive to the coal mill hot gas fan with a return period of 9.6 months. is to be done. In addition, it is seen that the replacement of the Farin fan with an efficient fan with a return period of 3.9 years and the replacement of the Flue gas fan with an efficient fan and electric motor with a return period of 4.4 years are also included.

4.1.3. Glass Industry

Today, glass is a modern and versatile material. Glass, which is mostly used in transparent or translucent form, which is usually hard, brittle and allows the preservation of liquids, is preferred for packaging many products such as food, beverage, cosmetics and pharmaceuticals due to its transparency, shape, odor and taste and resistance to most chemicals. It has a very common usage area, from the simplest equipment to communication and space technologies. The most important inputs used in glass production are sand, soda, dolomite and quartz. Since Turkey is rich in these resources, the Turkish glass industry uses 98% of domestic raw materials. Glass material production consists of four consecutive cycles. These; preparation of the main materials, melting, forming and annealing.

In summary, glass production is carried out by mixing various raw materials in certain sizes according to the glass to be produced, melting them in glass furnaces, cooling them slowly, and shaping them into the desired shape with various techniques in this process. Flat glass, glass packaging, glassware and glass fiber constitute important sub-sectors of the glass industry. The glass sector provides input to many sectors such as construction and automotive, white goods, food, medicine, cosmetics, tourism, furniture, pipes, electrical-electronics and household goods.

The Distribution of Energy Consumption by Glass Industry Fields of Activity in Turkey as of 2020 has been reported as 42.3% for flat glass manufacturing, 38% for glass packaging manufacturing, 13.9% for glassware manufacturing and 5.8% for glass fiber manufacturing [27].

The glass production process generally consists of blend preparation, melting and affinity, conditioning and shaping, secondary processing, packaging and storage and shipping processes. When the distribution of energy consumption of the Glass Industry on the basis of process is examined, the processes in which energy consumption is used most are melting and affinity.

The ratio of energy use in the smelting and affinity process to the total energy consumption of the enterprises; It is 86% in flat glass factories, 53% in glassware factories, 76% in glass packaging factories and 47% in glass fiber factories [27].

Glass material forming methods can be listed as follows;

- Blowing method,
- Pouring rolling method,
- Pulling method,
- Flotation method,
- Pressing method,
- Fibrous method,

- Foaming method
- Other formatting methods.

Considering the current technologies applied in the Glass Industry, these technologies can be listed as follows;

- Use of side-fired regenerative furnaces,
- Use of rear-fired regenerative furnaces,
- Use of recuperative furnaces, use of oxy fuel melting furnaces,
- Combining fossil fuel and electrical melting, providing furnace insulation to prevent heat loss,
- Using waste glass/broken glass,
- Waste heat recovery in furnace and other systems

Among these technologies, applications that have a high potential in terms of energy efficiency, especially in heat production processes, to improve the combustion performance for furnaces, to minimize the use of excess air and to adjust the burners in the furnace come to the fore. On the other hand, the applications of preheating bulk and scrap glass and using regenerative furnaces in the melting process are also important. In addition, the use of more efficient glass feeding troughs in the process control processes draws attention, while the improvement of the processes in the annealing process draws attention as energy efficient applications.

Since 2009, applications for 24 VAP projects have been made by 11 factories in the glass industry. 7 of these projects have been canceled for various reasons, and the status of the other 15 projects as of today is given below. A total of 1.67 million TL support was paid for 14 projects with a total investment amount of 3.84 million TL, the implementation of which was completed successfully. If these projects are completed, it is estimated that an annual energy saving of 689.64 TEP and an annual financial savings of 1.67 million TL can be achieved. On the other hand, a support payment of 1.02 million TL is foreseen for one project whose implementation is ongoing and the projected investment amount is 3.41 million TL, and it is expected that with the completion of the implementation of the project, annual 77.45 TEP energy savings and 694,664 TL financial savings will be achieved [27].

4.1.4. Textile Industry

Textile covers processes such as yarn, weaving, knitting, dyeing and printing, starting from fiber, while ready-made clothing covers the processes that will turn this process into useable goods. The part from fiber to yarn and finished fabric is evaluated within the textile sector, and the process from fabric to clothing is evaluated within the ready-made clothing sector.

Considering the sub-sectors of the Manufacturing of Textile Products, it is seen that it covers the following sub-sectors.;

- Preparation and twisting of textile fiber,
- Weaving,
- Finishing of textile products,
- It is seen that the manufacture of other textile products takes place.
- Manufacturing of Clothing,
- Manufacture of clothing, excluding fur,
- Production of fur goods,

- Manufacture of knitted (knitted) and crocheted (crochet) products

Considering the existing technologies applied in the Textile Industry, below technologies can be listed as follows;

- Using enzymes for bleaching and washing
- Use of plasma technology (plasma technology)
- Ink-jet printing v Infrared drying (IR-drying)
- Use of hot melt technology
- Use of waterless dyeing technology (SC-CO₂ technology)
- Using UV technology in coating and finishing processes

Among these technologies, when the remarkable applications with potential in terms of energy efficiency are examined, it is seen that the following applications come to the fore, respectively;

- Use of energy efficient blower fans and mobile air cleaners (OHTCs) in the Spinning Process
- In Weaving Process; Taking measures for energy efficiency in weaving plans
- In Age Processing processes; using counterflow currents for washing and making improvements that can save energy in continuous washing machines
- Dyeing and Printing processes; Ensuring heat insulation in high temperature/high pressure (HT/HP) dyeing machines and heat recovery from hot rinsing water

Among the energy efficiency improvement projects (VAP) carried out for this sector in Turkey, it is seen that there are applications such as with a return period of 4.8 years, ensuring energy efficiency with efficient twisting machines, variable speed drive application in air conditioner humidification pumps with a return time of 7.2 months, and ram chimney waste heat recovery, prevention of trap leaks, 3.1 year return period, and switching of Hot oil stenter machines to the burner system.

5. Sectoral Comparisons for Energy Efficiency in Turkey

The application of benchmarking methodologies to determine the efficiency of the industrial plant in terms of energy consumption and to compare it with similar enterprises in the same industry will provide a solid basis for the steps to be taken according to the current situation of a particular industrial plant. In addition, benchmarking studies provide the following gains:

1. As a result of the research of best practices, it allows the determination of reasonable goals and targets by comparing the situation of the relevant enterprises in the sector with other enterprises.
2. It helps to create an action scheme in line with the targets set by the industries.
3. It provides comparison of the current situation of the industry with the data of the past years. In this way, it helps industries to improve themselves by pointing out the points that need revision.
4. In addition to enabling the reduction of energy investment costs per unit of production, it also supports industries to

increase their motivation and performance.

Therefore, some criteria should be determined and applied for such a comparative analysis. In terms of energy efficiency/consumption, there are two main types of criteria that can be considered useful for benchmarking comparative analysis. The first of these can be called general criteria and can be applied in all sectors. The second set of criteria is sector specific. More than one criterion may need to be used when making a comparative analysis of industries in similar industries. However, while some general criteria may apply to all sectors, some criteria are sector specific.

1) Establishment year or renewal year is one of the basic criteria used for classification. It will help to identify the current status/conditions of the existing plants and will also be a good indicator of the technologies used in the processes at each plant.

2) Production capacity is one of the basic criteria used for benchmarking purposes. The type of production (stock or make-to-order) indicates the continuity of the facilities.

3) Product groups in production are the most complex criteria used to achieve meaningful outputs. When there are several types of end products in the industry, they need to be grouped before making a comparative analysis. One of the best ways to do this type of grouping is to use the economic activity code of businesses. For this grouping, the EuroStat economic activity codes document can be used. In sector-specific criteria, besides the specific energy consumption (SET), it is important to determine the SET values specific to each of the basic processes in the sector in question. In this approach, the SET value of the underlying processes is summed. The interaction of all processes determines the SET value of the entire industry. By improving the SET value of individual processes and/or the interrelationships between processes, the SET value of the industry also improves. This process, shown in Fig. 5, is done for all types of energy carrier processes.

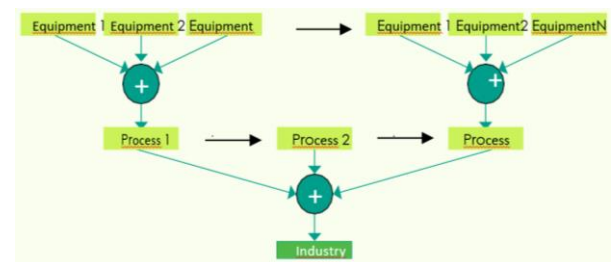


Fig. 5. Bottom-up specific energy consumption process [26]

The sum of the specific energy consumption used in the process gives the SET value of the basic processes. Separate SET values can be created for each of the basic equipment. The advantage of this approach is that inefficiencies can be traced down to the equipment level and necessary measures can be implemented. It is important to clearly define the boundaries of each process in benchmarking. This limit determines the specific energy consumption of the process in question. The process limit should be the same as the process limit used for the benchmark value (Fig. 6) [26].

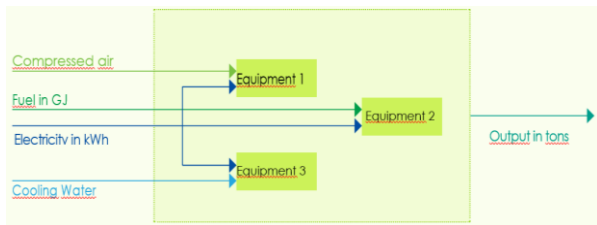


Fig. 6. Inputs and outputs with boundaries of a sample process [26]

Since multiple products are manufactured in a typical industry, the classic approach to benchmark calculations is to add the quantities of all products and calculate them collectively into a single product. This would be a reasonable approach where the specific energy consumption values of different products are not significantly different from each other. In this way, it is possible to compare different industries operating in a particular sector by comparing the energy they consume per unit of product. However, in cases where there are large differences between the specific energy consumption values of different products, a more precise procedure is required for the overall specific energy consumption calculation. Otherwise, comparing industries in different quantities and over different products would be risky to get accurate results.

In this case, the analysis requires reference to the relative energy consumption amounts for each product type based on the measurement, calculation and observation activities in the process lines by the plant personnel, as well as the relevant studies based on comprehensive energy studies. In any case, some uncertainty in the relative specific energy values is inevitable.

In this case, the proposed calculation procedure can be summarized as follows [26]:

- The plant's determination of the product with the highest production amount as the main or main product, the ratio of the specific energy of a product to the specific energy of the main product is called the "correction factor" or "normalization factor". Naturally, the correction factor of the main product is 1. It should be noted that the product with the highest (or lowest) specific energy consumption should be taken as the main or main product.
- Ensuring that the best correction factor estimates for all product types are entered at the industry if reliable correction factor data based on extensive energy studies are not available. For example, the correction factor of a product is 0.85; means that for the production of 1 unit of this product, 85% of the energy consumed for the production of process 1 of the main product is required. Estimates of correction factors should be continually improved based on the results of the energy studies performed.
- Collecting lists of best correction factor estimates from industry personnel and averaging each product to represent the industry average. This method of averaging is consistent with the law of large numbers used in statistics and usually gives results with reasonable precision. If available, it is necessary to compare this value with the relevant correction factor values in the literature and complete the list of correction factors by

taking into account all available data and making realistic decisions as much as possible.

Since it is not possible to precisely calculate the energy consumption of each product type based on energy measurements, this approach can be considered the most practical approach. As an alternative approach, an all-sector-specific list of relative energy consumptions for each manufactured product can be prepared based on available benchmark data, and this list can be automatically loaded according to the user's sector selection.

This approach was also used in a benchmarking study conducted by Norway and supported by Intelligent Energy-Europe [28]

Specific energy consumption for an industry should be calculated taking into account the following steps [29];

- For each product, multiply the production amount by the product's correction factor and add the results.
- To obtain the specific energy consumption of the main product in kJ, MJ, GJ or kWh per unit quantity (kg, tonne, m, cubic meter, etc.), the total energy consumption of the facility is divided by this sum. When this value is multiplied by the correction factor of another product, the result will give the specific energy consumption of that product. By repeating this process for each product, a specific energy consumption list will be obtained for all products produced by that facility.
- The weighted average of the specific energy consumption of the products produced gives the specific energy consumption of the facility. There are only two parameters here. In these; The product quantities (m_i for product i) and the specific energy consumption of each product (e_i for product i). The weighted average (general specific energy consumption of the facility) is calculated by multiplying each product amount by its specific energy consumption, summing the results and dividing the result by the total product amount $(m_1 \times e_1 + m_2 \times e_2 + \dots) / (m_1 + m_2 + \dots)$.

5.1. Cement Industry Comparisons

Although the current benchmarking studies in the cement sector are mostly at the enterprise level, there are also studies at the process level. For example, some sources in the literature provide benchmark values for some processes, such as preparation of raw materials, preparation of fuels, preparation of additives (for special cements), clinker making and final grinding [30].

Since approximately 80% of the energy consumption in cement production takes place in clinker kilns, it is more meaningful to focus on improvements especially in electricity and fuel consumption. For this reason, it is recommended to make a comparison of the process given in Fig. 7 and Fig. 8 as a minimum in the cement sector.

The cement industry in Turkey must agree on the boundary of each process. It is recommended that process limits be chosen in such a way that at least 90% of the total energy consumption can be accurately calculated. Process limits are shown in Fig. 9.

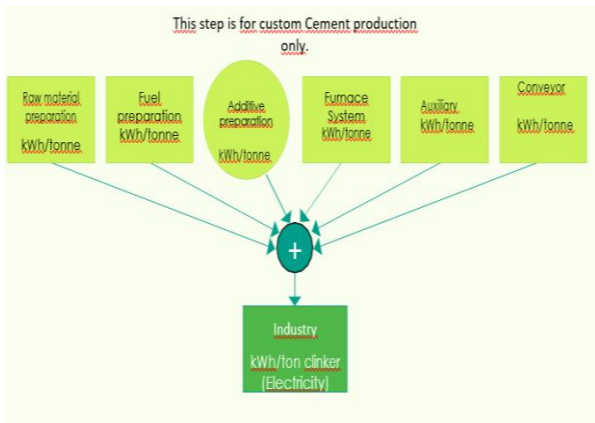


Fig. 7. Comparison of electricity consumption in clinker production [26]

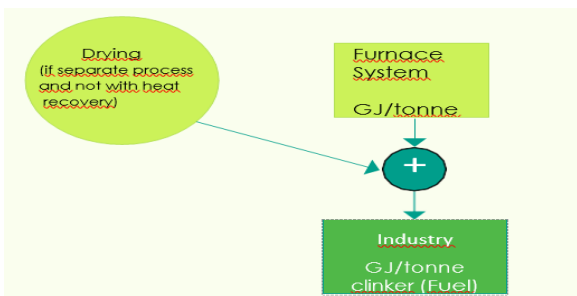


Fig. 8. Comparison of fuel consumption in clinker production [26]

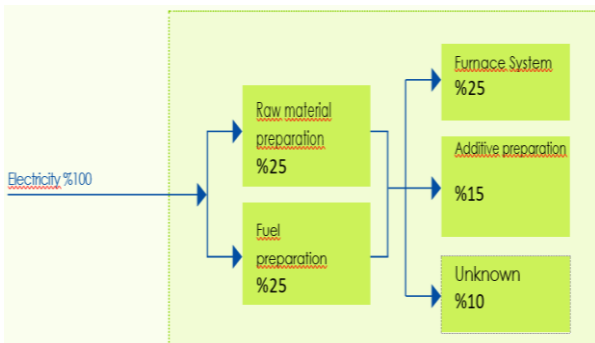


Fig. 9. Process boundaries in the cement industry [26]

Cooling water and compressed air used in the processes are other important forms of energy used in the cement industry. Cooling towers consume electricity to produce the cooling water used in the process. Similarly, compressors consume electricity and produce compressed air for use in the process.

The SET values for the air compressor and cooling tower can be kWh/m³ of air and kWh/m³ of cooling water. These SET values can be added to the specific electricity consumption of the process using the process's specific compressed air and cooling water consumption in m³/tonne.

Specific cooling water consumption of the process = X m³ cooling water/tonne

- Specific electricity consumption of cooling water production = Y kWh/m³ cooling water
- Specific electricity consumption due to process cooling water consumption = X * Y kWh/tonne.

The same process can be applied for hot water, steam and other similar forms of energy. If steam and hot water production takes place in the process, the enthalpy difference should be taken into account when calculating the energy consumed for them. Within the scope of the 2020 Cement Industry Comparison Report in Turkey, a total of 55 facilities representing all integrated facilities in our country and 12 cement grinding facilities were evaluated. Limestone, marl and clay come to the fore in the raw material consumption of the facilities included in the cement sector benchmarking study. The most consumed auxiliary materials are gypsum, limestone and fly ash, and alternative raw materials are iron (Fe), silicon (Si) and Si-Ca-Fe-Al. The capacity utilization rates of the cement plants participating in the benchmarking study are in the integrated plants and while the clinker capacity utilization rate is 79.3%, the cement capacity utilization rate is 55.3%. The capacity utilization rate in cement grinding/packaging facilities is 46.7%. The total final energy consumption of all facilities included in the benchmarking study is 7.24 million TEP, and approximately 99.8% of this consumption belongs to integrated facilities [26].

5.2. Iron and Steel Industry Comparisons

The current benchmark results in the iron and steel industry; concentrated largely at the plant level and to some extent at the process level. For example, currently the most commonly used benchmarks are the SET for electricity and fuel use in iron and steel making, namely GJel/tonne, GJfuel/tonne or GJtotal/tonne. In some sources in the literature, there are benchmark values for processes such as coke plant, sintering plant, blast furnace plant, steel plant and rolling machine.

Electricity and fuel consumption in iron and steel production are given in Fig. 10 and Fig. 11, and process limits are given in Fig. 12. It is recommended that the process boundaries of the iron and steel industry in Turkey be chosen in such a way that at least 90% of the total energy consumption can be calculated clearly. Process boundaries are shown in Fig. 12. Cooling water and compressed air used in the processes are other important forms of energy used in the iron and steel industry. For this reason, similar to the Cement sector, the SET values of the Iron and Steel sector are used in cooling towers, air compressors, hot water, steam, etc. It can also be applied to other forms of energy such as if steam and hot water production takes place in the process, the enthalpy difference should be taken into account when calculating the energy consumed for them.

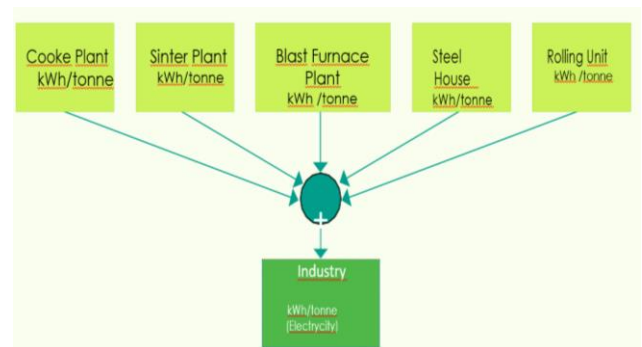


Fig. 10. Comparison of electricity consumption in iron and steel production [26]

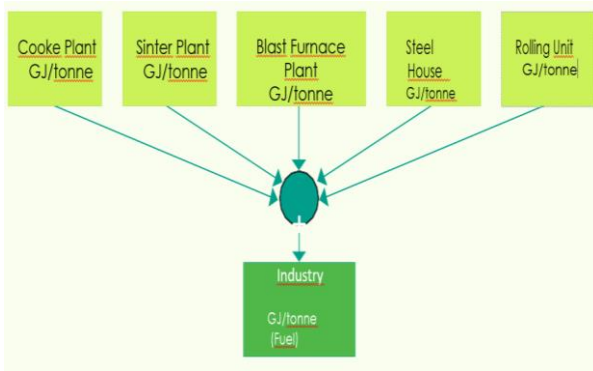


Fig. 11. Comparison of fuel consumption in iron and steel production [26]

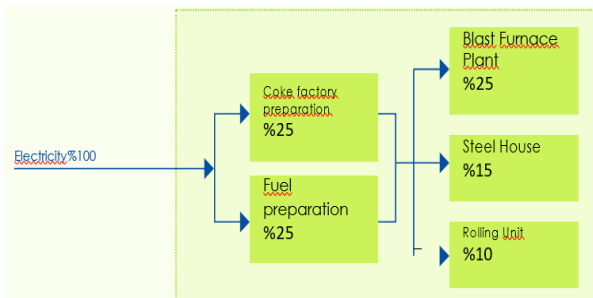


Fig. 12. Process boundaries in the Iron and Steel industry[26]

5.3. Textile Industry Comparisons

Some of the textile processes require special indoor climatic conditions, especially air conditioning. In order to obtain a reliable database of benchmarking, it is necessary to “normalize” the portion of energy consumption that is dependent on external climatic conditions. This part of the energy can usually reach 25 to 27% of the annual consumption.

One convenient approach is to use “heating days”. The cooling load is highly dependent on internal heat sources and solar radiation; therefore, it is too complex an issue to be associated with the ambient climate. It would be recommended to normalize energy consumption for the period of heating days only. If the difference in heating days for the two periods in the comparison analysis is less than 10%, this normalization can be ignored. Simple algorithm for calculating the “climate indicator”: climate correction of energy consumption can be applied for the heating period of the year using heating days.

Heating days can be calculated with the following equation [29];

$$HDD_i = n_i * (t_i - t_{ort,i}) \tag{Eq.5}$$

i - Number of months in the heating period

n_i – number of heating days in month i,

t_i - The working ambient temperature required by the design of a particular technology. If there is more than one operating environment with different requirements, the t_i value can be calculated as a weighted average,

t_{ort,i}- The monthly average of the ambient temperature observed at the relevant location in month i.

The climate correction/normalization indicator (IDG) to be multiplied by the climate-related energy consumption can be

calculated as follows [29]:

$$IDG = HDD_{Dry} \sum_{i=1}^n HDD_i \tag{Eq.6}$$

i : The number of months in the heating period of the analysis year,

HDD_{Dry}: Relative heating day degree of the reference year selected for comparison

HDD : Heating day degrees

5.4. Glass Industry Comparisons

Different final (salable) products or intermediates in the glass industry, each with different quality requirements, cause energy use to be variable.

In this sector, 3 types of correction factors must be taken into account [27];

- 1) Product mix
- 2) Basic production process = Temperature
- 3) The residence time of the melt in the furnaces

In the glass industry 1. Correction factor in the product mix category, in the production of flat glass with different product thicknesses, the thickness, machinability, thermal relaxation, etc. It has been defined for several reasons due to its effect on energy consumption. Here is the path to be followed in the energy consumption calculation [29];

- Measuring/recording energy consumption for a given quantity of product with thickness (x) in the reference (base) year.
- Keeping a record of the measured values before and after the production process.
- Calculation of the specific energy consumption of the product with thickness (x') in the reference (base) year.
- Measuring/recording energy consumption for a given quantity of products with thickness (y) in the reference (base) year.
- Calculation of the specific energy consumption of the product with thickness (y) in the reference (base) year.
- Calculating the specific energy consumption of x and y exponents in the following years and associating them with the values in the reference (base) year.

In the basic production processes, which is defined as the 2nd correction factor in the glass industry, temperature is defined to characterize the energy consumption that may occur from temperature differences in the coarse and fine melt. Here is the path to be followed in the calculation of energy consumption [29];

- Determination of the mean temperature in the reference (base) year (annual) in the smelter/furnaces.
- Measuring/recording the average temperature (annual) in the smelter/furnaces in the following years (analysis year).
- Obtaining the correction factor for each analysis year by proportioning the value in the analysis year with the value in the reference year.

The only point to note here is; if the glass processing plant does not produce its own glass melt, it is also necessary to consider the main processes and other factors that have the greatest impact on the plants.

The residence time of the melt, which is defined as the 3rd correction factor in the glass industry, is taken into account since the prolongation of the retention time causes an increase in energy requirements. Because the higher the desired glass quality, the longer the glass melt must remain in the fine melting range. Here is the path to be followed in the energy consumption calculation [29];

- Determination of the average retention time in the reference (base) year (annual) in the smelter/furnaces.
- Measuring/recording the average retention time (annual) in the smelter/furnaces in the following years (analysis year).
- Obtaining the correction factor for each analysis year by proportioning the value in the analysis year with the value in the reference year.

The point to be considered here is that if the glass shards belonging to the facility or recycled are used in certain proportions/amounts, the correction factor should be calculated considering that this will accelerate the melting and save energy.

6. Conclusion

The gradual decrease in fossil fuels, which constitute a significant part of the energy need, insecurity against nuclear energy facilities, the inability of alternative energy sources to meet the demand at the desired level, pollution of the environment and climate changes increase the importance of energy efficiency day by day. Energy efficiency is the most important component of sustainable development and competitiveness. The implementation of environmentally friendly policies and methods in energy production/consumption, the creation of resource alternatives, and the increase of efficiency by avoiding waste have been a policy that has been emphasized in Turkey. Energy efficient technologies in the sector are encouraged to use energy with high efficiency and savings without sacrificing production quality. The application of benchmarking methodologies to determine the efficiency of the industrial plant in terms of energy consumption and to compare it with similar enterprises in the same industry will provide a solid basis for the steps to be taken according to the current state of a particular industrial plant. For this purpose, it is important to determine the criteria that can be used by grouping them as general and sectoral criteria on a sectoral basis. In industrial enterprises where energy is used intensively, planned and systematic studies should be carried out to increase energy efficiency and its sustainability should be ensured.

While carrying out activities to increase energy efficiency in industrial enterprises, it should not only be based on investments based on technological development or random savings decisions, but also integrated with the Energy Management System (management planning, documentation, maintenance, measurement and monitoring). Otherwise, the continuity of energy efficiency is not ensured and it is seen that the gain in efficiency is lost again after a while. Research has shown that annual energy costs can be reduced between 5% and 20% with the Energy Management System and its tools. The ISO 50001 Energy Management System Standard application for systematic and permanent reduction of energy

density for industrial enterprises should be expanded, and if possible, it should be applied in the industry as a legal obligation.

Legal regulations and processes related to energy efficiency should be closely followed, and efforts to increase energy efficiency should be kept on the agenda with the support of energy studies, voluntary agreements, efficiency-enhancing projects, incentives and energy efficiency consultancy companies

Author Contribution

Conceive-G.Y.T.; Design- G.Y.T.; Supervision-G.Y.T.; Literature Review- G.Y.T., G.E; Writer- G.Y.T., G.E.; Critical Reviews -G.Y.T.

Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Acknowledgements

Part of this work was presented as an oral presentation at the International Congress of Applied Sciences, Engineering and Mathematics (ICASEM IV) which took place on 20-23 October 2022 in Turkey. The authors thank the congress secretariat for the opportunity to present part of the work.

References

- [1] G. Özşahin, "Decomposition Of Industrial Energy Consumption In Turkey", *İktisat Araştırmaları Dergisi*, c. 3, s. 2, ss. 192-211, 2019.
- [2] A. K. Bilgiç, D. Başoğlu Acet, "Yerel Yönetim Politikalarında Yenilenebilir Enerji", *Kent Araştırmaları Dergisi*, c.10, s. 27, ss. 410-446, 2019.
- [3] IEA (International Energy Agency) World Energy Outlook 2021, Annex A1a.
- [4] H. Zenk, "Investigation of Energy Efficiency In Turkey", *International Journal of Engineering*, s.1. 2018.
- [5] MENR/EIGM (Ministry of Energy and Natural Resources/General Directorate of Energy Affairs). General Energy Balance for 2020. Last accessed on 30.02.2022.
- [6] E.A. Abdelaziz, R. Saidur, S. Mekhilef, "A review on energy saving strategies in industrial sector", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, s. 15, ss. 150-168, 2011.
- [7] A. Yıldız, S. Akgül, S. Güvercin, "Sanayide Enerji Verimliliği ve Uygulamaları", *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 7, s. 1, 2018.
- [8] Enerji Verimliliği Teknik Kitapçık Heinrich Böll Stiftung Derneği Türkiye Temsilciliği
- [9] G. Koçaslan, "Türkiye'nin Enerji Verimliliği Mevzuatı, Avrupa Birliği'ndeki Düzenlemeler ve Uluslararası Ulusal Öneriler", *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, s. 15 (2), ss. 117-133, 2014.
- [9] H. İslatince, C. Haydaroğlu, "Türk İmalat Sanayinde Enerji Verimliliği ve Yoğunluğu Analizi", *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, s. 24, ss. 155-165, 2009.

- [10] Energy Efficiency Guide For Industry And SMEs, Halkbank. <http://www.turkishtimedergi.com/wp-content/uploads/2018/12/ENERJI%20VERIMLILIGI%20KI-TABI.pdf>, Last accessed on 08.12.2022.
- [11] A. Uzun, M. Değirmen, “Endüstriyel İşletmelerde Enerji Verimliliği ve Enerji Yönetimi”, Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi, c. 4, s. 2, 2018.
- [12] IEA (International Energy Agency) World Energy Outlook 2020, Turkish Chamber of Architects and Engineers Report, Report No:731, E-ISBN: 978-605-01-1531-4.
- [13] F. Çanka, Kılıç, “Endüstriyel Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyon Azalımı Fırsatları”, c. 5(2), ss. 147-158, 2017.
- [14] H. Akhan, “Sanayide Enerji Yönetimi: Pompa ve Fan Sistemlerinde Verimlilik Artırıcı Uygulamalar”, Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, s.23(1), ss.11-23, 2022.
- [15] D. Accordini, E. Cagno, A. Trianni, “Identification and characterization of decision-making factors over industrial energy efficiency measures in electric motor systems”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, ss. 149, 2012.
- [16] Ener Ruşen, S., Topçu, M.A., Çeltik, S.A., Karanfil, G., Ruşen, A., (2018b). Investigation of energy saving potentials of a food factory by energy audit, Journal of Engineering Research and Applied Science, 7, 1, 848-860.
- [17] Bodur, F. (2011). https://www.emo.org.tr/ekler/8064e39c9540f7e_ek.pdf (Last accessed on 08.12.2022)
- [18] Santos, V.S., Cabello Eras, J.J., Gutierrez, A.S., Cabello Ulloa, M.J. (2019). Assessment of the energy efficiency estimation methods on inductionmotors considering real-time monitoring. Measurement, 136, 237-247.
- [19] Chuang, H.C., Li, G.D., Lee, G.T. (2019). The efficiency improvement of AC induction motor with constantfrequency technology. Energy, 174, 805-8013.
- [20] Motor Master Database, 1993. Washington State Energy Office, WA.
- [21] Kanoğlu M., 2010. Enerji Verimliliği Örnek Projeleri, https://www.tskb.com.tr/i/content/486_1_mehmet-kanoglu-enerji-verimliliği-ornek-projeleri.pdf (Last accessed on 08.12.2022)
- [22] BEE, Bureau of Energy Efficiency (2005), National Certificate Examination for Energy Managers and Energy Auditors, New Delhi, India
- [23] Ünlü O.,(2010). The Importance of Energy Savings Studies in Industry and Application Examples, Turkish Association of Plumbing Engineers, Issue 66, pp.56-67
- [24] Energy efficiency applications in industrial facilities-I, https://www.emo.org.tr/ekler/96b02ead4e5a871_ek.pdf, Last accessed on 08.12.2022).
- [25] Energy efficient technologies in sub-sectors in industry, Ministry of Energy and Natural Resources, Energy Efficiency And Environmental Department Department Of Project Support VAP and GA Group Coordinatorship, <https://enerji.gov.tr/evced-enerji-verimliliği-destekleri-verimlilik-artirici-proje-destekleri>, Last accessed on 08.12.2022.
- [26] Energy Efficiency Comparison In Industry- Special Applications For The Industry (2021) Benchmark report of Ministry of Energy and Natural Resources, Technical Assistance Project for Increasing Institutional Capacity in Energy Efficiency.
- [27] Glass Industry Comparison Report for 2020 (2020), EVÇED Planning and Audit Department of Ministry of Energy and Natural Resources, Technical Assistance Project for Increasing Institutional Capacity in Energy Efficiency.
- [28] BESS - Benchmarking and Energy management Schemes in SMEs: Description of the Adjustment Factors used within the BESS Web based monitoring and benchmarking, 2007. BESS EIE/04/ 246/S07.38678 <https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/bess>.
- [29] Comparison Studies Correction Factors For Industrial Sector (2021), Correction factors report of Ministry of Energy and Natural Resources, Technical Assistance Project for Increasing Institutional Capacity in Energy Efficiency.
- [30] https://china.lbl.gov/sites/default/files/6328e_industry_energy_benchmarking.june_2013.pdf, , Last accessed on 08.12.2022

Derleme Makalesi

Dünyada ve Marmara Denizi'nde Müsilaj Oluşumu ve Etkileri

Merve Koncağül^{1,a} , Neslihan Erdem Dülger^{2,a,*} , Abdullah Yinanç^{3,a} 

^{1,2,3} Çevre Koruma ve Kontrol Bölümü, Çorlu Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59850

^amkoncagul@nku.edu.tr, ^bnerdemdulger@nku.edu.tr, ^cayinanc@nku.edu.tr

Geliş: 12.12.2022

Kabul: 26.12.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1217901

Öz: Dünyada tüm ülkeler çevre kirliliği, atık problemleri ve küresel iklim kriziyle mücadele etmektedir. İnsanlar yaşadıkları ve nefes aldıkları habitatı tahrip ederek doğal ve ekolojik denge üzerinde bozulmaların olmasına sebep olmaktadır. İklim değişikliği de ekolojik dengenin bozulduğunun bir kanıtı olup, sıcaklıkların artmasına, sel, yangın vb. doğal afetlerin artışına sebep olduğu gibi birçok olumsuzluğa yol açmaktadır. İklim değişikliğinin sebep olduğu olumsuz sonuçlardan biri de müsilajdır. Müsilaj, özel iklimsel ve tropik şartlar altında organizmalar tarafından üretilen bir organik madde birikimidir. Doğal bir oluşum olan müsilaj, denizlerde ve okyanuslarda görülmektedir. Müsilaj, deniz salyası veya deniz karı; ekosistemi tehdit eden, denizlerdeki canlılara ve biyoçeşitliliğe olumsuz etkileri olan bir çevre felaketidir. Son yıllarda yaşanan Marmara denizinde kirliliğin artmasına ek olarak su sıcaklıklarının yükselmesi, deniz salyasının belirgin hale gelmesine sebep olmuştur. Dünyada birçok okyanus ve deniz müsilaj ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu makalede müsilaj oluşumu, sebepleri, etkileri, Türkiye'de ve dünyada müsilaj oluşumu örnekleri, müsilajın azaltılması ile ilgili öneriler irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Müsilaj, deniz salyası, deniz karı, iklim değişikliği, kirlilik, deniz kirliliği

Formation and the Effect of Musilage in Marmara Sea and in the World

Abstract: All countries in the world is struggling with environmental pollution, waste problems and the global climate crisis. People cause deterioration on the natural and ecological balance by destroying habitat in which they live and breathe. Climate change is also a proof of the deterioration of the ecological balance, which can cause an increase in temperatures, floods, fires, etc. It causes many negativities as well as the increase in natural disasters. One of the negative consequences of climate change is mucilage. Mucilage is an accumulation of organic matter produced by organisms under special climatic and tropical conditions. Mucilage, which is a natural formation, is found in the seas and oceans. Mucilage, sea sputum or sea snow is an environmental disaster that threatens the ecosystem and has negative effects on marine life and biodiversity. Nowadays, the increase in pollution as well as the water temperature in the Marmara Sea has caused the sea saliva to become prominent. Many oceans and seas in the world have been exposed to mucilage. In this article, the formation of mucilage, its causes, effects, examples of mucilage in Turkey and in the world, and suggestions for reducing mucilage are discussed.

Keywords: Musilage, sea snot, marine snow, climate change, pollution, marine pollution

*Sorumlu yazar

E-posta adresi: nerdemdulger@nku.edu.tr (N. Erdem Dülger)

1. Giriş

Canlı organizmalar, ölü hücre atıkları, inorganik maddeler ve diğer bileşenleri içeren ve halk arasında deniz karı, deniz salyası olarak da bilinen müsilaj, aslında organik madde içeriğince zengin bir doğal oluşumdur. Müsilaj, yüksek miktarda besi maddesi içeren tabakalaşmış sularda belirli sıcaklıklarda su yüzeyinin ısınması ile tek hücreli canlı sayısının aşırı çoğalması, besi maddelerini hızla tüketmeleri ve ardından ölüm fazında kitlesel ölümlerin gerçekleşmesiyle hücre içinde doğal olarak içerdikleri polisakkarit ve diğer hidrokarbonların dışarı salınması ile oluşan, birkaç milimetreden birkaç metreye değişen boyutta olabilen birikimlerdir. Müsilaj oluşumunu özetlemek gerekirse; stresli koşullar altında fotosentetik olarak üretilen karbonhidratların fazlasının su ortamına salınması, hücre kalıntılarının ölümü ve ayrışmasıyla büyük miktarlarda polisakkaritin alıcı ortama karışması, hücre lizi sonrasında yüksek miktarda çözünmüş organik madde içeriğinin deniz ortamına karışması, bakteriyel hidroliz ve bozunmanın kısıtlı olması sebebiyle yüksek molekül ağırlıklı organik bileşiklerin zamanla birikmesi, prokaryotların ve fitoplanktonların hücre lizi sonucu hücre içeriğindeki organiklerin deniz ortamına karışması olarak açıklanabilir (Danovaro vd., 2009). Müsilaj, biyokimyasal pek çok koşulun bir araya gelmesi ile meydana gelir. Deniz suyunda azot ve fosfor gibi besi maddesi içeriklerinin gerekenden fazla olması durumunda fitoplanktonların aşırı gelişmesi kalın, jelimsi, sümüksü bir organik madde katmanının oluşumuna yol açar. (Kömüşçü vd., 2022; Precali vd, 2005). Müsilajın oluştuğu veya su sirkülasyonu ile taşındığı alanlarda da biyojeokimyasal süreçleri önemli ölçüde etkilediği kaydedilmiştir. Canlı makro yapıların bozunması, zarar görmesi, ışık sınırlanması, fiziksel ve kimyasal ortamın değişimi müsilajın su sütununda ve ayrıca kayalıklarda yaşayan makro ve mikroorganizmalar üzerinde uyguladığı en çok bildirilen baskılardır. (Rinaldi vd; 1995 Giani 2005 vd.).

2. Dünyada müsilaj vakaları

Geçtiğimiz yıl Marmara Denizi'nde meydana gelen müsilaj yeni bir oluşum olmamakla beraber, son zamanlarda denizlerde ve okyanuslarda kirliliğin artması, küresel ısınmanın da etkisiyle görülme sıklığı artan bir çevre olayıdır. Dünyada ilk müsilaj olayı 1729 yılında Adriyatik Denizi'nde görülmüş ve tam tanımlanamasa da balıkçı ağlarını kaplaması sebebiyle deniz kirliliği olarak addedilmiş, 1860'larda ise Yeni Zelanda'da görülmüştür. Günümüze kadar aralıklarla aynı bölgede birçok kez müsilaj olayı rapor edilmiştir (MacKenzie v.d., 2002; Danovaro vd., 2009).

Daha sonra nüfusun artmasına bağlı olarak tarım yapılan alan sayısı ve kullanılan gübre miktarındaki artışa ve evsel ve sanayi kaynaklı atıksu deşarjlarına paralel olarak su ortamına karışan azot, fosfor gibi nütrientlerin fazlalaşması, küresel ısınmanın su kaynaklarında ısı artışına neden olması etkisiyle birleşerek tüm dünyada müsilaj olaylarının görülmesine neden olmuştur. 1973'ten başlayarak günümüze değin Kuzey Denizi'nde, Adriyatik Denizi'nde, İtalya'da ve Meksika Körfezi'nde çok sayıda müsilaj vakası gözlenmiştir (Tett vd., 1993; Zevenboom vd., 1991; Danovaro vd., 2009; Mistic vd., 2011).

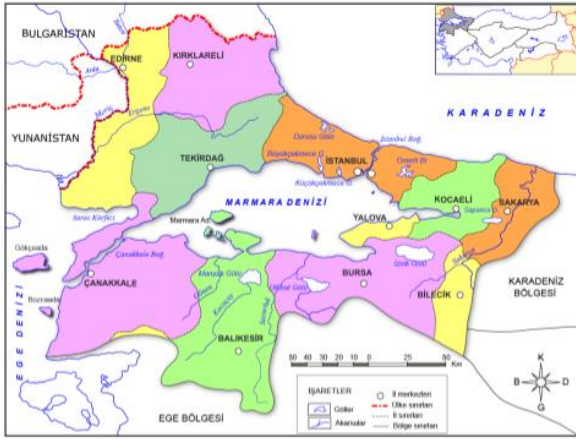
Dünyada en büyük müsilaj olayı yaz aylarında Adriyatik Denizi'nin kuzey kıyılarında görülmüştür (Danovaro vd, 2009). En sık müsilaj olaylarının yaşandığı bu bölgede, aralıklarla çok ağır müsilaj olayları kaydedilmiştir. 1991'de yine yaz aylarında İtalya'nın batısındaki Tiren Denizi açıklarında da oldukça yoğun bir müsilaj olayı görülmüştür. (Danovaro 2009, vd.; Innamorati, 2001).

Son yıllarda yaşanan müsilaj olaylarının da büyük bir çoğunluğu Adriyatik ve Tiren Denizi'nde meydana gelmiştir. 1995'de Baltık Denizi'nde de müsilaj oluşumu gözlenmiştir. 2003 Haziranında İtalya ile Korsika Adası arasındaki Liguria Denizi'nde karşılaşılan müsilaj olayı ile ilgili çalışmalarda, burada meydana gelen müsilajın 1991'de Tiren Denizi'nde müsilaj oluşturan mikroorganizmalardan farklı olduğu belirlenmiştir. Su canlılarında önemli tahribata sebep olan bu müsilaj olayı, temmuz ayında büyük bir fırtına meydana gelmesi ile kendiliğinden dağılmıştır. Burada yaşanan müsilajın, 2003'de Avrupa'da meydana gelen yüksek sıcaklıklarla bağlantılı olduğu, ısınan havanın deniz suyu sıcaklığını arttırdığı ve bu dönemde denize dökülen nehirlerden daha az su geldiği düşünülmektedir (Mistic vd., 2011). 2000'de Yeni Zelanda'da karşılaşılan müsilajın tek hücreli bir alg türünün aşırı çoğalmasından meydana geldiği (Mackenzie vd., 2002), aynı yıl Adriyatik'teki müsilajın ise diatomlardan kaynaklandığı belirlenmiştir (Kovac vd., 2005). 2007 yılında İspanya Fas arasındaki Alboran Denizi'nde meydana gelen müsilajın tek hücreli, canlıların aşırı çoğalmasından, 2007'de Japonya'da gözlenen müsilajın dominant türünün ise diatomlar olduğu belirlenmiştir (Fukao vd.,2009). Müsilaj birikimini meydana getiren diğer canlılar siyanobakter ve heterotrofik bakteriler de olabilmektedir (Fuks vd., 2005)

3. Türkiye'de müsilaj vakaları, sebepleri ve çözümüne yönelik çalışmalar

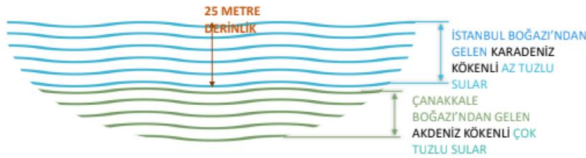
Türkiye'de ilk müsilaj vakası 1992'de Erdek Körfezi'nde su altına dalış yapan sporcular tarafından gözlenmiştir (Tüfekçi vd., 2010). Daha sonra 2007 yılında yine Marmara Denizi İzmit Körfezi'nde su yüzeyinde gözlenen müsilaj olayı meydana gelmiştir (Okyar vd., 2015). 2007-2008 arasında meydana gelen büyük çaplı deniz salyası oluşumu, Çanakkale Boğazı'ndan başlayarak İzmit Körfezi'ne kadar olan bölgeyi kapsamaktaydı (Aktan vd., 2008).

Marmara Bölgesi 7 il ve 25 milyon nüfusa sahip, ülke sanayisinin %50'sinin karşılandığı, yoğun tarımsal faaliyetlerin olduğu, günlük 500.000 kişinin kullandığı şehir iç hatları ve yıllık 41.000 dev transit geçişlerin olduğu yoğun gemi trafiğine sahip olan bir bölgedir. (Birpınar, 2021). Marmara bölgesinde yer alan ve denize sularını döken iller Tekirdağ, İstanbul, Kocaeli, Yalova, Bursa, Balıkesir, Çanakkale olup Şekil 1'de gösterilmektedir. Marmara Denizi akarsuları, Susurluk Çayı, Gönen Çayı, Kocabaş Çayı, Biga Çayı, Sakarya Irmağı, Kara Menderes Çayı, Meriç Irmağı, Ergene Nehri'dir. Bunlardan Susurluk, Gönen, Kocabaş ve Biga Çayı Marmara Denizi'ne dökülmektedir.



Şekil 1. Marmara Bölgesi illeri

Marmara Denizi; yaklaşık 240 km uzunluk ve 70 km genişlikte, 11500 km yüz ölçümüne sahip en derin yeri 1270 metre ve akıntı yönü diğer deniz ve okyanuslardan farklı olarak doğu-batı yönlü olan bir iç denizdir. Marmara Denizi'nin yüzeyindeki ince tabakada tuzluluğu kısmen az Karadeniz suları, bunun altında fazlaca tuzlu olan Ege-Akdeniz suları bulunmaktadır. Bu tabakalar tuz oranının yanında, sıcaklık ve oksijen oranı bakımından farklı su kütlelerinden oluşur. Karadeniz suları tuz bakımından daha az yoğunluklu olup İstanbul Boğazı'ndan Marmara'ya ulaşırken, Ege suları çok daha yoğun olduğundan alt akıntı olarak Çanakkale Boğazı'ndan Marmara'ya ulaşır. Birbirinden ayrılan bu iki tabaka arasında bir geçiş tabakası da bulunmaktadır. Bu iki farklı su kütlesi yaklaşık 25 metrelerde yoğunluğu birbirinden farklı su kütlelerini ayıran ara katman tabakasıyla birbirinden ayrılmaktadır. Marmara Denizi'nin hidrografik yapısı Şekil 2' de gösterilmektedir.



Şekil 2. Marmara Denizi hidrografik yapısı (Pakdemirli, 2021)

Marmara Denizi üst tabakası genişliği 25 metre civarında olup bu sular yılda 2-3 kez yenilenirken, alt tabaka sularının yenilenmesi yaklaşık 6-7 yıl gibi bir süreyi bulmaktadır. (Aydın 2021, Beşiktepe vd., 1994).

Marmara bölgesinde yer alan iller, sanayi ve kentsel atık sularını Marmara Denizi'ne deşarj ederek kirlilik yükünün artmasına sebep olmaktadır. Yapılan deşarj miktarının şehirlere göre dağılımı incelendiğinde % 80'e yakın kısmının İstanbul'dan, daha sonra sırasıyla Kocaeli, Bursa, Tekirdağ, Balıkesir, Yalova ve Çanakkale'den geldiği görülmektedir. Atıksu deşarjları sonucu Marmara Denizi'nde azot ve fosfor yükü artmaktadır. Kentsel atıksulardan ve tarım alanlarından kaynaklanan azot ve fosforun belirli bir eşik değeri üzerine çıkması durumunda ötrofikasyon meydana gelmekte ve böylece alg patlamaları ve müsilaj ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda bölgede nüfusun hızla artması, tarım, sanayi, gemi geçişleri, turizm, balıkçılık ve yeterince artılmamış

atıksuların arıtma tesislerinden denizlere deşarjı sonucu Marmara Denizi'nde kirlilik yükü artmış ve bu da denizde oksijen miktarında azalmaya sebep olmuştur. Marmara Denizi'nde yıllara göre değişen oksijen konsantrasyonları incelendiğinde 1985-2005 yılları arasında oksijen konsantrasyonu seviyeleri daha yüksek iken, 2010-2017 yıllarında oksijen konsantrasyonunda düşüş gözlenmiştir (Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Planı 2021-2024, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı).

Müsilaj oluşumuna sebep olan başlıca etmenler yüksek sıcaklık, durağan deniz ve fazla besin elementi (kirlilik) dir (Şekil 3). Ayrıca organik madde birikiminin artması, evsel ve sanayi atıkları, metaller, azot, fosfor yükünün artışı, yanlış balıkçılık, akıntı (tabakalaşma) profilindeki değişiklikler de müsilaj oluşumuna sebep olan etmenlerdir. Marmara Denizi'nde iklim değişikliği sebebiyle artan deniz suyu sıcaklıkları, denizde oluşan durgunluk ve artan kirlilik sebebiyle denizlerdeki besin elementi artışı müsilaj olayını tetiklemektedir.



Şekil 3. Müsilaj oluşumuna sebep olan başlıca etmenler

Havzadaki kirlilik yükünü bölgedeki sanayi, tarım ve hayvancılık faaliyetleri, katı atık ve emisyonları, yüzeysel akışlar, kontrollü veya kontrolsüz yapılan her türlü deşarj etkilemekte ve havzanın su kalitesini olumsuz şekilde düşürebilmektedir (Aydın 2021, ve Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Planı 2021-2024).

Müsilaj oluşumuna sebep olan kirlilik etmenleri, kara kökenli kirlleticiler ve diğer kirlleticiler olarak sınıflandırılmış ve Tablo 1' de gösterilmiştir.

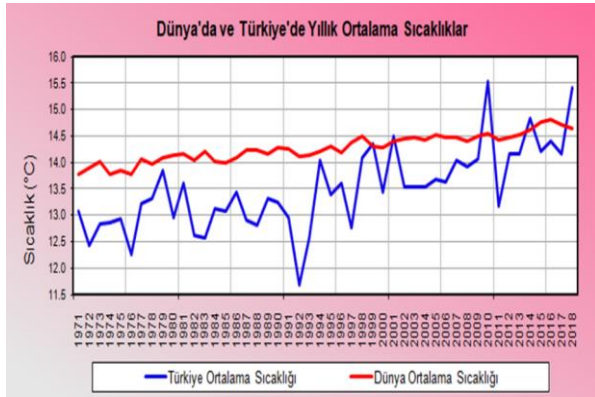
Tablo 1 Müsilaja sebep olan kirlilik etmenlerinin sınıflandırılması (Kurum, 2021)

Kara Kökenli Kirliticiler		Diğer Kirliticiler
Noktasal kaynaklar	Yayıllı Kaynaklar	
Kentsel atıksular	Zirai (tarımsal) atıklar	Gemi kaynaklı kirliticiler
Endüstriyel atıksular	Hayvansal atıklar	Mikrobiyolojik kirlilik
Düzenli depolama alanları sızıntı suları	Meskun bölgelerden gelen yüzeysel akış ve sürüklenmeler	Kıyı düzenlemeleri, dip taramaları
Termal ve yoğun su deşarjları	Atmosferik taşınım kaynaklı kirliticiler	Deniz çöpleri

Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı tarafından yürütülen MARAAT Projesi verilerine göre Marmara Denizi Havzası atıksu arıtma tesislerinin debi bakımından büyük bir kısmının kentsel atıksu olduğu belirlenmiştir. Buna paralel olarak toplam atıksu kaynaklı kirlilik yükünün %96'sı kentsel atıksulardan kaynaklanmaktadır. Projede kentsel atıksuyun yaklaşık %43 gibi azımsanmayacak bölümünün yalnızca fiziksel arıtmaya tabi tutularak deşarj edildiği, %4,9 oranında ileri arıtma yapıldığı, %51,8'lik kısmının ise biyolojik arıtma uygulanarak deşarj edildiği belirlenmiştir. (Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Planı 2021-2024).

Hızla gelişen teknolojik yenilikler ile değişen ve bilinçsizleşen tüketim alışkanlıkları doğal kaynaklar üzerinde baskıyı artırarak çevre ve iklim krizlerine sebep olmaktadır. Yükselen deniz seviyeleri, seller, kuraklıklar, tarım verimliliğindeki değişiklikler, nesli tükenen/tükenmekte olan hayvanlar ve bitkiler iklimsel değişimin etkilerinin sonuçlarıdır. Sıcaklık artışı da iklim değişikliğinin olumsuz bir sonucudur. Şekil 4'de dünyada ve Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklıklarının artış eğiliminde olduğu görülmektedir.

Marmara Denizi'nde geçmişten günümüze sıcaklık değişimi incelendiğinde iklim değişikliği sonucunda artan sıcaklıkların, müsilağın Marmara Denizi'nde artış göstermesine sebep olması ihtimali oldukça yüksektir. Marmara Denizi yüzeyindeki sıcaklık artışları son on yıla göre artış göstermiştir. Şekil 4'te verilen grafiğe göre 2010 yılında Türkiye'de ortalama sıcaklığın diğer yıllara göre yüksek olduğu görülmekte olup bu yılda sıcaklığın artışının sebep olduğu müsilağ oluşumunun Ege ve Marmara Denizinde gözlemlendiği tespit edilmiştir (Aydın,2021).



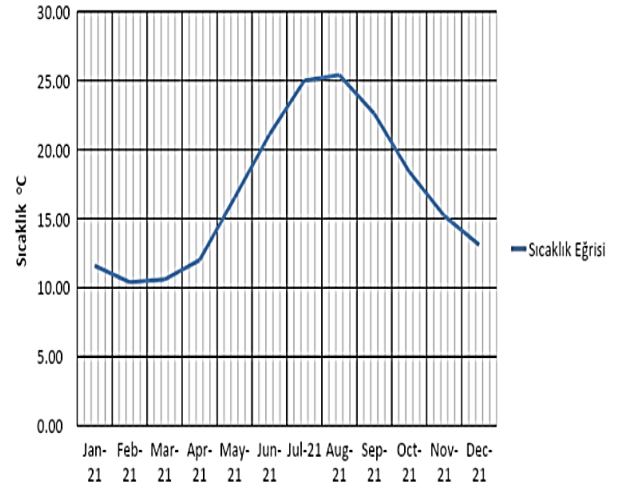
Şekil 4. Dünyada ve Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklıklar (CSGB, 2021).

Marmara Denizi su sıcaklıklarının beş eşit periyotta, yaklaşık 10 yıllık süreç aralıklarıyla değerlendirildiği Tablo 2'de yıl bazında gözlemlenen ortalama sıcaklık verileri belirtilmiştir. Tablo 2'den sıcaklık değer artışının 2000'li yıllardan itibaren diğer yıllardan farklı seyri görülebilmektedir. En yüksek ortalama deniz suyu sıcaklığı ise 2019 yılında 18,6 °C olarak belirlenmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021).

Tablo 2 1970-2021 yılları arası deniz suyu sıcaklıkları (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022)

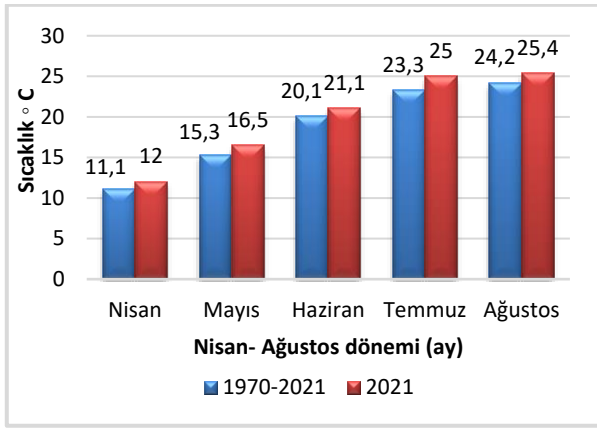
Yıl aralığı	Ortalama Sıcaklık (°C)
1970-1979	15,1
1980-1989	15,0
1990-1999	15,4
2000-2009	15,8
2011- 2021	16,8

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) 2021 yılı aylık ortalama sıcaklık verileri Şekil 5'de gösterilmiştir. Şekil 5'den müsilağın görünür bir şekilde Marmara Denizi'nde meydana geldiği aylar olan Mayıs 2021 sıcaklık verisinin 16,5 °C ve Haziran 2021 sıcaklık verisinin 21,1 °C olduğu, bir aylık süreçte deniz suyu sıcaklığının yaklaşık 4,6 °C artış gösterdiği görülebilmektedir. Bu sıcaklık artışının müsilağ oluşumunda başlıca neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5. 2021 yılı aylık ortalama deniz suyu sıcaklıkları (MGM, 2021).

Şekil 6'da ise 1970-2021 yılı deniz suyu sıcaklık aralığının, müsilağ olayının görüldüğü 2021 yılı nisan-ağustos dönemi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Biyolojik ve kimyasal süreçler için sıcaklıktaki küçük değişikliklerin nicel farklılıklara yol açabildiği bilinmektedir. Yukarıdaki tablolar ve Şekil 6 incelendiğinde Marmara Denizi'nin ortalama sıcaklığında 1970'lerden beri istikrarlı bir artış olduğu, fakat en önemli yükselişin 2010-2020 periyodunda olduğu görülmektedir. Az gibi gözükse de bu sıcaklık artışı, deniz içindeki fitoplanktonların ve bakterilerin her zamankinden daha fazla üremelerine ve çoğalmalarına sebebiyet vermiştir.



Şekil 6. 1970 ve 2021 Nisan-Ağustos dönemi ortalama deniz suyu sıcaklıkları

Marmara Denizi'nde Nisan - Mayıs aylarında ortaya çıkan müsilaja paralel olarak, farklı zamanlarda fakat aynı aylarda Marmara'daki barajlar ve Küçükçekmece Lagünü'nde de alg çoğalması görülebilmektedir. (İstanbul Çevre Durum Raporu, 2021, TMMOB). Ayrıca Nisan-Ağustos dönemi alg popülasyonunun artması yönetilmesi zor olan mevsimsel koku ve tat problemlerine de yol açabilmektedir (Çelik vd., 2021). Müsilajda olduğu gibi tatlı sulardaki alg patlamalarının sebebi de aşırı azot, fosfor yüküdür.

Marmara Denizi'nde ilk kez Ekim 2007'de görülen, 2021 yılında tekrarlayan ve kilometrelerce alana yayılan müsilaj sadece görsel kirliliğe sebep olmakla kalmamış, denizlerin üst, orta ve alt tabakalarında etkisini sürdürerek deniz ekosistemini etkilemiş, balık ağlarını tıkayarak balıkçılık faaliyetlerine de engel olmuştur. Müsilaj bünyesinde sınır değerleri aşan ağır metal de barındırmaktadır. Müsilajın, ekolojiye, turizm sektörüne, balıkçılık, ulaşım, denizcilik ve insan sağlığına olumsuz etkileri söz konusudur. Müsilajın yoğun bir yapısı vardır. Bu durum müsilajın, deniz yüzeyini kaplayarak, güneş ışığını engellemesine ve deniz altında bulunan birçok canlıda olumsuz etkiler meydana getirmesine neden olur. Deniz yüzeyinde bulunan müsilaj deniz dibine çökerek canlıların (balık vb.) solungaçlarını kapatmakta ve oksijensiz kalmalarına sebep olmaktadır. Denizleri temizleyen midye vb. gibi canlıların yüzeylerinin müsilaj ile kaplanması deniz kirliliğinin daha uzun süre etki göstermesine sebep olmaktadır. Müsilaj balık ağlarına yapışarak ağların dibe çökmesine, tekrar yukarı çekilememesine ve ayrıca tekne aksamalarının tahribatına da neden olmaktadır. Müsilajın denizlerde yarattığı görüntü kirliliği, turizm faaliyetlerinin yapılmasını engellemekte ve turistler görüntü kirliliği ve sağlık problemleri endişesiyle deniz turizmini tercih etmemektedir. Ayrıca marina ve limanlarda biriken müsilaj tesislerin turistik ve lojistik faaliyetlerini engellemektedir. (Yüksek, 2021).

Müsilaj sorununun sebeplerini belirlemek ve çözüm önerileri sunmak üzere hızla çalışmalara başlanmış ve "Başta Marmara Denizi Olmak Üzere Denizlerimizdeki Müsilaj Sorununun Sebeplerinin Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Meclis Araştırması Komisyonu" kurulmuş ve Nisan 2022'de bir rapor yayınlamıştır. Bir yandan Marmara Denizi'nde yaşanan müsilaj olayında kokunun giderilmesi, görsel kirlilik ve ışık geçirgenliğinin sağlanması

için yüze temizliği faaliyetleri yapılmıştır. Denizlerden toplanan müsilaj, sızdırmaz araçlarla uygun bertaraf tesislerine taşınarak bertaraf edilmiştir. Bu bağlamda on binlerce metre küp müsilaj bertaraf edilmiştir. En çok müsilaj İstanbul ve Yalova'dan toplanmıştır. Marmara Denizi'nde 20 Mayıs 2021 tarihinde müsilaj alan büyüklüğü 12741,94 ha ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. 2 Temmuz 2021 tarihinde ise müsilaj alanının büyüklüğü 1046 ha alana düşerek en düşük seviyeye ulaşmıştır. (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021).

22 Haziran 2021' de "Marmara Deniz Havzası Eylem Planı Kapsamında Deşarj Standartlarında Kısıtlama Genelgesi" yayınlanmış ve İstanbul, Bursa, Kocaeli illerinin tamamında, sanayi ve evsel atıksu arıtma tesisleri için Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) parametresinde kentsel atıksularda %20, endüstriyel atıksularda ise sektörel deşarj standardı belirlenmekle birlikte yaklaşık %50 kısıtlama yapılmıştır. (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021). Öztürk v.d. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, kirlilik yükünün düşürülmesi amacıyla 2030 yılına kadar Klorofil-a, toplam azot, toplam fosfor değerlerinin belirlenen değerlere indirilmesi ve derinliğe bağlı olarak belirli çözünmüş oksijen değerlerinin sağlanması önerilmiştir (Öztürk vd., 2021).

Yümün vd (2021), Marmara Denizi'ndeki müsilajın sebeplerini araştırmak için Marmara Ereğlisi'nden deniz suyu ve müsilaj numuneleri olarak gerekli çalışmaları yürütmüşlerdir. Numunelerin; pH'ı, tuzluluk oranları, iletkenlikleri, organik madde analizi, oksijen içerikleri ve elementel analizleri yapılmıştır. Marmara Ereğlisi müsilaj olmayan kısımdan alınan deniz suyu numunesinde yapılan ölçüm sonuçlarına göre; toplam azot (TN=0,3 ppm), toplam karbon (TC=36 ppm), inorganik karbon (IC=26 ppm) ve toplam organik karbon (TOC=10 ppm) değerleri elde edilmiştir. Benzer şekilde müsilaj olan kısımdan alınan örneklerin toplam organik madde konsantrasyonları (TOC=329 ppm) ve toplam azot (TN=17 ppm) değerleri ölçülmüştür. Deniz suyu verilerinin daha düşük seviyelerde olduğu, elde edilen veriler ışığında müsilajın çoğunlukla organik kökenli olduğu, bentik, planktonik alg ve diğer fitoplanktonlara bağlı olduğu anlaşılmıştır. Müsilajın çözünmüş oksijen değerinin ölçülemeyecek kadar az tespit edilmesi bu çalışmanın bir diğer önemli bulgularından biridir. Ayrıca çalışmada müsilaj içindeki canlı türlerinin mikroskopik incelemesi yapılarak müsilaj içerisinde en fazla yeşil algler (*Stigeoclonium* sp.), ikinci olarak kırmızı algler (*Ceramium* sp ve *Rhodophyta* sp.) ve az miktarda fitoplankton (*Pleurosigma* sp.) bulunduğu tespit edilmiştir (Yümün, vd., 2021).

Yıldırım vd. (2022), müsilajdan enerji elde edilmesi ihtimalini değerlendirmiştir. Müsilajın nem içeriğinin %94-99 olduğu, tehlikeli ve toksik özellikte olmadığı, patojen bakteri içermediği, kalorifik açıdan yakma ile enerji elde edilmeye uygun bulunmadığı, yüksek tuz içeriği nedeniyle tarımsal amaçla doğrudan kullanımının uygun olmadığı bilinmektedir. Ayrıca düşük metan içeriği (%20-25) nedeniyle biyometanizasyon prosesi (organik atıkların biyokimyasal reaksiyonlarla biyogaza dönüştürülmesi işlemi) için uygun olmadığı tespit edilmiştir (Yıldırım, vd., 2022).

Müsilaj ile ilgili yapılan çalışmalar devam etmekte ve müsilajın olumsuz etkilerine maruz kalmamak ve çevreye olan

zararı en aza indirmek için çeşitli çözüm önerilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Müsilajın tekrar ortaya çıkmasının önlenmesi için, halkın bilinçlendirilerek atık yönetimine katkıda bulunması, eylemlerinin sonucunun bilincinde olmasının sağlanması, çevreye zarar veren deterjan ve kişisel hijyen malzemelerinin kullanımının azaltılması ve teşvik edilmesi, atık su arıtma tesislerinin biyolojik ve ileri arıtma yöntemlerini içerecek şekilde geliştirilmesi, deşarj kriterlerinin sıkılaştırılması, deniz ve havza koruma alanlarının gözden geçirilmesi, balıkçılık faaliyetlerinin etkin denetlenmesi, gemi balastı ve sintine sularının kontrolü, yeşil bina uygulamalarının desteklenmesi, sulara tarım kimyasallarının ve gübrelerin karışmasının önlenmesi, uzaktan izleme ile kirlenmenin erken tespiti ve erken müdahale yapılmasına olanak sağlanması gibi öneriler getirilebilir. Belirli noktalardan sürekli numune alınarak su kalitesinde meydana gelebilecek bozulmaların izlenmesi, bunun yanında denize dökülen akarsu havzalarında da kirlilik oluşturabilecek kaynaklarla ilgili benzer kirlilik önleme tedbirlerinin alınması, yerinde bir yaklaşım olacaktır.

Yazar Katkısı

Literatür Araştırması Merve KONCAGÜL (MK), Neslihan ERDEM DÜLGER (NED), Abdullah YİNANÇ (AY), Biçimsel düzen, Merve KONCAGÜL (MK), Neslihan ERDEM DÜLGER (NED), Verilerin değerlendirilmesi Neslihan ERDEM DÜLGER (NED), Sonuçların tartışılması Abdullah YİNANÇ (AY).

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

- [1] Aktan Y., Dede A., Çiftçi P. S., (2008). Mucilage event associated with diatoms and dinoflagellates in Sea of Marmara, Turkey. *Harmful Algae News* 36: 1–3.
- [2] Aydın, M.E. (2021). Musilage formation in Marmara Sea Possible causes and recommendations, doi:10.53478/TUBA.2021.003.
- [3] Beşiktepe, Ş.T., Sur, H.İ., Özsoy, E., Latif, M.A., Oğuz, T. & Ünlüata, Ü. (1994). The circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography* 34: 285-334.
- [4] Birpınar, M.E. (2021), Mavi vatan denizlerimizde yeni kabus; Müsilaj, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- [5] Celik, S.Ö., Tufekci, N., Koyuncu, I. (2021). Self-forming dynamic membrane filtration for drinking water treatment, *Water Supply*, 22(2), 1624-1637, doi: 10.2166/ws.2021.329
- [6] Danovaro, R., Fonda Umani, S., Pusceddu, A. (2009). Climate change and the potential spreading of marine mucilage and microbial pathogens in the Mediterranean Sea, 4(9):7006. 10.1371/journal.pone.0007006.
- [7] Fukao, T., (2009). Mucilage phenomenon in Ariake Sound [Japan] during autumn, 2007 and estimation of the causative phytoplankton, *Bulletin of the Plankton Society of Japan*, 55

(2), 127-131.

- [8] Fuks, D, Radić, J, Radić, T, Najdek, M, Blazina, M, Degobbis, D, & Smodlaka N. (2005). Relationships between heterotrophic bacteria and cyanobacteria in the northern Adriatic in relation to the mucilage phenomenon. *Sci Total Environ.* 15;353(1-3):178-88. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.015.
- [9] Giani, M., Savelli, F., Berto, D., Zangrando, V., Čosović, B., Vojvodić, V. (2005). Temporal dynamics of dissolved and particulate organic carbon in the northern Adriatic Sea in relation to the mucilage events. *Science of the Total Environment*, 353(1-3), 126-138.
- [10]-<https://cevresehgostergeler.csb.gov.tr/sicaklik-i-85727> (Erişim tarihi: 19.06.2022)
- [12] Innamorati, M., Nuccio, C., Massi, L., Mori, G. & Melley, A. (2001). Mucilages and climatic changes in the Tyrrhenian Sea, *Aquatic Conser: Mar. Freshw. Ecosyst.* 11: 289–298, DOI: 10.1002/aqc.448.
- [12] İstanbul Çevre Durum Raporu, 2021, TMMOB
- [13] Kovač, N., Mozetič, P., Trichet, J., Défarge, C. (2005). Phytoplankton composition and organic matter organization of mucous aggregates by means of light and cryo-scanning electron microscopy, *Marine Biology*, 147(1), 261-271.
- [14] Kömüşçü, A.Ü., Aksoy, M., Doğan, O.H. (2022). An analysis of meteorological conditions in relation to occurrence of the mucilage outbreaks in Sea of Marmara, March-June 2021, *International Journal of Environment and Geoinformatics* 9(3):126-145.
- [15] Kurum, M., Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Müsilaj Sorununu Araştırma Komisyonu Toplantısı, 2021.
- [16] MacKenzie, L., Sims, I., Beuzenberg, V., Gillespie, P. (2002). Mass accumulation of mucilage caused by dinoflagellate polysaccharide exudates in Tasman Bay, New Zealand, *Harmful Algae*, 1(1),69-83, [https://doi.org/10.1016/S1568-9883\(02\)00006-9](https://doi.org/10.1016/S1568-9883(02)00006-9).
- [17] Misic, C., Schiaparelli, S., Covazzi Harriague, A. (2011). Organic matter recycling during a mucilage event and its influence on the surrounding environment (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Science of the Total Environment*, 31, 631-643.
- [18] Müsilaj Temizlik ve Denetim Raporu, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Temmuz 2021.
- [19] Okyar, M. İ., Üstün, F., & Orun, D. A. (2015). Changes in abundance and community structure of the zooplankton population during the 2008 mucilage event in the northeastern Marmara Sea. *Turkish Journal of Zoology*, 39(1), 28-38.
- [20] Öztürk, İ., Yanalak, M., Arslan, Ö., Koyuncu, İ., Dülkürgün, E., Erşahin, M., Türken, T. (2021). Marmara Denizi'nde deniz salyası sorunu ile ilgili görüş ve öneriler, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [21] Pakdemirli, B. (2021), Müsilaj kapsamında yapılan çalışmalar, Tarım ve Orman Bakanlığı.

- [22] Precali, R., Giani, M., Marini, M., Grilli, F., Ferrari, C. R., Pečar, O., Paschini, E. (2005). Mucilaginous aggregates in the northern Adriatic in the period 1999–2002: typology and distribution. *Science of the Total Environment*, 353(1-3), 10-23.
- [23] Rinaldi, A., Vollenweider, R. A., Montanari, G., Ferrari, C. R., Ghetti, A. (1995). Mucilages in Italian seas: the Adriatic and Tyrrhenian seas, 1988–1991. *Science of the Total Environment*, 165(1-3), 165-183.
- [24] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Planı 2021-2024, Kasım 2021, <https://cygm.csb.gov.tr/marmara-denizi-butunlesik-stratejik-plani-haber-265668>
- [25] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Deniz Suyu Sıcaklıkları Analizi 2021. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/denizSuyu/Marmara-Deniz-Suyu-Sicakligi-Analizi-2021.pdf>
- [26] Tett, P.B., Joint, I.R., Purdie, D.A., Baars, M., Oosterhuis, S., D'Aneri, G., Hannah, F., Mills, D.K., Plummer, D., Pomroy, A.J., Waine, A.W., Witte, H.J. (1993). Biological consequences of tidal stirring gradients in the North Sea. *Royal Society* 343, 1669. <http://doi.org10.1098/rsta.1993.061>.
- [27] Tüfekçi, V., Balkıs, N., Beken, Ç. P., Ediger, D. & Mantıkçı, M. (2010). Phytoplankton composition and environmental conditions of the mucilage event in the Sea of Marmara. *Turkish Journal of Biology*, 34(2), 199-210.
- [28] Yıldırım, Ö. (2022). Evaluation of the biogas potential of mucilage formed in the Marmara Sea, *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (34), 15456-15463.
- [29] Yümün, Z.Ü., Kam, E. (2021). Marmara Denizi'nde Müsilaj Sorunu ve Çözüm Yöntemleri. *Türkiye Bilimler Akademisi* 1, 163-181. DOI: 10.53478/TUBA.2021.010
- [30] Yüksek, A. (2021). Marmara denizi'nde deniz salyası/müsilajı oluşturan sebepler, Marmara Denizi'nin Ekolojisi: Deniz Salyası Oluşumu, Etkileşimleri ve Çözüm Önerileri. 87-104. DOI: 10.53478/TUBA.2021.001.
- [31] Zevenboom, W., Rademaker, M., Colijn, F. (1991). Exceptional Algal Blooms in Dutch North Sea Waters. *Water Science and Technology* 24 (10), 251-260 .doi:10.2166/wst.1991.0298
- [32] 22 Haziran 2021 tarihli Marmara Deniz Havzası Eylem Planı Kapsamında Deşarj Standartlarında Kısıtlama Genelgesi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/2021-13-sayili-genelge-22-06-2021-1172378-20210623132535.pdf>

Research Article

A Microcontroller-based Liénard Oscillator

Ersoy Mevsim^{1,a,*} , Reşat Mutlu^{2,b} 

¹ Computer Technology Department, Vocational College of Technical Sciences, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey, 59860

² Electronics and Communication Engineering Department, Çorlu Engineering Faculty, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey, 59860

^aemevsim@nku.edu.tr, ^brmutlu@nku.edu.tr

Received: 25.10.2022

Accepted: 26.12.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1194452

Abstract: Van der Pol Equation is a special case of Liénard equations. Both oscillators have significant historical importance. There are lots of different circuit topologies for Van der Pol and Liénard oscillators. Such oscillators can be made using vacuum tubes, diodes, etc. Some oscillators are made using microcontrollers, which are cheap and easy-to-use devices. They provide accurate adjustability of the frequency and magnitude of the waveforms. Arduino Nano Klon V3.0 microcontroller is a commonly used microcontroller. In this study, to the best of our knowledge, for the first time in literature, a Liénard Oscillator has been made with the Direct digital synthesis (DDS) method using the Arduino Nano Klon V3.0 microcontroller and two DACs. The experimental results of the oscillator are given. The circuit is able to produce the state variables of the oscillator, the effect of quantization can be seen on the waveforms, and it is shown that it performs well. The two variable outputs of the system let its phase portrait be examined easily. Also, using a microcontroller helps to design the oscillator in mere a few days.

Keywords: Microcontroller-based circuit design, Liénard Equation, Liénard Oscillator, Van der Pol oscillator, Digital Circuit Synthesis, Limit Cycle, Circuit Dynamics.

Mikrodenetleyici Tabanlı Bir Liénard Osilatörü

Öz. Van der Pol Denklemi, Liénard denklemlerinin özel bir halidir. Her iki osilatör de önemli bir tarihsel öneme sahiptir. Pek çok farklı Van der Pol ve Liénard osilatör devreleri mevcuttur. Bu tür osilatörler vakum tüpleri, diyotlar vb. kullanılarak yapılabilmektedir. Bazı osilatörler, ucuz ve kullanımı kolay cihazlar olan mikrodenetleyiciler kullanılarak yapılmaktadır. Mikrodenetleyiciler dalga biçimlerinin frekansının ve büyüklüğünün doğru şekilde ayarlanabilmesini sağlarlar. Arduino Nano Klon V3.0 mikrodenetleyici yaygın olarak kullanılan bir mikrodenetleyicidir. Bu çalışmada bildiğimiz kadarıyla literatürde ilk defa Arduino Nano Klon V3.0 mikrodenetleyici ve iki DAC denetleyici kullanılarak direct dijital sentezleme (DDS) yöntemi ile bir Liénard Osilatörü yapılmıştır. Çıkış akımını artırmak için bir tampon opamp kullanılmıştır. Osilatörün deneysel sonuçları verilmiştir. Devre, osilatörün durum değişkenlerini üretebilir, kuantalama hatasının dalga biçimleri üzerindeki etkisi görülebilmektedir ve bu devrenin iyi performans gösterdiği gösterilmiştir. Sistemin iki değişken çıkışı, faz portresinin kolayca incelenmesini sağlar. Ayrıca, bir mikrodenetleyici kullanmak, osilatörün sadece birkaç gün içinde tasarlanmasını sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Mikrodenetleyici tabanlı devre tasarımı, Liénard Denklemi, Liénard Osilatörü, Van der Pol osilatörü, Dijital Devre Sentezi, Limit Döngüsü, Devre Dinamiği.

1. Introduction

The Van Der Pol Oscillator (VDPO), which has been reported in 1920 [1], made with a triode vacuum tube, is an ancient and still studied oscillator [2]. It is described by the

Van der Pol equation [3, 4]. It does not have any analytical solutions [5]. That's why its approximate or numerical solutions are also still being studied [6]. Liénard's equations were suggested by Alfred-Marie Liénard in 1928 to model a

* Corresponding author

E-mail address: emevsim@nku.edu.tr (E. Mevsim)

set of oscillating circuits [7]. The Liénard equations define the VDPO as a special case [2]. Both VDPO and the Liénard Oscillator are historically important [2, 7]. Analog circuit implementations of Liénard and Van der Pol oscillators are commonly used for chaos studies [8-10]. A Liénard Oscillator or a VDPO can be made using various semiconductor circuit elements [1, 8- 12]. Liénard Oscillator circuit has numerous circuit variations. An optical resonance tunneling diode-based oscillator can also be modeled with the Liénard equation [12]. In [13], a VDPO is made with anti-parallel Schottky-diode strings. In [14], a VDPO is made with a nonlinear resistance circuit employing a Schottky-diode bridge fed JFET. An FPGA-based chaotic van der pol oscillator is made in [15] but FPGAs are still expensive devices. An alternative way to make Liénard and VDPO oscillators is to use the digital direct synthesis (DDS) method. Such a method is used to make classical signal generators successfully [16, 17]. The method is also used to make the signal generators requiring the solution of the time-dependent state-space equations numerically in [18-25]. There are already various types of microcontroller-based power supplies presented in the literature. In [18], a memristive chaotic circuit is made using a cheap microcontroller Arduino Mega 2560 R3. An ECG signal generator using experimental data is made in [19]. An H-R neuron is emulated with a microcontroller in [20]. The Lorentz system is emulated with an ARM microcontroller [21]. A hyper jerk system is emulated with a microcontroller [22]. Lotka-Volterra Equations are solved, and their variables are emulated with an ARM microcontroller in [23]. A synthetic ECG Generation is made with an ARM microcontroller in [24]. In [25], it is shown that an ARM microcontroller-based EEG signal generator, which makes use of the experimental data, can be implemented using both its DAC and PWM outputs. To the best of our knowledge, a microcontroller-based Liénard Oscillator has not been made yet. Such a circuit can be built with a cheap microcontroller such as PIC16F877A or an Arduino Nano Klon V3.0. In this study, it has been shown that a microcontroller-based Liénard Oscillator can be made using a cheap, rugged, easy-to-use microcontroller such as Arduino Nano Klon V3.0 and two DACs for the first time in the literature. In [18-25], more than one state variables are solved numerically and exported through either DACs or digital ports. In this study, Similarly, the discretized variables of the Liénard system are obtained and the equations are solved numerically using the Euler method with the microcontroller program. The solved state variables are sent out as binary numbers through the digital output ports and their time-dependent waveforms are obtained using two DACs. The simulations are done in Simulink™. Then, the circuit is assembled, and its experimental waveforms are acquired. The currents, voltages, and limit cycle of the Liénard Oscillator circuit are presented.

The paper is arranged as follows. In the second section, basic information on Liénard Equation and Equation System is given. Also, the discrete-time model of the system using the Euler equation is given. Some examples of analog Liénard and VDPO oscillators are given and the microcontroller-based Liénard oscillator circuit is introduced in the third section. In the fourth section, its flowchart is presented. In the fifth section, its Simulink simulation is given. In the sixth section,

the experimental results of the circuit are given. The paper is finished with the conclusion section.

2. Liénard and Van Der Pol Equations

In this section, Liénard Equation and Liénard System Equations are given and briefly explained.

2.1. Liénard's Equation

The Liénard equation has been proposed by Alfred-Marie Liénard to model a set of oscillators called Liénard oscillators [7] or Liénard systems and it is given as

$$\frac{d^2x}{dt^2} + f(x)\frac{dx}{dt} + g(x) = 0 \tag{1}$$

where $f(x)$ is an even function and $g(x)$ is an odd function.

It is a second-order differential equation and more about the definition of Liénard's equation can be found in [5]. Van der Pol equation is a subset of the Liénard equation and it is defined as

$$\frac{d^2V}{dt^2} - \frac{a}{c}(1 - V^2)\frac{dV}{dt} + \frac{1}{LC}V = 0 \tag{2}$$

2.2. Liénard System

Let's define

$$\begin{aligned} x_1 &:= x \\ x_2 &:= \frac{dx}{dt} + F(x) \end{aligned} \tag{3}$$

where

$$F(x) = \int_0^x f(\xi)d\xi \tag{4}$$

With this transformation, the following system is defined as the Liénard System:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = h(x_1, x_2) := \begin{bmatrix} x_2 - F(x_1) \\ -g(x_1) \end{bmatrix} \tag{5}$$

Using the Liénard System for programming is more suitable to design the Liénard Oscillator.

2.3. Discretization of the Liénard System

In this study, it is decided to emulate a Van der Pol Oscillator since it is also a Liénard Oscillator. For a Van der Pol Oscillator,

$$f(x) = -(1 - x^2) \tag{6}$$

Therefore,

$$F(x_1) = -\int_0^{x_1} (1 - \xi^2)d\xi = -x_1 + x_1^2/3 \tag{7}$$

and, then, the Liénard System is given as

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2 - F(x_1) = x_2 + x_1 - x_1^2/3 \tag{8}$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -g(x_1) = -x_1 \tag{9}$$

The Liénard System is easier to discretize than the Liénard equation which would require finite differences. That's why the discrete time model of the Liénard System is derived using Euler method as the follows:

$$x_1[n + 1] = (x_2[n] - F(x_1[n])).T_s + x_1[n] \tag{10}$$

$$x_2[n + 1] = (x_2[n] - F([n])).T_s + x_1[n]$$

$$x_2[n + 1] = -g(x_1[n]).T_s + x_2[n] \tag{11}$$

$$x_2[n + 1] = -g([n]).T_s + x_2[n]$$

where $x_1[n]$ and $x_2[n]$ are the nth discrete time values of the state variables of the Liénard System and T_s is the sampling time.

3. Examples to Analog Van der Pol and Liénard Oscillator Circuits and the Proposed Design

In this section, first the generic Liénard Oscillator is summarized and then the Liénard Oscillator circuit proposed in this study is introduced.

3.1. A Few Examples to Analog Van der Pol and Liénard Oscillator Circuits

A Van der Pol Oscillator consists of an inductor, a capacitor and a nonlinear resistor. Since the Van der Pol Oscillator equation is a special case of the Liénard equation, it can be said that the Liénard Oscillator consists of an inductor, a capacitor, and a nonlinear resistor [2, 9, 11, 13, 14]. The general (generic) Liénard oscillator or Van der Pol oscillator circuit can be seen in Figure 1 [9]. Some examples to the Van der Pol and Liénard Oscillator circuits are shown in Figure 2.

As mentioned before, a nonlinear resistor must be used in the Liénard Oscillator. The microcontroller-based Liénard Oscillator made in this study does not need such a nonlinear resistor, whose nonlinear resistance is an even function of voltage and it has a simpler topology as given in the next section.

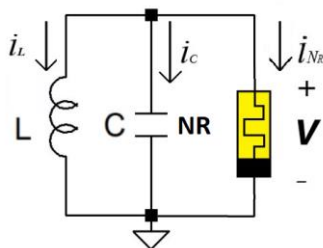
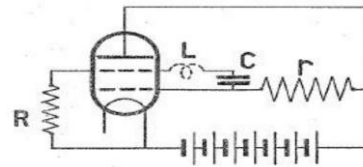
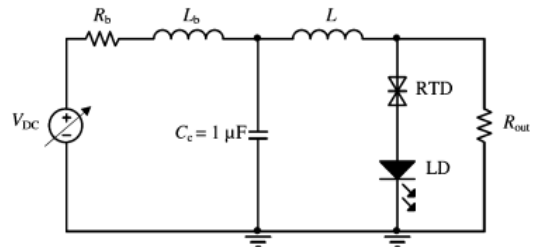


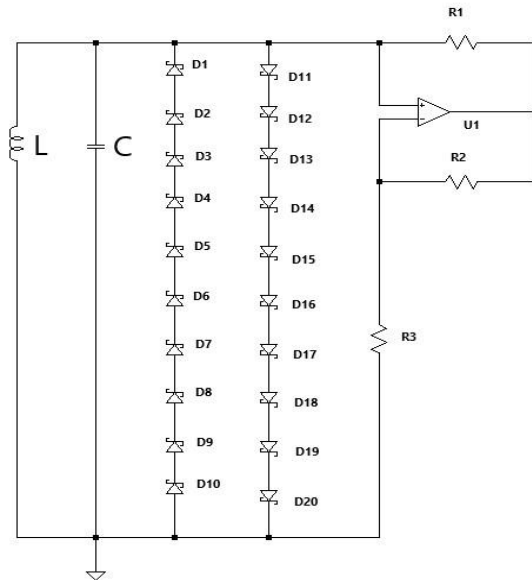
Fig. 1. The generic Liénard Oscillator or the generic Van der Pol Oscillator circuit [9].



(a)



(b)



(c)

Fig. 2. (a) The VDPO made in 1926 [2], (b) A laser-based VDPO oscillator [11], and (c) An Anti-Parallel-Connected Schottky Diode String-Based Van der Pol Oscillator Circuit [13]

3.2. Microcontroller-based Liénard Oscillator

The schematic of the microcontroller-based Liénard oscillator circuit is shown in Figure 3. It consists of the Arduino Nano Klon V3.0 microcontroller, and two DACs. The microcontroller solves the desired state variables of the Liénard equations x_1 and x_2 numerically using Euler method to obtain both $x_1[n]$ and $x_2[n]$ and sends them to the output using the DACs and operational amplifiers as shown in the Figure 3. At the output of the DACs connected to the microcontroller digital output ports for the time interval, $nT_s \leq t \leq (n + 1)T_s$, the state-variables can be expressed as

$$x_1(t) = x_1[n][u(t - (n + 1)T_s) - u(t - nT_s)], \tag{12}$$

$$x_2(t) = x_2[n][u(t - (n + 1)T_s) - u(t - nT_s)], \tag{13}$$

where $u(t)$ is the unit step function.

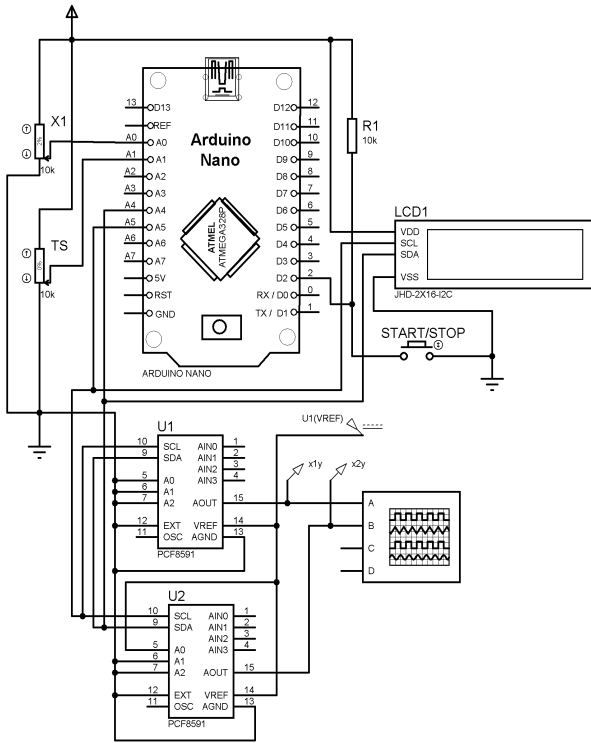


Fig. 3. The Circuit schematic.

4. The Microcontroller Program

The microcontroller is programmed in Arduino IDE 1.8.13. The algorithm of the microcontroller program is given as the flowchart shown in Figure 4.

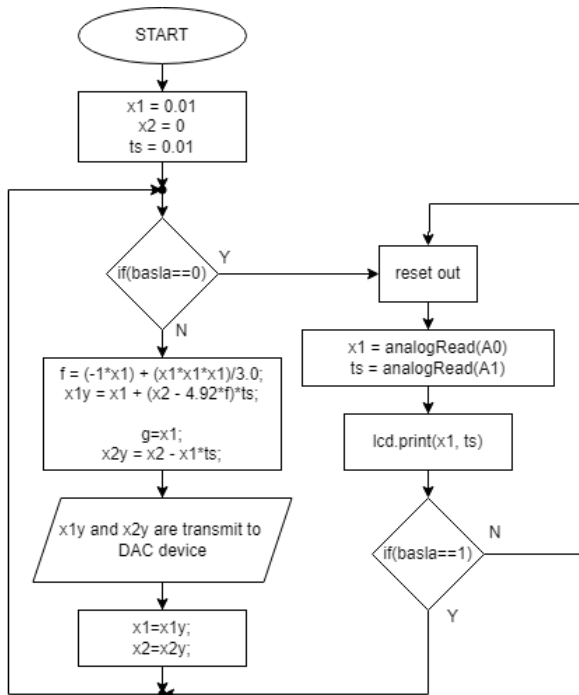


Fig. 4. Flowchart of the VDPO Oscillator Program.

5. The Oscillator Circuit's Simulation in Simulink

The circuit is simulated in Simulink. The Simulink block diagram of the oscillator is shown in Figures 5. x_1 and x_2 state

variables obtained from the Simulink simulation is shown in Figure 6. The waveforms are in periodic steady state. Phase portrait of the oscillator is shown in Figure 7.

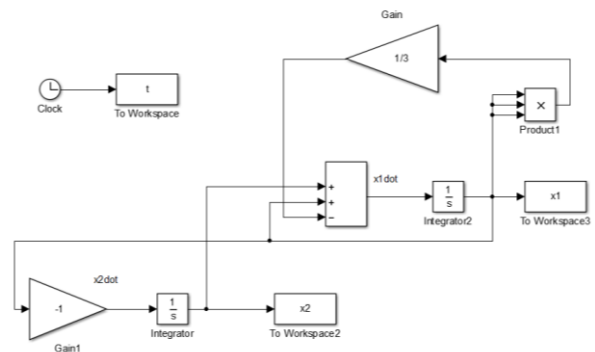
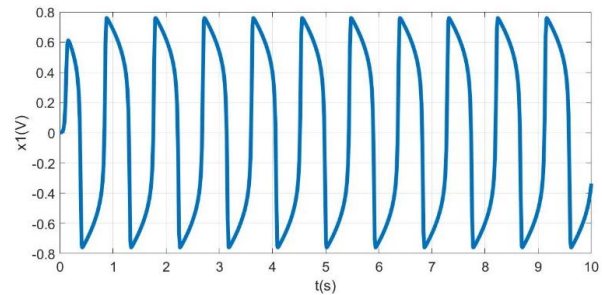
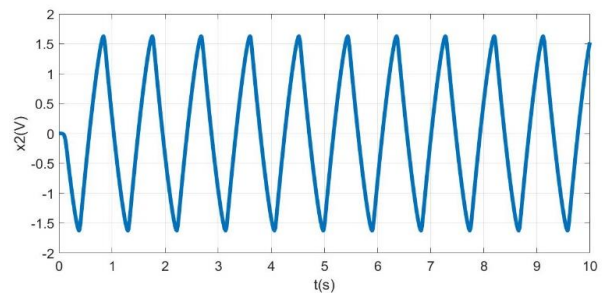


Fig. 5. Simulink block diagram of the Liénard Oscillator.



(a)



(b)

Fig. 6. Time domain waveforms obtained from the Simulink simulation: (a) x_1 and (b) x_2 versus time.

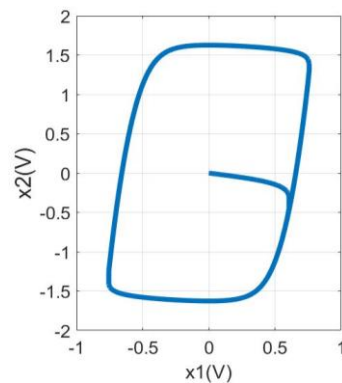


Fig. 7. Phase Portrait of the Oscillator for Van der Pol Equation: x_2 versus x_1 .

6. Experimental Results of the Liénard Oscillator

In this section, the experimental results of the microcontroller-based Liénard Oscillator circuit are given.

The circuit whose photo is shown in Figure 8 has been assembled on a protoboard. The experimental waveforms are acquired by GW Instek GDS-1052-U 50 MHz digital oscilloscope. The experimental time domain waveforms are shown in Figure 9. The phase portrait of the oscillator is shown in Figure 10. As they can be seen from Figures 9 and 10, the experimental results resemble the simulated ones given in Figures 6 and 7. The microcontroller-based Liénard Oscillator is clearly able to produce both of the state variables and performs well. The effect of quantization on the waveforms can be seen in Figures 9 and 10. Increasing the DAC resolutions would result in decreasing the effect of quantization.

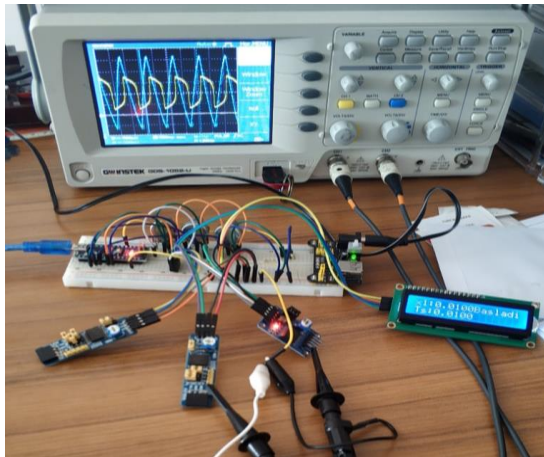


Fig. 8. Photograph of the implemented circuit.

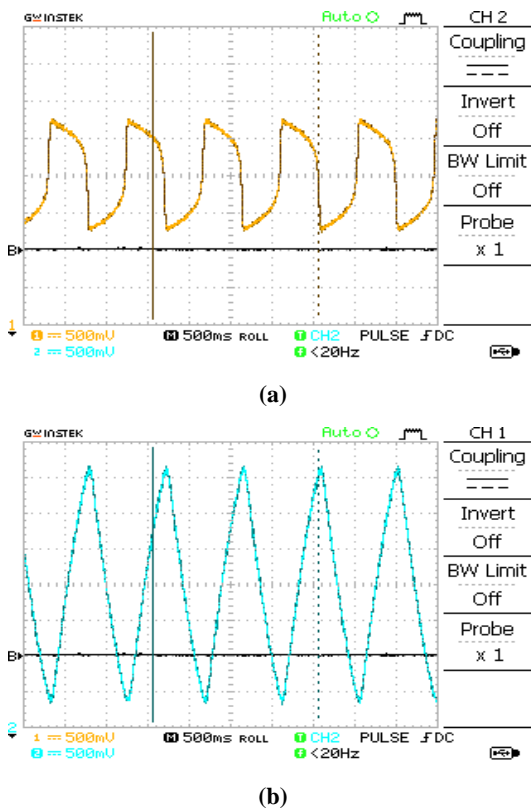


Fig. 9. The experimental state variable waveforms: (a) $x_1(t)$ and (b) $x_2(t)$

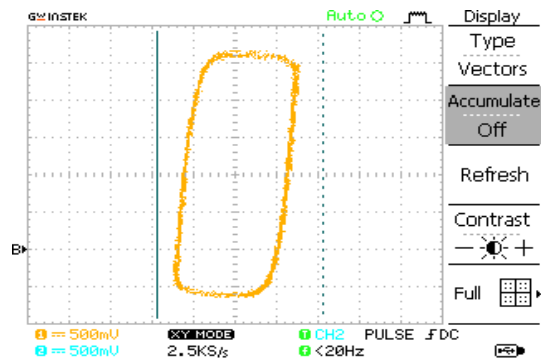


Fig. 10. Experimental Phase Portrait of the Oscillator for Van der Pol Equation: x_2 versus x_1 .

7. Conclusions

In this study, a microcontroller-based Liénard Oscillator is made for the first time in the literature. In this work, a cheap, rugged, easy-to-use microcontroller Arduino Nano Klon V3.0 microcontroller is preferred for this purpose. Liénard System equations are solved with Euler method due to its simplicity. With its DACs, it can produce the state variable signals. The experimental waveforms and the phase portrait are acquired with an oscilloscope. The simulations have confirmed that the circuit operates as a Liénard Oscillator. By modifying its program for different Liénard oscillators, new types of oscillator waveforms can be obtained. The desired equations can be chosen by adding a keypad. By adding potentiometers to make the oscillator parameters adjustable, it can allow examination of the effect of the parameters on the output waveform. The effect of quantization on the waveforms can be reduced using DACs with a higher resolution.

Since the oscillator waveforms are produced in a hybrid way (DDS, direct digital synthesis) not in an analog way, the effect of using different numerical methods such as Euler method and different Runge-Kutta methods on the oscillator system can be inspected. Such an oscillator circuit can also be used in circuit laboratories for educational purposes. Perhaps, in biomedical engineering laboratories since it is an important oscillator circuit to model heart or breathing dynamics.

The coupling of the VDPO or Liénard Oscillators are a hot research area and using a microcontroller-based oscillator circuit for this purpose can make the examination of the coupling of such oscillators easier in the future.

Author Contribution

Formal analysis –Reşat Mutlu (RM); Investigation – RM; Experimental Performance – Ersoy Mevsim (EM); Data Collection RM– EM; Processing – EM; Literature review – RM; Writing – RM, EM; Review and editing – RM, EM;

Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

References

[1] B. van der Pol, “A theory of the amplitude of free and forced triode vibrations”, Radio Review, 1, pp. 701–710, 754–762, 1920.

- [2] J. M. Ginoux, C. Letellier, "Van der Pol and the history of relaxation oscillations: Toward the emergence of a concept", *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 22(2), 023120, 2012.
- [3] B. Van der Pol, LXXXVIII. On "relaxation oscillations", *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2(11), 978- 992, 1926.
- [4] B. van der Pol, "The nonlinear theory of electric oscillations", *Proc. IRE*, 22, pp. 1051–1086, 1934.
- [5] M. L. Cartwright, "I. Van der Pol's Equation for Relaxation Oscillations", In *Contributions to the Theory of Nonlinear Oscillations (AM-29)*, Volume II, Princeton University Press., (pp. 1-18), 2016.
- [6] T. Marios, "Theoretical and Numerical Study of the Van der Pol equation", Dissertation, 2006.
- [7] A. Liénard, "Etude des oscillations entretenues," *Revue générale de l'électricité*, 23, pp. 901–912 and 946–954, 1928.
- [8] J. Gleick, M. Berry, "Chaos-making a new science", *Nature*, 330, 293, 1987.
- [9] S. Ahmad, "Study of Non-linear Oscillations Using Tunnel Diode", Doctoral dissertation, 1962.
- [10] J. Brechtel, X. Xie, P. K. Liaw, "Investigation of chaos and memory effects in the Bonhoeffer-van der Pol oscillator with a non-ideal capacitor", *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 73, 195-216, 2019.
- [11] T. J. Slight, B. Romeira, L. Wang, J. M. Figueiredo, E. Wasige, C. N. Ironside, "A Liénard oscillator resonant tunnelling diode-laser diode hybrid integrated circuit: model and experiment", *IEEE journal of quantum electronics*, 44(12), 1158-1163, 2008.
- [12] T. J. Slight, B. Romeira, L. Wang, J. M. Figueiredo, E. Wasige, C. N. Ironside, "A Liénard oscillator resonant tunnelling diode-laser diode hybrid integrated circuit: model and experiment", *IEEE journal of quantum electronics*, 44(12), 1158-1163, 2008.
- [13] Çakır, K., Mutlu, R., & Karakulak, E. Ters-Paralel Bağlı Schottky Diyot Dizisi Tabanlı Van der Pol Osilatörü Devresinin Modellenmesi ve LTspice ve Simulink Kullanarak Analizi. *EMO Bilimsel Dergi*, 11(21), 81-91.
- [14] Çakır, K., Mutlu, R., Modeling and Analysis of Schottky diode bridge and JFET based Liénard oscillator circuit. DOI: 10.14744/sigma.2022.00082.
- [15] M. Dursun, E. Kaşifoğlu, "Design and implementation of the FPGA-based chaotic van der pol oscillator", *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 2(3), 309-314, 2018.
- [16] Bilgin, S., Üser, Y., & Oktay, M. (2016). Low cost laboratory type signal generator using DDS method. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(4), 59-65.
- [17] Abdullah, A. I., Mohammed, I. A., & AL-Helali, R. A. (2008). Microcontroller-Based Function Generator. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 4(1).
- [18] Yener, S. C., Barbaros, C., Mutlu, R., & Karakulak, E. (2017). Implementation of Microcontroller-Based Memristive Chaotic Circuit. *Acta Physica Polonica A*, 132(3), 1058-1061
- [19] Yener, Suayb Cagri, and Resat Mutlu. "A microcontroller-based ECG signal generator design utilizing microcontroller PWM output and experimental ECG data." *2018 Electric Electronics, Computer Science, Biomedical Engineerings' Meeting (EBBT)*. IEEE, 2018.
- [20] Yener, Ş. Ç., & Mutlu, R. (2019, November). A Microcontroller Implementation of Hindmarsh-Rose Neuron Model-Based Biological Central Pattern Generator. In *2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK)* (pp. 1-4). IEEE.
- [21] Yener, Ş. Ç., Mutlu, R., & Karakulak, E. (2020). Implementation of a Microcontroller-Based Chaotic Circuit of Lorenz Equations. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 8(4), 355-360.
- [22] Karthikeyan, R., Çiçek, S., Pham, V. T., Akgul, A., & Duraisamy, P. (2020). A class of unexcited hyperjerk systems with megastability and its analog and microcontroller-based embedded system design. *Physica Scripta*, 95(5), 055214.
- [23] Karakulak, E., Tan, R. K., & Mutlu, R. (2021). STM32F429 Discovery Board-Based Emulator for Lotka-Volterra Equations. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(3), 1887-1895.
- [24] Usta, B. N., Tepeyurt, B., & Karakulak, E. (2021, October). Simple Synthetic ECG Generation via PWM Output of Microcontroller. In *2021 5th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)* (pp. 27-30). IEEE.
- [25] Karakulak, E., ARM MCU-Based Experimental EEG Signal Generator Using Internal DAC and PWM Outputs. *Gazi University Journal of Science*, 35(3), 886-89

Research Article

System Engineering-Based Conceptual Design of Indoor Navigation System of Unmanned Aerial Vehicles

Mert PAŞAOĞLU^{1,a} , Muhammet Fatih CANSEVEN^{1,b,1} ,
Harun Berk İŞİK^{1,c} , Deniz Gül DEMİR^{1,d} , Ufuk SAKARYA^{1,e} 

¹ YILDIZ Technical University, Faculty of Applied Sciences, Department of Aviation Electrics and Electronics, İstanbul, Republic of Türkiye, 34220

^amert.pasaoglu@std.yildiz.edu.tr, ^bfatih.canseven@std.yildiz.edu.tr, ^cberk.isik@std.yildiz.edu.tr, ^dgul.demir@std.yildiz.edu.tr
^eusakarya@yildiz.edu.tr

Geliş: 29.11.2022

Kabul: 29.12.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1211750

Abstract: Unmanned aerial vehicles (UAVs) have become important day by day because of advantages in our life use cases; specially, they can play important role in the industry 4.0 concept such as automation in production plants. System engineering approach is planning the design and production phases. Every system, subsystem, component, or mission of the systems are investigated before project starts and each requirement is set. The investigation of compatibility between systems and products minimizes the risks during the production phases. This paper proposes the usage of system engineering approach to the conceptual design of an UAV navigation system which aims to be used in indoor environments. In order to provide autonomous indoor flight, system requirements are set by using system engineering approach. Then step by step, the basic functions that UAV needs to complete operation are specified. The required products are listed as a tree and the relation between products and functions are investigated. Thus, the conceptual design of the UAV indoor navigation system is demonstrated by using of the functional tree, the functions and product relation matrix, the product tree, and the use cases. Moreover, the system operational requirements are investigated, and the requirement operation phases, modes and use cases are also determined. Thanks to system engineering, all these complex systems are put together systematically, and the conceptual design is achieved.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Indoor Navigation, System Engineering, Functional Analysis.

İnsansız Hava Araçları İçin İç Mekan Seyrüsefer Sisteminin Sistem Mühendisliği Tabanlı Konsept Tasarımı

Öz: İnsansız hava araçları (İHA'lar) hayatımızdaki kullanım durumlarında sağladığı avantajlar nedeniyle gün geçtikçe önem kazanır hale gelmiştir; özellikle üretim tesislerindeki otomasyon gibi endüstri 4.0 konseptinde önemli rol oynayabilirler. Sistem mühendisliği yaklaşımı, tasarım ve üretim aşamalarının planlanmasıdır. Sistemlerin her sistemi, alt sistemi, bileşeni veya görevi proje başlamadan önce incelenir ve her gereksinim belirlenir. Sistemler ve ürünler arasındaki uyumluluğun araştırılması, üretim aşamalarındaki riskleri en aza indirir. Bu makale, kapalı ortamlarda kullanılması amaçlanan bir İHA navigasyon sisteminin kavramsal tasarımında sistem mühendisliği yaklaşımının kullanılmasını önermektedir. Otonom iç mekan uçuşunu sağlamak için sistem mühendisliği yaklaşımı kullanılarak sistem gereksinimleri belirlenir. Daha sonra adım adım İHA'nın operasyonunu tamamlaması için ihtiyaç duyduğu temel fonksiyonlar belirlenir. İhtiyaç duyulan ürünler bir ağaç halinde listelenir ve ürünler ile fonksiyonlar arasındaki ilişki araştırılır. Böylece fonksiyonel ağaç, fonksiyonlar ve ürün ilişkisi matrisi, ürün ağacı ve kullanım durumları kullanılarak İHA iç mekan navigasyon sisteminin kavramsal tasarımı gösterilmiştir. Ayrıca, sistem işletim gereksinimleri araştırılır ve gereksinim işletim aşamaları, modları

¹ Corresponding author

E-mail address: fatih.canseven@std.yildiz.edu.tr (M.F. Canseven)

This article was presented at 4th International Congress on Applied Sciences, Engineering and Mathematic (ICASEM)

ve kullanım durumları da belirlenir. Sistem mühendisliği sayesinde tüm bu karmaşık sistemler sistematik bir şekilde bir araya getirilerek kavramsal tasarıma ulaşılır.

Anahtar Kelimeler: İnsansız Hava Aracı, İç Mekan Seyrüsefer, Sistem Mühendisliği, Fonksiyonel Analiz.

1. Introduction

Unmanned aerial vehicles (UAVs) have become important day by day because of advantages in our life use cases. Specially, they can play important role in the industry 4.0 concept such as automation in production plant.

Today, many studies are carried out to ensure the navigation of unmanned aerial vehicles, which we encounter in every field, by using Image Processing and IMU (Inertial Measurement Unit) sensors. There are problems that come with this need, which is generally encountered in cases where there is no or decreased GNSS (Global Navigation Satellite System) signals. IMU sensors need an integration process to convert the data obtained from the sensor into velocity and position data. However, the fact that the data coming to the sensor is noisy. This noise could be due to a variety of factors, including uncertain effects such as interference, temperature changes, or mechanical vibrations. It causes this noise to integrate over time and causes measurement drifts that increase over time. Image processing-based approaches, by providing an additional source of information about the motion of the system, fused with IMU measurements to prevent these drifts. These systems are based generally on Visual Odometry (VO) or Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) techniques, the images obtained from the cameras are used to reduce the error in IMU sensor measurements with the help of different algorithms.

Unmanned aerial vehicles (UAV), which have been developing rapidly from the past to the present, are frequently used for both military and civilian purposes today. In addition to being used in the military for intelligence, surveillance, and attack missions, they are also used for civilian purposes such as image collection, observation of a geographical area, data collection and hobby purposes.

UAVs with such widespread use and expected to form the backbone of the armies of the future can be managed by an operator and might have autonomous flight capability. Unmanned aerial vehicles, which are preferred to fly more autonomously, need to know their position, speed, and rotation to perform the tasks they need to do. This is where navigation systems come into play.

Navigation systems are primarily based on the Inertial Measurement Units (IMUs) they contain onboard. These sensors contain at least 3 accelerometers and 3 gyros to measure the acceleration and angular velocities of the UAV. Position and velocity are measured by integrating the acceleration data obtained from the IMU sensor. However, at this point, a problem called drift error arises due to the noisy sensor measurements. Although our drift error is small since it will increase continuously during the integration process, the margin of error in our measurements will increase over time, causing us to guess our position incorrectly and might be

resulting in accidents. GNSS signals, altimeters, cameras, laser rangefinders are frequently used together with IMUs to reduce the amount of increasing error to make accurate measurements.

The prevalence and low margin of error of the GNSS satellite network will make it the number one choice. However, in cases where GNSS signals are insufficient to reach closed environments, weaken or even disappear due to environmental effects, it will no longer be an option to reduce the errors in IMU sensors. Cameras are generally used to overcome this problem. Different image processing techniques continue to be developed by researchers for camera navigation systems consisting of a combination of one or more cameras.

IMU sensors cause increasing drift over time. However, their high sampling rate makes them stand out as the first choice for navigation. On the other hand, although image-based navigation systems do not cause a problem such as drift, they are not a standalone choice due to the high processing power required for image processing and their low sampling rate.

These two systems used together by sensor fusion algorithms to eliminate the disadvantages of both systems. Researchers mainly focused on two techniques for navigation with IMU and image processing-based navigation systems studies. These two techniques are: 1. Visual Odometry [1,2,3]. 2. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) [4,5,6,7,8,9].

Visual odometry is a process that detects the differences between sequential images obtained by cameras and converts these differences into position and velocity information by image processing algorithms. It is usually [3] performed by following these 6 steps:

1. Image acquisition (by a single camera, stereo cameras, omnidirectional cameras)
2. Correction of image distortions caused by external factors.
3. Extraction of the features of objects in the images.
4. Extraction of optical flow vectors from the extracted features.
5. Estimation of the position and speed of the vehicle used via optical flow vectors.
6. Updating the old estimations and repeating the whole process according to the newly acquired estimations.

With this process, the position of the aircraft can be found, and the velocity of the vehicle can be estimated due to the change in position over time. Therefore, it can correct the errors that occur in the IMU sensors.

Unlike visual odometry, in the SLAM technique, a live map of the current environment is created with the cameras on the vehicles. The position of the vehicle is determined by the

changes in the live map. The biggest challenge of the SLAM technique, which was introduced by H. Durrant Whyte [4] in 1996, is that it needs an accurate map for localization, and it needs accurate position estimations for mapping. However, different techniques have been developed to overcome this difficulty.

The SLAM technique is performed by following the steps below[3]:

1. First, the initial position of the vehicle is determined as the starting point, or an estimate is made with high uncertainties on a map with some predetermined features.
2. When the vehicle starts to move, new predictions are made through state estimation algorithms (mostly Kalman Filter algorithms are used) and the position of the vehicle is tried to be found.
3. The map is updated through the newly obtained images. And new features obtained by comparing them with previously known features. These features can include points, lines, corners, or other structures that are distinct and easily recognizable. Comparison can be made by feature matching, feature tracking, determining certain geometric metrics, etc.
4. At the end, the 2nd and 3rd steps are repeated continuously, allowing the vehicle to map its environment.

In the SLAM technique, position estimation can be made with increasing accuracy by increasing the accuracy of the live map over time. The SLAM technique is generally seen as a visual and LIDAR SLAM.

In both mentioned techniques, the Kalman Filter [7] is frequently used as the state estimation algorithm. The Kalman filter is an algorithm that provides to reduce the error rate of noisy and erroneous measurements obtained from different sensors by using the mathematical model of the vehicle and to predict the input and output states of the vehicle which is used in. In the algorithm, the estimation is made first. Then, according to this estimate, the differences between the actual observation and the observation obtained by the predictions are calculated. According to the resulting state error, the predicted state is updated. The Kalman filter can be used in linear systems. However, in more complex, nonlinear systems, the Extended Kalman Filter (EKF) and the Unscented Kalman Filter (UKF) are preferred to avoid linearization-related problems.

Image processing systems, which require high processing power, have become one of the main work areas of researchers for navigation, as high processing power has begun to be obtained with small dimensions. Among these researchers, Omead Amidi [1] made the position estimation of an unmanned helicopter with the visual odometry technique he designed in 1994. This technique was then developed by the fusion of different sensors and cameras among researchers.

Bryce Ready [2] combined the visual odometry method with GPS measurements and tested it on micro aerial vehicles (MAVs). In the study using the iterative closest point method, results with over margin of error were obtained unlike Omead Amidi [1]. The results of the study were verified by comparing the estimations with the data obtained from the flight log of

MAV.

Stereo cameras were used in Amidi's [1] and Bryce's [2] work. The requirement to calibrate the stereo cameras before the flight is an extra problem in large-scale applications. To overcome this problem, Chaoeli Wang [8] used the advantages of monocular cameras (accuracy, scalability, low-cost calculations) overusing a stereo camera and suggested obtaining image depth feature through ultrasonic or barometric altitude sensors. He tested and verified the algorithm with a model helicopter.

Evan Anderson et al. [9] has also developed a new generation algorithm using VO with GPS/IMU, which requires less computational power compared to the high computational power required by the method used by Bryce B Ready [2]. In the application using UKF, the measurements obtained from the IMU sensors were fused with the measurements obtained by the VO method, and the results obtained were tested and verified on the simulation.

In their paper, Rafik Mebarki et al. [10] propose two methods for estimating the translational velocity of unmanned aerial vehicles (UAVs) using only onboard sensing. The first method is a nonlinear observer designed using Lyapunov synthesis, while the second is based on the unscented Kalman filtering technique. Both methods use spherical images and inertial measurement unit (IMU) data to estimate the velocity without the need to fully estimate the 3D pose of the vehicle, making them suitable for use in UAV systems where computational resources may be limited. The authors demonstrate the effectiveness of these methods using experimental results, and plan to use the estimated velocity as feedback to control the UAV in both indoor and outdoor environments. In future work, the authors plan to use the Shi-Tomasi algorithm to detect natural corners in images, rather than artificial circular landmarks, and to employ two onboard cameras to improve the accuracy of velocity estimation.

S. Rady [11] presents a vision-based approach for localizing an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV) in the event of GPS failure. The approach consists of constructing a hybrid map using reduced features obtained through information-theoretic analysis, which are represented by local descriptors with metric positions. The UAV is then localized using the map on two scales: a fast and coarse topological location is identified based on image features and local descriptor matches, while a precise metric position is estimated based on the topological location and the metric positions of the features. The approach offers a combination of accuracy and computational efficiency for UAV localization in emergency situations.

Daniel Megree [12] has designed a SLAM with IMU based navigation system that can work both simultaneously and independently by combining Visual SLAM and Laser Slam techniques. It was aimed to eliminate the problematic aspects of both methods. Testing and validation of the system were done on a quadcopter system. In the tests performed, both SLAM methods were tested both separately and together.

With EU funding, a micro drone swarm project based on image-based control was created by Markus Achtelik et al. [13]. The project aims to produce 3D maps of unknown

environments with a swarm of autonomously flying drones. Then, with the maps obtained, the second purpose is to determine ideal points for surveillance and to locate the surrounding radio stations with the radio transceivers they carry. In the tests performed in 3 steps, in the first step, a 3D map of a disaster area was created with the maps obtained by 3 unmanned aerial vehicles. Then, unmanned aerial vehicles were sent to the points specified on the maps obtained. In the last stage, they warned people who might be affected by the disaster with the radio transmitter they carried. In this project, the position estimation of the UAVs was obtained by the fusion of SLAM and IMU sensors.

In his research, Gianpaolo Conte [14] investigated that the errors in the data obtained with the VO and IMU sensors can be compensated in the absence of GPS with geo-referenced satellites and aerial images. In the research where the Kalman filter is used for sensor fusion, it has been revealed that aerial images or geo-referenced satellites can be used to compensate for errors in the navigation system. The system has been tested and verified on the commercial Yamaha RMAX model helicopter.

In his study using the SLAM technique, William Power [15] provided the data obtained from hundreds of previous flights to be taught to the aircraft by using the structured learning technique and provided a more accurate position estimation in the absence of GPS signal of unmanned aerial vehicle swarms.

In brief, it is presented the different navigation methods by using image processing and IMU sensor measurements. There are generally two approaches in studies. However, it is seen that the visual odometry method is more preferred since it does not spend extra resources to map the environment. In the future, we will see navigation systems that can make more precise predictions with the developing machine learning technology.

System engineering approach is planning the design and production phases. Every system, subsystem, component, or mission of the systems are investigated before project starts and each requirement is set. The investigation of compatibility between systems and products minimizes the risks during the production phases. Functional analysis is an important solution approach for conceptual design of a complex system [16].

In this paper, the system engineering approach is discussed in two topics: Mission analysis and functional analysis. The mission analysis investigates how the operation will be continued, which functions do the system needs. The functional analysis investigates what the needs execute the functions. Image-based navigation systems have designed to use at places where GNSS is not available. A main problem is choosing the references to measure movement because the positioning needs to a reference point to calculate where the object is in a decided coordinate system. For GNSS applications, these references are satellites, and the movement of object is calculated depending on the satellites. To find a reference, indoor navigation systems use different sensors to detect environment and find visual or perceptible references to calculate previous and instant positions. After customer needs are determined, the system requirements can be set. The requirements can be handled into two parts: “Phase and

Modes” and “Operational Specifications”. This paper proposes the usage of system engineering approach to the conceptual design of an UAV navigation system which aims to be used in indoor environments. To provide autonomous indoor flight, system requirements are set by using system engineering approach. Then step by step, the basic functions that UAV needs to complete operation are specified. The

required products are listed as a tree and the relation between products and functions are investigated. Thus, the conceptual design of the UAV indoor navigation system is demonstrated by using of the functional tree, the functions and product relation matrix, the product tree, and the use cases. Moreover, the system operational requirements are investigated, and the requirement operation phases, modes and use cases are also determined. Thanks to system engineering, all these complex systems are put together systematically, and the conceptual design is achieved.

System engineering approach is planning the design and production phases. Every system, subsystem, component, or mission of the systems are investigated before project starts and every requirement are set. The requirements and the investigation of compatibility between systems and products minimizes the risks during the production phase. This paper, the system engineering approach discussed in two topics: Mission Analysis and Function Analysis. The main purpose of the separation to these two topics is the Navigation System project has an operational usage. Mission Analysis investigates how the operation will be continued, which functions do the system needs and the Function Analysis investigates what are the needs to execute the functions. The work path will be followed is given in the Figure 1. In this article the related drawings are obtained by using UML language with PLANTUML [17]. Therefore, all designs are implemented by a standard approach using programming language, that is PLANTUML [17].

The preliminary version of the proposed system engineering-based approach is presented at [18]. The rest of the article is organized as follows. The next section introduces the proposed conceptual design. In the last section, some comments and future directions are given.

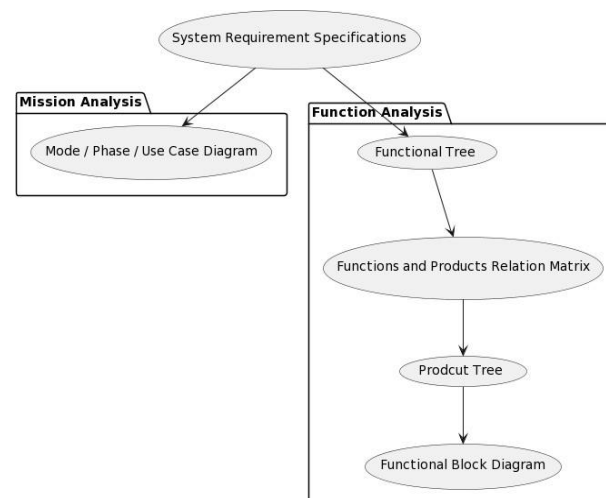


Fig. 1. The Work Path of System Design.

2. System Engineering-Based Conceptual Design

A system engineering approach to the conceptual design of a navigation system involves the following steps:

1. Define the problem: Identify the needs and requirements of the system, such as the intended environment, the performance goals, and the constraints on the system.
2. Define the requirements: Specify the detailed requirements for the system, including performance, reliability, and other characteristics that must be satisfied.
3. Development of a conceptual design: Create a high-level design of the system that meets the identified needs and requirements. This design should consider the overall architecture of the system, the sensors and other components that will be used.

Since the problem already defined, the required phases and modes are given as follows:

SRS-RPM-1 The system shall have a “Pre-mission” phase which includes “Device Off” and “Initialization” use cases.

SRS-RPM-2 The system shall have a “mission” phase which provides operational sustainability and includes “Sensor Degradation” use case.

SRS-RPM-3 The system shall have a “post-mission” phase which allows the flight data logging and prepares the vehicle to maintenance.

In the conceptual design, the required Operational specifications are given as follows:

SRS-ROS-1 System shall not include GPS. The system will be

used in indoor operations.

SRS-ROS-2 The system shall work with at least 15cm precision.

SRS-ROS-3 The system shall be able to continue its operation in one sensor loss by using other sensors.

SRS-ROS-4 The system should deactivate itself in the case of multiple sensor loss.

SRS-ROS-5 The system must perceive the obstacles around and must be avoid them.

SRS-ROS-6 The system should map the environment while flying.

SRS-ROS-7 The system shall send live telemetry data to operator or ground control.

SRS-ROS-8 The system shall keep the flight logs into its storage, and they can be accessible after the flight.

Phase / Mode / Use Case Diagram of The System is given in Figure 2. There are totally 3 phases: Pre-mission phase, mission phase and post mission phase. Totally 12 use cases and 8 modes. The detail design of these use cases are not in the scope of this article. In the functional analysis, at first functional tree is designed and it is given in Figure 3. According to the basic functions each representative product or products are selected, and the Function and Product Relation Matrix of The System is constructed. It is given in Figure 4. After that, the Product Tree of The System is obtained using the Function and Product Relation Matrix of The System. It is given in Figure 5. The Connection Matrix between Components and the Functional Block Diagram of The System are constructed by using completed designs.

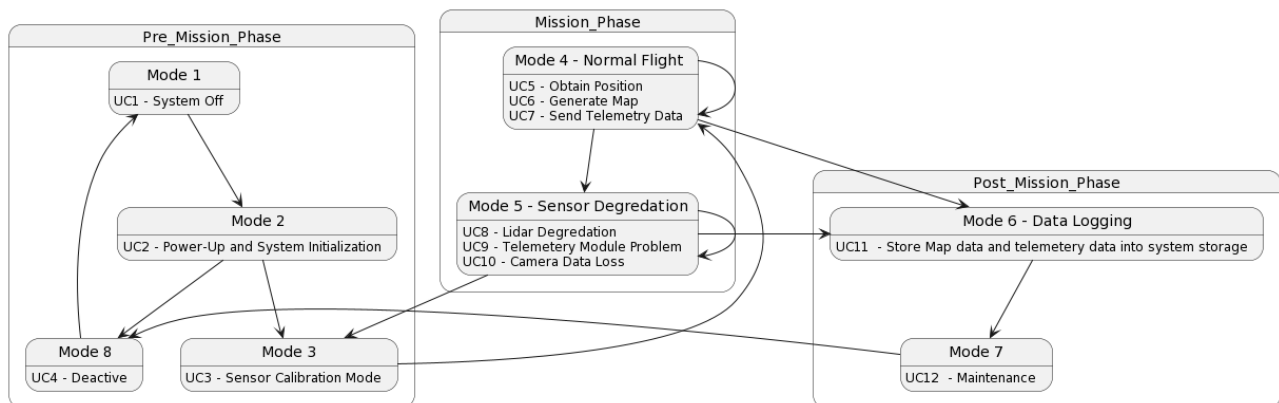


Fig. 2. Phase / Mode / Use Case Diagram of The System.

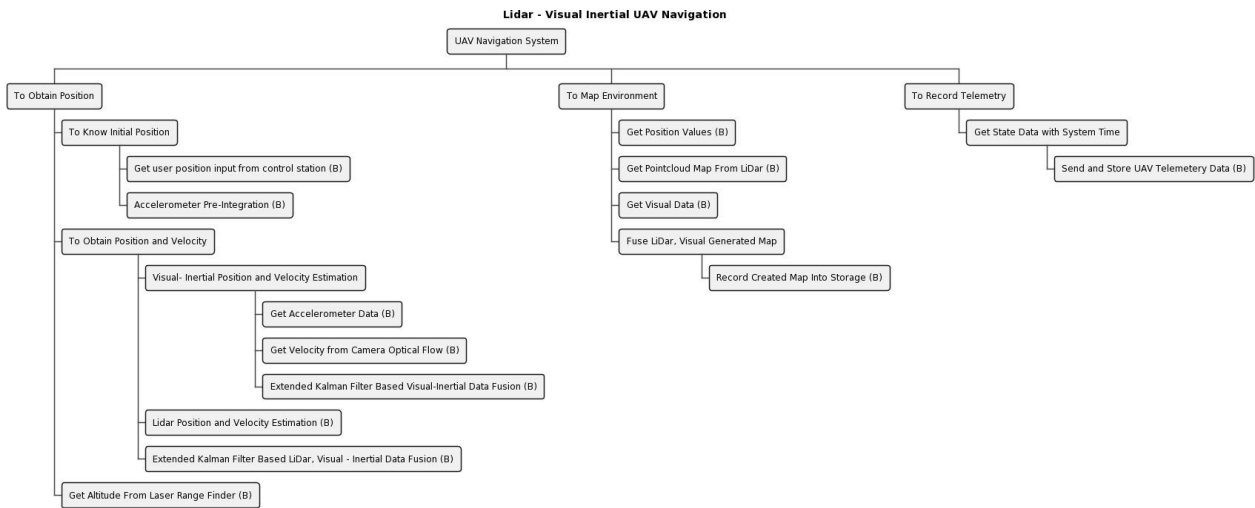


Fig. 3. Function Tree of The System.

		Basic Functions											
		Send and Store Telemetry Data	Record Created Map Into Storage	Get Visual Data	Get Pointcloud Map From LiDar	Get Position Values	Get Altitude From ToF Sensor	EKF Based LiDar, Visual, Inertial Data Fusion	LiDar Position Velocity Estimation	EKF VI Data Fusion	Get Velocity from Camera Optical Flow	Get Acceleration Values	Accelerometer Pre-Integration
Basic Components	Accelerometer Component							✗		✗		✗	✗
	Camera Component			✗				✗		✗	✗		
	LiDar Component				✗			✗	✗				
	Microprocessor Fusion Component					✗		✗		✗			
	ToF Sensor Component						✗						
	Telemetry Component	✗											
	Storage Component	✗	✗										

Fig. 4. Function and Product Relation Matrix of The System

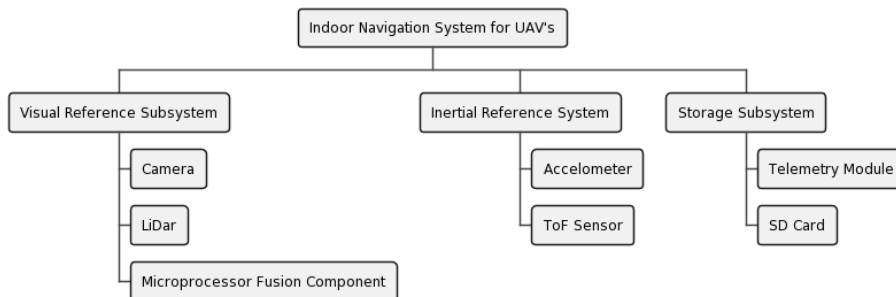


Fig. 5. Product Tree of The System

	Accelerometer Component	Camera Component	LiDar Component	Microprocessor Fusion Component	ToF Sensor Component	Telemetry Component	Storage Component
Accelerometer Component		✗	✗	✗			
Camera Component	✗		✗	✗			
LiDar Component	✗	✗		✗			
Microprocessor Fusion Component							
ToF Sensor Component				✗			
Telemetry Component				✗			✗
Storage Component				✗		✗	

Fig. 6. Connection Matrix between Components

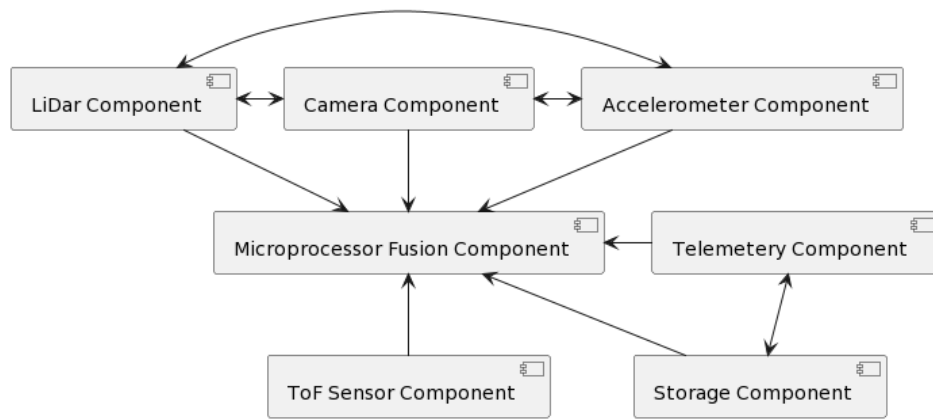


Fig. 7. Functional Block Diagram of The System

3. Conclusions and Future Directions

This article proposed the usage of system engineering approach to design an UAV navigation system which aims to be used in indoor environments. To provide autonomous indoor flight, system requirements are set by using system engineering approach. Then step by step, the basic functions that UAV needs to complete operation are specified. Required products are listed as a tree and the relation between products and functions are investigated. On the other hand, the systems operational requirements are investigated, and the requirement operation phases, modes and use cases are determined. Thanks to system engineering, all these complex systems get put in together systematically and the conceptual design done.

In this paper, LiDAR and camera systems are used to meet requirements but for future works, Wi-Fi based localization systems or visual references like QR codes [19] can be used to provide innovative solutions as references to coordinate systems. Also, these features can have some functions as maintaining cooperative working of unmanned systems

Author Contribution

Each author made an equal contribution.

Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Kaynaklar

- [1] Amidi, O., Mesaki, Y., & Kanade, T. (1994, March). Research on an autonomous vision-guided helicopter. In NASA. Johnson Space Center, Conference on Intelligent Robotics in Field, Factory, Service and Space (CIRFFSS 1994), Volume 2 (No. AIAA PAPER 94-1240-CP).
- [2] Ready, B. B. and Taylor, C. N. (2007). "Improving Accuracy of MAV Pose Estimation using Visual Odometry," American Control Conference, 2007, pp. 3721-3726, doi: 10.1109/ACC.2007.4283137.
- [3] D. Scaramuzza and F. Fraundorfer, "Visual Odometry [Tutorial]," in IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 18, no. 4, pp. 80-92, Dec. 2011, doi: 10.1109/MRA.2011.943233.
- [4] Durrant-Whyte H., Rye D., NebotE. (1996). Localization

of Autonomous Guided Vehicles. In: Giralt G., Hirzinger G. (eds) Robotics Research. Springer, London. doi: 10.1007/978-1-4471-1021-7_69

[5] H. Durrant-Whyte and T. Bailey, "Simultaneous localization and mapping: part I," in IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 13, no. 2, pp. 99-110, June 2006, doi: 10.1109/MRA.2006.1638022.

[6] T. Bailey and H. Durrant-Whyte, "Simultaneous localization and mapping (SLAM): part II," in IEEE Robotics & Automation Magazine, vol. 13, no. 3, pp. 108-117, Sept. 2006, doi: 10.1109/MRA.2006.1678144.

[7] Kim, Y., & Bang, H. (2018). Introduction to Kalman Filter and Its Applications. In (Ed.), Introduction and Implementations of the Kalman Filter. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.80600

[8] Wang, C., Wang, T., Liang, J., Chen, Y., and Wu, Y., (2012). "Monocular vision and IMU based navigation for a small, unmanned helicopter," 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), pp. 1694-1699, doi: 10.1109/ICIEA.2012.6360998.

[9] Andersen, E. D., and Taylor, C. N., (2007). "Improving MAV pose estimation using visual information," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007, pp. 3745-3750, doi: 10.1109/IROS.2007.4399563.

[10] Mebarki, R, Cacace, J., and Lippiello, V., (2013). "Velocity estimation of an UAV using visual and IMU data in a GPS-denied environment" IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR), pp. 1-6, doi: 10.1109/SSRR.2013.6719334.

[11] Rady, S., Kandil A.A., and Badreddin, E., (2011). "A hybrid localization approach for UAV in GPS denied areas," IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 211, pp. 1269-1274, doi: 10.1109/SII.2011.6147631.

[12] Magree, D., and Johnson, E. N. , (2014). "Combined laser and vision-aided inertial navigation for an indoor unmanned aerial vehicle," 2014 American Control Conference, pp. 1900-1905, doi: 10.1109/ACC.2014.6858995.

[13] Achtelek et al., (2012). "SFly: Swarm of micro flying robots," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2012, pp. 2649-2650, doi:

10.1109/IROS.2012.6386281.

[14] Conte, Gianpaolo and Patrick Doherty. "An Integrated UAV Navigation System Based on Aerial Image Matching." 2008 IEEE Aerospace Conference (2008): 1 - 10. doi: 10.1109/AERO.2008.4526556.

[15] Power W., Pavlovski M., Saranovic D., Stojkovic I., Obradovic Z. (2020). Autonomous Navigation for Drone Swarms in GPS-Denied Environments Using Structured Learning. In: Maglogiannis I., Iliadis L., Pimenidis E. (eds) Artificial Intelligence Applications and Innovations. AIAI 2020. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 584. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-49186-4_19

[16] Viola, N., Corpino, S., Fioriti, M. and Stesina, F., (2012). "Functional Analysis in Systems Engineering: Methodology and Applications", in Systems Engineering - Practice and

Theory. London, United Kingdom: IntechOpen, [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/32617> doi: 10.5772/34556

[17] PLANTUML, (2022). <https://plantuml.com/>, Acces Date: 23 Oct. 2022.

[18] Paşaoğlu, M., Canseven, M.F., Işık, H.B., Demir, D.G., Sakarya, U., (2022). "System Engineering Approach to an Indoor Navigation System of Unmanned Aerial Vehicles", ICASEM 4th International Congress of Applied Sciences, Engineering and Mathematics, Tekirdağ , Türkiye, October 20-23.

[19] Sanal, A., & Öztürkoğlu, Y. (2018). "Evaluation of usage and application areas of QR codes in service industry", Business & Management Studies: An International Journal, 5(4), 172–189. doi: 10.15295/bmij.v5i4.180.

Derleme Makalesi

Flok Üretimi, Karşılaşılan Hatalar ve Çözüm Önerileri

Neslihan Ergin^{1,a} , Pelin Gürkan Ünal^{1,b*} 

¹ Tekstil Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860
^aneslihan.ergin@cantekstil.com.tr, ^bpgunal@nku.edu.tr

Geliş: 17.11.2022

Kabul: 29.12.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1206525

Öz. Flok, 0,3-5 mm uzunluğunda ve 1,2-28 dtex inceliğine sahip olan kesik elyafıdır. Flok, süet kumaş üretiminde, döşemelik kumaş, halı üretimi, giysilik, ayakkabı ve çanta üretimi, otomotiv sektörü, paketlenme, kâğıt, karton, oyuncak vb. gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Flok üretildikten sonra floklama işlemine geçilir. Floklama işlemi ise, küçük elyaf parçacıklarının yapışkan kaplı yüzeylere saplanması ve sabitlenmesi işlemidir. Bu işlem esnasında nem miktarı, iletkenlik, elektrostatik alandaki uçma süresi ve topak miktarı gibi proses parametreleri, flok kalitesini etkileyen önemli parametrelerdir. Flok, farklı elyaf kullanarak yapılabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında flok üretimi bağlamında ayrıntılı bir literatür çalışması gerçekleştirilmiştir. Flok üretiminde önemli olan parametrelerden bahsedilmiş ve üretim sürecinde sık karşılaşılan problem ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Flok, hata, süet, poliamid, poliester, üretim.

Flock Production, Encountered Problems and Solution Suggestions

Abstract: Flock is a staple fiber with a length of 0.3-5 mm and a fineness of 1.2-28 dtex. Flock is used in many fields such as suede, upholstery fabric, carpet production, clothing, shoes and bags, automotive industry, packaging, paper, cardboard, toys, etc. After the flock is produced, the flocking process is started. The flocking process, on the other hand, is the process of sticking and fixing small fiber particles onto adhesive-coated surfaces. During this process, process parameters such as the amount of moisture, conductivity, volatility in the electrostatic field and the amount of clustering are the most important parameters affecting the flock quality. Flock can be made using different fibers.

Within the scope of this study, a detailed literature study was carried out in the context of flock production. The parameters that are important in flock production are mentioned and common problems and solution suggestions are presented in the production stages.

Keywords: Fault, flock, polyamide, polyester, production, suede.

1. Giriş

Flok, 0,3-5 mm uzunluğunda ve 1,2-28 dtex inceliğine sahip olan kesik elyafıdır. Flok, süet kumaş üretiminde, döşemelik kumaş, halı üretimi, giysilik, ayakkabı ve çanta üretimi, otomotiv sektörü, paketlenme, kâğıt, karton, oyuncak vb. gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Flok üretildikten sonra floklama işlemine geçilir. Floklama işlemi ise, küçük elyaf parçacıklarının yapışkan kaplı yüzeylere saplanması ve sabitlenmesi işlemidir. Bu işlem esnasında nem miktarı, iletkenlik, elektrostatik alandaki uçma süresi ve topak miktarı

gibi proses parametreleri, flok kalitesini etkileyen en önemli parametrelerdir. Flok, farklı elyaf kullanarak yapılabilmektedir. Döşemelik kumaş sektöründe kullanılan süet kumaş için en uygun flok, PA 6.6 elyafı ile üretilmektedir. Nem çekme özelliği, tuşesi, boyanabilirliği ve statik elektriklenmesi oldukça iyi olan PA 6.6 için olumsuz olan tek parametre maliyetli oluşudur. PA 6'nın da nem çekme, statik elektriklenme ve tuşe özellikleri iyi olsa da yaş haslıkları süet kumaş için yetersiz görülmektedir. Aynı zamanda PA 6'nın erime noktası daha düşük olduğu için fikse işlemi esnasında

*Sorumlu yazar

E-mail adres: pgunal@nku.edu.tr (P. Gürkan Ünal)

yüksek sıcaklıklara çıktığı için elyafta bozunmalar meydana gelmektedir. PES elyafından üretilen floklar ise daha çok otomotiv sektöründe kullanılmakta olup tuşesi, nem çekmesi ve kumaş üzerine sabitlenmesi çok iyi olmamaktadır. Elyafın statik elektriklenme özelliği kazanması, elyafın nem tutabilme özelliğiyle de doğru orantılıdır. Yani PES liflerinden üretilmiş olan floklara göre, PA liflerinden üretilen flokların daha iyi olmasının en önemli sebeplerinden birisi de PA liflerinin nem tutabilme özelliğinin PES liflerine göre daha iyi olmasından kaynaklanmaktadır. Poliester, dış mekân kullanımı için idealdir, ancak geri toplama özelliği açısından sınırlı bir dirence sahiptir. Aynı zamanda PES liflerinin yapısı gereği düzgün kesilememesi ve giyotin makinasının bıçaklarında körelmelere sebep olduğu da bilinmektedir.

Tüketici beklentilerini karşılayacak kumaş tutumu, uzun süre dayanım gibi özelliklere sahip kumaşlara talep her geçen gün artmaktadır. Bununla birlikte bitmiş ürüne katma değer sağlayacak özelliklerin de kumaşlara uygulanması istenmektedir. Bu noktada floklu kumaşlar talepleri karşılamada önemli bir yer tutar. Dokuma ve örme kumaşlara nazaran dayanımları daha fazladır. Flok üretimi bir çeşit teknik tekstil olduğu için diğer üretim yöntemlerine göre farklı hata türleri ile karşılaşılır.

Literatüre bakıldığında flok üretim süreci ve ürün özelliklerine dair çok fazla çalışma ile karşılaşılmamaktadır. Coldwell ve Solomon, yaptıkları çalışma kapsamında, proses değişkenlerinin floklu kumaşların özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, DC elektrostatik floklama prosesinde voltaj, elektrot ayrımı, fırça hızı, elek gözenek büyüklüğü, floklama hızı, vuruş silindiri titreşimi olmak üzere 6 adet makine değişkeni, flok elyaf cinsi, uzunluğu ve inceliği olmak üzere 3 flok değişkeni, yapıştırıcı cinsi, konsantrasyonu, vizkozitesi, kalınlığı ve kuruma koşulları olmak üzere 5 yapıştırıcı değişkeni ve polietilen film ve alüminyum folyo olmak üzere iki alt tabaka değişkeni olarak toplamda 16 farklı değişkenin etkisi 2 faktöriyel deney tasarımı vasıtasıyla araştırılmıştır. Çalışma sonucunda 16 bağımsız değişkenden sadece 3 flok değişkeni ve makine değişkeninden voltajın floklu kumaşın özelliklerini etkilediği saptanmıştır [1].

Elektrostatik floklama yönteminde bir kılavuz elektrot makineye dahil edilerek flok yoğunluğunun değişimi incelenmiştir. Elektrostatik floklamada kılavuz elektrot kullanılması durumunda flok yoğunluğunun %7,1-38 aralığında ortalama %18,6 oranında arttığı saptanmıştır [2].

Yapılan başka bir çalışmada, flok hareketinin bir flok lifi üzerindeki net yükten, flok liflerinin bağıl nem koşullarından ve uygulanan elektrik alan şiddetinden etkilendiği bulunmuştur [3].

Floklu döşemelik kumaşların aşınma dayanımı incelenmiş ve floklu kumaşların yüzey dayanım özelliğinin, flok lif yoğunluğu ve flok lif uzunluğuna bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Floklu kumaşların sürtme direncinin, flok lif yoğunluğunun azalması ve flok lif uzunluğunun artması ile arttığı saptanmıştır [4]. Otomotiv koltuk kılıfı alanında kullanılmak üzere üretilen floklu kumaşların mekanik karakterizasyonu ve sürtme sonrası kopma/uzama değerleri, ayrıca döşemelik floklu kumaşlar için taşıyıcı kumaş,

yapıştırıcı kaplı taşıyıcı kumaş ve yıkanmış floklu kumaşların yaş ve kuru koşullarda yırtılma mukavemetleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve matematiksel modeller öne sürülmüştür [5-7].

Floklu iplik üretimi için portatif floklama makinesi tasarımı ve imalatı yapılmış ve flok iplik üretim parametrelerinin optimizasyonu için materyal iplik formundayken ve dokuma kumaş halindeyken özellikleri incelenmiştir [8].

Süper ince floklu kumaş üretiminde gerekli havlar için süper ince poliamid elyaf kullanılmış ve çalışma sonucunda floklama mesafesi azaldıkça, floklama süresi ve alan kuvveti arttıkça flok yoğunluğunun arttığı bulunmuştur [9].

Floklu kumaş üretiminde flok içinde bükülmüş liflerin geri kazanılamama problemini elimine etmek için üretim proses parametrelerinin optimizasyonu incelenmiş ve flok partileri içindeki bükülmüş liflerin geri kazanılamaması nedeniyle oluşan hataların giderilmesi üzerine çalışılmıştır. Bükülmüş liflerin toparlanma süresinin kısaltılması amacıyla ayrıca çalışmalar yapılmıştır [10].

Bu çalışmada flok üretimi bağlamında ayrıntılı bir literatür çalışması gerçekleştirilmiştir. Diğer üretim tekniklerine göre daha sınırlı üretimi olan flok ve floklu kumaşın genel süreçlerinin anlatılması ve bilinirliğinin yaygınlaştırılması amaçlanmıştır. Flok üretiminde önemli olan parametrelerden bahsedilmiş ve üretim sürecinde sık karşılaşılan problemler ve çözüm önerileri sunulmuştur.

2. Flok Üretim Süreci

Flok, doğal veya sentetik liflerin giyotin makinesinde istenilen ölçüde kesilmesi sonucu oluşan materyaldir. Farklı elyaf cinslerinden üretilebilir. Endüstriyel olarak pamuk, poliamid, polyester ve viskon en çok kullanılan elyaf cinsleridir [11]. Floklu kumaşlar, taşıyıcı kumaşın su bazlı akrilik veya poliüretan veya polivinilklorür yapıştırıcılarla kaplanması ve bir elektrostatik alanın etkisi altında taşıyıcı materyale göre flok liflerinin önemli ölçüde dikey olarak yönlendirilmesiyle üretilir. Daha sonra flok liflerle kaplanmış taşıyıcı materyal fırında kurlenir [4].

Flok lifleri taşıyıcı materyale genellikle mekanik, elektrostatik veya her iki tekniğin bir kombinasyonu ile uygulanır [3]. Düz yüzeylerde mekanik floklama genellikle çırpıcı-çubuk yöntemi kullanılarak elde edilir. Bu teknik, yapışkanla kaplanmış bir taşıyıcı tabakayı titreştirmek için hızla dönen bir dizi çokgen silindirin üzerinden taşıyıcı tabakanın transferini içerir. Titreşim, lifleri yapıştırıcıya dağıtmak için kullanılır. Lifler, taşıyıcı tabaka üzerine yerçekimi ile uygulanır. Pnömatik floklama, yönlendirilmiş bir hava akımı içerisinde floğa uygular. Bu yöntem en yaygın olarak otomotiv torpido gözü gibi üç boyutlu nesnelere kaplamak için kullanılır [12].

Elektrostatik floklama, lifleri yönlendirmek ve dikey hizalanmalarını desteklemek için bir elektrik yükü kullanır. Bu teknik, daha uzun elyafı elde edilen sonuçları optimize eder. Bu yöntemde, yapıştırıcı ile kaplanmış taşıyıcı tabaka, yüksek voltajlı bir elektrostatik alandan geçer. Flok elyafına bir yük vermek için bir elektrot kullanılır. Yüklü lifler, elektrik alan kuvvet çizgileri ile hizalanır ve topraklanmış elektrota çekilir. Flok, yapışkan kaplı taşıyıcı tabakaya doğru hareket eder ve gömülü hale gelir. Lifler, yoğun, tüylü bir yüzey elde etmek

için yüzeye dik olarak yapıştırılır. Elektrostatik floklama yöntemi, üç boyutlu nesnelere üzerinde iyi bir kaplama için pnömatik tekniklerle geliştirilebilir [11].

Flok imalatı, elyaf kesme işleminin yanı sıra birkaç başka adımı da içerir. Kesimden sonra flok, işleme sırasında biriken yağlardan temizlenir. İstenilen sayıdaki renge teknede boyanır ve daha sonra liflerin elektrik yükünü kabul etmesini sağlamak için kimyasal olarak işlenir. Liflerin tamamı dielektrik olduğundan, elektrostatik floklama işleminin gerçekleşmesi için belirli bir miktarda iletkenliğin mevcut olması gerekir. İşlem tamamlandığında lifler santrifüjle kurutulur ve ardından belirli bir nem içeriğine kadar fırında kurutulur. Nem içeriği iletkenliklerine katkıda bulunduğu için, flok lifleri hiçbir zaman tamamen kurutulmamalıdır [11].

3. Flok Üretim Sürecinde Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri

Müşteri ihtiyacı ve beklentilerini karşılayabilmek, mümkün ise daha fazlasını yapabilmek becerisi kalitedir. İşletmeler, üretimlerini maksimum kalite değerlerinde yapmayı hedefler. Ancak, kumaş üretimleri birden fazla prosese tabi olduğundan zaman zaman istenilmeyen üretimler de gerçekleşebilir. Üretim tesislerinde ham maddeden son ürüne kadar olan süreçlerde kullanılmayan yani boşa giden ham madde kayıpları fire olarak adlandırılır. İşletmeler için her fire israftır ve zarardır.

Floklu kumaşlarda son yıllarda en sık rastlanan hata türleri aşağıdaki gibidir. Bu firelerin bazıları üretim esnasında o an gelişen ani bir durum ya da operatörden kaynaklanabilir, bazıları da proses ile ilgili olabilir.

Floklu kumaş üretimlerinde sıklıkla karşılaşılan hata türleri, üretim prosesine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

3.1. Süet Üretimi Sırasında Oluşabilecek Hatalar

3.1.1 Süet Abrajı

Flokların düzensiz (sık – seyrek), ezik, yönlü ve krater krater görünmesi sonucu oluşan hata türü olarak bilinir. Flok liflerinin akışı sırasındaki dengesizlik, akıtılan eleklerdeki tıkanıklık ve delinme, flok liflerindeki statik yük dengesizliği kaynaklı akış farklılıkları, floklama kabinleri içindeki hava akımı ve metal yükü kaynaklı farklılıklar süet abrajına neden olur.

Süet abrajını önlemek için alınması gereken tedbirler;

-Flok partilerinin standart statik yükte ve nemde olmaları sağlanmalıdır.

-Floklama kabinindeki elek türü uygun seçilmeli, delik veya aşırı akış yapabilecek kısımlar engellenmelidir.

-Akışın kontrollü şekilde yapılması takip edilmelidir. Kabinlerdeki statik yük düşüğe olacağı şekilde ayarlanmalıdır. Hazne yüksekliklerinin istenen flok lifini sağlayacak şekilde ayarlanmasına dikkat edilmelidir.

-Çok fazla ya da çok az flok sermeden üretim yapılmalıdır. Flok liflerinin hazne çeperlerine ve emişlere sarmayacak şekilde üretim yapılmalıdır. Buna dikkat edilmezse çeperlere saran floklar toplu şekilde ürün yüzeyine düşerek yüzeyde abraj ve görsel bozukluğa sebebiyet verebilir.



Şekil 1. Floklu kumaşlarda süet abrajı.



Şekil 2. Floklu kumaşlarda süet abrajı-seyreklik hatası.

3.1.2 Statik Leke

Flok lifi içerisinde kesim boyundan uzun flok lifi ya da farklı bir lifin (zemindeki kesik elyaf vb.) statik yük altında farklı etkilenip etrafındaki diğer lifleri dairesel hareketlerle yönlendirmesi sonucu oluşan noktasal krater görüntüsüdür.

Üretimde kullanılacak flok lifi partilerinin içlerinde boyları ve statik yükleri farklı olan üretim lotlarından ve zemindeki kesik liflerin statik alandan etkilenip etrafındaki flokların yönlendirmesinden kaynaklanır. Bunu önlemek için;

-Flok partilerinin kurutma esnasında elenmesi sağlanmalıdır.

-Flok liflerindeki statik yük kontrol edilmelidir. Çeperlere ve emişlere tutunmayacak şekilde çalışması gözlenmelidir. Özellikle katot üst fırça ve elek grubuna sarmamalıdır.

-Taşıyıcı kumaş yüzeyi iplik liflerinin statik alandan etkilenip yukarı doğru dikilmesi engellenmelidir (ön sıvama, emdirme, ezme, gerekirse gaze).



Şekil 3. Floklu kumaşlarda statik leke hatası.

3.1.3 Kanat farkı (flok veya hamur kaynaklı)

Süet üretimi sırasında sağ-orta, sağ-sol, sol-orta şeklinde yüzeyde görsel sıklık, seyreklik vb. farkların oluşmasıdır.

Üretim esnasında yapıştırıcı transfer edilirken ya da flok akışı sırasında haznelere flok liflerinin düzensiz akması sonucu oluşur.

Bunu önlemek için;

-Yapıştırıcının taşıyıcı kumaşa aktarımı sırasında homojen yüzey sağlanmalıdır. Sağ-sol-orta gramaja dikkat edilmelidir.

-Flok haznelarının içinde bulunan fırçalarda boşluk olmamalı; hazne eleklerinin sağ, orta ve sol kenarından eşit flok lifi akması sağlanmalıdır.

-Floklama kabini içerisinde hava akımının flokları kontrolsüz yönlendirmesine engel olunmalıdır.

-Floklama kabini içerisinde taşıyıcı kumaşın, hazneların altındaki banttı kaymamasına dikkat edilmelidir.



Şekil. 4. Floklu kumaşlarda kanat farkı (kenar-orta-kenar) hatası.

3.1.4 Bez Çekmesi

Taşıyıcı kumaşın sıvama veya fikseleme işlemleri sırasında iğneli palette eşit tutunmayan kısımlarda potluk veya marullanma efekti oluşturması 'bez çekmesi' olarak adlandırılır. Floklama kabini içerisinde taşıyıcı kumaşta oluşan çekme kaynaklı potluklar, flokların farklı yönlerde saplanmasına sebep olur. Bu problem ürün yüzeyinde görsel bozukluğa sebep olur.

Palette eksik, bozuk veya kırık iğne olması; iğneleme fırçasının yıpranmış olması, fırçalama baskısının yetersiz veya fazla olması; kumaşın makine girişinde düzgün verilmemesi, potluk veya katlanması gibi nedenler sonucunda bez çekmesi gerçekleşebilir.

3.1.5 Kırışma

Taşıyıcı kumaş ya da çift kat flok üretiminde kullanılacak birinci kat floklu yarı mamulün sarımı sırasında oluşan katlanmalardır.

Dok sarım ya da menzel kullanılarak yapılan üretimlerde, gerilim farkı ya da kayma kaynaklı kumaş toplarının kırışık sarılması sonucu floklu yüzeyin yatması, ezilmesi sonucu meydana gelir.

Bunu önlemek için;

-Potans ayarlı sarım sistemleri kullanılmalıdır. Çap büyüdükçe gerilimin sabitlendiği sarıma komut veren sistemler tercih edilmelidir.

-Üretim sırasında hatlarda oluşacak kayma vb. kaynaklı problemler takip edilip önlenmeli; gerekli durumlarda potluk önleyici silindir ve açıcılarla proses iyileştirilmelidir.

3.1.6 Ek kırışık

Uygulanacak proses öncesi (süet makinesi, boya veya baskı öncesi parti açma vs.) kumaş ekleme ünitesinde, zeminlerin birbirine eklenmesi sırasında meydana gelen düzgünlüğün bıçak altından geçtikten sonra veya boyama ya da baskı

sonrası ürün yüzeyine yansımalarıdır.

Eklenecek zeminlerin egalizelerinin bozuk olması, düzgün dikiş yapılmaması veya top sarımlarının düzgün yapılmaması ek kırışıklığa neden olabilir.



Şekil. 5. Floklu kumaşlarda ek kırışıklık hatası.

Bunu önlemek için;

-Kumaş birleştirilmelerinin potluk ve kırışıklık yapmayacak şekilde dikilmesi sağlanmalıdır (sabitleme ünitesi overlok dikiş sistemi proses girişine eklenebilir).

-Taşıyıcı kumaş çok elastan içerikli veya örme yapısında ise diğer bir deyişle taşıyıcı kumaşın esnekliği yüksek ise floklama kabini taşıyıcı bant ünitesi yerine iğneli taşıyıcı (statik yükten etkilenmemesi için, iğne zincir sistemi teflon malzemeli kullanılmalı) kullanılması ek kırışığın en aza indirilmesine katkı sağlayacaktır.

-Süet üretim prosesinde üretim akış gerilimi kırışıklık yaratmayacak şekilde senkron edilmelidir.

3.2. Boyama veya Baskı Sırasında Oluşabilecek Hatalar

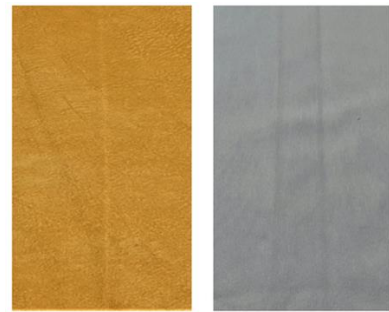
3.2.1 Boyuna iz

Baskı ya da boyama sırasında kumaşta çözgü yönünde oluşan izlerdir.

Kırışma, pot sarım, baskı desen şablon izi vb. nedenlerle kumaş yüzeyinde, ya da taşıyıcı kumaş gerilim farkı sebebiyle (özellikle örme taşıyıcı kumaşlarda) halat boyama ya da baskı sırasında oluşur. Bu hatayı önlemek için;

-Taşıyıcı kumaş ve sonrasında boya-baskı öncesi üretilen yarı mamulün en fiksesinin (en sabitleme) uygun şartlarda yapılması sağlanmalıdır.

-Baskı öncesi özellikle örme kumaşların sarımının kanallı ya da pot olmamasına dikkat edilmelidir. Yine burada, taşıyıcı kumaşların hav yönlerinin baskı sırasında direnç oluşmayacak yönde kullanılması sağlanmalıdır.



Şekil. 6. Floklu kumaşlarda boyuna iz hatası.

3.2.2 Boyuna Kırık

Floklu mamul yüzeyinde halat boya kaynaklı oluşan mekanik çizgilerdir.

Halat boyama prosesinde oluşan düze tıkanması, makine çekici silindirin (haspel) durması, kayması, makinenin fazla ya da az su alması, ısı farklılıkları sebebiyle boyuna kırık problemi meydana gelir.

Bunu önlemek için;

-Düze seçimi ve göz başı tur sayısı ürüne uygun yapılmalıdır. Düzeler ürünü hareket ettirecek, eşit şekilde basınçla çalışacak ve boyamayı doğru yapacak şekilde çalıştırılmalıdır (halat boya sırasında takılmanın ve durmanın engellenmesi çok önemlidir).

-Boyama diyagramı üründe kırık yapmayacak şekilde seçilmelidir. Isıtma ve soğutma ürünün kumaş, yapıştırıcı ve flok türüne göre oluşturulmalıdır. Ürünlerin başlangıç sıcaklığından boyama sıcaklığına çıkış süresi kademeli ve düşük sıcaklıkta yapılmalıdır. Örneğin; poliamid floklu kumaş boyama için kademeli olarak 1 dk.'da 70°C'a sonra 1,2 dk. 102°C'a çıkılmalı boyama sonrası soğutma 3 °C/dk. ile 60 °C'a kadar soğutulmalıdır.



Şekil 7. *Floklu kumaşlarda boyuna kırık hatası.*

3.2.3 Duruş izi

Proses sırasında oluşan duruşların ürün yüzeyinde görsel olarak farklılık yaratmasıdır.

Üretim prosesi sırasında makine arızası, elektrik kesintisi vb. sebeplerle oluşan duruşlarda sıklık, seyreklik, çizgi, ısıl renk değişimi (ısı kabinlerinde kalan kısımlarda), silindirlerin duruş sırasında floklu ürün yüzeyini ezmesi gibi nedenlerle kumaş yüzeyinde oluşur. Bu hatayı önlemek için;

-Plansız duruşlarda ısı kabinleri kapakları açılarak makine içinde kalan kısmın fazla etkilenmemesi sağlanabilir.

-Makine planlı bakımları düzenli yapılmalı ve duruşlar engellenmelidir.



Şekil 8. *Floklu kumaşlarda duruş hatası.*

3.2.4 Kanat Farkı

Boyama veya baskı sırasında ürünün kenarları ile ortası arasında oluşan görsel farklılıktır.

Boyama sırasında ürünün halat formunun iç-dış olması, baskı sırasında baskı ayarlarının uygun olmaması sebebiyle oluşur.

Bunu önlemek için;

-Halat boyama prosesinde boyamanın egal ve halat formunun ürünün tüm yüzeyini doğru boyanacak şekilde olması için doğru haspel ve düze seçilmelidir.

-Boyama prosesi ve reçetesi yarı mamul tipine uygun olmalıdır. Gerekğinde ön yıkama ve nötrolize prosesi ilave edilmelidir. Uygun ıslatıcılar kullanılmalıdır.

-Baskı sırasında sağ-sol baskı ayarları ile üründe eşit görsel sağlanacak şekilde ayar yapılmalıdır.



Şekil 9. *Floklu kumaşlarda kanat farkı hatası.*

4. Sonuçlar

Yapılan çalışmalara bakıldığında floklu ürün üretimine etki eden farklı faktörler vardır. Genel olarak bir flok üretim süreci taşıyıcı tabakanın ön işlemi (gerekliğinde), yapıştırıcı uygulaması, flok uygulaması, ön temizlik (fazla flokların emme ile uzaklaştırılması), yapıştırıcının kurutulması/fiksajı, son temizlik (emme, fırçalama ve/veya döverek fazla flokların uzaklaştırılması) aşamalarından oluşmaktadır. Söz konusu proseslerde herhangi bir üretim parametresinin değişimi, elde edilen floklu ürünün kalitesine doğrudan etki etmenin yanı sıra israfı yol açacak hatalara ve firelere de sebebiyet verebilmektedir. Elde edilecek nihai ürünler için taşıyıcı kumaş, yapıştırıcı ve flok tipi ile boyunun seçiminden başlayarak her bir adımın kontrol edilmesi ve makine ayarları, pH, sıcaklık gibi işlem koşullarına ait parametrelerin de kontrollerinin yapılması elzem derecede önemlidir.

Yazar Katkısı

Veri iyileştirme -Neslihan Ergin; Pelin Gürkan Ünal; Biçimsel analiz – Pelin Gürkan Ünal; Araştırma - Neslihan Ergin; Pelin Gürkan Ünal; Deneysel performans - Neslihan Ergin; Pelin Gürkan Ünal; Veri toplama - Neslihan Ergin; Veri işleme - Neslihan Ergin; Pelin Gürkan Ünal; Literatür taraması - Neslihan Ergin; Pelin Gürkan Ünal; Yazan - Neslihan Ergin; Pelin Gürkan Ünal; İnceleme ve düzenleme – Pelin Gürkan Ünal.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

- [1] Coldwell R, Solomon P. (1978). The Influence of Processing Variables on the Properties of Flocked Fabrics. *IEEE Transactions on Industry Applications*, IA-14(2), 175-182.
- [2] Semenov V, Solomon P, Gupta B. (1983). Increasing Pile Density in Electrostatic Flocking by Introducing a Guiding Electrode. *IEEE Transactions On Industry Applications*, IA-19(1), 127-132, 1983.
- [3] Kim Y, Lewis A. (1999). Scientific Study of Flock Materials and the Flocking Process. *National Textile Center Annual Report*.
- [4] Bilisik K, Yolacan G. (2009). Abrasion Properties of Upholstery Flocked Fabrics. *Textile Research Journal*, 79(17), 1625-1632.
- [5] Bilisik K, Demiryurek O, Turhan Y. (2011). Mechanical Characterization of Flocked Fabric for Automobile Seat Cover. *Fibers and Polymers*, 12(1), 111-120, 2011.
- [6] Bilisik K, Turhan Y, Demiryurek O. (2011). Analysis and tensile characterization of flocked fabric after rubbing. *Journal of the Textile Institute*, 102(9),808-822.
- [7] Bilisik K, Turhan Y, Demiryurek O. (2011). Tearing Properties of Upholstery Flocked Fabrics. *Textile Research Journal*, 81(3), 290-300.
- [8] Orhaneddin B. Prototip Floklama Makinesi Tasarımı, İmalatı Ve Flok İplik Üretimi, (2010), Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- [9] Liu L, Xie H, Cheng L, Yu J, Yang S. (2011). Optimal Design of Superfine Polyamide Fabric by Electrostatic Flocking Technology. *Textile Research Journal*, 81(1), 3-9.
- [10] Camliyurt İ, Deniz F, Cinar IA, Atav R. (2021) Optimisation of Process Parameters in Flocked Fabric Production to Eliminate the Non-Recovery Problem of Bent Fibres in Flock. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 29(3(147)), 74-79.
- [11] *Flocking Process-Flock Fundamentals*. (2021, Aralık). American Flock Association : <http://www.flocking.org/about/flocking-process/> adresinden alındı.
- [12] *Mechanical Flocking*. (2021, Aralık). American Flock Association: <http://www.flocking.org/about/mechanical-flocking/> adresinden alındı.

Araştırma Makalesi

A Thermovoltaic Voltage Source Integrated with a Samovar

Erdal Kılıç^{1*}, Reşat Mutlu^{2*}, Ertuğrul Karakulak³

^{1*}Vocational School of Technical Sciences, Agricultural Machinery Department, Tekirdağ Namık Kemal University Tekirdağ, Turkey, 59030

² Electronics and Communication Engineering Department, Çorlu Engineering Faculty, Tekirdağ Namık Kemal University, Çorlu, Tekirdağ, Turkey, 59860

³ Vocational School of Technical Sciences, Biomedical Device Technology Department, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey, 59030

¹ekilic@nku.edu.tr, ²rmutlu@nku.edu.tr, ³ekarakulak@nku.edu.tr

Geliş: 05.12.2022

Kabul: 30.12.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1214673

Abstract: Renewable energy sources are becoming very important in today's World. Waste heat from industrial processes is very common in the world and such sources can be used to obtain electric power. Thermovoltaic power sources are getting cheaper and their electrical power output is getting higher due to technological developments. They have been used with waste heat sources such as hot water flowing out of factories and to obtain electrical sources. Nowadays, new application areas of thermovoltaic power sources are being looked for. Samovars, which burn brushwood, are pretty commonly used in rural areas to prepare warm drinks such as tea. Samovars only supply thermal power to boil water and they can be regarded as low-grade heat sources since they release a considerable amount of heat to the ambience. Integrating a thermovoltaic power source onto a samovar would turn it into a voltage source and also increase its overall energy efficiency. Such a system may allow charging batteries of low power loads such as flashlights and cell phones in rural areas where it is hard to reach the electrical grid. In this study, a thermovoltaic power source is integrated with a samovar for the first time in the literature and the performance of such a system is experimentally inspected. It has been found that the system's electrical power output is low, the air convection around the semiconductor pairs of the module may be contributing to its low power performance, and a more complex system model is needed to model it accurately.

Keywords: Samovar, Thermovoltaic Voltage Source, Renewable Energy

Semaver ile Entegre Termovoltaik Gerilim Kaynağı

Öz. Yenilenebilir enerji kaynakları günümüz dünyasında çok önemli hale gelmektedir. Endüstriyel proseslerden kaynaklanan atık ısı dünyada çok yaygındır ve bu tür kaynaklar elektrik enerjisi elde etmek için kullanılabilir. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak termovoltaik güç kaynakları ucuzlamakta ve sağladıkları elektrik güç artmaktadır. Günümüzde termovoltaik güç kaynakları için yeni uygulama sahaları aranmaktadır. Çalı çırpı yakan semaverler, kırsal kesimlerde çay gibi sıcak içecekler hazırlamak için oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Semaverler yalnızca termal güç sağlar. Semaverler sadece suyu kaynatmak için termal güç sağlarlar ve ortama önemli miktarda ısı saldıkları için düşük kaliteli ısı kaynakları olarak kabul edilebilirler. Bir termovoltaik güç kaynağının bir semavere entegre edilmesi, onu bir gerilim kaynağına dönüştürür ve aynı zamanda genel enerji verimliliğini de artırır. Böyle bir sistem, elektrik şebekesine ulaşmanın zor olduğu kırsal alanlarda el feneri ve cep telefonu gibi düşük güçlü yüklerle sahip pillerin şarj edilmesini sağlayabilir. Bu çalışmada literatürde ilk kez termovoltaik bir güç kaynağı semaver ile entegre edilmiş ve böyle bir sistemin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Sistemin elektrik güç çıkışının düşük olduğu, modülün yarı iletken çiftleri etrafındaki hava

* Corresponding author.

E-mail address: ekilic@nku.edu.tr (E. Kılıç)

konveksiyonunun düşük güç performansına katkıda bulunduğu ve sistemi doğru bir şekilde modellemek için daha karmaşık bir modele ihtiyaç duyulduğu bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: *Semaver, Termovoltajik Gerilim Kaynağı, Yenilenebilir Enerji.*

1. Introduction

In the modern world, fossil fuels are used as the main and most common source to meet energy needs in every field [1]. Due to the negative environmental effects, high costs, and limited resources of fossil fuels, it has become necessary to search for more environmentally friendly, inexpensive, and easily obtainable energy sources [2]. Apart from the energy used in energy usage areas, waste heat is released to the environment as a loss [3]. Low-grade heat accounts for more than half of the total dissipated heat sources in industries [4]. Efficient recovery of low-grade heat into useful electricity not only decreases the consumption of fossil fuels but also reduces its impact on the environment [4]. More information on thermoelectric devices and their application can be found in [5]. Reviews on thermoelectric and thermophotovoltaic power generation systems are given in [6-8]. Thermovoltaic cells are devices that can be used as renewable voltage sources [4, 5]. They require a temperature difference for their operation [5]. The semiconductor ones are more efficient than others [5, 9]. There are thermovoltaic systems that use waste heat to obtain electrical power [4, 5, 10-11]. For example, truck exhausts are also equipped with thermovoltaic cells to obtain extra electrical power for a truck power system [12]. They require a maximum power tracking system [13]. New application areas for thermovoltaic cells are sought [5-8]. Tea is the most consumed drink in the Republic of Türkiye [14]. The samovars are commonly used tea-preparing devices in the middle-east region [15]. Their design has been modernized in recent decades [16]. Samovars are used in rural areas to prepare tea by burning brushwood such as dry tree branches, straws, etc. in Türkiye. To the best of our knowledge, a samovar has not been integrated with a thermovoltaic generator yet. Such a heat source can also be designed to have a thermal voltage source and can be used to charge small devices such as flashlights and cell phones. The aim of the study is to integrate a samovar with a thermovoltaic generator and examine its performance experimentally. Such a system can provide electric power even during nighttime since it uses brushwood for heating, not sunlight as a photovoltaic module does. A Peltier module is used as the thermovoltaic generator. It is mounted on the samovar. A cooling fin is used to cool down the cold plate of the module further. A metal mounting part between the samovar and its hot plate is used to prevent it from overheating. The experiments are done to measure its electrical variables and plate temperatures. Its performance is evaluated.

The study is structured as follows. The thermovoltaic module is introduced in the second section. The samovar and its integration with the module are explained in the third section. The experimental results are given in the fourth section. The study is concluded in the last section.

2. Thermovoltaic Module

TEC1-12706 thermoelectric cooler module operates

with the Peltier effect and is used to make coolers [17]. Its solder construction can only stand temperatures up to 138 °C. A TEC1-12706 is integrated into a samovar used as a thermal thermoelectric generator in this study. Its photograph is shown in Figure 1.a. Its equivalent circuit, which was given in [18], is shown in Figure 1.b. The output voltage of the thermoelectric generator module can be given as

$$V_{TEG} = V_{OC} - R_{TEG}I_{TEG} \quad (1)$$

where I_{TEG} is the module current, V_{TEG} is the output voltage of the module, V_{OC} is the open circuit voltage of the module, and R_{TEG} is the equivalent series resistance of the module.

The electric power output of such a module depends on the surface temperature difference of the module's ceramic plates.

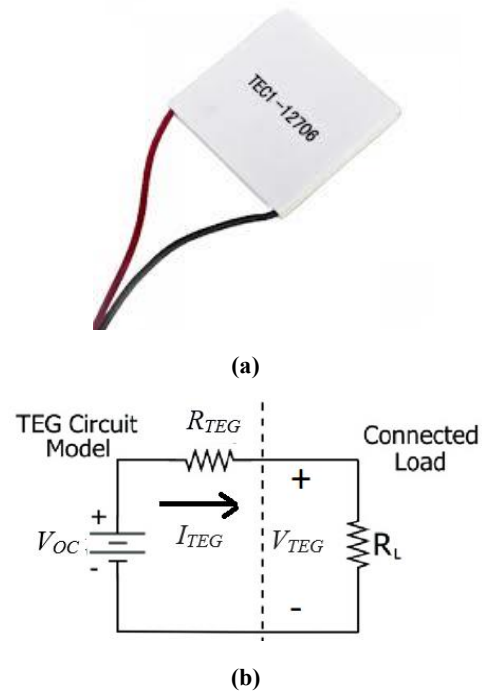


Fig. 1. a) The TEG module used and b) its equivalent electrical circuit

3. The Samovar with a TEG Module

A photograph of the samovar model used in this study is shown in Figure 2. The power module has a planer geometry and it cannot touch the samovar completely since the samovar has a cylindrical structure. A picture taken by a thermal camera has shown that the body temperature of the samovar is found to be higher than its maximum allowable temperature, 138 °C as shown in Figure 3. That's why a metal mounting part is used to connect its hot side plate on the samovar to obtain a temperature as shown in Figures 2 and 4. Such a part would decrease the thermal efficiency due to the air regions within the connector. A finned cooler can be added to increase the thermal efficiency of the system as done in a renewable energy

system [19]. An aluminum radiator is also connected to the cold side plate of the TEG module to cool it down as shown in Figures 2, 4, and 5. Such a radiator would help to increase the temperature difference between the hot and cold plates. A thermal adhesive is applied to the TEG module in the mounting process as shown in Figure 6.



Fig. 2. The samovar model integrated with the TEG module.



Fig. 3. The thermal camera view of the samovar system.

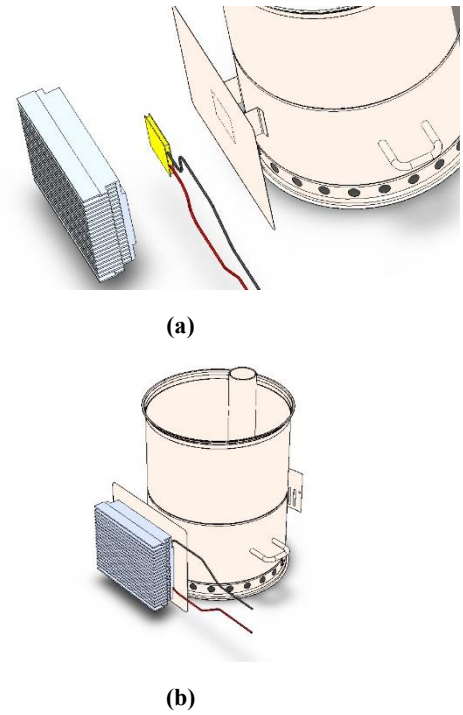


Fig. 4. a) The TEG module, the aluminum heat radiator, and the samovar, and b) The integration of the TEG module with the samovar and the aluminum heat radiator.



Fig. 5. The aluminum heat radiator used.



Fig. 6. The gluing of the TEG module with the thermal adhesive used.

4. Experimental Results and Discussion

The experimental results are given in this section. The electrical circuit is given in Figure 7 used to measure the electric power output of the system when the samovar is heated with brushwood. The devices which are used in the experiments are given in Table 1.

Table 1. The electrical devices used in the experiments.

Device	Brand/Specifications
Voltmeter	Proskit MT-1210
Amperemeter	Extech EX410A Multimeter
Potentiometer	560 Ohm, 0.52 A (LH)
Thermoelectric Module	TEC1-12706

The circuit utilizes an adjustable resistor (a potentiometer) to change the load current. An amperemeter is used to measure the TEG current, I_{TEG} , and a voltmeter is used to measure the TEG voltage, V_{TEG} . A photograph of the electrical measurement system is given in Figure 8. The output power of the module is given as

$$P_{out} = V_{TEG} \cdot I_{TEG} \tag{2}$$

The electrical power is a function of the difference between the cold and hot plate temperatures. The temperature difference between the plates of the module is given as

$$\Delta T = T_{hot} - T_{cold} \tag{3}$$

where T_{cold} and T_{hot} are the cold and hot plate temperatures.

The ambient temperature, $T_{ambient}$, was also measured during the experiments.

The samovar was lit as shown in Figure 2 and was waited for it to heat up. The experiments are performed for the various operation points. The voltage and current of the TEG module are measured and the output power of the module is calculated with Eq. (2). The electrical measurements and the calculated output power are shown in Figures 9-11.

Using Eq. (3), the following temperature differences were calculated: $\Delta T=50.6$ °C, $\Delta T=64.9$ °C, and $\Delta T=68.5$ °C for Figures 9-11 respectively.

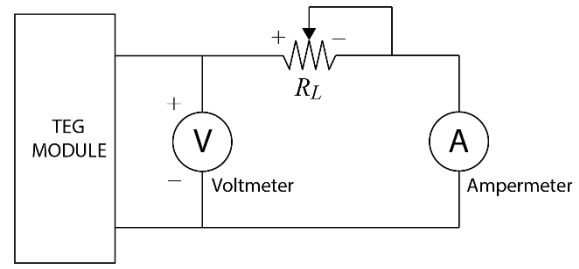


Fig. 7. The electrical circuit used for the electrical measurements.

The electrical power was expected to increase when the temperature difference ΔT increased. However, the experimental results show that the maximum output power is obtained for $\Delta T=50.6$ °C as shown in Figure 9. An explanation is sought for this. The series resistance of the module is calculated using curve-fitting to the data given in Figures 9-11. $R_{TEG}=14.0378$ Ohm, $R_{TEG}=12.1243$ Ohm, and $R_{TEG}=12.1243$ Ohm have been calculated for the operation characteristics shown in Figures 9-11 respectively. The higher resistance may mean that the module’s semiconductor pairs are cooler. The reason might be that the experiment is done outside and the air may be flowing through the power model and around the power module’s semiconductor pairs that result in the semiconductor pairs being cooled, their output power cannot be only dependent on the temperature difference of the module plates in this case, and the wind speed or the convection should be taken into account. A TEG system model, which combines the thermal and the electrical systems of the module, is given in [9] and it is shown in Figure 12. Such a model can be modified to take the convection into the account to model the TEG system used here. It has been also found that the value of the output power is low and its maximum value is found to be 16 mW. The number of the TEG modules must be increased for more output power.



Fig. 8. The electrical measurement system.

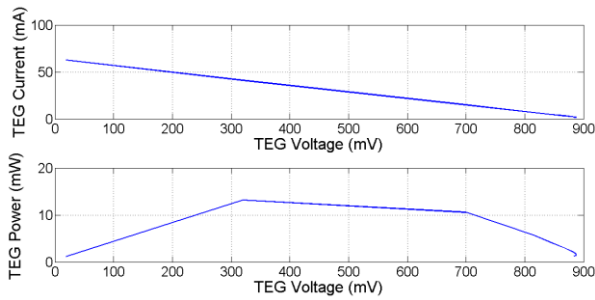


Fig. 9. The experimentally obtained a) voltage-current characteristic and b) the voltage-output power of the TEG module when $T_{hot}=92^{\circ}\text{C}$, $T_{cold}=41.4^{\circ}\text{C}$, $T_{ambient}=19.4^{\circ}\text{C}$, $\Delta T = 50.6^{\circ}\text{C}$.

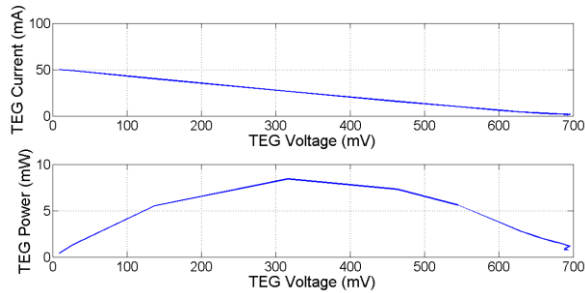


Fig. 10. a) The voltage-current characteristic and b) the voltage-output power of the TEG module when $T_{hot}=99.7^{\circ}\text{C}$, $T_{cold}=34.8^{\circ}\text{C}$, $T_{ambient}=19.4^{\circ}\text{C}$, $\Delta T = 64.9^{\circ}\text{C}$.

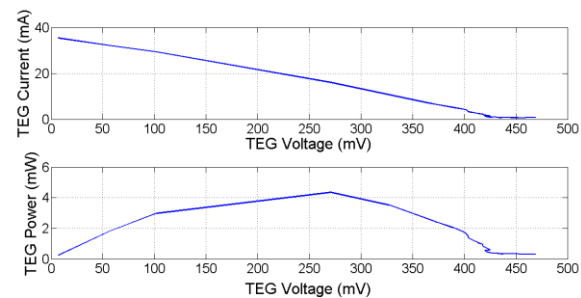


Fig. 11. a) The voltage-current characteristic and b) the voltage-output power of the TEG module when $T_{hot}=97.6^{\circ}\text{C}$, $T_{cold}=29.1^{\circ}\text{C}$, $T_{ambient}=19.2^{\circ}\text{C}$, $\Delta T = 68.5^{\circ}\text{C}$.

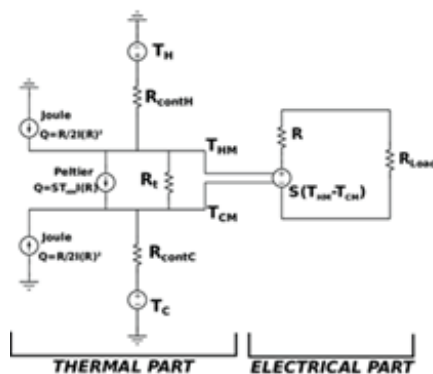


Fig. 12. A more complex TEG system model given in [9].

5. Conclusion

In this study, a samovar was combined with a TEG module. The proof is the concept has been shown experimentally. As long as brushwood is sustainable in a region, such a system would also stay sustainable. The current-voltage characteristic and the output power of the system were obtained. When the temperature difference of the plates is 50.6°C , the electrical power obtained is found to be around 16 mW which is pretty low. More modules are needed to charge a load such as a cellular phone in an acceptable duration. However, such a simple system may provide a simple charging solution for cell phones in rural areas, and, perhaps, using tellurium-based thermoelectric modules can increase electrical power output from such a system due to their higher figure of merit (zT) value, can lower the cost due to higher power output, and increase the system’s efficiency. Also, the module can be mounted closer to the samovar to increase its hot plate temperature and, therefore, its output power without reaching 138°C . Such a system can provide electric power even during nighttime since it uses brushwood for heating. Such a system can increase its efficiency during the night since the ambient temperature falls down considerably in most of the regions of Türkiye during the night. A better thermal model is needed to model the performance of the system which takes the convection into account. As a future work, we suggest that rice straw burners given in [18] can also be combined with TEGs to produce electrical power, and the optimization and the enthalpy analysis of such a system can also be made as done in [19].

Author Contribution

Data curation – Reşat Mutlu (RM); Formal analysis –RM; Investigation – RM, Erdal Kılıç (EK), Ertuğrul Karakulak (EKA); Experimental Performance –EKA, EK; Data Collection EKA, EK; Processing – RM, EKA, EK; Literature review – RM, EKA, EK; Writing – RM; Review and editing – RM, EKA, EK;

Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

References

[1] Ökten, M. (2021). An Investigation on Provincial Production & Consumption of Electric Energy: A Case Analysis for Ankara. Kocaeli Journal of Science and Engineering, 4(1), 59-68.
 [2] Kumaş, K., & Akyüz, A. Ö. (2020). An overview on the use of nanotechnology in the renewable energy field. International Journal of Energy Applications and Technologies, 7(4), 143-148.
 [3] Oyedepo, S. O., & Fakeye, B. A. (2021). Waste heat recovery technologies: pathway to sustainable energy development. Journal of Thermal Engineering, 7(1), 324-348.
 [4] Ying, P., He, R., Mao, J., Zhang, Q., Reith, H., Sui, J., ... & Schierning, G. (2021). Towards tellurium-free thermoelectric modules for power generation from low-grade heat. Nature communications, 12(1), 1-6.

- [5] Rowe, D. M. (2018). *Thermoelectrics handbook: macro to nano*. CRC press.
- [6] Ferrari, C., Melino, F., Pinelli, M., & Spina, P. R. (2014). Thermophotovoltaic energy conversion: Analytical aspects, prototypes and experiences. *Applied Energy*, 113, 1717-1730.
- [7] Date, A., Date, A., Dixon, C., & Akbarzadeh, A. (2014). Progress of thermoelectric power generation systems: Prospect for small to medium scale power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 371-381.
- [8] Ferrari, C., Melino, F., Pinelli, M., Spina, P. R., & Venturini, M. (2014). Overview and status of thermophotovoltaic systems. *Energy Procedia*, 45, 160-169.
- [9] Jouhara, H., Żabnieńska-Góra, A., Khordehgah, N., Doraghi, Q., Ahmad, L., Norman, L., ... & Dai, S. (2021). Thermoelectric generator (TEG) technologies and applications. *International Journal of Thermofluids*, 9, 100063.
- [10] Ahıska, R., Mamur, H., & Uliş, M. (2011). Termoelektrik Modülün Jeneratör Olarak Modellenmesi ve Deneysel Çalışması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(4), 889-896.
- [11] Punin, W., Maneewan, S., & Punlek, C. (2019). Heat transfer characteristics of a thermoelectric power generator system for low-grade waste heat recovery from the sugar industry. *Heat and Mass Transfer*, 55(4), 979-991.
- [12] Risseh, A. E., Nee, H. P., & Goupil, C. (2018). Electrical power conditioning system for thermoelectric waste heat recovery in commercial vehicles. *IEEE transactions on transportation electrification*, 4(2), 548-562.
- [13] Dimaggio, E., Rossella, F., & Pennelli, G. (2019). Management of the output electrical power in thermoelectric generators. *Electronics*, 8(12), 1514.
- [14] Yildirim, O., Karaca, O.B. (2022). The consumption of tea and coffee in Turkey and emerging new trends. *J. Ethn. Food* 9, 8. <https://doi.org/10.1186/s42779-022-00124-9>
- [15] Sadeghi-Bazargani, H., Mohammadi, R., Arshi, S., Svanstrom, L., & Ekman, R. (2008). The risks of using samovars as the main tea-preparing facility in some Eastern countries. *Burns*, 34(8), 1149-1152.
- [16] Öğüt, Ş. T. (2009). Material culture of tea in Turkey: Transformations of design through tradition, modernity and identity. *The Design Journal*, 12(3), 339-363.
- [17] Ebong, D. N., Kaze, C. V. A., & Ngouateu, A. P. (2022). Design and implementation of solar powered mini refrigerator using thermoelectric cooler module. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 354, p. 01007). EDP Sciences.
- [18] Dalmış, İ.S., Kayışoğlu, B., Tuğ, S., Aktaş, T., Durgut, M.R. & Daşçı Durgut, F. (2018). A Prototype Downdraft Gasifier Design with Mechanical Stirrer for Rice Straw Gasification and Comparative Performance Evaluation for Two Different Airflow Paths, *Journal of Agricultural Sciences*. 24 (3), 329-339, <https://doi:10.15832/ankutbd.456649>
- [19] Akyol, U., Akal, D., & Durak, A. (2021). Estimation of power output and thermodynamic analysis of standard and finned photovoltaic panels. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-20.

Research Article

Mathematical Modeling of the Response of a Buck Converter to Disturbances

Hafız Alisoy^{1,a,*}, Mahir Yaşar², Selcen Çalışkan^{2,a}, Merve Damar², Mohammedreza Masoumisoureh²

¹ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ Türkiye , 59860

^ahalisoy@nku.edu.tr, ^bselcen.caliskan@technocast.com.tr

Geliş: 02.12.2022

Kabul: 30.12.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1212838

Abstract: This study discusses the issues of mathematical modeling of the response of a step-down voltage converter to disturbing influences, which provides a two-stage transfer of a dynamic system from an arbitrary state to a state determined by the required output voltage value. Using the method of analytical construction of aggregated controllers (ACAC) with integral adaptation, a regulator of a buck converter in DC mode (CCM) and a constant frequency of the power switch is synthesized.

Keywords: Buck converter, Continuous current mode (CCM), Control system, Integral adaptation method, Pulse Width Modulation

Düşürücü Voltaj Dönüştürücüsünün Bozucu Etkilere Tepkisinin Matematiksel Modellenmesi

Öz. Bu çalışmada, dinamik bir sistemin keyfi bir durumdan, ihtiyaç duyulan çıkış voltajı değeri tarafından belirlenen bir duruma iki aşamalı bir geçişini sağlayan, düşürücü bir voltaj dönüştürücüsünün bozucu etkilere tepkisinin matematiksel modellenmesi analiz edilmektedir. Entegre uyarlamalı birleştirilmiş denetleyicilerin analitik yapı yöntemi (ACAC) kullanılarak, DC sürekli akım modunda ve güç anahtarının sabit frekans değeri için bir düşürücü voltaj dönüştürücüsü sentezlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Buck dönüştürücü, Darbe Genişlik Modülasyonu, Integral adaptasyon yöntemi, Kontrol sistemi, Sürekli akım modu

1.Introduction

Switching power supplies are widely used in electronics. By topology, voltage converters are classified as step-down (Buck), step-up (Boost) and inverting (Buck-Boost). Simulation of switching converters reduces the time and cost of developing the final device [1-6].

Today, many leading manufacturers of PWM controllers offer free software (software) that allows for the most accurate analysis of the reactions of an electrical circuit under the control of their products. The main disadvantage of the proposed software is the limited ability to analyze the pulse converter as a nonlinear dynamic object [7,8].

Mathematical analysis makes it possible to describe a pulse-width converter by various differential equations. Due to the

periodic switching of power switches (transistors, diodes), pulse converters are modern circuits [9,10]. Obviously, the state changes when the power switch is switched. For this reason, the mathematical analysis of such circuits is reduced to solving systems of differential equations at different time intervals and "stitching" the resulting solutions at the boundaries of the intervals according to the switching laws. The calculation is simplified when passing from a sequential solution of systems of equations to an averaged system of differential equations.

The use of a linear controller in nonlinear systems leads to a limitation of the stability region and the inability to suppress external uncertain disturbances. In order to expand the stability area, PID controllers with auto-tuning of coefficients are used. In various operating modes of the object, it can

* Corresponding author

E-mail: halisoy@nku.edu.tr (H. Alisoy)

This article was presented at 4th International Congress on Applied Sciences, Engineering and Mathematic (ICASEM)

switch between PI, PD and PID controller. Extending the stability domain is entirely up to the developer. If the deviation of the system parameters from the calculated ones increases, or the system switches to an unforeseen mode of operation, the linear regulator will inevitably destabilize the system, since the developer did not foresee this. A breakthrough in these problems was the use of a fuzzy controller. But fuzzy logic is programmed by the developer and still does not know the structure of the controlled system. A distinctive characteristic of a nonlinear controller is the presence of all parameters of the controlled system. This allows him to bring the managed object to the specified parameters despite changes in the state of the system.

In this study, to further study the response of a buck converter to disturbances, we consider the construction of a basic mathematical model and simulation in the Matlab Simulink software package.

2.The Basic Concepts of the Analytical Constriction Aggregate Controllers(ACAC) Method with Integral Adaptation

The pulse converter consists of non-linear dynamic objects. By the type of topology and type of feedback, nonlinear dynamic objects have complex behavior, including instability, bifurcations, chaos, etc.

Therefore, the use of linear control laws is not capable of providing the required stability region for such nonlinear systems as a pulse-width converter. Mathematical analysis makes it possible to introduce disturbing influences and, by solving a new system of equations, obtain a nonlinear control law [11-14]. To this purpose, in this study analyzes mathematical modeling of the response of a buck converter to disturbing influences using the method of analytical construction of aggregated controllers (ACAC) with integral adaptation.

The method of analytical construction of aggregated controllers (ACAC) is based on the principle of "expansion-compression" of the phase space [11,12]. The main purpose of this controller is to move from the unpredictable behavior of the system according to the algorithm of the dissipative structure to directed motion along the required invariant manifolds - attractors. From the point of view of the theory of dynamical systems, this means the transfer of the corresponding system to a certain final state, regardless of its previous state.

Let us consider the synthesis of a buck converter controller in the continuous current mode (CCM) and a constant frequency of the power switch. The circuit diagram of the buck converter, shown in Figure 1, contains a capacitor C, an inductor L, a resistive load R, and two switches, represented respectively by a field effect transistor and a diode [15-17].

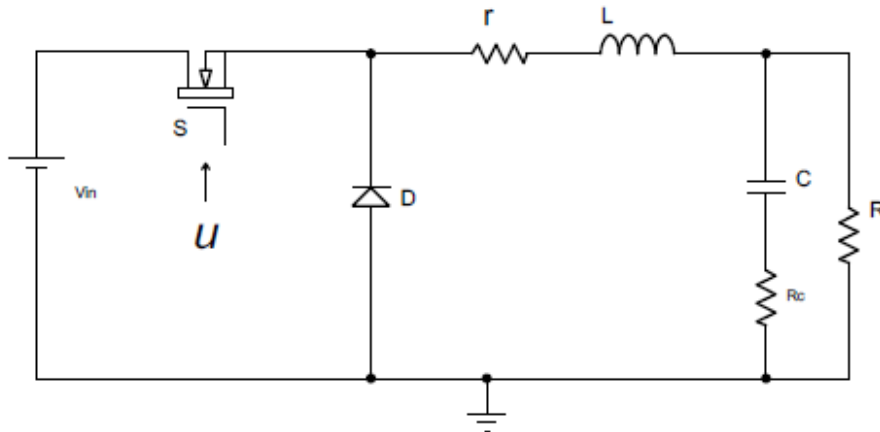


Fig. 1. Schematic diagram of the buck converter

Based on the electrical equivalent circuit of the buck converter, it is easy to notice that it is characterized by the following three working phases respectively: I) state Mosfet - on and state Diode – off; ii)state Mosfet -off and state Diode-on and iii) state Mosfet and Diode- off.

In continuous current mode, the buck converter is a switching device that has two operating states. These two states are taken into account using a logical variable *f* which can take two values 0 and 1.

$$\begin{cases} i'_L(t) = \frac{V_{in}(t) - (r + R_{on}) \cdot i_L(t) - V_{out}(t)}{L} \\ V'_c(t) = \frac{i_L(t) - i_{out}(t)}{C} \\ V_{out}(t) = V_c(t) + R_c(i_L(t) - i_{out}(t)) \\ V_L(t) = (V_{in}(t) - V_{out}(t)) \cdot f - V_{out}(t) \cdot \bar{f} \cdot sgn(i_L) \end{cases} \quad (1)$$

Where $V_{in}(t)$ - is the input voltage; $i_L(t)$ - is the inductance current; $V_{out}(t)$ - output voltage; i_{out} - output current; r - is the resistance of the inductance winding; C - is the output capacitance; L - is the inductance, R is the load resistance and R_c is the equivalent series resistance (ESR) of the output capacitor C . As well as f - is a logical variable ; $sgn(i_L) = 1$ if $i_L > 0$ and $sgn(i_L) = 0$ if $i_L < 0$.

In DC-DC converters, one of the most common methods for controlling the power transmitted to the load is the use of pulse-width modulation (PWM) [7, 8, 18].

Obviously, the system of equations (1) is designed for a specific circuitry. Synthesizing the control law for all circuit solutions is very difficult. The solution should be a single control action that allows you to change power keys, power key drivers. Let's simplify the mathematical model by

assuming that the frequency of the PWM signal is constant, the transistor is an ideal switch, and the equivalent series resistance of the output capacitor can also be neglected.

As a result of simplifying the system of differential equations compiled for an equivalent electrical circuit, elements remain

in the system, which, regardless of the circuit design adopted by the developer, will always be in a step-down converter [5,15]. These elements can be called the main ones, due to their influence on the dynamics and principle of operation of the converter. With these assumptions in mind, a simplified circuit diagram of the buck converter is shown in Figure2

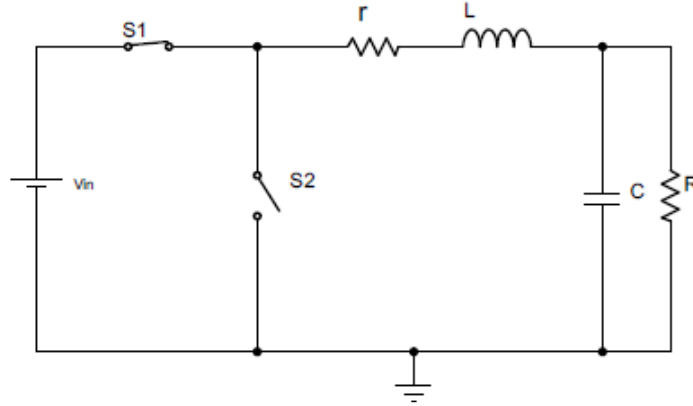


Fig. 2. Simplified diagram of a buck converter

From the point of view of synthesis by the ACAR method, this is not an adequate solution, since the more complete the model is written, the more accurate the control action. From a practical point of view, we will get a control action that allows you to change the electrical circuit for various tasks without re-synthesising the controller

Taking into account the control action parameter u , for the simplified electrical circuit of the buck converter, the averaged mathematical model can be written as

$$\begin{cases} \frac{di_L(t)}{dt} = \frac{1}{L}(V_{in}(t) \cdot u - r \cdot i_L(t) - V_{out}(t)) \\ \frac{dV_{out}(t)}{dt} = \frac{1}{C}(i_L(t) - i_{out}(t)) \end{cases} \quad (2)$$

Synthesis by the ACAC method is carried out by entering the desired variable, to the value of which our system is translated. In our case, the desired variable is the voltage we set at the output $V_c(t)$. The ACAC method should transfer our system from any state to $V_c(t) = V_{out}(t)$ by means of calculating the control action. The input of the desired variable is carried out in various technique and methods. We will apply the integral adaptation method. Integral adaptation involves expanding the phase space by introducing additional integrators into the system of differential equations. These integrators actually form the feedback of the system, due to which the result of the suppression of external disturbing factors is achieved.

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(V_{in} \cdot u - i_L \cdot R - V_{out}) \\ \frac{dV_{out}}{dt} = \frac{1}{C}(i_L - i_{out}) - M \\ \frac{dM}{dt} = \mu(V_c - V_{out}) \end{cases} \quad (3)$$

The principle of operation of the integral adaptation method is to find the error value between the given and output voltage. By changing the values of the variable μ , the dynamics of calculating the error value changes. Since the output voltage is determined in the second equation of system (3), it is necessary to subtract $M(t)$ from the entire right side of the equation. This will increase the system mismatch until the error $(V_c(t) - V_{out}(t))$ becomes zero.

We proceed to the synthesis of the control action, since we need to stabilize $V_{out}(t)$ located in the second equation, we enter the first macro variable:

$$\Psi_1(t) = i_L(t) - \phi(V_{out}, M) \quad (4)$$

Where $\phi(V_o, M)$ denotes internal control. Applying the main functional equation, we have

$$CR \cdot \Psi_1'(t) + \alpha_1 \Psi_1(t) = 0 \quad (5)$$

Next, substituting expression (4) into (5), we find the internal control

$$u = \frac{1}{V_{in}} \cdot (a_1 \cdot i_L + b_1 \cdot V_{out} + c_1) \quad (6)$$

In expression (6), the following notations are accepted

$$a_1 = \left(\frac{L}{C} \cdot \phi'(V_{out}, M) - r \right);$$

$$b_1 = \left[L - \left(\mu \cdot L + \frac{L}{C \cdot R} \right) \cdot \phi'(V_{out}, M) \right];$$

$$c_1 = L \cdot [(\mu \cdot V_c - M) \cdot \phi'(V_{out}, M) + \phi(V_{out}, M) - \alpha_1]$$

It should be noted that as a result of the system entering the neighborhood of the manifold $\Psi_1(t) = 0$, a dynamic decomposition occurs in the system and the behavior of the

system will be described by the following system of differential equations

$$\begin{cases} V'_{out}(t) = \frac{1}{C} \left(\phi(V_{out}, M) - \frac{V_o}{R} \right) - M \\ M'(t) = \mu \cdot (V_c - V_{out}) \end{cases} \quad (7)$$

We introduce the second macro variable for system (7)

$$\Psi_2(t) = V_{out}(t) + \beta \cdot M(t) \quad (8)$$

Applying the main functional equation, we have

$$CR \cdot \Psi_2'(t) + \alpha_2 \Psi_2(t) = 0 \quad (9)$$

Thus, from expression (6), taking into account expression (9), we obtain

$$u = \frac{1}{V_{in}} \cdot [(a_2 - b_2) \cdot V_{out} - a_2 V_c - c_2 i_L - d_2 \cdot M] \quad (10)$$

In expression (10), the following notations are accepted

$$a_2 = \mu \cdot [1 - \beta(\alpha_1 + \alpha_2)] \cdot LC;$$

$$b_2 = \frac{L(\alpha_1 + \alpha_2 + \beta\mu - \alpha_1\alpha_2RC)}{R} - \frac{L}{R^2C} + 1;$$

$$c_2 = r + L(\alpha_1 + \alpha_2 - \beta\mu);$$

$$d_2 = \mu L \cdot \left[\frac{RC(\beta\mu + \alpha_1\alpha_2\beta - \alpha_1 - \alpha_2) + 1}{R} \right]$$

The synthesized control action ensures the transfer of the dynamic system (1) from an arbitrary state first to the neighborhood of the manifold $\Psi_1(t) = 0$, and then to the state determined by the required value of the output voltage $V_c(t) = V_{out}(t)$. The coefficients $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ and μ are tuned in such a way as to obtain the desired transient. By changing the value of the coefficients, the time to reach the specified voltage $V_c(t)$ is regulated.

3.Simulation Results

The physical model of a step-down converter with a control action obtained from an averaged mathematical model of an electrical circuit in the Matlab Simulink environment is shown in Fig.3. The output current and voltage waveforms obtained from the physical model are shown in fig. 4 and 5.

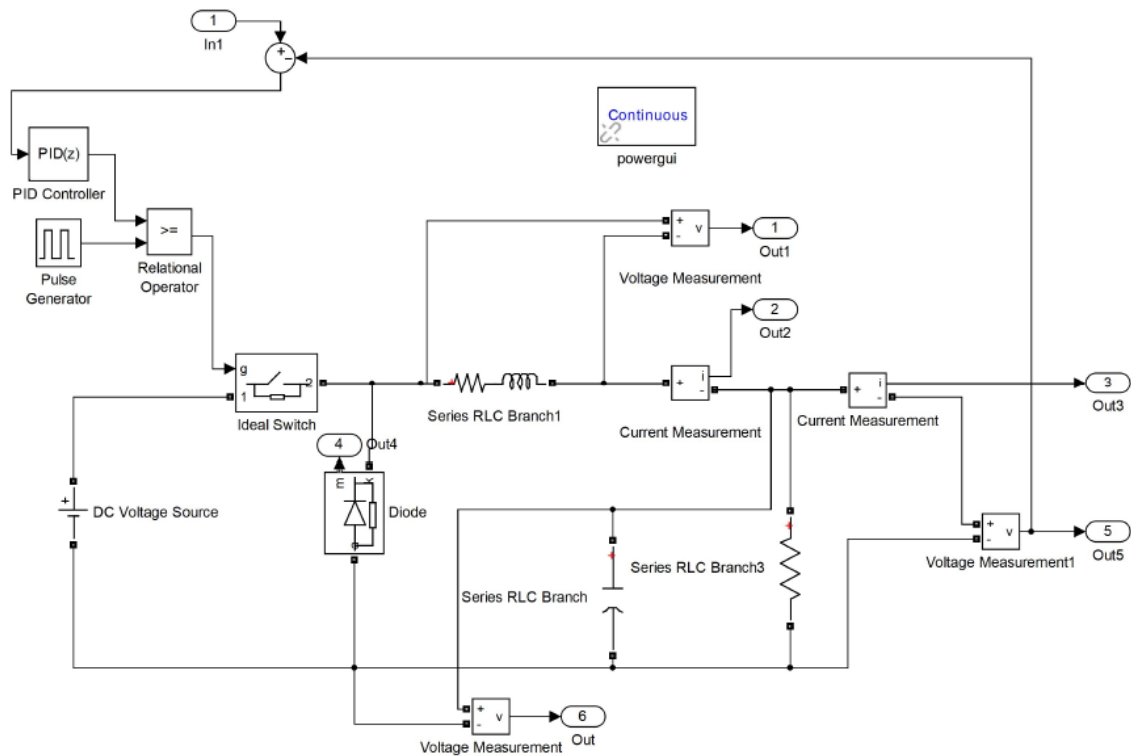


Fig. 3: Physical model of a buck converter

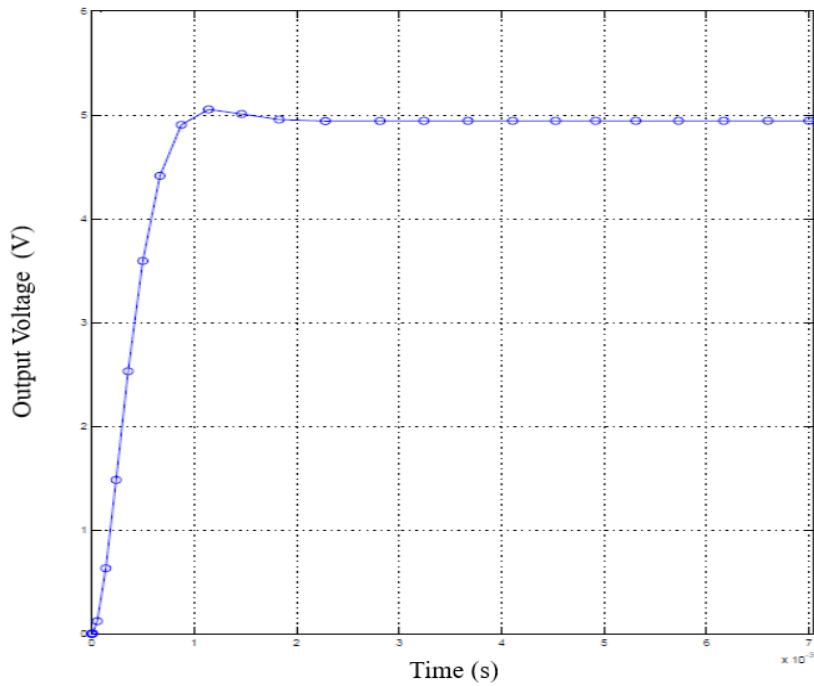


Fig. 4: Output voltage waveform obtained from the physical model

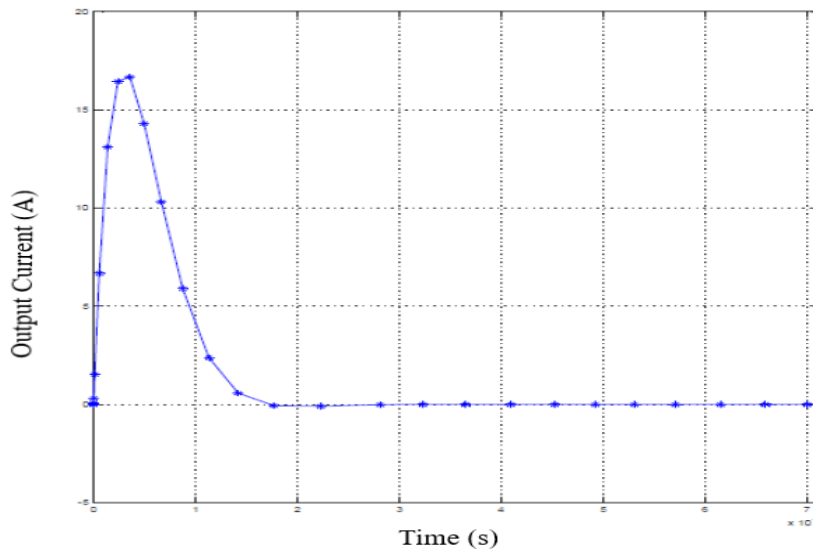


Fig. 5: Output current waveform obtained from the physical model

4. Conclusion

In the study “Mathematical modeling of the response of a step-down converter to disturbing influences”, we considered the issues of mathematical modeling of the reaction of a step-down voltage converter to disturbing actions, which provides a two-stage transfer of a dynamic system from an arbitrary state to a state determined by the required value of the output voltage.

The suitability of using the method of analytical synthesis of aggregated controllers with integrated adaptation for a simplified mathematical model of a buck converter in DC mode (CCM) and a constant frequency of the power switch is shown.

The results of the study can be relevant in control systems for poorly formalized dynamic objects and in decision support systems for managing nonlinear objects with chaotic modes.

References

[1] Chun T. Rim, Gyu B. Joung, and Gyu H. Cho, “Practical Switch Based State-Space Modeling of DC-DC Converters with All Parasitics,” IEEE Trans. on power electronics, vol. 6 No. 4 October 1991

[2]Undeland, M. N., Robbins, W. P., & Mohan, N. (1995). Power electronics. *Converters, Applications, and Design*.

[4] Hart, D. W., & Hart, D. W. (2011). *Power electronics* (Vol. 166). New York: McGraw-Hill.

- [5] Kaur, R., & Kaur, N. (2014). Mathematical Modelling of Buck Converter. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 2(5), 1226-1229.
- [6] Belous, A., Solodukha, V., Efimenko, S., & Pilipenko, V. (2022). Fundamentals of power electronics
- [7] Marian K. Kazimierczuk «Pulse-width modulated dc–dc power converters», 2008r.
- [8] Singh, P., & Purwar, S. (2012, December). Sliding mode controller for PWM based Buck-Boost DC/DC converter as state space averaging method in continuous conduction mode. In *2012 2nd International Conference on Power, Control and Embedded Systems* (pp. 1-5). IEEE
- [9] S. Laali, H.M Mahery, “Buck DC-DC Converter: Mathematical Modeling and Transient State Analyzes”, 3rd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2012, pp. 661-667.
- [10] Rodney H.G Tanl. , Matthew Y.W.Teow,” A Comprehensive Modeling, Simulation and Computational Implementation of Buck Converter Using MATLAB/Simulink" ,Energy Conversion(CENCON)",2014 IEEE Conference on 13-14 Oct.2014, pp. 37-42.
- [11] A. A. Kolesnikov, *Sequential Optimization of Nonlinear Aggregated Control Systems* (Energoatomizdat, Moscow,1987) [in Russian].
- [12] A.A. Kolesnikov, *Synergetic Control Theory* (in Russian) Moscow – Taganrog: TSURE, 1994, ISBN 50230-24678-2.
- [13] Kondratiev, I., Santi, E., Dougal, R., & Veselov, G. (2004, June). Synergetic control for DC-DC buck converters with constant power load. In *2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No. 04CH37551)* (Vol. 5, pp. 3758-3764). IEEE.
- [14] Khoroshavin, V. S. Singular optimal control of nonlinear objects: [monograph] / V. S. Khoroshavin, A. V. Zotov. - Kirov: Vyatka State University, 2019. - 208 p.
- [15] Mude, N. R., & Sahu, A. (2012). Adaptive control schemes for dc-dc buck converter. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(3), 463-467.
- [16] Ramana, K. V., Majhi, S., & Gogoi, A. K. (2018). Identification of DC–DC buck converter dynamics using relay feedback method with experimental validation. *IET Circuits, Devices & Systems*, 12(6), 777-784.
- [17] Viswanatha, V., & Reddy, R. V. S. (2016, October). Modeling, simulation and analysis of noninverting buck-boost converter using PSIM. In *2016 International Conference on Circuits, Controls, Communications and Computing (I4C)* (pp. 1-5). IEEE.
- [18] Chernykh I.V., "Simulink Dynamic Systems Modeling Tool [in Russian].

Araştırma Makalesi

Doğrusal Hedef Programlama Yaklaşımı İle Şehir İçi Toplu Ulaşım Sistemlerinin Modellenmesi

Aysun Sağbaş¹ , Ulviye Polat^{2,*} 

^{1,2} Endüstri Mühendisliği, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860

¹asagbas@nku.edu.tr, ²upolat@nku.edu.tr

Geliş: 02.12.2022

Kabul: 30.12.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1084078

Öz. Son yıllardaki hızlı nüfus artışı ile birlikte, toplu taşımada kullanılan şehir içi otobüslerin sayısının artması nedeniyle; çevre kirliliği, gürültü, yolcu memnuniyetsizliği, maliyet vb. gibi sorunlar da artmaktadır. Bu kapsamda; otobüslerin güzergahı, otobüs sefer sayısı ve sıklığı, yolcu taşıma kapasitesi, bekleme süreleri gibi faktörlerin planlanması büyük önem arz etmektedir. Toplu taşıma ve ulaşım sistemlerinde yapılacak yatırımların ekonomik maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle toplu taşıma ve ulaşım sistemlerinin verimli ve rasyonel planlanması ve sürdürülebilirliği, mevcut kapasitenin optimum kullanılması, karar vericiler için kritik bir konudur. Bu nedenle, çevresel, ekonomik ve toplumsal refah boyutları açısından şehir içi toplu taşıma sistemlerinin optimum planlanması, verimli ve sürdürülebilir olması mutlak bir zorunluluk olarak görülmektedir. Bu çalışmada; doğrusal hedef programlama yaklaşımı uygulanarak, yolcu taleplerini karşılamayı temel alan yeni bir sistem tasarımı geliştirilerek, şehir içi otobüs sefer çizelgeleme optimizasyonu yapılmıştır. Otobüs ulaşım sistemi için; sefer sayısı, sefer sıklığı, yolcu kapasitesi vb. gibi parametreler açısından mevcut durum analiz edilmiş olup, günlük yolcu talebini karşılayan sefer sayısı optimizasyon modeli oluşturulmuştur. Sonuçta; optimum sefer sayısı ve sefer sıklığı model sonuçları değerlendirilmiş ve elde edilen maddi kazanımların boyutu irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Hat çizelgeleme, Hedef programlama, Optimizasyon, Toplu taşıma

Urban Public Transportation Systems Modeling With Linear Goal Programming Approach

Abstract: With the rapid population growth in recent years, due to the increase in the number of city buses used in public transportation; environmental pollution, noise, passenger dissatisfaction, cost, etc. such problems are also increasing. In this context; it is of great importance to plan factors such as the route of the buses, the number and frequency of bus trips, passenger carrying capacity, and waiting times. Efficient and rational planning and sustainability of public transport and transportation systems, optimum use of the existing capacity are critical issues for decision makers, due to the high economic costs of investments in public transport and transportation systems. Therefore, in terms of environmental, economic and social welfare aspects, it is seen as an absolute necessity for urban public transportation systems to be optimally planned, efficient and sustainable. In this study; by applying a linear goal programming approach, a new system design based on meeting passenger demands was developed and city bus schedule optimization was performed. For the bus transportation system; number of voyages, voyage frequency, passenger capacity, etc. The current situation has been analyzed in terms of such parameters, and an optimization model has been created to meet the daily passenger demand. After all; the optimum number of voyages and voyage frequency model results were evaluated and the size of the financial gains obtained was examined.

Keywords: Goal programming, Line scheduling, Optimization, Public transport

*Sorumlu yazar

E-mail adresi: upolat@nku.edu.tr (U.Polat)

1. Giriş

Dünyada ve ülkemizde artan nüfusa paralel olarak, Çorlu/Tekirdağ bölgesi özelinde de; artan nüfus nedeniyle toplu taşımada kullanılan şehir içi otobüslerin sayısı artmakla birlikte; otobüslerin güzergahı, sefer sayısı ve sıklığı, yolcu taşıma kapasitesi, bekleme süreleri vb. gibi faktörlerin doğru planlanamaması; toplumsal, çevresel ve ekonomik sorunlar açısından çok büyük önem arz etmektedir. Bu sorunlar; fosil yakıtlarla çalışan araçların oluşturduğu çevre kirliliği, gürültü, yolcu memnuniyetsizliği ve maliyet öncelikli sorunlar olarak görülmektedir. Bu kapsamda; verimli ve sürdürülebilir bir toplu taşımanın planlanamaması, seyahat taleplerinin karşılanamaması, toplu taşıma sisteminde rotalamanın doğru yapılamaması, sefer çizelgeleme ve sefer sıklıklarının planlanması konusunda atıl kapasitenin oluşması nedeniyle, toplu taşıma hat çizelgeleme optimizasyonu, çalışmanın yapıldığı bölge özelinde ivedilikle çözüm getirilmesi gereken önemli bir problemidir. Şehir içi toplu taşıma sistemlerinde; yolcu memnuniyetinin yükseltilmesi amacıyla, sefer sayısı ve sefer sıklığının plansız bir şekilde artırılması; otobüs işletme maliyetini (personel, yakıt v.b. gibi) artırmakta ve havaya salınan egzoz gazı emisyonu nedeniyle, toplu taşıma kaynaklı hava kirliliğinin çoğalmasına neden olmaktadır. Sefer sıklığının yolcu kapasitesini karşılayamayacak kadar düşük olması ise; ekonomik ve çevresel açıdan avantajlar oluşturmasına rağmen, yolcuların toplu taşıma sisteminden memnuniyetsiz olması sonucunu doğurmaktadır. Bu nedenle, şehir içi toplu taşıma hat çizelgeleme optimizasyonu, ivedilikle çözüm getirilmesi gereken önemli bir problemidir. Sürdürülebilir bir toplu taşıma ve ulaşım sistemi için günlük (hafta içi ve hafta sonu) sefer sıklıkları çok büyük önem arz etmekte olup, özellikle gün içerisinde maksimum yoğunluğun olduğu saatlerde yapılması gereken seferlerin yolcu taleplerine göre hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle önerilen sistem tasarımı ve geliştirilen modelin işletim maliyetlerinin minimize edilmesi, çevreye duyarlılığın ve şehir içi toplu taşıma kaynaklı toplumsal refahın maksimize edilmesi açısından önemli faydalar sağlayacağı açıktır.

Yapılan çalışmada; Çorlu (Tekirdağ) ilçesinde toplu taşıma (otobüs) ulaşım sistemi için, belirlenen performans göstergeleri çerçevesinde; çizelgeleme ve optimizasyon modelinin oluşturulması amacıyla, mevcut durumda tüm otobüs hatları için veriler incelenmiş olup, yolcu memnuniyetinin en az olduğu hat, uygulamanın gerçekleştirileceği hat olarak seçilmiştir.

Belirlenen hat için; seyahat süreleri, ortalama bekleme zamanları, otobüslerin ortalama yolculuk süreleri, otobüs doluluk oranları, yolcuların otobüslere homojen dağılımları, kullanılan toplam otobüs sayısı, otobüsün trafiğe çıkış hızı, ayakta yolcu sayısı, seyahat sürecinde harcanan yakıt ve hava kirliliği etkisi vb. gibi performans ölçütleri incelenmiştir. Bu kapsamda belediyenin akıllı kart sisteminden alınan saatlik, günlük, aylık ve yıllık olarak elde edilen geçmiş verileri ve anket sonuçları irdelenmiştir. Çalışmada; şehir içi toplu taşıma sistemlerinde, sefer sıklıklarının belirlenmesi, sefer sayılarının optimum seviyesinin tespiti ve bu seferlerin hangi zaman dilimlerinde ve hangi kapasitede gerçekleşmesi gerektiğinin maliyet, çevresel etki ve toplumsal refah ekseninde belirlenmesi amaçlanmıştır. Doğrusal hedef programlama

kullanılarak geliştirilen sistem tasarımı ve modelleme yaklaşımında; şehir içi ulaşım için ayrılan bütçenin minimum kalması sağlanırken, mevcut hizmet kalitesinde ve yolcu-yükleme verileri ile en uygun sefer sıklığına ve optimum yolcu kapasitesine ulaşılması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada; verimli ve rasyonel bir sefer çizelgeleme sistemi ile yolcu konforu ile servis maliyeti arasında bir denge kurulması sağlanmıştır. Bu doğrultuda, toplu taşıma işletim maliyetini minimize eden ve yolcu memnuniyetini maksimum yapan bir sistem tasarımı amacıyla doğrusal hedef programlama modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen sefer sayısı optimizasyon modeli "Lingo" yazılımı yardımıyla çözümlenerek, elde edilen sonuçlar, mevcut durum verileri ile karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği 1 ve 7 numaralı otobüs hatları pilot hat olarak seçilmiş olup; "TEKULAŞ Araç Takip ve Koordinasyon Merkezi" verileri çerçevesinde geliştirilen sefer sayısı optimizasyon modelinde fayda/maliyet analizi yapılmıştır. Çalışma kapsamında; 2019 yılında 12 ay ve resmi tatil günleri haricinde, 12 ay için hafta içi ve hafta sonu olmak üzere tüm günler için yapılan detaylı analizlerde; gerçekleştirilen seferlerin yaklaşık % 95' inde mevcut sefer sayılarının model sefer sayısından daha fazla ya da eşit olduğu belirlenmiştir. Mevcut sistem (2019 yılı) ve geliştirilen model sefer sayıları arasındaki farkın; ekonomik fayda (daha az yakıt tüketimi, daha az bakım maliyeti, daha az personel (sürücü) maliyeti ve çevresel fayda (trafikte rahatlama ile birlikte çevreye verilen zararın minimuma indirilmesi) sağladığı görülmüştür.

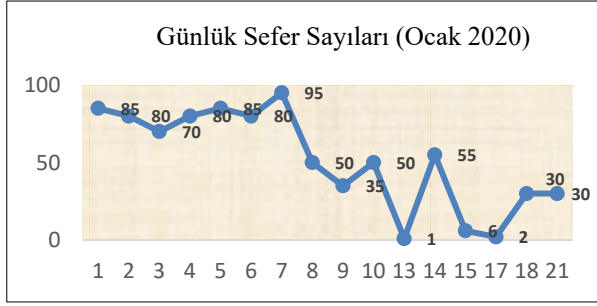
2. Literatür Özeti

Şehir içi toplu taşıma ulaşım sisteminin verimliliği, rasyonel planlanması ve sürdürülebilirliği konusunda detaylı bir bilimsel yazın taraması yapılmış olup matematiksel ve sezgisel modellerin kullanıldığı çok sayıda araştırma aşağıda özetlenmiştir. Yapılan çalışmaların önemli bir bölümünde [1, 2, 3] çok kriterli karar destek sistemleri, uzman sistemler ve sezgisel algoritmalar uygulanarak, güzergahlar boyunca yüksek hizmet kalitesiyle yolcuların seyahat sürelerinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Toplu taşıma sistemlerinde sefer aralıklarının belirlenmesinde kullanılan yaklaşım ve hesaplamalar [1, 2, 3, 4, 5] konforsuzluk düzeyi kapsamında ayakta seyahat eden yolcular ile ilişkilendirilirken, bazı çalışmalarda ise [2, 3, 6] filo büyüklüğü kısıtı konularak toplam seyahat sürelerini minimum yapan modeller geliştirilmiş olup, yolcuların en kısa güzergahı tercih etmesi sebebiyle toplu taşıma atama problemlerinin çözümü ele alınarak parametreler incelenmiştir. Bazı çalışmalarda da; duraklarda bekleme süreleri sabit olarak alınmıştır [7,4]. Literatür incelendiğinde; yolcu sayılarının tahminlerinde istatistiksel yöntemler ya da var olan akıllı sistemlerdeki yolcu sayıları göz önünde bulundurularak çalışmalar yapıldığı görülmüştür. İncelenen çalışmalar Tablo 1'de gösterilmektedir.

3. Mevcut Durum Analizi

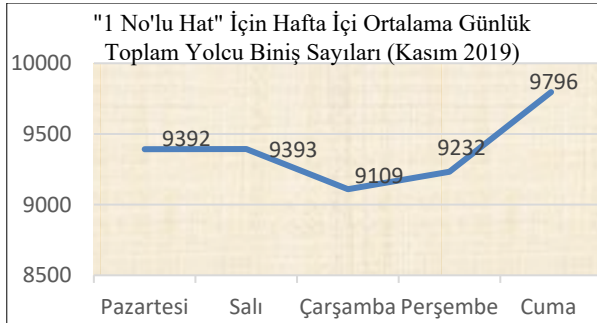
Çalışma kapsamında, Çorlu Belediyesi "TEKULAŞ Araç Takip ve Koordinasyon Merkezi" tarafından sağlanan veriler ekseninde, Çorlu Belediyesi'nin 2019 yılında ortalama 22 hat ile hizmet verdiği görülmüştür. Elde edilen verilere göre; 2020 yılı Ocak ayına ait hatlar bazında günlük sefer sayıları, Şekil

1’de gösterilmiş olup, pilot hat olarak seçilen 1 ve 7 numaralı hatlar için sırasıyla günlük ortalama 85 ve 95 otobüs seferi düzenlendiği belirlenmiştir.

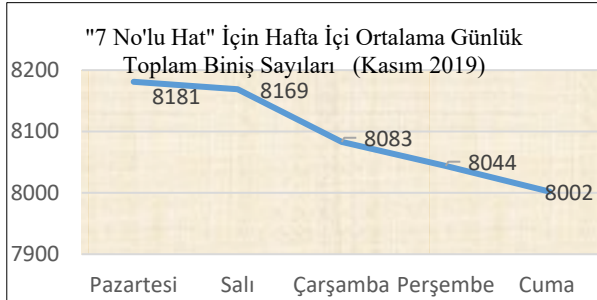


Şekil 1. Hat Bazında Günlük Sefer Sayıları (Ocak 2020)

Veri analizi gerçekleştirilen 1 numaralı hat için hafta içi ortalama yolcu biniş sayıları Şekil 2’de ve 7 numaralı hat için hafta içi ortalama yolcu biniş sayıları Şekil 3’te gösterilmektedir.



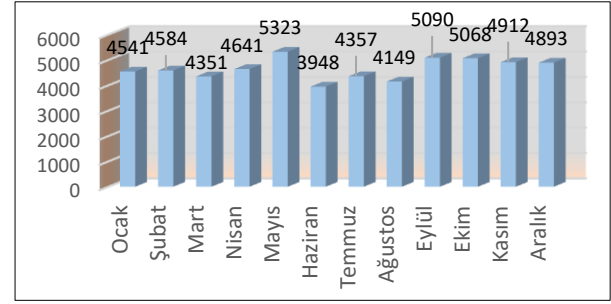
Şekil 2. Pilot Olarak Seçilen "1 Numaralı Hat" İçin Günlük Ortalama Yolcu Binış Sayıları (Kasım 2019)



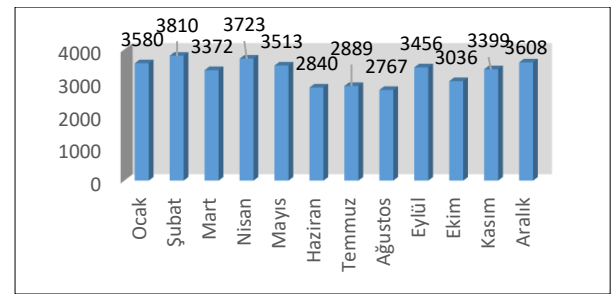
Şekil 3. Pilot Olarak Seçilen "7 Numaralı Hat" İçin Günlük Ortalama Yolcu Binış Sayıları (Kasım 2019)

Pilot olarak seçilen 1 numaralı otobüs hattına ait 2019 yılı Kasım ayı için hafta sonu ortalama yolcu biniş sayılarının, Cumartesi günü için 8543 yolcu ve Pazar günü için 7114 yolcu olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. İncelenen 7 numaralı otobüs hattına ait 2019 yılı Kasım ayı için hafta sonu ortalama

yolcu biniş sayılarının, Cumartesi günü için 5770 yolcu ve Pazar günü için 4747 yolcu olarak gerçekleştiği belirlenmiştir. İncelenen 1 ve 7 numaralı otobüs hattı için 2019 yılı aylık yolcu biniş sayıları Şekil 4 ve Şekil 5’te gösterilmiştir.

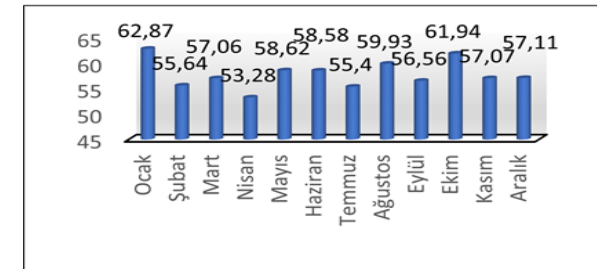


Şekil 4. İncelenen "1 Numaralı" Otobüs Hattı İçin 2019 Yılı Aylık Yolcu Binış Sayıları



Şekil 5. İncelenen "7 Numaralı" Otobüs Hattı İçin 2019 Yılı Aylık Yolcu Binış Sayıları

Şekil 4 incelendiğinde 1 numaralı hat için en yüksek yolcu biniş sayısının 5323 değeri ile Mayıs ayında gerçekleştiği görülmektedir. En düşük yolcu biniş sayısı ise 3948 değeri ile Haziran ayında gerçekleşmiştir. 1 numaralı hat için ait aylık ortalama yolcu sayısı 4655 olarak belirlenmiştir. Şekil 5 incelendiğinde 7 numaralı hat için en yüksek yolcu biniş sayısının 3810 değeri ile Şubat ayında gerçekleştiği görülmektedir. En düşük yolcu biniş sayısı ise 2840 değeri ile Haziran ayında gerçekleşmiştir. 7 numaralı hat için ait aylık ortalama yolcu sayısının 3333 olduğu görülmüştür. İncelenen 1 ve 7 numaralı hat için 2019 yılı aylık ortalama sefer süreleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7’de gösterilmiştir.

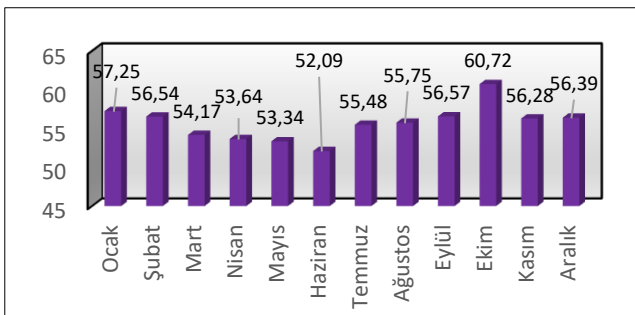


Şekil 6. İncelenen "1 Numaralı" Hat İçin 2019 Yılı Aylık Ortalama Sefer Süreleri (dk)

Tablo 1 Şehir İçi Toplu Taşıma Ulaşım Sisteminin Modellenmesi Konusunda Yapılan Çalışmalar

Yazar	Yıl	Kullanılan Metodoloji	İncelenen Parametreler	Amaç	Elde Edilen Sonuç
[8]	1972	İki seviyeli türeve dayalı model kullanılmıştır.	Sefer sıklıkları, Toplam süre, Yolcu sayısı	Güzergah sistemlerini yeniden tasarlayarak sefer sıklığı optimizasyonu yapılması	Modelin uygulanması ile toplam ulaşım süresi azalırken hizmet kalitesinin artacağı belirtilmiştir.
[9]	1981	Doğrusal olmayan bir optimizasyon ve çözüm algoritması kullanılmıştır.	Filo büyüklüğü, Ödenekler, Ücret, Bekleme süresi	Kısa sürede maksimum yolcu taşınması	Parametreler doğrultusunda istenilen sefer aralık değerlerine ulaşılmıştır.
[10]	1995	Tamsayı Programlama kullanılmıştır.	Sefer saatleri, Yolcu sayısı	Seferleri planlayarak trafik sıkışıklığını ve otobüslerin aşırı kalabalık olmasının engellenmesi	Sefer aralıkları optimizasyonu ile otobüsler hatlara daha verimli bir şekilde dağıtılmıştır.
[11]	1995	Sezgisel tabanlı bir model kullanılmıştır.	Doluluk oranı, Otobüs kapasitesi, Sefer sıklık değerleri	Otobüs hatlarının yeniden tasarımının gerçekleştirilmesi	Gerçekleştirilen uygulama ile modelin otobüs hattı tasarımı gerçekleştirmede faydalı olduğu görülmüştür.
[12]	2002	0-1 Tamsayı Programlama yöntemi kullanılmıştır.	Otobüs sefer sayısı, Yolcu talebi	Sefer sıklıklarının ve aralık değerlerinin verimli olarak belirlenmesi	Çalışma sonucunda gün, saat ve lokasyona göre toplu taşıma taleplerini eşleştirmenin mümkün olduğu belirtilmiştir.
[13]	2008	Hedef Programlama yöntemi kullanılmıştır.	Sürücü başına haftalık toplam iş, Sürücü başına haftalık izin	Araç, filo, tarife ve çizelgeleme problemlerini açıklayacak bir formülasyon elde edilmesi	Modelin uygulanması ile tarife problemlerinde oldukça yararlı olduğu ortaya konmuştur.
[14]	2008	Genetik Algoritma yöntemi kullanılmıştır.	Yolcu sayısı, Süre, Sıklık değerleri, İşletme maliyeti	Sefer çizelgesinin optimize edilerek işletme kalitesinin artırılması	Algoritmanın uygulanması ile toplam maliyetin azaldığı görülmüştür.
[15]	2008	Doğrusal Hedef Programlama yöntemi kullanılmıştır.	Araç sayısı, Araç tipi, Toplam sefer süresi, Sefer sıklık değeri	Otobüs hatları için optimum sefer sıklık değerinin bulunması	Doğrusal Hedef Programlama yönteminin bu problem için etkin çözüm sunduğu gösterilmiştir.
[16]	2010	Doğrusal Hedef Programlama yöntemi kullanılmıştır.	Sefer sıklığı, Otobüs filo büyüklüğü, Otobüs kapasitesi, Hat sefer süresi, Talep	Otobüs sefer sayılarını düzenleyerek sabahları otobüs kaynaklı oluşan trafiğin azaltılması	Uygulanan model ile sefer sayıları azaltılmış bu doğrultuda trafik ve toplam maliyette azalmıştır.
[17]	2012	Sezgisel Tabu Araştırması ve Hooke-Jeeves algoritması kullanılmıştır.	Seyahat maliyeti, Kapasite, Sefer aralık değeri	Toplu taşıma rotalarına en uygun otobüs kapasitesinin bu ve sefer aralıklarının düzenlenmesi	Uygulama, farklı büyüklükteki otobüslerin farklı rotalar ile eşleştirilmesinde modelin kullanılabilirliği ortaya konmuştur.
[18]	2012	Doğrusal Hedef Programlama yöntemi kullanılmıştır.	Sefer sayıları, Yolcu sayıları	Değişen yolcu talebi karşısında optimum sefer sıklığının belirlenmesi	Doğrusal Hedef Programlama yönteminin ulaşım mühendisliği açısından da kullanışlı bir yöntem olduğu ortaya konmuştur.

[19]	2013	Genetik Algoritma kullanılmıştır.	Yolcu ve işletme maliyeti, Filo sayısı, Seyahat süresi	Talebin belirsiz olduğu durumlarda optimum sefer sıklığının belirlenmesi	Çalışma sonucunda toplu taşıma maliyetlerinin azaldığı belirlenmiştir.
[20]	2014	Tamsayı Doğrusal Programlama kullanılmıştır.	Otobüs sefer saatleri	Belirli bir hat içerisindeki otobüslerin arasındaki zaman aralığını belirlenmesi	Model 13 hatlı bir sistemde denenmiş ve geçerliliği ortaya konmuştur.
[21]	2015	Dinamik Programlama yöntemi kullanılmıştır.	Otobüs varış süresi, Otobüs sefer aralığı, Yolcu bekleme süresi	Otobüslerin sefer aralığının maksimize ederek karın artırılması ve yolcu bekleme süresinin azaltılması	Önerilen sisteminin daha az bekleme süresi ve esneklik sağladığı görülmüştür.
[22]	2017	Doğrusal Hedef Programlama yöntemi kullanılmaktadır.	Sefer sayısı, Yolcu sayısı	Sefer sayılarını düzenleyip optimize edilmesi	Yöntem ile sefer sayıları optimize edilmiş, kar miktarının arttığı görülmüştür.
[23]	2017	Genetik Algoritma yöntemi uygulanmıştır.	Yolcu bekleme süresi, Sefer sıklığı	Otobüs rotaları ve sefer sıklıklarının optimize edilmesi	Otobüs kapasite ve rotaları göz önüne alınarak sefer sıklıklarının optimize edilebildiği ortaya konmuştur.
[3]	2018	Sezgisel Armoni Araştırması uygulanmıştır.	İşletme ve kullanıcı maliyeti, Talep miktarı	Kentiçi otobüs ağında sefer sıklıklarının optimize edilmesi	AA tabanlı bir modelin sefer sıklığı optimizasyonunda etkin olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.
[24]	2021	IVU.Plan programı ile optimizasyon uygulanmıştır.	Yol ağları, hatları, İşletme verileri ve çalışma kuralları	Sefer süre ve sayılarının belirlenmesi	Sefer sayılarının azaldığı ve verimlilik artışı görülmüştür.
[25]	2022	Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Regresyonu uygulanmıştır.	Yolcu, durma süresi, Duraklar arasındaki süre, Hava durumu	Duraklar arasındaki sürenin hesaplanması	Yapay Sinir Ağları daha doğru tahmin sonuçları sağlamıştır.

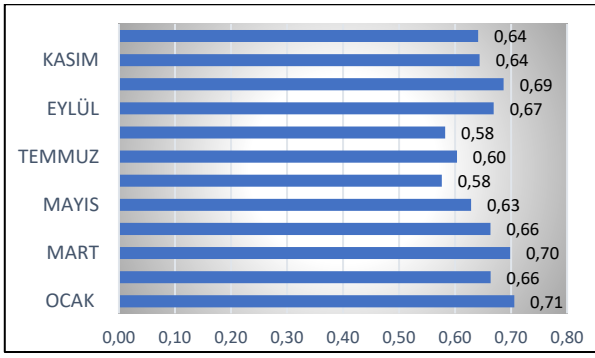


Şekil 7. İncelenen "7 Numaralı" Hat İçin 2019 Yılı Aylık Ortalama Sefer Süreleri (dk)

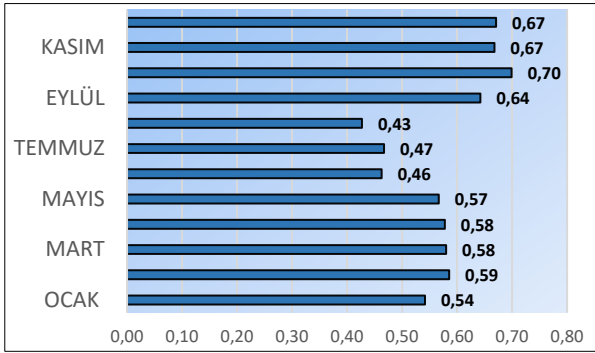
Şekil 6 incelendiğinde 1 numaralı hat için en düşük ortalama sefer süresinin Nisan ayında gerçekleştiği (53.28 dk), en yüksek ortalama sefer süresinin ise Ekim ayında gerçekleştiği (61.94 dk) görülmektedir. 1 numaralı hat sefer süreleri ortalaması 57.83 dk olarak elde edilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde 7 numaralı hat için en düşük ortalama sefer

süresinin Haziran ayında gerçekleştiği (52.09 dk), en yüksek ortalama sefer süresinin ise Ekim ayında gerçekleştiği (60.72 dk) görülmekte olup, hat sefer süreleri ortalaması 55.94 dk olarak elde edilmiştir. Çalışmada ayrıca 1 numaralı hat için araç kapasitesi değerleri ve yolcu biniş sayıları verisi incelenerek; aylık sefer doluluk oranları (%) hesaplanmıştır (Şekil 8).

Şekil 8'de gösterildiği gibi en yüksek doluluk oranı ortalama değeri Ocak (0.71) ayında elde edilmiştir. En düşük doluluk oranı değeri ise Haziran ve Ağustos aylarında (0.58) gerçekleşmiştir. İncelenen 7 numaralı hat için aylık ortalama doluluk oranları hesaplanmış ve şekil 9'da verilmiştir. 7 numaralı hat için yıllık ortalama kapasite kullanım oranı değeri 0.57 olarak bulunmuştur. Şekil 9'da görüldüğü gibi en yüksek doluluk oranı ortalama değeri Ekim (0.70) ayında elde edilmiştir. En düşük doluluk oranı değeri ise Ağustos ayında (0.43) gerçekleşmiştir.



Şekil 8. İncelenen “1 Numaralı” Hat İçin 2019 Yılı Aylık Doluluk Oranları (%)



Şekil 9. İncelenen “7 Numaralı” Hat İçin 2019 Yılı Aylık Doluluk Oranları

4. Yöntem

Yapılan çalışmada; Çorlu Belediyesi şehir içi toplu taşıma sefer sayılarının optimum planlanması ve çizelgelenmesi amacıyla, günlük seferler incelenmiş olup, sistem veriminin artırılması ve atıl kapasitenin minimize edilmesi planlanmıştır. Bu amaçla; pilot olarak seçilen 1 numaralı otobüs hattı için doğrusal hedef programlama yaklaşımı uygulanarak sefer sayısı optimizasyon modeli geliştirilmiş ve maliyet eksensiz kazanımlar açısından ay ve yıl bazında detaylı analizler yapılmıştır. Pilot olarak seçilen 1 numaralı hat için günlük sefer sayılarının değişken olduğu tespit edildiğinden, 1 saatlik aralıklarla çalışma dilimleri içerisinde otobüs kapasiteleri, hat sefer süreleri ve yolcu talepleri incelenerek hesaplanan optimum sefer sayıları sonrasında; optimum sefer sayıları belirlenmiş ve elde edilebilecek yakıt, bakım ve personel maliyeti eksensiz maddi kazanımlar hesaplanmıştır. Yolcu talebi ile araç arzı arasında uygun eşleşme yapıldığında, kullanılan araç sayısını minimize edecek ve mevcut yolcu talebine cevap verebilecek doğrusal hedef programlama yaklaşımı kullanılarak, bir sefer çizelgeleme modeli geliştirilmiştir.

Çok amaçlı programlama modellerinden olan doğrusal hedef programlama, birden çok optimizasyon amacı için, spesifik sayısal bir hedef belirlenmesini ve hedeflerden istenmeyen sapmaları minimum yapan çözümü araştırmayı amaçlamaktadır. Bir doğrusal programlama modelinde yer alan kısıtlayıcılar ve amaç fonksiyonları, hedef programlama modelinin sadece kısıtlayıcı kümesini oluşturur. Doğrusal hedef programlama modelinde, amaç fonksiyonları için ulaşılmak istenen hedeflerin belirlenmesi gerekir. Hedefleri belirlen amaç fonksiyonları bir eşitlik halinde kısıtlayıcı

kümesine eklenir. Bu işlem, her bir hedef fonksiyonu için sapma değişkenlerinin tanımlanmasını gerektirir. Sapma değişkenleri, hedef fonksiyonlarının hedeflerden ne kadar uzaklaştığının ölçülmesini sağlar. Sapma değişkenleri, negatif ve pozitif sapma olarak iki kısımda ele alınır [26].

Modelin karar değişkeni “Çorlu Belediye’sine ait şehir içi otobüs hatları için sefer sayıları” olarak belirlenmiştir. Model amaç fonksiyonu “hedef kısıtlara ait pozitif sapma değişkenleri toplamının minimize edilmesi” şeklinde eşit öncelikli olarak oluşturulmuştur. Modelin hedef kısıtları iki adet olup; “günlük yolcu talep değerine bağlı olan kapasite kısıtı ve günlük çalışma süresine bağlı süre hedef kısıtı” olarak belirlenmiştir. Modelin sistem kısıtları belirlenirken “her hattın otobüs sefer sürelerini, her otobüs hattının aldığı yol uzunluğunu ve otobüs taşıma kapasitesinin o hattaki yolcu talebini karşılaması” bir başka değişle; pilot otobüs hattı olarak seçilen hat için “otobüs filosunun belirlenecek olan sefer sayısı değerlerinde çalışarak, o hatlardaki yolcuların tamamına hizmet edebilmesi” model sistem kısıtı olarak alınmıştır. Çalışma kapsamında geliştirilen “doğrusal hedef programlama modeli” “Lingo” bilgisayar programı kullanılarak çözülmüş olup, mevcut yolcu talebini karşılayan optimum sefer sayıları bulunmuştur. Geliştirilen sefer sayısı optimizasyon modelinde; pilot olarak seçilen 1 numaralı otobüs hattı için; otobüs sefer süreleri, otobüs hattının aldığı yol uzunluğu ve otobüs taşıma kapasitesinin hattaki yolcu talebinin karşılanması parametreleri temel alınmıştır.

5. Bulgular

Çalışma kapsamında incelenen 1 ve 7 numaralı hatlar için geliştirilen sefer sayısı optimizasyon modeli, mevcut durum analizinde elde edilen veriler ekseninde; en yoğun sefer sayısının gerçekleştiği hafta içi ve hafta sonu günleri için örneklem alınarak oluşturulmuş ve optimum sefer çizelgeleme gerçekleştirilmiştir (Tablo 2 ve Tablo 3).

Tablo 2 incelendiğinde 1 numaralı otobüs hattına ait aylık ortalama yolcu sayısının 4655 olduğu görülmektedir. Veriler analiz edildiğinde 1 numaralı hat için sefer süreleri ortalaması 57.83 dk olarak elde edilmiştir. Örneklem alınan seferlerin araç kapasite ortalaması 71 yolcudur. Örneklem alınan tarihlerde yapılan seferlerin ortalama sayısı 81 iken modele göre 76 olarak ortalama değer bulunmuştur.

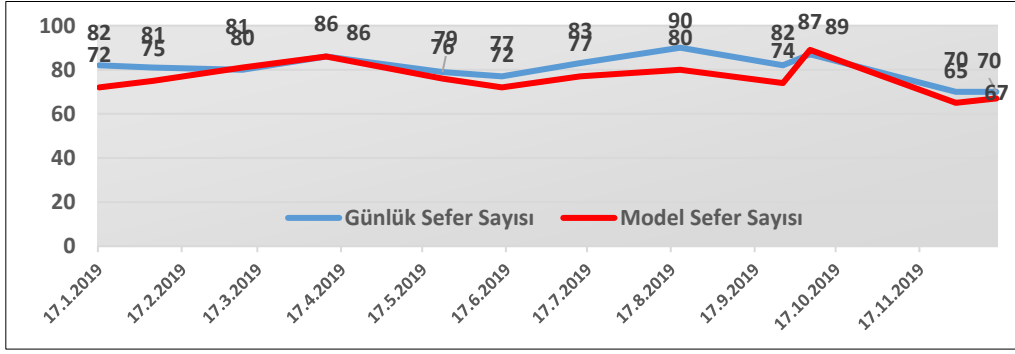
Tablo 3 incelendiğinde 7 numaralı hat için aylık ortalama yolcu sayısının 3333 olduğu görülmektedir. Veriler analiz edildiğinde 7 numaralı hat sefer süreleri ortalaması 55.94 dk olarak elde edilmiştir. Örneklem alınan seferlerin araç kapasite ortalaması 71 yolcudur. Örneklem alınan tarihlerde yapılan seferlerin ortalama sayısı 64 iken, modele göre ortalama sefer sayısı 58 olarak bulunmuştur. Şekil 10’da incelenen 1 numaralı hat için, mevcut durum ve geliştirilen sefer sayısı optimizasyon modelinden elde edilen sefer sayılarının değişimleri gösterilmektedir. Ekim (2019) ayında pazartesi günü alınan örneklem ve Mart (2019) ayında pazartesi günü alınan örneklemde mevcut durum ve geliştirilen model sefer sayıları arasında, %1.25 ve %2.3 değişim hesaplanmış olup, mevcut duruma göre sefer sayısının artırılması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Nisan (2020) ayı için alınan örneklemde mevcut durum ve model sefer sayıları birbirine eşit olarak bulunmuştur.

Tablo 2 İncelenen “1 Numaralı” Hat İçin Örneklem Alınarak Gerçekleştirilen Sefer Analizleri

Örneklem Tarihi	Örneklem Günü	Ortalama Araç Kapasitesi	Yolcu Sayısı (adet)	Ortalama Sefer Süresi (dk)	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı(adet)	Günlük Ortalama Sefer Süresi (dk)	Mevcut Durum Günlük Sefer Sayısı (adet)	Model günlük Sefer Sayısı(Adet)	Değişim (%)
17.01.2019	Perşembe	67	4826	59.79	4541	62.87	82	72	12.2(-)
6.02.2019	Çarşamba	67	4671	61.74	4584	55.64	81	75	7.4(-)
11.03.2019	Pazartesi	65	5302	57.25	4351	57.06	80	81	1.25(+)
11.04.2019	Perşembe	68	4650	49.41	4641	53.28	86	86	0
24.05.2019	Cuma	69	4507	56.64	5323	58.62	79	76	3.80(-)
15.06.2019	Cumartesi	70	4187	57.75	3948	58.58	77	72	6.49(-)
14.07.2019	Pazar	70	3456	53.6	4357	55.4	83	77	7.22(-)
20.08.2019	Salı	67	5327	57.01	4149	59.93	90	80	11.11(-)
27.09.2019	Cuma	73	5088	53.19	5090	56.56	82	74	9.75(-)
7.10.2019	Pazartesi	74	5465	56.36	5068	61.94	87	89	2.3(+)
30.11.2019	Cumartesi	79	4833	58.38	4912	57.07	70	65	7.14(-)
15.12.2019	Pazar	76	4115	57.7	4893	57.11	70	67	4.29(-)

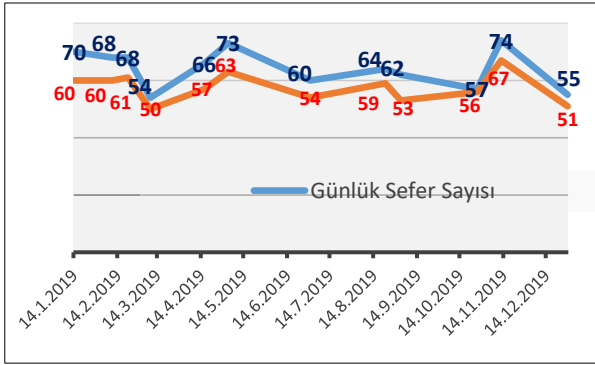
Tablo 3 İncelenen “7 Numaralı” Hat İçin Örneklem Alınarak Gerçekleştirilen Sefer Analizleri

Örneklem Tarihi	Örneklem Günü	Ortalama Araç Kapasitesi	Yolcu Miktarı	Ortalama Sefer Süresi (dk)	Günlük Ortalama Yolcu Sayısı	Günlük Ortalama Sefer Süresi (dk)	Günlük Sefer Sayısı	Model Sefer Sayısı	Değişim (%)
4.01.2019	Pazartesi	75	4355	56.68	3580	57.25	70	60	14.28 (-)
21.02.2019	Perşembe	71	4368	55.76	3810	56.54	68	61	10.29(-)
9.03.2019	Cumartesi	82	2404	53.7	3372	54.17	54	50	7.4(-)
16.04.2019	Salı	73	4091	54.51	3723	53.64	66	57	13.63(-)
3.05.2019	Cuma	73	4702	56.77	3513	53.34	73	63	13.69(-)
30.06.2019	Pazar	71	1986	53.29	2840	52.09	60	54	10(-)
10.02.2019	Çarşamba	75	2993	53	2889	55.48	68	60	11.76(-)
22.08.2019	Perşembe	75	3306	51.86	2767	55.75	64	59	7.24(-)
2.09.2019	Pazartesi	72	3579	58.68	3456	56.57	62	53	14.5 (-)
26.10.2019	Cumartesi	63	2604	54.05	3036	60.72	57	56	1.75(-)
12.11.2019	Salı	61	4045	57.36	3399	56.28	74	67	9.46(-)
29.12.2019	Pazar	60	1871	56.51	3608	56.39	55	51	7.27(-)



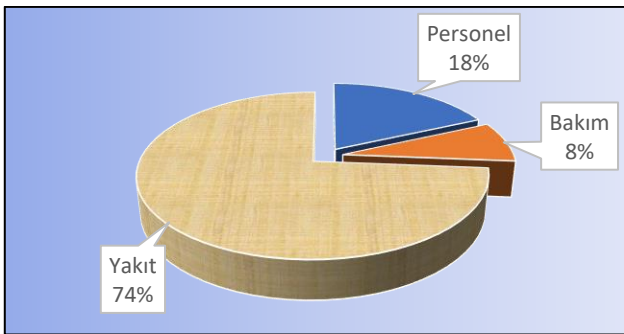
Şekil 10. Mevcut Durum ve Sefer Sayısı Optimizasyon Sayısı Modeli İçin Günlük Ortalama Sefer Sayıları (1 Numaralı Hat)

İncelenen 7 numaralı hat için, örneklem alınan tüm zaman periyotları için mevcut durum ve geliştirilen optimizasyon modeli sefer sayıları Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Mevcut Durum ve Sefer Sayısı Optimizasyon Sayısı Modeli İçin Günlük Ortalama Sefer Sayıları (1 Numaralı Hat)

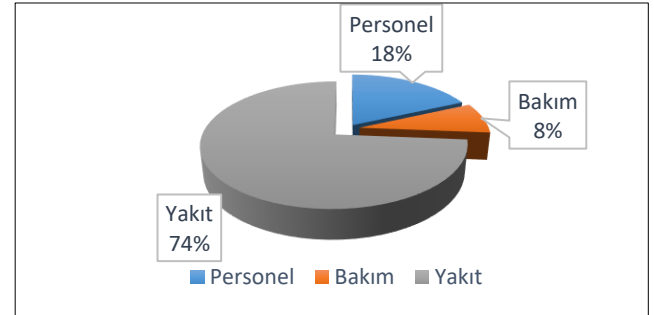
İncelenen 1 numaralı hat için yapılan analizler, yıl bazında geliştirildiğinde; yıllık toplam maliyet kazancı 135452,5 TL olarak öngörülmektedir. İncelenen 1 numaralı hat için, yıllık bazda bakım, personel ve yakıt maliyeti kazançlarının oransal dağılımı incelenmiş olup Şekil 12’de gösterilmektedir.



Şekil 12. İncelenen “1 Numaralı” Hat İçin Yıllık Bazda Bakım, Personel ve Yakıt Maliyeti Kazançlarının Oransal Dağılımı (%)

Yeni sistem tasarımı ile çizelgeleme yapılan 7 numaralı hat için günlük analizler, yıl bazında geliştirildiğinde; yıllık toplam maliyet kazancının 129352,5 TL olacağı

öngörülmektedir. İncelenen 7 numaralı hat için yıllık bazda bakım, personel ve yakıt maliyeti kazançlarının oransal dağılımı incelenmiş olup Şekil 13’de gösterilmektedir.



Şekil 13. İncelenen “7 Numaralı” Hat İçin Yıllık Bazda Bakım, Personel ve Yakıt Maliyeti Kazançlarının Oransal Dağılımı (%)

Çalışmada gerçekleştirilen analizler çerçevesinde; geliştirilen sefer sayısı optimizasyon modeli ile gün içerisinde yapılan boş seferlerin minimize edilerek, bu kapsamda oluşan maliyetin azaltılması sağlanmış ve sistemin verimi artırılmıştır.

5. Tartışma ve Sonuçlar

Yapılan çalışmada; Çorlu/Tekirdağ bölgesinde, verimli ve sürdürülebilir bir toplu taşıma planlaması gerçekleştirilmiş olup, müşteri talep, beklenti ve memnuniyetlerinin en iyilenmesi için çalışmalar yapılmış ve mevcut durum ve geliştirilen sefer sayısı optimizasyon modeli çerçevesinde, ekonomik, çevresel ve toplumsal açıdan elde edilen tasarrufun boyutu değerlendirilmiştir. Ayrıca; personel ihtiyacı, hava kirliliği ve özellikle trafik yoğunluğu açısından, şehir içi araçların yaptığı seferlerin direk yada dolaylı olarak etkilemesi bakımından seferlerin optimum seviyede yapılmasının önemli fayda sağladığı belirlenmiştir. Bu kapsamda yapılan çalışmada; verimli ve rasyonel bir sefer çizelgeleme sistemi ile yolcu konforu ile servis maliyeti arasında bir denge kurulması sağlanmıştır. Geliştirilen sefer sayısı optimizasyon modelinde “Tekulaş Araç Takip ve Koordinasyon Merkezi” tarafından sunulan 2019’a ait veriler kullanılmıştır. Geliştirilen model ile gün içerisinde yapılan boş seferlerin minimize edilmesi

sağlanmış ve bu kapsamda oluşan maliyet minimize edilerek sistemin verimi artırılmıştır. İncelenen 1 numaralı hat için örneklem alınarak gerçekleştirilen sefer analizlerinde sefer sayılarının en fazla % 11.11 azaldığı; 7 numaralı hat için en fazla %14.28 azaldığı sonucu elde edilmiştir. Oluşturulan model ile, daha az yakıt tüketimi, daha az sürücü maliyeti, trafikte rahatlama ile birlikte çevreye verilen zararın minimuma indirilmesi ve bunlarla birlikte belediye bütçesinden daha az maddi kaynak aktarımı nedeniyle işletim maliyetlerinin azaltılmasının mümkün olduğu görülmüştür. Çalışmada incelenen 1 ve 7 numaralı hatlar için elde edilen kazançların %74'nün yakıt olduğu; böylelikle enerji tasarrufuna katkı sağladığı görülmüştür. Çalışmanın sonucunda; şehir içi otobüs hatlarının sefer sayılarının optimize edilmesi ile; kişi başına düşen egzoz gazı salınımının azalması, gürültü kirliliği ve maliyetlerde azalma sağlanması, yolcu bekleme süreleri minimize edilmesi ve kapasite ve konfor açısından dengeli bir işletme koşulu sağlanması ve yolcu memnuniyetinin artırılmasının mümkün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yazar Katkısı

Bu çalışmada Yazar1, bilimsel yazın araştırması, veri toplama, araştırma tasarımı ve uygulaması ile makalenin oluşturulması; Yazar2, bilimsel yazın araştırması, araştırma tasarımı ve uygulaması ile makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Teşekkür

Çorlu Belediyesi ve TEKULAŞ Araç Takip ve Koordinasyon Merkezi yetkililerine desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Yasal/özel izin alınması gerekliliği bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- [1] Banks, J. H. (1990). Optimal headways for multi-route transit systems. *Journal of Advanced Transportation*, 24, 127–154.
- [2] Ceder, A. (2007). *Public transit and operation- Theory, Modelling and Practice* (1. Edition).UK: Butterworth-Heinemann.
- [3] Ceylan, H., & Özcan, T. (2018). Otobüs ağlarındaki sefer sıklıklarının armoni araştırması algoritması ile optimizasyonu: Mandl test ağı üzerine bir uygulama. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(6), 1107-1116.
- [4] Doğan, G., & Özuysal M. (2017). Toplu ulaşımda bekleme süresini etkileyen faktörlerin incelenmesi: güvenilirlik, yolcu bilgilendirme sistemi ve fiziksel koşullar. *İMO Teknik Dergi*, 7927-7954.
- [5] Genç, M.A., Alakaş, H.M., Eren, T., & Hamurcu, M. (2018). Ankara Metrosu M1 hattı hareket saatlerinin çizelgelenmesi: Bir karar destek sistemi uygulaması. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları*, 1(2), 108-128.

[6] Sazı Murat, Y. ve & Demirkollu, M. (2017). Hedef programlama yöntemi ile otobüs sefer sayılarının tespit edilmesi. *1nd International Turkish World Engineering and Science Congress*, Antalya, 7-10.

[7] Bağdatlı, M.E.C. (2020). Niğde ili toplu taşıma sistemlerinin yolcu talepleri açısından incelenmesi. *NÖHÜ Müh. Bilim Dergisi*, 9(1), 405-413.

[8] Silman, L. A., Barzily, Z., & Passy, U. (1974). Planning the route system for urban busses. *Computers & Operations Research*, 1(2), 201-211.

[9] Furth, P. G., & Wilson, W. H. M. (1981). Setting frequencies on bus routes: Theory and practice. *Transportation Research Record*, 818, 1-7.

[10] Oudheusden, D. L., & Zhu, W. (1995). Trip frequency scheduling for bus route management in Bangkok. *European Journal of Operational Research*, 83, 439-451.

[11] Baaj, M. H., & Mahmassani, H. S. (1995). Hybrid route generation heuristic algorithm for the design of transit networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 3 (1), 31-50.

[12] Ceder, A. (2002). Urban transit scheduling: framework, review, and examples. *ASCE Journal of Urban Planning and Development*, 128 (4), 225–244.

[13] Mesquita, M., Moz, M., Paiais, A., Paixao, J., Pato, M. V., & Respicio, A. (2008). Solving public transit scheduling problems. *Universidade de Lisboa, Lizbon*.

[14] Sun, C., Zhou, W., & Wang, Y. (2008). Scheduling combination and headway optimization of bus rapid transit. *Systems Engineering And Information Technology*, 8(5), 61-67.

[15] Alp, S. (2008). Doğrusal hedef programlama yönteminin otobüsle kent içi toplu taşıma sisteminde kullanılması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1:13, 73-91.

[16] Uludağ, N. (2010). Bulanık optimizasyon ve doğrusal hedef programlama yaklaşımları ile otobüs hatlarının modellenmesi (Doktora Tezi). *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli*.

[17] Ruisanchez, F., Dell'Olio, L., & Ibeas, A. (2012). Design of a tabu search algorithm for assigning optimal bus sizes and frequencies in urban transport services. *Journal of Advanced Transportation*, 46, 366-377.

[18] Deri, A. (2012). Akıllı kart verileri kullanılarak toplu ulaşım yolculuk talebinin belirlenmesi ve sefer çizelgeleme optimizasyonu (Yüksek Lisans Tezi). *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir*.

[19] Huang, Z., Ren, G., & Liu, H. (2013). Optimizing bus frequencies under uncertain demand: Case study of the transit network in a developing city. *Mathematical Problems in Engineering*.

[20] Martínez, H., Mauttone, A., & Urquhart, M. E. (2014). Frequency optimization in public transportation systems:

Formulation and metaheuristic approach. European Journal of Operational Research, 236 (1), 27-36.

[21] Berrebi, S. J., Watkins, K. E., & Laval, J. A. (2015). A real-time bus dispatching policy to minimize passenger wait on a high frequency route. Transportation Research Part B, 81, 377-389.

[22] Demirkollu, M. (2017). Hedef programlama yöntemi ile otobüs sefer sayılarının tespit edilmesi (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli.

[23] Chakroborty, P. (2017). Optimal routing and scheduling in transportation: using genetic algorithm to solve difficult

optimization problems, Indian Institute of Technology Transportation.

[24] Aydın, Y. B. (2021). Toplu Taşımada İşletme Planlaması ve Optimizasyonu: Sakarya Uygulaması (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

[25] Şahinbaş, K. (2022). Gerçek Hayat Verileriyle Makine Öğrenmesi Algoritmalarına Dayalı Otobüs Durak Süresi Tahmini. Dicle University Journal of Engineering, 13:3, 421-428.

[26] Taha, H. A. (2000). Operational Reserarch an Introduction. Literatür Yayıncılık.