

TÜRK MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA VE EĞİTİMİ DERGİSİ

2023 - Cilt: 2 Sayı: 2

ISSN: 2822-3454
E-ISSN: 2980-213X

Turkish Journal of Engineering
Research and Education

2023 - Vol: 2 No: 2

Bu dergi Türk Eğitim-Sen tarafından yayınlanmaktadır.

This journal is published by Türk Eğitim-Sen.



İmtiyaz Sahibi/ Owner	Talip GEYLAN - TÜRK EĞİTİM-SEN GENEL BAŞKANI
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü /Director	Cengiz KOCAKAPLAN - TÜRK EĞİTİM-SEN GENEL BAŞKAN YARDIMCISI
Yazışma Adresi / Correspondence Address	Erzurum Mahallesi Talatpaşa Bulvarı No:160 Kat:6 Cebeci/ANKARA
İnternet Adresi / Web Address	https://www.tmaed.org
Yayın Türü /Publication Type	Sürekli / Periodical Yılda iki sayı yayımlanır: Mayıs, Kasım Published two issues per year: May, November
Baş Editör / Editor-in-Chief	Prof. Dr. Murat Erhan BALCI – Balıkesir Üniversitesi
Baş Editör Yardımcısı / Deputy Editor-in-Chief	Doç. Dr. Nuray GEDİK – Balıkesir Üniversitesi
Alan Editörleri / Area Editors	Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Baybars Ali FİL- Balıkesir Üniversitesi Prof. Dr. Feray KÖÇKAR - Balıkesir Üniversitesi Prof. Dr. İsmail ŞAHİN - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Mehmet Hakan HOCAOĞLU - İstanbul Ticaret Üniversitesi Prof. Dr. Mustafa GÜNAY - Karabük Üniversitesi Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Osman KOLA - Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Prof. Dr. Recep BİRGÜL – Carroll College Prof. Dr. Şenol GÜRSOY - Karabük Üniversitesi Prof. Dr. Yasin ALEMDAĞ - Karadeniz Teknik Üniversitesi Doç. Dr. Adem TEKEREK - Gazi Üniversitesi Doç. Dr. İlker TEKİN - Karabük Üniversitesi Doç. Dr. Mustafa Selman AYDOĞAN - Balıkesir Üniversitesi Doç. Dr. Nihat DÖNGEL- Gazi Üniversitesi Doç. Dr. Osman ÖZKARACA - Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Doç. Dr. Tuba GÖZEL - Gebze Teknik Üniversitesi
Editör Kurulu / Editorial Board	Prof. Dr. Abid ABU-TAIR - British University in Dubai Prof. Dr. Ahmed F. ZOBAA-Brunel University Prof. Dr. Adil EL-KORDI - Beirut Arab University Prof. Dr. Ali Fuat BOZ – Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Prof. Dr. Behnam MOHAMMADI-IVATLOO - University of Tabriz Prof. Dr. Can HAŞIMOĞLU– Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Prof. Dr. Çetin ELMAS - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. F. P. Garcia MARQUEZ - University of Castilla-La Mancha Prof. Dr. Gürkan ÖZDEN - Dokuz Eylül Üniversitesi Prof. Dr. Iqbal BABAYEV - Azerbaijan Technical University Prof. Dr. Jamal KHATIB - Beirut Arab University Prof. Dr. John KINUTHIA - University of South Wales Prof. Dr. Maksud BOBOJANOV - Tashkent State Technical University Prof. Dr. Mürsel ERDAL - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Nurali YUSUFBEYLİ - Azerbaijan Technical University Prof. Dr. Ömer EYERCİOĞLU - Gaziantep Üniversitesi Prof. Dr. Sergey BUSHİYEYEV - Azerbaijan Technical University Prof. Dr. Seyhan FIRAT - Gazi Üniversitesi Prof. Dr. Tuncay YİÇİT – Süleyman Demirel Üniversitesi Prof. Dr. Vilayet VELİYEYEV - Azerbaijan Technical University Prof. Dr. Z. ABDUL-MALEK - Universiti Teknologi Malaysia Assoc. Prof. Dr. S. H. E. Abdel ALEEM- Valley High Institute of Eng. and Tech. Dr. Abbas RABIEE - University of Zanjan Dr. Ali AHMADIAN - University of Bonab Dr. Amin Mohammadpour SHOTORBANI - University of British Columbia Dr. D. R. ALMALYK - The Islam Karimov Tashkent State Technical University Dr. Morteza Zare OSKOU EI - Qatar University Dr. Pouya IFAEİ - Kyung Hee University Dr. Saeed PEYGHAMI - Aalborg University Dr. Vahid VAHIDINASAB - Nottingham Trent University Dr. Zeynep HASIRCI TUĞCU - Karadeniz Teknik Üniversitesi

Mizanpaj Editörleri / Layout Editors	Doç. Dr. Yakup KAYA – Karabük Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Hakan ADA – Gazi Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Onur ALTUNTAŞ – Milli Savunma Üniversitesi Öğr. Gör. Dr. Mehmet Serkan YILDIRIM – Gazi Üniversitesi
Dil Editörleri / Language Editors	Türkçe: Dr. Öğr. Üyesi Ünsal Yılmaz YEŞİLDAL-Akdeniz Üniversitesi İngilizce: Prof. Dr. Recep BİRGÜL –Carroll College Doç. Dr. Erkan YÜCE – Aksaray Üniversitesi
Teknik Editörler / Technical Editors	Doç. Dr. Adem TEKEREK - Gazi Üniversitesi
Sekretarya / Secretariat	Öğr. Gör. Dr. Şevket CANTÜRK – Balıkesir Üniversitesi Öğr. Gör. Mehmet GÜLSÜN – Gazi Üniversitesi

Bu Sayının Hakemleri/ Reviewers for the Current Issue	Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT - Aksaray Üniversitesi Doç. Dr. Gürcan ÇETİN - Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Doç. Dr. Muhammed Yasin DURGUN - Bartın Üniversitesi Doç. Dr. Murat AYAZ - Kocaeli Üniversitesi Doç. Dr. Nafiz YAŞAR - Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Doç. Dr. Osman ÖZKARACA - Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Doç. Dr. Selami BALCI - Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Doç. Dr. Serdar BİROĞUL - Düzce Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Emrah ERDOĞDU - Karabük Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Bekir AKSOY - Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Ensar Arif SAĞBAŞ - Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Erkul BAŞARAN - Piri Reis Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Gül Fatma TÜRKER - Süleyman Demirel Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Kamil KARAÇUHA - İstanbul Teknik Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Metin TURAN - İstanbul Ticaret Üniversitesi Araş. Gör. Dr. Emel DEMİRYILMAZ - Balıkesir Üniversitesi Araş. Gör. Yük. Müh. Oğuz KÖSE - Balıkesir Üniversitesi
--	--

HAKKINDA

Türk Eğitim-Sen'in bilimsel yayın organı olan Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi, mühendislik alanında hazırlanan güncel, özgün ve nitelikli çalışmalarını yayımlayan uluslararası hakemli bilimsel bir dergidir. Bu dergi, ilk sayısı 15 Haziran 2014 tarihinde yayımlanan "21. Yüzyılda Fen ve Teknik" dergisinin bölünmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi, Mayıs ve Kasım aylarında yılda iki sayı olarak yayımlanmaktadır. Açık erişim bir dergidir ve makaleler için herhangi bir değerlendirme ve başvuru ücreti talep etmez.

ABOUT

Turkish Journal of Engineering Research and Education, the scientific publication of Türk Eğitim-Sen, is an international peer-reviewed scientific journal that publishes current, original and qualified studies in the field of engineering. This journal emerged as a result of the division of the "Science and Technology in 21st Century" journal, the first issue of which was published on June 15, 2014. Turkish Journal of Engineering Research and Education is published twice a year, in May and November. It is an open access journal and does not charge any evaluation and submission fee for manuscripts.

AMAÇ ve KAPSAM

Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitim Dergisi, mühendislik alanında güncel, özgün ve nitelikli çalışmalarını yayımlayarak, mühendislik öğrencilerinin eğitimlerini ve mühendislerin yaşam boyu mesleki gelişimlerini desteklemeyi, ayrıca mühendislik alan yazınına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu dergi, tüm mühendislik disiplinlerinden özgün araştırma makaleleri, derlemeler, kısa makaleler ve editöre mektupları yayımlamak üzere kabul eder.

AIMS and SCOPE

Turkish Journal of Engineering Research and Education aims to support the education of engineering students and the lifelong professional development of engineers, and also to contribute to the engineering literature, by publishing current, original and qualified studies in the field of engineering. This journal welcomes original research articles, reviews, short articles and letters to editor from all engineering disciplines for publication.

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Keyfi Kesitli Çok Sayıda Dielektrik Silindirden Elektromanyetik Dalga Saçılımı için Sınır ve Sıfır Alan İntegral Denklemlerinin Sayısal Olarak Kararlı Çözüm Algoritmaları ve Karşılaştırılmaları**
Numerically Stable Algorithms and Their Comparisons of Boundary and Null-Field Integral Equations for Electromagnetic Wave Scattering from Multiple Dielectric Cylinders with Arbitrary Cross-Section 73
Murat Enes Hatipoğlu, Fatih Dikmen
- Effect of Partial and Full Replacements of Natural Aggregate with Bottom Ash in Pervious Concrete Pavement**
Geçirgen Beton Kaplamada Doğal Agreganın Alt Kül ile Kısmi ve Tam Yerine Getirilmesinin Etkisi 79
Zeinab Nasser Eddine, Firas Barraaj, Jamal Khatib, Adel Elkordi
- Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Şebeke Etkileşimli Gerilim Kaynaklı Eviricilerin Kesir Dereceli Tekrarlamalı Kontrolcü Tabanlı Akım Kontrolü**
Fractional Order Repetitive Controller Based Current Control of Grid Interactive Voltage Source Inverter in Renewable Energy Systems 92
Fuat Kılıç
- Use of Artificial Intelligence in Next-Generation Wireless Network Infrastructures**
Yeni Nesil Kablosuz Ağ Altyapılarında Artımlı Zeka Kullanımı 104
Remzi Gürfidan, Mevlüt Ersoy, Hilal Kartal
- Manyetik Rezonans Görüntülerinden Beyin Tümörü Tespitinde Sınıflandırma Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi**
Comparative Analysis of Classification Algorithms in Brain Tumour Detection from Magnetic Resonance Images 113
Oruç Altay Kırılı, Merve Sansarcı, Osman Özkaraca, Gürcan Çetin
- Çelik Cürufu Kullanılan Yol Katmanlarında Geosentetik Tabaka Konumunun Etkisinin Belirlenmesi**
Determination of the Effect of the Position of Geosynthetic Layers on Road Layers using Steel Slag 123
Mürüvet Özsoy, Seyhan Fırat, Nihat Sinan Işık, Berna Unutmaz
- Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) ve Stiren Bütadien Kauçuğu (SBR) Kauçukların Kükürt ve Peroksit Vulkanizasyon ile Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi**
Investigation of Physical and Mechanical Properties of Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM) and Styrene Butadiene Rubber (SBR) with Sulfur and Peroxide Vulcanization 131
Ali Öteleş, İlker Köprü, Salih Hakan Yetgin

Akıllı Staj Mobil Asistanı: Tasarım ve Geliştirme
Smart Internship Mobile Assistant: Design and Development
Sinem Çeliktaş, Zeynep Aktürk, Özcan Özyurt

138

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Keyfi Kesitli Çok Sayıda Dielektrik Silindirden Elektromanyetik Dalga Saçılımı için Sınır ve Sıfır Alan İntegral Denklemlerinin Sayısal Olarak Kararlı Çözüm Algoritmaları ve Karşılaştırmaları

Numerically Stable Algorithms and Their Comparisons of Boundary and Null-Field Integral Equations for Electromagnetic Wave Scattering from Multiple Dielectric Cylinders with Arbitrary Cross-Section

Murat Enes Hatipoğlu^{1*} Fatih Dikmen¹

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye.

Geliş / Received: 29.04.2023

Kabul / Accepted: 18.05.2023

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author) Murat Enes Hatipoğlu hatipoglume@gtu.edu.tr

ÖZ: Günümüzde birçok mühendislik disiplinde, özellikle fotonik kristal yapılardan ve çoklu meta malzeme parçacıklarından saçılma problemlerinde, silindirik yapılardan dalgaların saçılması problemi büyük önem taşımaktadır. Zaman-harmonik silindirik elektromanyetik dalgaların sağladığı homojen Helmholtz denklemi ile ilgili olarak, keyfi kesitli çoklu kayıplı silindirik saçıcıların analizinde kullanılan sınır ve bölgesel integral denklem yöntemleri ve kararlı sayısal çözümleri tekrar ele alınmaktadır. Bunların verimli çalışmasına yol açan uygulama ve düzenleme stratejileri özetlenmiştir. Ele alınan saçılma problemi için fiziksel olarak ilgili titiz bir matematiksel model oluşturma süreci, elde edilen faydaları ifade etmek için sayısal sonuçlarla örneklendirilmiştir. Elde edilen avantajlar, özellikle fiziksel olarak karmaşık fenomenin artan karmaşıklığına sahip senaryolarla simülasyonları sırasında, gerekli sayıda doğru haneli temsilden yoksun olan sonlu doğruluklu hesaplama ortamında temel bir yardım aracı teşkil eder.

Anahtar Kelimeler: İntegral denklemler, iyi koşullu modeller, sıfır alan yaklaşımı, T matris yöntemi, silindirik saçıcılardan saçılma.

ABSTRACT: In many engineering disciplines nowadays, especially in scattering problems from photonic crystal structures and multiple metamaterial particles, the problem of scattering waves from cylindrical structures is of great importance. Regarding the homogenous Helmholtz equation standing for the time-harmonic cylindrical electromagnetic waves, the boundary and regional integral equation methods used in the analysis of the arbitrary cross section multiple lossy cylindrical scatterers and their stable numerical treatment is revisited. The implementation and regularization strategies leading to its efficient operation are outlined. The process of building a physically relevant rigorous mathematical model for the considered scattering problem is exemplified with numerical results to express the gained benefits. The obtained advantages provide a basic assist in a finite precision calculation environment which lacks the representation of the necessary number of significant digits, especially during simulations with scenarios of increasing complexity of the physically intricate phenomenon.

Keywords: Integral equations, well-conditioned models, null field approach, T matrix method, scattering by cylindrical scatterers.

1. GİRİŞ

İntegral denklemler, silindirik nesnelere zaman-harmonik elektromanyetik dalga saçılmasının modellenmesinde kilit rol oynar. Bu modeller

sayısal elektronikteki temel kapıların milimetre dalgası veya optik frekanslarda gerçekleşmesini mümkün kılan fotonik kristal yapılarının analizleri için büyük öneme sahiptir [1]. Kayıplı dielektrikler

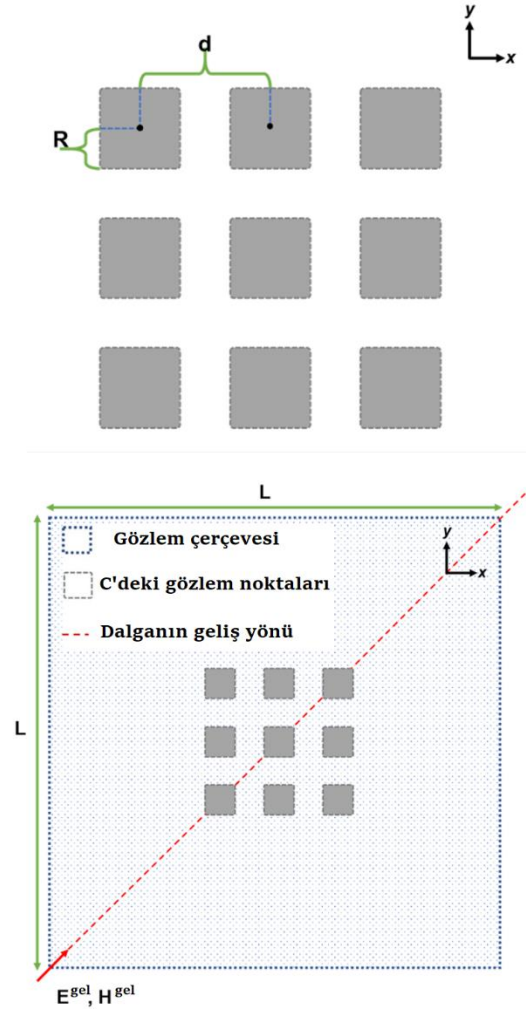
gibi geçirgen cisimler söz konusu olduğunda, saçılmış alanın integral gösterilimi, Helmholtz denklemi için serbest uzay Green fonksiyonundan yararlanır ve saçılan alanın sıfırdan farklı ve sıfır olduğu bölgelerde yazılmasına bağlı olarak farklı formülasyonlara yol açacaktır: İlki, sınır integral denklemlerine yol açarken, ikincisi, bölgesel integral denklemlere veya sıfır alan integral denklemlerine yol açar [2].

Kayıplı dielektrikleri içinde bulunduğu ortamdan ayıran sınırdaki eşdeğer yüzey akım yoğunlukları aranırken ilkinde çözümler için Galerkin tipi ağırlıklı rezidüel yöntemler, ikincisi için öz fonksiyon açılımları kullanılır [3]. Her ikisi de bizi genel olarak kötü koşullanmış doğrusal bir cebirsel denklem sistemine götürür. Bu, aranan bilgisayardaki kesilmiş çözümlerin, denklemin kaynağındaki yani sağ yanındaki küçük değişikliklere duyarlı olduğu anlamına gelir. Bu, söz konusu lineer cebirsel denklemlerin kesme sayılarını artırmak sonucunda sayısal bir çöküşe yol açar [4].

Bu sistemlerin sayısal kararlılığını sağlamak için, onları iyi koşullandırmaya yönelik bir regüleleştirme prosedürü kritik öneme sahiptir. Örneğin, Analitik Regüleleştirme Yöntemi, bu integral denklemlere dair, sonlu bir sayıda kesilmeleri yalnızca sistem boyutu arttıkça karşılık gelen çözümün doğruluğunu artıran doğrusal bir cebirsel sistemine ulaşmayı sağlayan bir yaklaşımdır [5]-[7]. İyi koşullandırmanın bahsedilen durumu, saçılmayı keyfi kesitli kayıplı dielektrik silindirler dizisi gibi tek değil, çok sayıda nesne için analiz ettiğimizde daha da önem kazanır. Çünkü sayısal gerçekleştirmelerle uğraşan iteratif çözümler, lineer cebirsel sistemin iyi koşullanmasına güçlü biçimde bağlıdır [8].

İlgilenilen sınır integral denklemleri, cebirsel-üstü yakınsak bir algoritma [3],[5],[6] tarafından ayrıklaştırılacakken, sıfır alan yöntemi, bilinmeyenlerin hızlı artan ve azalan faktörlerini ortadan kaldıran uygun ölçeklendirme yoluyla regüleleştirilecektir [7]. Fotonik kristaller, metalzemeler, dizi sensörler, ızgara yapılar gibi birçok pratik uygulamada ortaya çıkan söz konusu problem türü için yukarıda bahsedilen her iki integral denklem türünün sayısal uygulama

esasları, burada ele alınan konulara yönelik temel problemlerdir [9].



Şekil 1: $\theta_{\text{gelis}}=\pi/2$, $\varphi_{\text{gelis}}=\pi/4$ parametrelili bir düzlemsel dalganın aydınlattığı 3x3 dörtgen Zirkonyum Oksit çubukları.

Tablo 1: Şekil 1'deki problem için değerler

Geometrik parametreler	mm: milimetre	λ_0 : boş uzay dalga boyu
R	0.35	0.0899
d	2.50	0.6421
L	20.0	5.1368
Elektriksel parametreler	mm: milimetre	arkaplan ortamı
ϵ_r	23.52 - j0.2285	1
μ_r	$1 + \chi$; $\chi = -0.0000138$	1
f	77GHz	

2. KEYFİ KESİTLİ KAYIPLI DİELEKTRİK SİLİNDİR DİZİLERİNDEN SAÇILMA

Sonraki bölümde Şekil 1 ve Tablo 1 ile verilen örnek üzerinde bu bölümde verilen modelin özelliklerini vurgulamak için sayısal sonuçlar verilecektir. Aşağıda konu edilen teknikler, ilki için Γ ile verilen saçıcı sınırındaki Fourier spektrumu ve ikincisi için sıfır alan bölgesi boyunca silindirik harmonik tayfi ile elde edilen iyi koşullu doğrusal cebirsel denklem sistemlerine yol açar.

Sınır İntegral Denklemleri

$(H, E)_z^{gelen}$ genlikli bir (TE, TM) kutuplu düzlem dalganın keyfi kesitli bir dielektrik silindiri uyardığını düşünelim. Sınır integral denklemi, yani ele aldığımız (manyetik, elektrik) alan integral denklemi – (M,E)AİD, $K_{m(z,l),(l,z)}$ aranan enine elektrik ve boyuna manyetik eşdeğer doğrusal akım yoğunlukları, ω açısal frekans ve $\chi_{\pm} = (\epsilon_{\pm}, \mu_{\pm})$ ilgili bölgenin sırasıyla manyetik ve dielektrik geçirgenliği olmak üzere bu durumda aşağıdaki görünüme sahiptir [3].

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{2}I-R^+ & j\omega\chi_+S^+ \\ -\frac{1}{2}I-R^- & j\omega\chi_-S^- \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_{m(z,l)} \\ K_{(l,z)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (H, E)_z^{gelen} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$\zeta, K_{m(z,l),(l,z)}$ 'den birini temsil etmek üzere, (1)'de tek ve çift tabaka potansiyelleri Γ sınırının her iki tarafındaki (\pm) bünye parametreleriyle yazılan aşağıdaki operatörler aracılığıyla tanımlanır.

$$\begin{bmatrix} S \\ R \end{bmatrix} (\zeta(q)) = \int_{\Gamma} \zeta(p) \begin{bmatrix} 1 \\ \partial_{n'} \end{bmatrix} \mathcal{G}_2(q, p) dl'. \quad (2)$$

Burada gözlem/kaynak noktaları sırasıyla q/p , ve $\partial_{n'}$ bunlardan ikincisine göre normal yöndeki türev iken, $\mathcal{G}_2(q, p) = -jH_0^{(2)}(k|q-p|)/4$, yani kayıplı bölgelerin benzetimi sırasında karmaşık değerli dalga sayısı k olan $e^{j\omega t}$ zaman uyumundaki 2 boyuttaki alanlar için homojen Helmholtz denkleminin boş uzaydaki Green fonksiyonudur.

Γ burada sonsuz düzgün bir eğri ile parametrize edilmiştir [9] ve bu sayede sadece tek değil birçok cisimden oluşan saçıcı sistemi söz konusu olduğunda ortaya çıkan genelleştirilmiş sınır halinde de çözüm nerdeyse cebrik-üstü yakınsayan vasıfta başarılabilir [3].

Sıfır Alan (T-Matrisi) Yöntemi

Öte yandan, bölgesel integral denklem, kötü koşulluluğunun [7]'deki gibi çözümlenmesiyle birlikte, [8]'deki tanımlarla aynı probleme yönelik çok sayıda dielektrik nesnenin saçılması için sıfır alan integral denklemine konu olduğunda, aşağıdaki gibi regülerleştirilmiş bir görünümde olur:

$$\left[\bar{I} - \tilde{\tilde{T}} \cdot \tilde{\tilde{S}}_N \right] \cdot f = \tilde{\tilde{T}} \cdot \bar{\mathcal{L}}_T \cdot a \quad (3)$$

Saçıcı kesiti bir daire olduğunda ve [10] ile parametreleştirilmiş sınırlar, uzama ve/veya girintilenmeye maruz olmadığında [7], bu denklem mükemmel bir şekilde ikinci türden bir lineer cebirsel sistem gibi davranır. Bu denklemin regülerleştirilmiş versiyonunda, $\tilde{\tilde{T}}$ tek tek her saçıcının kendi verisini karşılarken, $\tilde{\tilde{S}}_N$ çoklu saçılma etkileşimlerini tümleyen terimdir. $\bar{\mathcal{L}}_T \cdot a$ ise gelen alanca sınırlarda denklemi süren terimdir.

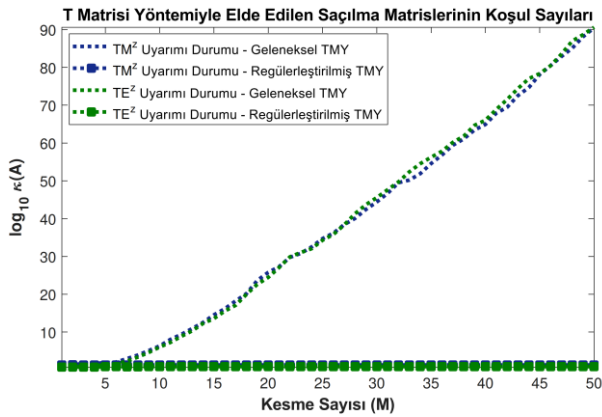
3. SAYISAL SONUÇLAR

Şekil 1'de verilen 3x3 dörtgen Zirkonyum-Oksit çubuk yapısından saçılma problemi Tablo 1'de verilen geometrik ve elektriksel parametrelerle ele alınmaktadır. Bu çubuk yapısı kutupsal ve yönsel geliş açısı sırasıyla $\theta_{geliş}=\pi/2$, $\varphi_{geliş}=\pi/4$ olan TM ve TE düzlem dalgalarla aydınlatılmaktadır. Dalganın ilerleme vektörünün z eksenine yaptığı açı olan kutupsal açı $\theta_{geliş}=\pi/2$ olduğundan, bir başka deyişle dik geliş durumu incelendiğinden TM ve TE uyarımları dekopple olurlar. Bu durum TM ve TE uyarımı durumlarının ayrı ayrı analizini mümkün kılar.

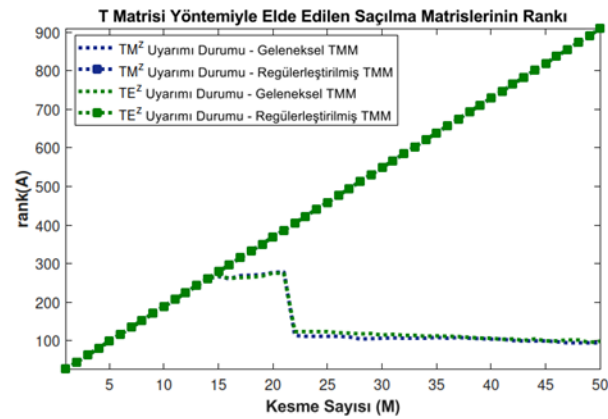
(3) denkleminde verilen Regülerleştirilmiş T Matrisi Yöntemi (RTMY) bu saçılma problemine uygulandığında ortaya çıkan denklem sisteminin geleneksel yöntemin aksine sayısal olarak kararlı olması beklenir. Bu sayısal kararlılığın göstergesi, saçılan alanların bilinmeyen katsayılarını içeren f vektörüyle soldan çarpılan saçılma matrisinin artan kesme sayısına göre sınırlı bir koşul sayısına sahip olması ve böylece iyi koşullu bir doğa göstermesidir. Şekil 2'de geleneksel T matrisi yöntemiyle elde edilen saçılma matrisinin TM ve TE uyarım durumları için koşul sayısı logaritmik olarak artarken, bu yöntemin regülerleştirilmiş halinin ikinci türden bir lineer cebirsel denklem

sistemine, iyi koşullu ve artan kesme sayısına göre koşul sayısı sınırlı kalan bir saçılma matrisine yol açtığı gözlemlenmektedir.

Aynı bulgulara Şekil 3'te verilen saçılma matrislerinin rankları üzerinden de varmak mümkündür. Her iki uyarım durumunda da geleneksel T matrisi yöntemiyle elde edilen saçılma matrislerinin belirli bir kesme sayısından sonra artan kesme sayısı ile ranklarının düştüğü görülmektedirken, RTMY için saçılma matrislerinin rankı sayısal olarak kararlı bir sisteme işaret etmektedir.



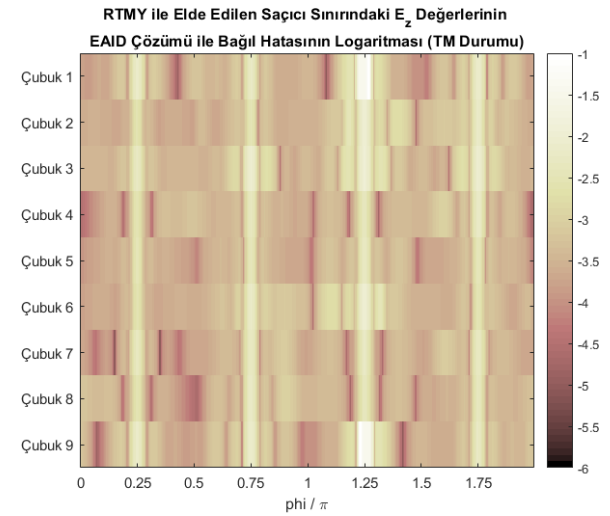
Şekil 2: TM ve TE kutuplu düzlem dalga uyarımları için T Matrisi Yöntemiyle (TMY) elde edilen saçılma matrislerinin kesme sayısına göre koşul sayıları grafiği.



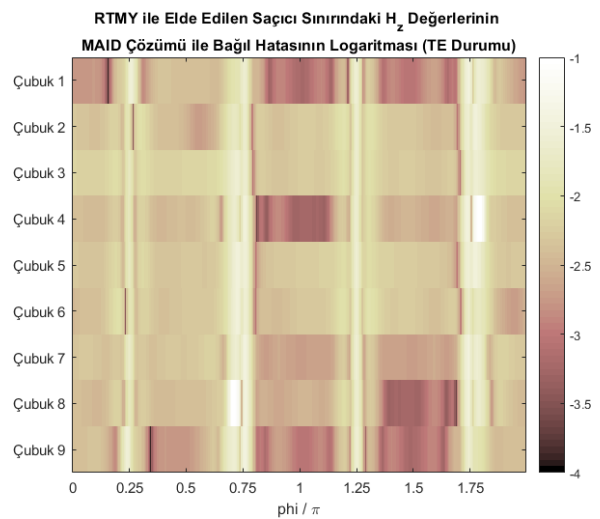
Şekil 3: TM ve TE kutuplu düzlem dalga uyarımları için T Matrisi Yöntemiyle (TMY) elde edilen saçılma matrislerinin ranklarının kesme sayısına göre grafiği.

Şekil 4 ve 5'te sırasıyla TM ve TE düzlem dalgalar için RTMY ile elde edilen, her bir saçıcının sınırında indüklenen akım yoğunluklarının E/M-AİD

çözümleriyle bağlı hatası logaritmik ölçekte yer almaktadır. T Matrisi yönteminde alanların silindirik harmonikler cinsinden ifade edilmesi dairesel sınırlarda doğru çözümler sunar, ancak keyfi kesitler için sınırda çözümün doğruluğu, saçıcının dairesel kesitten ne kadar saptığıyla ilişkilidir. Bu makaleye konu olan kare kesitli saçıcılar gibi çok uzun yahut derin oluklar içermeyen kesite sahip saçıcılar için T Matrisi yöntemi regülerleştirilse dahi Şekil 4 ve Şekil 5'te görülen hata mertebeleriyle çözümler sunmaktadır.

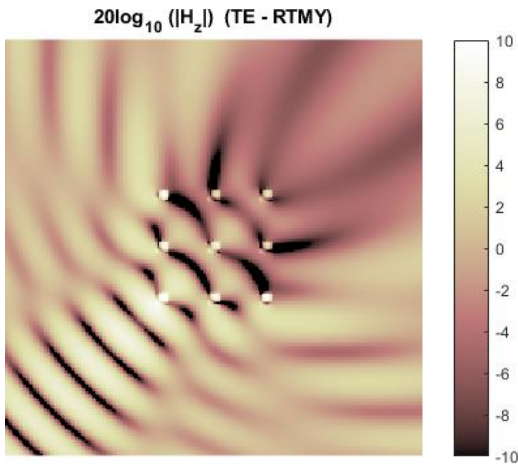


Şekil 4: TM durumunda RTMY ile elde edilen saçıcıların sınırındaki manyetik akım yoğunluğunun teğetsel bileşeninin (elektrik alanın z bileşeninin) EAİD çözümüyle bağlı hatasının log10 değerleri.

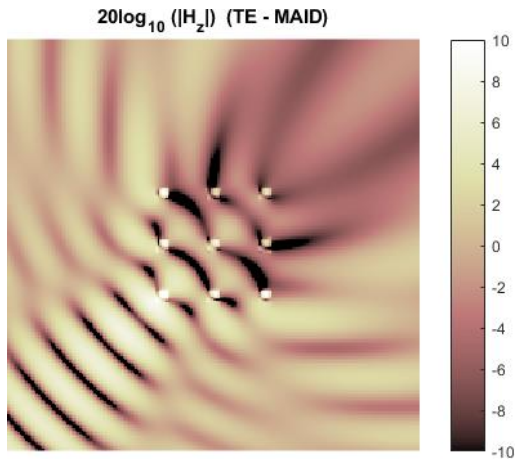


Şekil 5: TE durumunda RTMY ile elde edilen saçıcıların sınırındaki elektrik akım yoğunluğunun teğetsel bileşeninin (manyetik alanın z bileşeninin) MAİD çözümüyle bağlı hatasının log10 değerleri.

Ancak bu hatalara rağmen RTMY, Şekil 6'daki gibi saçıcı konfigürasyonu çevreleyen bir çerçeve üzerinde yakın alanlar söz konusu olduğunda Şekil 7'de verilen yakın alan MAİD çözümüyle tutarlı sonuçlar vermektedir. Buna ek olarak RTMY ile elde edilen çözümler nümerik olarak kararlı olup matris denklem sisteminin kesme sayısına duyarlı değildir. Bu çözümlerdeki hatalar Şekil 8'de görüldüğü gibi saçıcıların sınırında azami değer alır.



Şekil 6: Şekil 1'deki LxL'lik gözlem çerçevesinde TE durumda RTMY ile elde edilen manyetik alan şiddeti H_z 'nin dBA/m cinsinden değerleri.

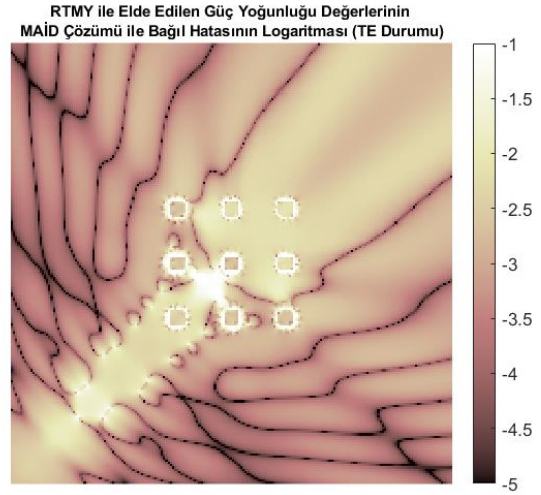


Şekil 7: Şekil 1'deki LxL'lik gözlem çerçevesinde TE durumda MAID ile elde edilen manyetik alan şiddeti H_z 'nin dBA/m cinsinden değerleri.

Şekil 4,5 ve 8'de verilen, RTMY ile hesaplanan niceliklerin (alan yahut güç yoğunluğu) E/MAİD ile elde edilenlerle bağıl hatasının logaritması LBH olmak üzere,

$$LBH = \log_{10} \left(\left| \frac{X^{RTMY} - X^{ID}}{X^{ID}} \right| \right) \quad (4)$$

ile verilir. Burada X^{RTMY} Regülerleştirilmiş T Matrisi yöntemiyle elde edilen niceliği, X^{ID} ise elektrik veya manyetik alan integral denklem çözümüyle elde edilen niceliği ifade eder.



Şekil 8: Şekil 1'deki LxL'lik gözlem çerçevesinde TE durumunda Regülerleştirilmiş T Matrisi Yöntemiyle elde edilen güç yoğunluğunun MAİD çözümüyle bağıl hatasının log10 değerleri.

4. SONUÇ

Bu çalışmada bahsedilen regülerleştirilmiş T-matris Yöntemi ve sınır integral denklem yöntemi birbirini doğrulamakta ve makalenin konusu olan saçılma problemi için doğru ve sayısal olarak kararlı bir çözüm üretmektedir. Bu yöntemler, farklı disiplinlerde ortaya çıkan iki boyutlu az kayıplı parçacık dizilerinden saçılma problemlerinde özellikle yararlıdır. Sonuçlar incelendiğinde, manyetik alan integral denklemi kullanılarak elde edilen çözüm daha güvenilir görünse de regülerleştirilmiş T matris yöntemi, periyodik saçıcılar dışında geniş bir alanda saçılan alan ve güç değerlerinin hesaplanmasında da hızlı ve pratiktir ve iyi koşullandırıldığı için geleneksel T matrisi yöntemi yerine sayısal olarak kararlı çözümler elde edebilmek için tercih edilebilirdir. Her iki yöntem de sayısal olarak kararlı ve doğru sonuçlar verdiği için, bu yöntemlerden herhangi biri saçılma ve böyle bir saçılma probleminin toplam alanı ve gücü hakkında bilgi verir.

Yazar Katkısı: Fatih Dikmen'in danışmanlığıyla temellendirilen ve detaylandırılan çalışma, Murat

Enes Hatipoğlu'nun problem kurulumu ve sayısal benzetimi ile şekillendirilmiş ve bulguların tartışmalarıyla tamamlanmıştır.

Çıkar Çatışması: Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylarız.

5. KAYNAKLAR

- [1] M.A. Butt, S.N. Khonina, N.L. Kazanskiy, "Recent advances in photonic crystal optical devices: A review," *Optics & Laser Tech.*, vol. 142, 107265, Oct. 2021.
- [2] W.C. Chew, "Waves and Fields in Inhomogenous Media," Wiley - IEEE Press, 1999.
- [3] E. Sever, F. Dikmen, and Y. A. Tuchkin, "Superalgebraically Converging Galerkin Method for Electromagnetic Scattering by Dielectric Cylinders," *Radio Sci.*, vol. 52, no. 10, pp. 1282-1292, Sep. 2017.
- [4] A. Ye. Poyedinchuk, Y. A. Tuchkin, and V. P. Shestopalov, "New numerical-analytical methods in diffraction theory," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 32, no. 9, pp. 1029-1046, Nov. 2000.
- [5] E. Sever, Y. A. Tuchkin, and F. Dikmen, "On a superalgebraically converging, numerically stable solving strategy for electromagnetic scattering by impedance cylinders," *Journal of Compt. Elec.*, vol. 17, no. 1, pp. 427-435, Oct. 2017.
- [6] F. Dikmen, E. Sever, S. Vatansever, and Y. A. Tuchkin, "Well-conditioned algorithm for scattering by a few eccentrically multilayered dielectric circular cylinders," *Radio Sci.*, vol. 50, no. 2, pp. 99-110, Jan. 2015.
- [7] M. E. Hatipoğlu, F. Dikmen, "On Regularization of the T Matrix Method for Cylindrical Objects with Arbitrary Cross Section," in *Bremen Zoom Workshop on Light Scat.*, 2021.
- [8] M. E. Hatipoğlu, F. Dikmen, E. Sever and Y. A. Tuchkin, "FMM Accelaration of 2D Well-Conditioned T-Matrix Method for Multiple Scatterers," in *ACES*, 2021, pp. 1-4.
- [9] M. E. Hatipoğlu, E. Sever, F. Dikmen, Ö. Eriş and Ö. Ergül, "Well-Conditioned 2D Models of Rod Arrays for Accelerating 3D Simulations of Photonic Crystals and Plasmonic Structures," in *ACES*, 2021, pp. 1-3.
- [10] S. Güler et al., "Modified superformula contours optimized via genetic algorithms for fastly converging 2D solutions of EFIE," in *IEEE APSURSI*, 2016, pp. 1333-1334.
- [11] M. S. Hilario et al., "W-Band Complex Permittivity Measurements at High Temperature Using Free-Space Methods," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Tech.*, vol. 9, no. 6, pp. 1011-1019, June 2019.
- [12] E. Sever, Y. A. Tuchkin, and F. Dikmen, "Correction to: On a superalgebraically converging, numerically stable solving strategy for electromagnetic scattering by impedance cylinders," *Journal of Compt. Elec.*, vol. 21, no. 2, pp. 550, Jan. 2022.

RESEARCH ARTICLE

Effect of Partial and Full Replacements of Natural Aggregate with Bottom Ash in Pervious Concrete Pavement

Geçirimli Beton Kaplamada Doğal Agreganın Taban Külü ile Kısmi ve Tam İkamesinin Etkileri

Zeinab Nasser Eddine^{1*} Firas Barraç² Jamal Khatib^{1,3} Adel Elkordi^{1,4}

¹ Dept. of Civil and Environmental Eng., Beirut Arab University, P.O. Box 11-5020 Beirut, Lebanon. Riad El Solh, Beirut 1107-2809, Lebanon.

² Department of Civil and Environmental Engineering, University of Balamand, P.O. Box 100, Al Koura 1304, Lebanon.

³ Faculty of Science and Engineering, University of Wolverhampton, Wolverhampton WV1 1LY, United Kingdom.

⁴ Dept. of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Alexandria university, Alexandria, 21511, Egypt.

Received / Geliş: 15.05.2023

Accepted / Kabul: 16.06.2023

*Corresponding Author: Zeinab Nasser Eddine, zeynab.naserddyne@gmail.com

ABSTRACT: Shrinkage is a main criterion of durability. Its control is essential for the long-term serviceability of concrete, especially pervious concrete (PC). This study examines the autogenous shrinkage and expansion of pervious concrete pavement (PCP), including municipal solid waste incineration bottom ash (BA) from a Lebanon source as a partial and full replacement of natural aggregate (NA). Five pervious concrete mixes were produced with various BA replacement ratios of 0, 25, 50, 75, and 100% BA (by volume), with comparable particle sizes to those of the natural aggregate. The study also investigates the compressive strength and total porosity of pervious mixes and analyzes the correlations between them. Results showed that the increase in BA content decreased the autogenous shrinkage, expansion, and compressive strength of PC mixes. However, it increases the total porosity of the mix. Results also present the correlations between compressive strength and autogenous shrinkage, expansion, and porosity at various curing days. A negative correlation was shown between expansion and total porosity, as well as between compressive strength and total porosity.

Keywords: Pervious, bottom ash, autogenous shrinkage, expansion, compressive strength, porosity.

ÖZ: Büzülme, dayanıklılığın ana kriterlerinden biridir. Betonun, özellikle de geçirimli betonun (PC) uzun süreçte hizmet verebilmesi için kontrol edilmesi gereklidir. Bu çalışma, doğal agreganın (NA) kısmi ve tam ikamesi olarak Lübnan kaynaklı belediye katı atık yakma taban külü (BA) içeren geçirgen beton kaplamasının (PCP) otojen büzülmesini ve genişmesini incelemektedir. Doğal agreganın kine yakın parçacık boyutlarında, %0, 25, 50, 75 ve %100 BA (hacimce) olmak üzere çeşitli ikame oranlarına sahip beş ayrı geçirimli beton karışımı üretilmiştir. Çalışmada geçirimli betonların basınç dayanımı ve toplam gözenekliliği incelenmiş, bunlar arasındaki korelasyonlar analiz edilmiştir. Sonuçlar, BA içeriğindeki artışın, PC karışımlarının otojen büzülmesini, genişmesini ve basınç dayanımını azalttığını göstermiştir. Bununla birlikte, BA içeriğindeki artış betonların toplam gözenekliliğini artırmıştır. Sonuçlar ayrıca çeşitli kürleme günlerinde basınç dayanımı ile otojen büzülme, genişme ve porozite arasında ilişki olduğunu da ortaya koymuştur. Genleşme ile toplam porozite arasında ve basınç dayanımı ile toplam porozite arasında negatif bir korelasyon olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geçirgen, dip külü, otojen büzülme, genişme, basınç dayanımı, gözeneklilik.

1. INTRODUCTION

The construction sector has recognized the ongoing need to develop PCP due to its numerous benefits, such as mitigating the negative impacts of population growth and addressing water runoff problems, in addition to its various environmental advantages [1]-[3]. PC is characterized by a low or negligible amount of fine aggregate, creating sufficient voids that facilitate the passage of air and water from the surface to the underlying layers [4]. However, alongside these benefits, PC presents certain challenges, including the determination of appropriate mix proportions, workability, as well as durability characteristics [5]-[10].

The primary constituent of PC structures is natural aggregate, accounting for approximately 70% of their total volume [11]. However, due to urban expansion and the rising demand for natural aggregate, this resource has become increasingly scarce. As a result, there is a persistent need for alternative resources. Municipal solid waste, which requires huge landfill space demands and poses chronic problems, particularly in densely populated countries like Lebanon, has led to an increased exploration of utilizing MSWIA as a replacement for natural aggregates. Thus, the need for disposal methods and landfill spaces for these wastes will diminish with their recycling and reusing, which is very advantageous, especially for this country where about 7,500 tons of MSW are produced each year. Part of these ashes will be incinerated. Bottom ash (BA) is the predominant component, constituting approximately 80% of the total municipal solid waste incineration ashes, making its utilization crucial within the circular economy. Numerous previous studies have investigated the effects of partially or fully replacing natural aggregates with bottom ash in concrete, focusing on its mechanical and structural properties [12]-[14].

In addition to considering and evaluating the engineering properties, it is crucial to evaluate the durability characteristics of concrete due to the development of cracks that pose a threat to its durability. Shrinkage serves as a fundamental criterion for durability, as excessive shrinkage results in the formation of cracks. Drying shrinkage occurs when the free water in concrete evaporates due to the low external humidity and temperature

of the cement paste [15]. Autogenous shrinkage, shares a similar mechanism with drying shrinkage but is internally induced, resulting from desiccation [16]. Expansion, in contrast, occurs when the specimen is exposed to water or excessive moisture [17].

Controlling shrinkage is of utmost importance in the construction industry, particularly for PC pavement, given its porous structure that exposes a large surface area to various environmental factors. While previous studies have explored this topic in PC [18]-[20], Few studies have been conducted on the shrinkage of PC pavement, specifically those containing bottom ash. This paper investigates the autogenous shrinkage, expansion, compressive strength, and total porosity of a PC pavement incorporating different amounts of bottom ash as a partial or full substitute for natural aggregate. Additionally, it explores the correlations between these factors.

2. EXPERIMENTAL METHODOLOGY

2.1 Materials

Portland cement 52.5 with a density of 3.15 g/cm³ was employed. Silica fume (SF) was also utilized with a density of 2.3 g/cm³ to improve the PC mechanical properties, while superplasticizer was applied to improve its workability. The employed natural aggregates ranged in size from 2.36 to 9.5 mm. The chemical compositions of the cement and SF can be found in Table 1. In the case of PC mixes incorporating waste, the bottom ash (BA) was submerged in water for one week for treatment. Both the natural aggregate (NA) and BA possessed identical particle sizes. The specific gravities and water absorptions were recorded as 2.51 and 1.62% for NA, and 1.8 and 12.49% for BA, respectively.

Table 1: Cement and SF chemical compositions.

	Cement	SF
SiO₂	21.6	90.8
Al₂O₃	4.05	0.56
Fe₂O₃	0.26	0.38
CaO	65.7	0.79
MgO	1.3	2.45
Na₂O	0.3	0.15
K₂O	0.35	0.15
SO₃	3.3	0.9
LOI	1.3	2.7

2.2 Mix Design

Five different mixes were produced. The ratio of water to binder in the control mix was 0.15, and the ratio of aggregate-binder was 4. The binder content was 400 kg/m³ and was composed of 90% cement and 10% silica fume. In the other four mixes, NA

was only replaced by volume with 25%, 50%, 75%, and 100% BA. All other mixes were kept constant across all mixes. Also, the superplasticizer remained at a constant level for all mixes and was determined and added based on the binder weight. The details of the mixes are listed in Table 2.

Table 2: Mix proportions of PC.

Notation	kg/m ³					
	NA	BA	Cement	SF	Water	Superplasticizer
0BA	1600	0	360	40	57	4
25BA	1200	288	360	40	57	4
50BA	800	575	360	40	57	4
75BA	400	862	360	40	57	4
100BA	0	1150	360	40	57	4

2.3 Sample Preparation and Testing

50 mm × 50 mm × 250 mm prism specimens were produced for the shrinkage measurement as well as the expansion measurement. After 24 hours, the specimens were taken out of the molds, and two demec points were positioned at 200 mm on each side of the samples, as represented in Figure 1 (a). A dial gauge (illustrated in Figure 1 (b)) was used to measure the length once a day for the first week, and then once a week for the next 28 days. Equation (1) was then used to calculate the length change,

which was then reported as the average readings for two samples for each mix.

$$LC = \frac{L_0 - L_i}{200} \times 10^{-6} \quad (1)$$

Where,

LC represents the length change ($\mu\epsilon$);

L_0 stands for the initial length that the dial gauge recorded (mm); and

L_i represents the length recorded by dial gauge on various days (mm).



Figure 1: (a) Sample with two demec points; (b) Dial gauge machine.

The autogenous shrinkage and expansion of mixes were determined according to ASTM C192 [21]. Specimens of both are shown in Figure 2. For autogenous shrinkage, the samples were placed in plastic bags to prevent exposure to environmental conditions from the outside. For expansion, specimens were submerged in water at a constant temperature of (20±1°C). In addition, compressive strength and total porosity experiments were

carried out on 70 mm cubes. Compressive strength was evaluated at 1-, 7-, and 28-days post-curing according to ASTM C39 [22]. The compressive strength value was determined by averaging the results of three replicates samples. The average of three specimens was recorded as the compressive strength value. The total porosity of the concrete was determined using ASTM C 1754 [23]. To assure the saturation of pores, the specimen was initially

submerged in water. After that, the weight of the samples (W_1) that were immersed was measured.

After the specimen had dried in the oven, its weight (W_2) was also obtained. Using equation (2), the

specimen's total porosity (P) was calculated as follows:

$$P = \left[1 - \frac{W_2 - W_1}{\rho V} \right] \times 100\% \quad (2)$$



Figure 2: (a) Specimens of autogenous shrinkage; (b) Specimens of expansion.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Autogenous Shrinkage

Figure 3 presents the evolution of autogenous shrinkage in PC mixes containing different BA contents during the 28 days of curing. The mixes containing BA showed a small expansion in the first few days. After that, autogenous shrinkage for all mixes began and rose with curing time. For example, the autogenous shrinkage of the 0BA mix increased from $3\mu\epsilon$ at day 1 to $437\mu\epsilon$ at day 28. This increase is attributable to the low water-to-cement ratio used, resulting in a low internal humidity that leads to the self-desiccation of the cement paste and automatically to autogenous shrinkage [1, 24, 25].

From the figure, we can also notice that the autogenous shrinkage increased faster in the first two weeks. This agrees with the results of conventional concrete with low w/c [26] and especially with the use of silica fume, where it has an effect on increasing the autogenous shrinkage [27], also, the early-age shrinkage [28].

The autogenous shrinkage of mixes containing BA diminished as BA content increased. For example, the autogenous shrinkage for 25BA mix at day 14 was $287\mu\epsilon$ and for 100BA mix at the same day was $114\mu\epsilon$. This decrease is attributed to the role of water in BA in improving the relative humidity of cement paste, resulting in a decrease in self-desiccation [29, 30].

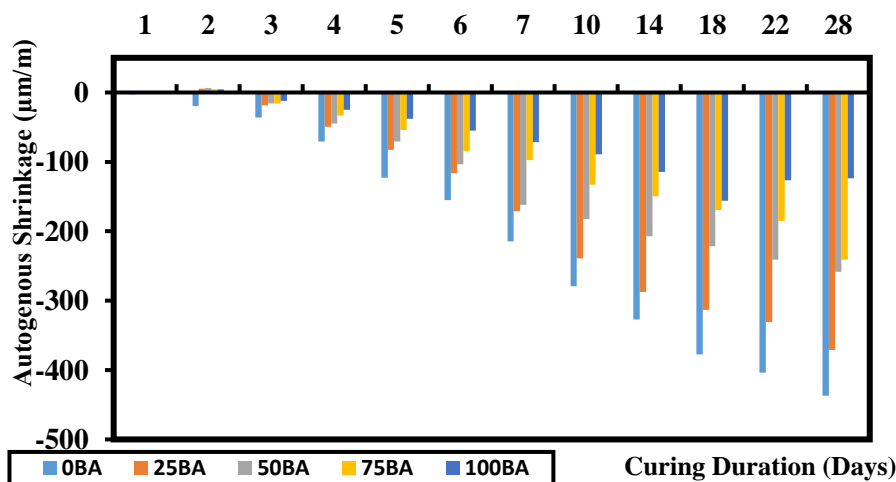


Figure 3: The evolution of autogenous shrinkage for PC mixes during 28 days.

Figure 4 displays the obvious difference in autogenous shrinkage between the control mix and the mixes containing BA. As mentioned before, autogenous shrinkage diminished as BA content increased. On day 7, the decrease was 21%, 25%, 55%, and 67% for mixes containing 25, 50, 75, and 100% BA, respectively. This reduction changes with

time in a non-uniform way with the increase in BA, due to the effect of heterogeneous pores on the formation of cement paste and consequently of shrinkage, to achieve values of 20%, 40%, 54%, and 71% observed for mixes with 25, 50, 75, and 100% BA, respectively, after 28 days.

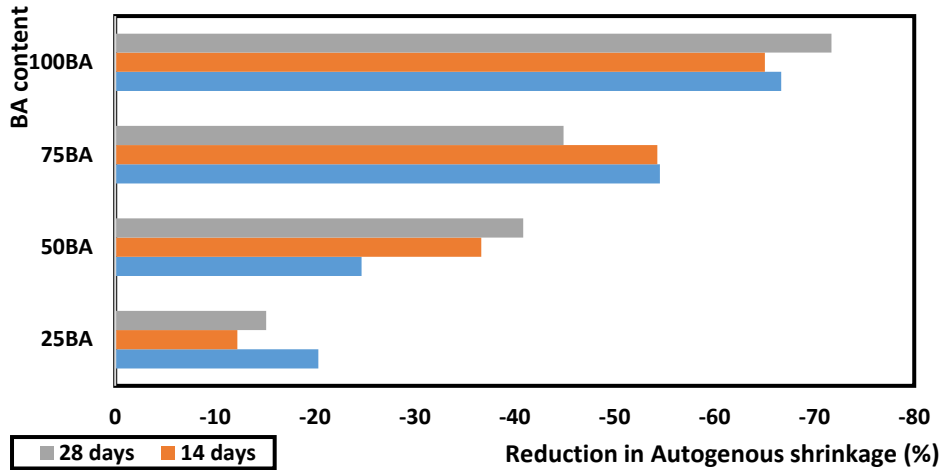


Figure 4: Difference between the autogenous shrinkage of the control PC (0BA) and mixes containing BA over 28 days.

3.2 Expansion

Figure 5 shows the evolution of expansion of PC mixes containing various amounts of BA during 28 days of curing. All mixes revealed continuous expansion with time due to the high relative humidity. For the control mix (0BA), the expansion behavior might be attributed to the gel expansion when exposed to high humidity [31] and it might also be due to the alkali-silica reaction (ASR) in aggregates [32]. The expansion value for 0BA at day

28 was 585 $\mu\epsilon$. It decreased as BA content increased to reach a value of 309 $\mu\epsilon$ at the same day for the mix containing 100BA. This decrease in expansion values as BA content increased is owing to the porous structure of BA aggregate, which leads to high porosity in mixes containing BA (Table 3) helping to accommodate the volume of expansion caused by the increasing relative humidity [30], the chemical reactions of the contaminants in BA [33] and the formation of expansion stresses [34].

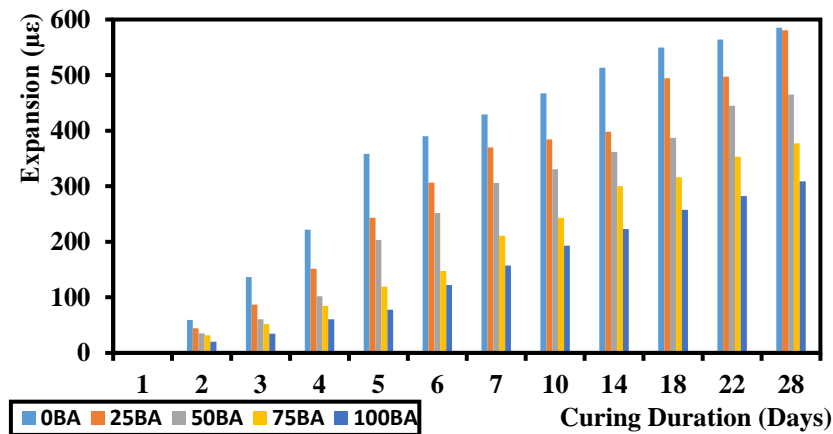


Figure 5: The evolution of expansion of PC mixes during 28 days.

Figure 6 presents the significant difference in expansion between the control mix and the mixes containing BA. Expansion decreased as BA increased. This decrease was 13%, 29%, 51%, and 63% at day 7 for mixes containing 25, 50, 75, and 100% BA, respectively. Due to the increase in porosity with BA content, the reduction in expansion continued to register values of 1%, 21%, 36%, and 48% for mixes containing 25, 50, 75, and 100% BA, respectively, after 28 days.

3.3 Compressive Strength

Table 3 presents the development of compressive strength of PC mixes containing different BA content at 1, 7, 14, and 28 curing days. For all curing time, there was a noticeable decrease in compressive strength as the BA content increased. For instance, at 7days, relative compressive strength of mixes containing BA to control mix (0BA) achieved values of 92.67%, 16.7%, 8.04%, and 7.39% for 25BA, 50BA, 75BA, and 100BA, respectively. This decrease in compressive strength

was due to the porous nature and the low strength of bottom ash particles which weaken the whole concrete.

Additionally, it is possible that the bonding between the cement paste and BA aggregates weakened due to the rounded shape of bottom ash compared to natural aggregate, further contributing to the reduction in compressive strength. These findings align with the research conducted by Tijani et al. [35] who examined the influence of aggregate type on the PC properties.

At 28days, the relative compressive strength of mixes containing BA to control mix (0BA) achieved values of 84.11%, 35.7%, 31.3%, and 29.7% for 25BA, 50BA, 75BA, and 100BA, respectively. The compressive strengths for all concrete mixes increased with the curing time. This increment of compressive strength between 7 and 28 days of curing was obvious as BA content increased due to the pozzolanic activity of bottom ash particles [36].

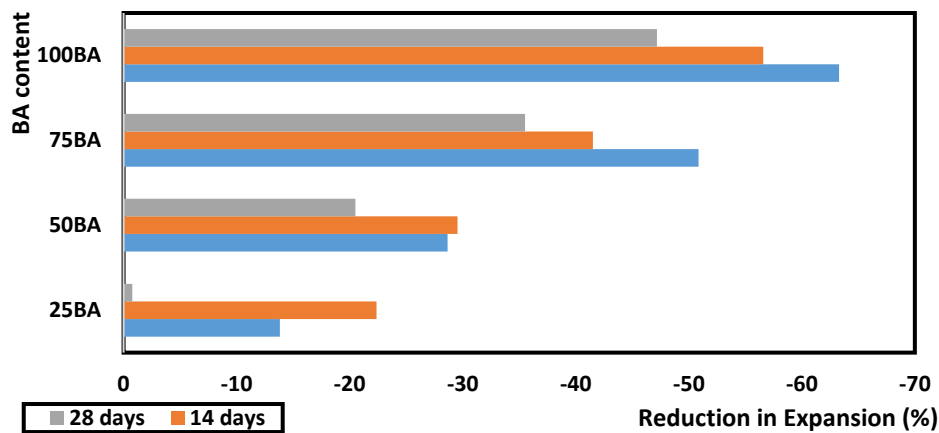


Figure 6: Difference between the expansion of the control PC (0BA) and mixes containing BA over 28days.

Table 3: Results of compressive strength and total porosity of PC mixes containing different BA percentages.

Notation	Compressive Strength (MPa)				Total Porosity (%)
	1 day	7 day	14 day	28 day	28 day
0BA	2.28	13.93	20.13	25.62	31.84
25BA	1.19	12.91	16.37	21.55	33.57
50BA	0.72	2.34	3.56	9.15	35.17
75BA	0.33	1.12	2.95	8.03	35.27
100BA	0.22	1.03	2.44	7.63	38.44

3.4 Porosity

Table 3 also displays the total porosity results of PC mixes containing varying percentages of BA. For the control mix, the total porosity was 31.8%. It increased to achieve a value of 38.4% for the 100 BA mix. With an increase in BA content, the total porosity of mixtures increased. This increase in porosity is mainly caused by of the BA particles' porous structure. Another potential factor could be the presence of aluminum in the BA, which could lead to the formation of H₂ [37][38]. Consequently, the incorporation of BA into the mixes exhibited a higher porosity.

Furthermore, the results of total porosity emphasized that the decline in compressive strength observed as BA content increased was directly related to the porous nature of the BA aggregates.

3.5 Correlation between Autogenous Shrinkage and Expansion

In Figure 7, the relationship between autogenous shrinkage and expansion at days 1,7, 14, and 28 is illustrated. The control mix (0BA) exhibited a significantly high coefficient of determination, reaching a value of 0.99, where this value fluctuates between 0.8 and 0.97 for the mixes containing BA because of the non-uniform distribution of BA particles between the NA aggregates and consequently non-homogenous pore structures. However, it displayed a non-uniform decrease as the BA content increased. Interestingly, the increase in humidity, attributed to the higher BA content, had a positive influence on both autogenous shrinkage and expansion. Nevertheless, both autogenous shrinkage and expansion decreased as the BA content increased.

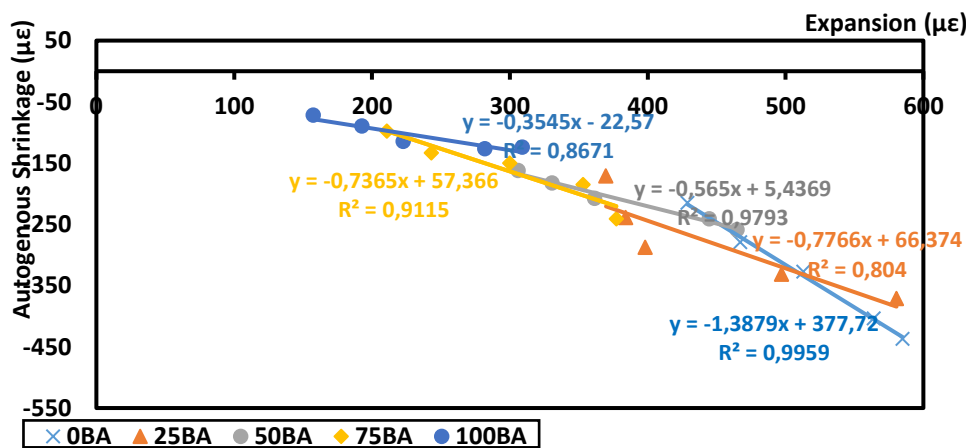


Figure 7: Correlation between autogenous shrinkage and expansion of PC mixes containing different percentages of BA.

3.6 Correlation between Autogenous Shrinkage and Compressive Strength

Figure 8 presents the correlation between autogenous shrinkage and compressive strength for all PC mixes. As observed, the correlation of control mix has a high coefficient of determination for the control mix (0BA) equal to 0.99, where this value fluctuates between 0.67 and 0.97 for the mixes containing BA. This coefficient of determination decreased in a non-uniform way as BA content increased due to non-homogenous pore structures of mixes containing BA particles. Additionally, the

figure shows that even though the presence of BA helps enhance the relative humidity of concrete and consequently the self-desiccation and autogenous shrinkage of mixes incorporating BA. The compressive strength of the control mix recorded the highest values at various curing days. This is due to the fact that the strength of concrete does not only depend on the cement paste itself. It also relates to the aggregate strength and the strength of the bonding between the aggregate and the cement paste.

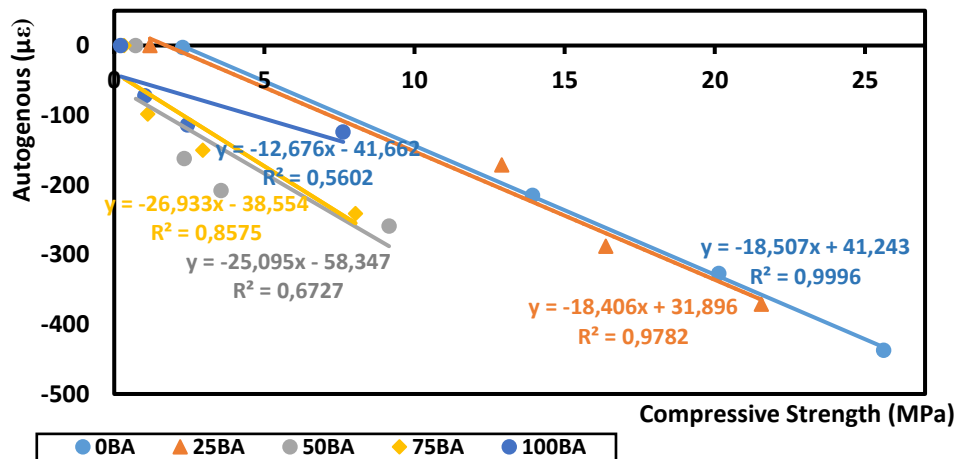


Figure 8: Correlation between autogenous shrinkage and compressive strength of PC mixes with varying amounts of BA.

3.7 Correlation between Expansion and Compressive Strength

Figure 9 illustrates the correlation between expansion and compressive strength for various PC mixes. A positive correlation was observed across all mixes. The coefficient of determination (R²) for the 25BA mix exhibited the highest value of 0.98, surpassing other mixes, including the control mix, which has a coefficient of determination of 0.93. The varying coefficient of determination highlights the significant impact of BA particles on pore formation

within PC mixes and, consequently, on compressive strength. This correlation aligns with findings from previous studies [6][39]. Additionally, even though the compressive strength of all mixes increased with curing days, the control mix recorded the highest values for both expansion and compressive strength. As a result, the fluctuation in coefficients of determination is due to the heterogeneous nature of PC, especially with the presence of porous aggregate as bottom ash, leads to non-homogenous pore structures.

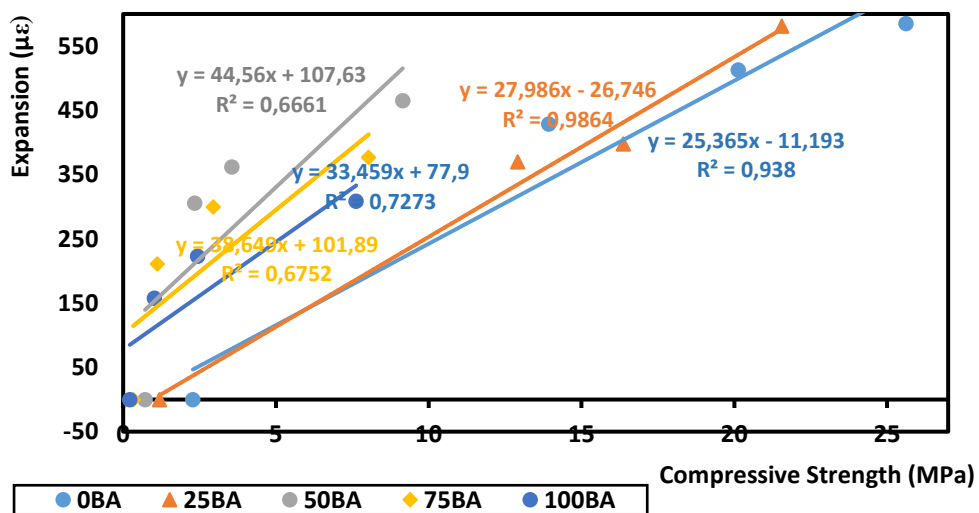


Figure 9: Correlation between expansion and compressive strength of PC mixes with varying amounts of BA.

3.8 Correlation between Autogenous Shrinkage and Total Porosity

Figure 9 displays the relationship between autogenous shrinkage and total porosity. A

remarkable correlation between the two variables is observed. This relation is approximately linear, with a high coefficient of determination (R²) of 0.97. In the 0BA mix, the autogenous shrinkage value is 437 µε with a total porosity of 31.8%. On the other

hand, the 100BA mix exhibits an autogenous shrinkage value of 124 $\mu\epsilon$ and a total porosity of 38.4%. These values indicate that the presence of porous aggregates which increase the total porosity and improves the moisture content and overall humidity of the mix, leading to a reduction in autogenous shrinkage as the bottom ash content increases.

3.9 Correlation between Expansion and Total Porosity

Figure 10 depicts the correlation between expansion and total porosity. A negative correlation is observed between these factors, with a coefficient of determination (R^2) of 0.85. In the 0BA mix, the expansion value is 585 $\mu\epsilon$, accompanied by a total

porosity of 31.8%. Conversely, the 100BA mix exhibits an expansion value of 309 $\mu\epsilon$ and a total porosity of 38.4%.

It was initially anticipated that mixes containing BA would yield the highest expansion values due to the presence of expansive materials and the reactions of contaminants within the BA, as mentioned earlier. However, the increase in porosity within PC mixes resulting from the addition of BA allows for the accommodation of this expansion volume. This relationship is clearly depicted in the figure, as expansion values decrease with an increase in total porosity (Figure 11). These findings align with similar observations reported elsewhere [39].

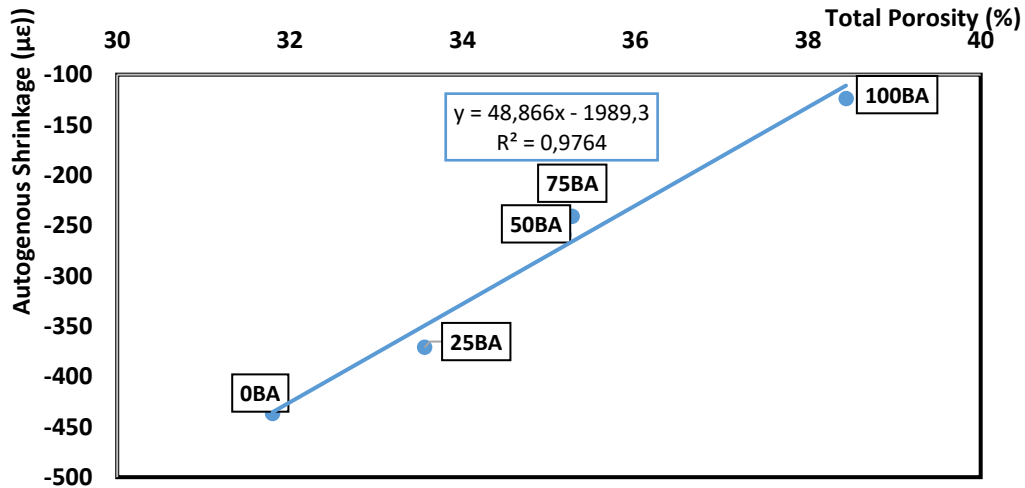


Figure 10: Correlation between autogenous shrinkage and total porosity of PC mixes with varying amounts of BA.

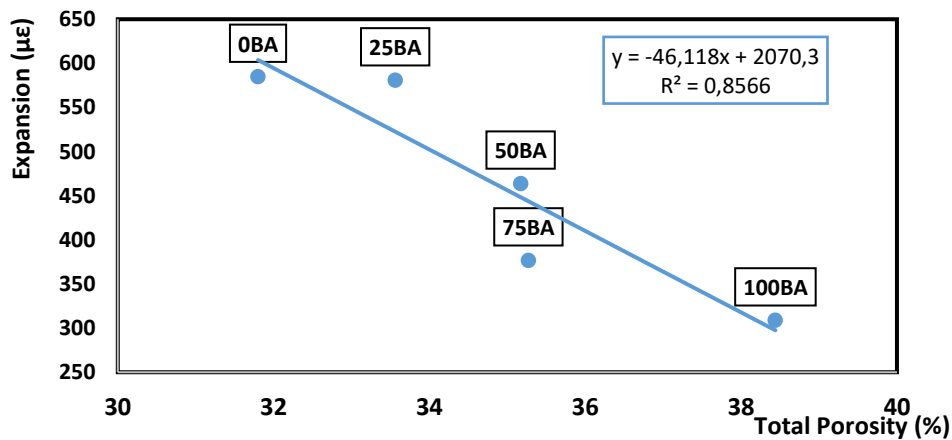


Figure 11: Correlation between expansion and total porosity of PC mixes containing different percentages of BA.

3.10 Correlation between Compressive Strength and Total Porosity

Figure 12 displays the relationship between compressive strength and total porosity for different PC mixes. A negative correlation is evident between these two factors, indicating that the compressive strength decreases with the increase in the total porosity. The control mix (0BA) exhibited compressive strength and total porosity values of 25.6 MPa and 31.8%, respectively. On the other hand, the 25BA, 50BA, 75BA, and 100BA

mixes displayed compressive strength values of 21.5, 9.15, 8, and 7.6 MPa, and total porosity values of 33.6, 35.1, 35.3, and 38.4%, respectively. The reduction in compressive strength might be due to the BA particles porous structure [40], which inherently diminishes the concrete strength. This finding agrees with the research findings reported by Sandoval et al. [39], highlighting the significance of aggregate nature in influencing the strength properties and porosity.

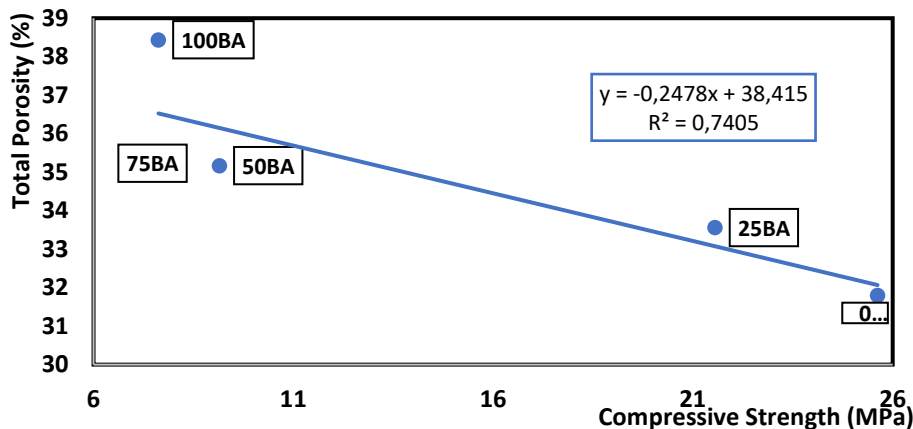


Figure 12: Correlation between Total porosity and Compressive Strength.

4. CONCLUSIONS

From the findings of this research, the following conclusions can be made:

- The expansion values of various mixes decrease as the percentage of bottom ash increases, due to the increase in porosity, which can accommodate the expansion volume. Expansion of mixes containing 0, 25, 50, 75, and 100% BA achieved values of 585, 581, 465, 377, and 309 $\mu\epsilon$, respectively.
- Autogenous shrinkage decreased with the increase in BA content caused by the fact that the water in BA particles improves the overall humidity of the mix. Autogenous shrinkage of mixes containing 0, 25, 50, 75, and 100% BA achieved values of 437, 371, 259, 241, and 124 $\mu\epsilon$, respectively.
- The porous structure of BA weakens the strength of PC, resulting in a low compressive

strength with 100BA. Thus, the compressive strength of various mixes decreased with the increase in total porosity. The control mix (0BA) exhibited compressive strength and total porosity values of 25.6 MPa and 31.8%, respectively. However, the 25BA, 50BA, 75BA, and 100BA mixes displayed compressive strength values of 21.5, 9.15, 8, and 7.6 MPa, and total porosity values of 33.6, 35.1, 35.3, and 38.4%, respectively.

- Expansion decreased as the porosity of PC mixes increased. This fact is due to the increase in pores associated with the increase in BA content. Thus, mixes with a high content of BA can accommodate the volume expansion.
- Across all mixes, a positive correlation between compressive strength and expansion was found. The variance of values for the coefficient of determination fluctuates with the variation of BA content. This variable coefficient highlights the considerable influence of BA particles on

pore formation in PC mixes and, subsequently, on compressive strength.

- The coefficient of determination of the correlation between autogenous shrinkage and compressive strength of the control mix recorded a high value for the control mix (0BA) equal to 0.99, where this value fluctuates in a non-uniform way, ranging between 0.67 and 0.97 for the mixes containing BA. This is explained by the fact that PC is a very heterogeneous material with high variability depending on the aggregate distribution and pore structure.

Author Contributions: Zeinab Nasser Eddine carried out the experiment and analyzed the findings of this work. She wrote and analyzed the manuscript with support from Firas Barraaj. Jamal Khatib and Adel Elkordi helped supervise the project and conceived the original idea. All authors discussed the results and contributed to the final manuscript.

Acknowledgments: The SICOMO incineration plant is thanked for providing the necessary bottom ash for this research.

Conflict of Interest: The authors state that they have no conflicts of interest.

5. REFERENCES

- [1] P. D. Tennis, M. L. Leming and D. J. Akers, Pervious concrete pavements (No. PCA Serial No. 2828). Skokie, IL: Portland Cement Association, 2004.
- [2] N. Neithalath, J. Weiss and J. Olek, "Characterizing enhanced porosity concrete using electrical impedance to predict acoustic and hydraulic performance," *Cem. Concr. Res.*, vol. 36, no. 11, 2074-2085, Nov. 2006.
- [3] J. X. Lu, X. Yan, P. He and C. S. Poon, "Sustainable design of pervious concrete using waste glass and recycled concrete aggregate," *J. Clean. Prod.*, vol. 234, 1102-1112, Oct. 2019.
- [4] American Concrete Institute. Concrete Technology, ACI CT-13, 2013.
- [5] O. Deo and N. Neithalath, "Compressive response of pervious concretes proportioned for desired porosities," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 11, 4181-4189, Nov. 2011.
- [6] O. Deo and N. Neithalath, "Compressive behavior of pervious concretes and a quantification of the influence of random pore structure features," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 528, no. 1, 402-412, Nov. 2010.
- [7] R. Zhong and K. Wille, "Material design and characterization of high performance pervious concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 98, 51-60, Nov. 2015.
- [8] S. Arifin, "Influence of Ash and Coconut Shell Against Compressive Strength and Permeability Characteristics of Pervious Concrete," *TURCOMAT*, vol. 12, no. 3, 4129-4138, Apr. 2021.
- [9] V. Yamin, D. G. S. Nivedha, K. Cheran and G. Indhumathi, "Structural behaviour of pervious concrete by using synthetic glass fibre as reinforcement," *TURCOMAT*, vol. 12, no. 7, 582-588, Apr. 2021.
- [10] K. Cheran, "Strengthening of permeable concrete using bitumen coated bamboo rods," *TURCOMAT*, vol. 12, no. 7, 600-607, Apr. 2021.
- [11] Y. Mao, J. Liu and C. Shi, "Autogenous shrinkage and drying shrinkage of recycled aggregate concrete: A review," *J. Clean. Prod.*, vol. 295, 126435, May 2021.
- [12] H. Ghanem, M. Machaka, J. Khatib, A. Elkordi and O. Baalbaki, "Effect of partial replacement of cement by MSWIBA on the properties of mortar," *AJCE*, vol. 37, no. 2, 82-89, June 2019.
- [13] M. H. Wu, C. L., Lin, W. C. Huang and J. W. Chen, "Characteristics of pervious concrete using incineration bottom ash in place of sandstone graded material," *Constr. Build. Mater.*, vol. 111, 618-624, May 2016.
- [14] H. Ghanem, J. Khatib, and A. Elkordi, "Effect of partial replacement of sand by mswi-ba on the properties of mortar," *BAU Journal-Science and Technology*, vol. 1, no. 2, 4, June 2020.
- [15] L. Wu, N. Farzadnia, C. Shi, Z. Zhang and H. Wang, "Autogenous shrinkage of high performance concrete: A review," *Constr. Build. Mater.*, vol. 149, 62-75, Sept. 2017.
- [16] H. Chen, M. Wyrzykowski, K. Scrivener and P. Lura, "Prediction of self-desiccation in low water-to-cement ratio pastes based on pore

- structure evolution," *Cem. Concr. Res.*, vol. 49, 38-47, July 2013.
- [17] J. Khatib, R. Ramadan, H. Ghanem and A. Elkordi, "Volume Stability of Cement Paste Containing Limestone Fines," *Buildings*, vol. 11, no. 8, 366, Aug. 2021.
- [18] R. S. Ravindrarajah, and A. Yukari, Environmentally friendly pervious concrete for sustainable construction. In 35th Conference on Our World in Concrete & Structures, Singapore August, 2010, pp. 25 - 27.
- [19] G. Xu, W. Shen, X. Huo, Z. Yang, J. Wang, W. Zhang and X. Ji, "Investigation on the properties of porous concrete as road base material," *Constr. Build. Mater.*, vol. 158, 141-148, Jan. 2018.
- [20] H. Fujiwara, R. Tomita, T. Okamoto, A. Dozono, and A. Obatake, "Properties of high-strength porous concrete," *Spec. Publ.*, vol. 179, 173-188, Jan. 1998.
- [21] ASTM C 192. Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA, 2014.
- [22] ASTM International. ASTM C39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, 2014.
- [23] ASTM International. ASTM C1754: Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete, 2012.
- [24] D. Youssef, "The use of lightweight sand for internal curing and its effect on performance of HPC used for concrete infrastructures," Ph. D., Université de Sherbrooke, 2013.
- [25] C. Rößler, D. D. Bui, and H. M. Ludwig, "Rice husk ash as both pozzolanic admixture and internal curing agent in ultra-high performance concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 53, 270-278, Oct. 2014.
- [26] P. Shen, H. Zheng, D. Xuan, J. X. Lu and C. S. Poon, "Feasible use of municipal solid waste incineration bottom ash in ultra-high performance concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 114, 103814, Nov. 2020.
- [27] E. Ghafari, S. A. Ghahari, H. Costa, E. Júlio, A. Portugal, and L. Durães, "Effect of supplementary cementitious materials on autogenous shrinkage of ultra-high performance concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 127, 43-48, Nov. 2016.
- [28] M. H. Zhang, C. T. Tam and M. P. Leow, "Effect of water-to-cementitious materials ratio and silica fume on the autogenous shrinkage of concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 33, no. 10, 1687-1694, Oct. 2003.
- [29] A. Gonzalez-Corominas and M. Etxeberria, "Effects of using recycled concrete aggregates on the shrinkage of high performance concrete." *Constr. Build. Mater.*, vol. 115, 32-41, July 2016.
- [30] J. Kerby, "Internal curing using lightweight fine aggregate," Civil Engineering Undergraduate Honors Theses, 2013, Retrieved from <https://scholarworks.uark.edu/cveguht/3>.
- [31] S. Multon and F. Toutlemonde, "Effect of moisture conditions and transfers on alkali silica reaction damaged structures," *Cem. Concr. Res.*, vol. 40, no. 6, 924-934, June 2010.
- [32] B. S. Hamad, G. R. Houry and H. Khatib, "Petrographic, mechanical and chemical properties of major coarse aggregate resources in Lebanon, eastern Mediterranean," *Bull. Eng. Geol. Environ.*, vol. 59, 297-305, Feb. 2001.
- [33] D. Xuan, P. Tang and C. S. Poon, "Effect of casting methods and SCMs on properties of mortars prepared with fine MSW incineration bottom ash," *Constr. Build. Mater.*, vol. 167, 890-898, Apr. 2018.
- [34] D. Xuan and C. S. Poon, "Removal of metallic Al and Al/Zn alloys in MSWI bottom ash by alkaline treatment," *J. Hazard. Mater.*, vol. 344, 73-80, Feb. 2018.
- [35] M. A. Tijani, W. O. Ajagbe, A. A. Ganiyu, & O. A. Agbede, "Effect of aggregate type on properties of pervious concrete," *J. Eng. Technol.*, vol. 4, no.1, 37-46, Apr. 2019.
- [36] A. Abdulmatin, W. Tangchirapat and C. Jaturapitakkul, "An investigation of bottom ash as a pozzolanic material," *Constr. Build. Mater.*, vol. 186, 155-162, Oct. 2018.
- [37] N. Saikia, G. Mertens, K. Van Balen, J. , Elsen, T. Van Gerven and C. Vandecasteele, "Pre-treatment of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash for utilisation in cement mortar," *Constr. Build. Mater.*, vol. 96, 76-85, Oct. 2015.
- [38] T. P. Huynh and S. H. Ngo, "Waste incineration bottom ash as a fine aggregate in mortar: An assessment of engineering properties, durability, and microstructure," *J. Build. Eng.*, vol. 52, 104446, July 2022.

- [39] G. F. Sandoval, I. Galobardes, N. Schwantes-Cezario, A. Campos and B. M. Toralles, "Correlation between permeability and porosity for pervious concrete (PC)," *Dyna*, vol. 86, no. 209, 151-159, Apr./June 2019.
- [40] C. Lian, Y. Zhuge and S. Beecham, "The relationship between porosity and strength for porous concrete.," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 11, 4294-4298, Nov. 2011.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Şebeke Etkileşimli Gerilim Kaynaklı Eviricilerin Kesir Dereceli Tekrarlamalı Kontrolcü Tabanlı Akım Kontrolü

Fractional Order Repetitive Controller Based Current Control of Grid Interactive Voltage Source Inverter in Renewable Energy Systems

Fuat Kılıç¹

¹Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 10145, Balıkesir, Türkiye.

Geliş / Received: 26.04.2023

Kabul / Accepted: 16.09.2023

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author) Fuat Kılıç fuatkilic@balikesir.edu.tr

ÖZ: Çok sayıda yenilenebilir enerji kaynağı, yeni elektrik güç sistemlerinin kurulması ile beraber şebekeye bağlı çalışmaktadır. Bu sistemlerdeki güç elektroniği cihazları sebebi ile harmonik içeriğin önemli ölçüde artması güç değerlerini etkiler. Bu nedenle, sistem işletme riski oluşturan ve enerji kalitesinin azalmasına neden olan şebekeye bağlı güç elektroniği tabanlı yeni enerji kaynaklarının verimli kontrol stratejilerinin geliştirilmesi elzemdir. Bu çalışmada, oran-integral (PI) kontrolcüye paralel olarak kesirli gecikmeli tekrarlayıcı kontrolcü araştırılmıştır. Yenilenebilir enerji güç sistemleri kaynaklı olarak şebeke frekansı ve geriliminin bozucu etkilere maruz kalması durumunda evirici çıkış akımı harmoniklerini bastırma özelliğini artırmak için kontrolcüye kesirli değerli gecikme eklenmiştir. Birleşik kontrolcünün çalışma ilkesi ile kararlılığı analiz edilmiş ve parametre tasarımı üç fazlı L tipi filtre ile şebekeye bağlı evirici temelinde gerçekleştirilmiştir. Kontrolcünün, şebeke frekansının ve geriliminin bozulması durumunda akım harmoniklerini bastırma yeteneğinin ve dinamik kontrol cevabının oldukça iyi olduğu gözlenmiştir. Bu durumda akım harmonikleri %25 seviyelerinden IEEE519 standartlarına göre %5'in altına düşürülmüştür. Bu çalışmada, MATLAB/Simulink ortamında benzeşimi gerçekleştirilen şebeke etkileşimli eviricinin harmonik bozulma altında etkili dinamik kontrol cevapları karşılaştırmalı ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Gerilim kaynaklı evirici, harmonikler, tekrarlamalı kontrol, akım kontrolü, yenilenebilir enerji

ABSTRACT: Many renewable energy sources are connected to the grid with the installation of new electrical power systems. Due to power electronic devices in these systems, significant increase in the harmonic content affects the power values of these systems. Therefore, it is essential to develop efficient control strategies of grid-connected power electronics-based new energy sources, which pose a system operating risk and cause a reduction in energy quality. In this study, a fractional delay repetitive controller was investigated in parallel with proportional-integral (PI) controller. A fractional delay has been added to the controller to increase suppression of inverter output current harmonics in case the grid frequency and voltage are exposed to disturbances due to renewable energy power systems. The operating principle and stability of the combined controller were analyzed and parameter design was performed on the basis of a three-phase L type filter and a grid-connected inverter. It has been observed that ability of the controller to suppress current harmonics and dynamic control response are quite good in case of disturbed grid frequency and voltage. In this case, current harmonics have been reduced from 60% to below 5% according to IEEE519 standards. Effective dynamic control responses of grid-interacted inverter, simulated in MATLAB/Simulink environment, under harmonic distortion are comparatively presented in this study.

Keywords: Voltage source inverter, harmonics, repetitive control, current control, renewable energy

1. GİRİŞ

Fotovoltaik enerji ve rüzgar enerjisi üretimi gibi çok sayıda yeni enerji güç üretimi sisteminin şebekeye bağlanması ve şebeke ile etkileşimi şebekenin barındırma kapasitesinin azalmasına neden olmaktadır. Yeni enerji üretiminde çekirdek cihaz olarak şebeke bağlantılı eviricilerden kontrol hassasiyeti ve harmonik bastırma yeteneği bakımından daha üstün özelliklere sahip olmaları beklenir [1]. IEEE-519 standartlarına göre şebekeye akım verildiğinde bu akım değerinin toplam harmonik bozulması (THD) %5'i geçmemelidir [2].

Şebekede var olan harmonik içerikleri karmaşık olduğundan akım ve gerilim harmonik bileşenlerini azaltma stratejileri günden güne önem kazanmaktadır. Şebekeye enjekte edilen harmonik bileşenlerin genliklerini azaltmak için eviricinin etkili ve yüksek verimli akım kontrolünün gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. Akımdaki THD oranını %5'in altına düşürebilmek için akım harmonik bileşenlerini bastırma kontrol stratejileri iki sınıfa ayrılır. Bunlardan ilki akım harmonik bileşenlerinin ayrıştırılmasına dayanan ileri besleme yöntemidir. Diğer yöntemler ise tekrarlamalı kontrolcü (RC) ve rezonans kontrolcüdür (RSC). Bu konu ile ilgili olarak birçok türde kontrolcü uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bunlardan bazıları oran-integral (PI) kontrolcü, oran-rezonans (PR) kontrolcü, tekrarlamalı kontrolcü ve benzerleridir. İç model prensibine göre, PI kontrolcüsü çıkış akımını doğrudan kontrol edemez çünkü iç modeli sadece DC sinyali içerir [3]. Clarke dönüşümü ve Park dönüşümü yoluyla çıkış akımını senkron referans çatı koordinat sistemine dönüştürmek gerekir. Rezonans kontrolcünün iç modeli sinüzoidal sinyal içerir, böylece sinüzoidal sistem sinyali kontrol çıkışında statik hata olmadan kontrol edilebilir. Ancak harmonik bastırma işlemi gerçekleştirilecek ise birden fazla rezonans kontrolcü yapılarının birbirine paralel bağlanması gerekir. Bu nedenle, birden çok rezonans kontrolcü yapısının parametrelerini aynı anda tasarlamak gerekir, bu da parametre ayarlamayı oldukça güçleştirir [4].

İleri beslemeli kontrol yönteminde şebekedeki ani değişimlere hızlı teki verilebilirken kalkış akımlarını ve şebeke harmoniklerini bastırma başarılı olarak gerçekleştirilebilir [5]. Tam ileri

beslemeli kontrol ortaya atılmıştır ancak yöntemin içerisinde yer alan uygulama zorluğuna yol açar aynı zamanda gürültü genliklerini arttırabilir. Bu durumda ileri besleme döngüsü zayıf şebeke koşullarında şebeke bağlı eviriciyi kararsız hale getirebilir [6]. Sistem kararlılığını arttırmak için ileri besleme döngüsüne ikinci dereceden geliştirilmiş integratör eklenebilir fakat bu durum harmonik bastırma kapasitesinin azalmasına neden olur. İleri beslemedeki faz gecikmesini kompanze etmek için şebeke gerilimi ağırlıklı ileri beslemeli çoklu rezonans kontrol yapısı ortaya atılmıştır bu yöntemin de yoğun hesaplama gereksinimi vardır.

Bu konuda ikinci yöntem, tekrarlamalı kontrol (TK) gibi yöntemlerle kontrol döngüsü kazancını arttırmaktır [7]-[12]. TK yöntemi, şebeke bağlı eviricilerde belirli bir frekansta sıfır kalıcı durum hatası ve sürekli durumda da hassas kontrol için kullanılmaktadır. Ancak TK kontrolcülerde, dinamik performansın zayıflamasına neden olan doğası gereği gecikme durumu mevcuttur [8]. Bu yüzden TK kontrol, oran integral (PI) kontrol ve kayan kipli kontrol gibi yöntemlerle kullanılır. TK kontrolcünün iç modeli şebeke frekans değişimlerine karşı duyarlı olduğundan şebeke frekansının dalgalanmasında modelden kaynaklı gecikmeyi ortadan kaldırmak için kesir dereceli adaptif TK yöntemi kullanılır [11]. Bunun yanında çoklu rezonans bant genişliğine sahip TK yöntemi kullanılır [12]. Bu çalışmada da kesir dereceli adaptif TK kontrol yöntemi PI kontrolcü ile kombine olarak kullanılmıştır.

Tekrarlamalı kontrolcü yapısındaki alçak geçiren filtre düşük frekanslardaki kazanç ve kazanç marjini açısından kilit role sahiptir. Sonlu dürtü tepkili (FIR) sayısal filtre, uygulaması kolay ve kararlılık bant aralığında doğrusal faz değerine sahip olduğundan genellikle kullanılan filtre çeşididir. Bununla birlikte sonsuz dürtü tepkili (IIR) filtreler daha düşük derecelerde yüksek frekanslı parazit sinyallerin bastırılmasını sağlar. IIR filtre ile tekrarlamalı kontroldeki faz gecikmesinin doğrusal kompanzasyonu yapılarak kontrolcünün kararlılığı arttırılır [13], [14].

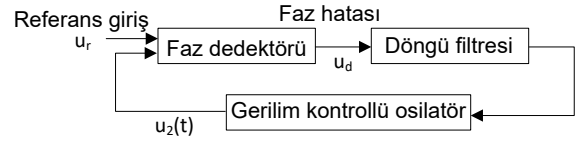
Bu çalışmada, geriye kalan bölümlerde tekrarlamalı kontrolcülerin temel yapıları, akım kontrolcü tasarımı oran-integral kontrolcü ve kesir

dereceli tekrarlamalı kontrol olmak üzere iki kısım halinde ele alınacak son bölümde ise benzeşim grafikleri ile sonuçlar yer almaktadır.

2. GERİLİM KAYNAKLI EVİRİCİ, ÇIKIŞ FİLTRESİ ve PLL

Bir evirici, dağıtılmış güç üretimi (DGÜ) sistemi ile elektrik şebekesi veya otonom bir yük arasında çok önemli bir rol oynar. Buna örnek olarak, DA gücünün şebeke entegrasyonunda uygun frekans ve gerilim büyüklüğünde AC gücüne dönüştürülmesini gerektiren fotovoltaik (PV) ve yakıt hücresi güç sistemleri gibi sistemler gösterilebilir [15].

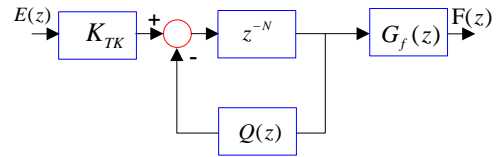
Evirici çıkışında elde edilen gücün kaliteli olması gerekir. Anahtarlama elemanlarının neden olduğu harmonik bileşenler gerilim ve akım dalga şekillerinde değişikliğe neden olur. Amaçlanan hedefleri gerçekleştirmek için etkin bir filtreleme yapısı gerekmektedir. L ve LC tipi filtreler günümüze kadar geniş bir uygulama alanı yelpazesinde kullanılmışlardır. Bunun dışında LCL, LLCL gibi derece olarak değerleri değişen filtreler kullanılmaktadır [16]. Filtrelerden beklenen özellikler; belirli bir harmonik zayıflama gereksinimi için daha düşük bir anahtarlama frekansı kullanma olasılığı; daha düşük reaktif enerji depolaması nedeniyle daha düşük çıkış akımı bozulması; daha düşük filtre bileşen değerleri için daha az akım dalgalanmasıdır. [17]. Gerilim dengesizliklerinin, sıralı harmoniklerin ve ara harmoniklerin olduğu şebekelere bağlantı için faz kilitlemeli döngü (PLL) yapısının kullanılmaktadır. PLL kullanılmayan sistemlerde bu sebeplerden dolayı kararlılık ve frekans kestirimi hassasiyeti azalır. PLL yapısının prensip şeması Şekil 1’de görülmektedir. PLL faz dedektörü, gerilim kontrollü osilatör ve döngü filtresi yapısından meydana gelmektedir. Faz dedektörü tarafından üretilen hata sinyali döngü filtresinden geçirilir. Döngü filtresinin yapısı genellikle oran-integral kontrolcü yapısından oluşur. Gerilim kontrollü osilatör ise sinüzoidal sinyal üretme kabiliyetine sahiptir. Bu sayede girişindeki hata sinyali azaltılarak kapalı döngü oluşturularak tekrar faz dedektörüne iletilir.



Şekil 1: PLL prensip şeması.

3. TEKRARLAMALI KONTROL

Kontrol sistemlerinin kullanıldığı birçok sistemde, periyodik sinyallerin izlenmesi ve periyodik bozucu etkilerin azaltılması veya ortadan kaldırılması son yıllarda önemli bir çalışma alanıdır. Tekrarlamalı kontrol de (TK) bu amaca hizmet eden bir konudur [18]. Tekrarlamalı kontrolün kullanıldığı bazı alanlar robotik [19], elektro-hidrolik [20], PWM çeviricileri ısı değiştiriciler vb. sayılabilir [21]. Tekrarlamalı kontrol, iç model prensibine dayalı olarak Hara ve arkadaşları tarafından ortaya atılmıştır [22]. Tekrarlamalı kontrolde amaç sistem model dinamiklerine göre hem referans sinyalleri izleme hem de bozucu etkileri azaltmaktır. Bu kontrol yöntemi, T_p periyodik sinyalle doğru orantılı T_a örnekleme sinyali ile ise ters orantılıdır. Başka bir deyişle örnekleme frekansının ($f_a = 1/T_a$) periyodik sinyale oranı kontrol algoritmasında belirli bir N oranını vermektedir.



Şekil 2: Standart tekrarlamalı kontrol yapısı.

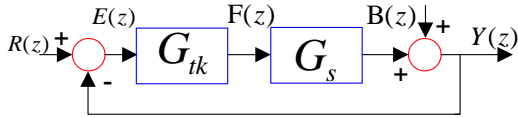
Standart tekrarlamalı kontrol yapısı Şekil 2’de görülmektedir. Burada $E(z)$ sinyali periyodik sinyalleri içeren hata sinyalidir. $N = T_a / T_p$ oranı ve tam sayı, K_k kontrolcü kazancı, $Q(z)$ kontrolcü dayanıklılığını arttıran hata sinyalinde var olan yüksek frekanslı sinyallerin genliğini azaltan alçak geçiren filtredir. G_f filtresi ise kararlılığı arttıran hata sinyalinde var olan gecikmeyi kompanze etmek için kullanılır. Gecikmeyi sağlayan N katsayısı Eşitlik 1’deki gibi elde edilir.

$$N = \frac{f_a}{f_p} \quad (1)$$

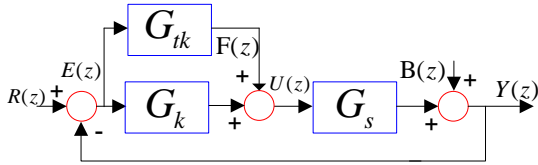
Şekil 2'ye göre transfer fonksiyonu Eş. 2'deki gibi yazılır. $Q(z)$ alçak geçiren filtre olup katsayıları 0 ile 1 arasında seçilir. Bu filtre yüksek frekanslı sinyalleri süzerken alçak ve orta frekanstaki sinyalleri geçirir [23].

$$G_{TK}(z) = \frac{F(z)}{E(z)} = \frac{K_{TK} G_f(z) z^{-N}}{1 - Q(z) z^{-N}} \quad (2)$$

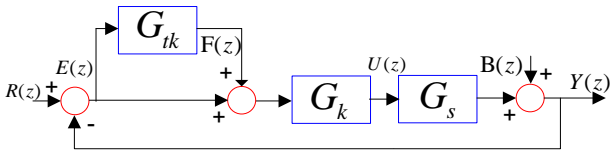
$G_f(z)$ esas olarak sıfır fazlı hata izleme kompanzasyonu olup ve faz ilerlemesi sağlar [8]. Tekrarlamalı kontrol geri besleme durumuna göre üç çeşit uygulanabilir. Bunlar Şekil 3'te görülen doğrudan tekrarlamalı kontrol, Şekil 4'te görülen paralel tekrarlamalı kontrol ve Şekil 5'te eklenti tekrarlamalı kontrol yapılarıdır.



Şekil 3: Tekrarlamalı kontrolcünün doğrudan uygulanması.



Şekil 4: Tekrarlamalı kontrolcünün paralel olarak uygulanması.



Şekil 5: Tekrarlamalı kontrolcünün eklenti olarak uygulanması.

Şekil 5'te G_k , G_s sırası ile kontrolcü ve sistem transfer fonksiyonlarıdır. Bu çalışmada tekrarlamalı kontrolcünün PI kontrolcüye eklenti olarak uygulaması ele alınmıştır. Buna göre öncelikle PI kontrolcü tasarımı yapılacak daha sonra kesir dereceli tekrarlamalı kontrolcü transfer fonksiyonu elde edilecek ve sonrasında tüm sistemin transfer fonksiyonu elde edilecektir.

4. AKIM KONTROLÇÜLERİ TASARIMI

Şebekeye bağlı gerilim kaynaklı eviricinin akım kontrolcülere, gerilim yönlendirmeli tabanlı olarak tasarlanmaktadır. Buna göre şebekeye aktarılan faz akım bilgileri, önce durağan referans çatıda $\alpha - \beta$ eksen akımlarına daha sonra senkron referans çatıda $d - q$ ekse akımlarına dönüştürülmektedir. Elde edilen iki eksen akımı için iki adet eklentili tekrarlamalı kontrolcü tasarımı yapılmaktadır.

4.1 Optimum Mutlak Değer Kriteri Tabanlı PI Kontrolcü Tasarımı

Bu yöntemde büyük zaman sabiti, seçilen kontrolcü katsayıları ile iptal edilir. Bu sayede büyük bir kontrolcü kazancı ve hızlı akım kontrolü cevabı sağlanır. Kontrol edilecek sistem bir büyük bir de küçük zaman sabiti ile temsil edilirken optimum mutlak değer kriteri tabanlı kontrolcü (OM) yöntemi çıkış cevabının maksimum aşma belirli bir değerde ve sistem kritik sönümlü olacak şekilde PI kontrolcü ile gerçekleştirilir [24]. Buna göre kontrolcü, gecikmeli sistem transfer fonksiyonları sırası ile,

$$G_k = \frac{K_p s + K_i}{s} \quad (3)$$

$$G_d = \frac{1}{1 + sT_e} \quad (4)$$

$$G_s = \frac{1}{L_{ef} s + R_{ef}} \quad (5)$$

Eşitlik 3, 4 ve 5'teki gibi yazılır. Sırası ile G_k , G_d , G_s kontrolcü, gecikme ve sistem transfer fonksiyonlarını temsil eder. Burada K_p oran kazancı, K_i integral kazancı, T_e gecikme zamanı, L_{ef} sistemin etkin endüktansı, R_{ef} sistem etkin direncidir. Sistemin kontrolcü ile birlikte açık çevrim transfer fonksiyonu G_{ac} ise Eşitlik 6 ve 7'deki görüldüğü gibi elde edilir.

$$G_{ac} = G_k \cdot G_d \cdot G_s \quad (6)$$

$$G_{ac} = \frac{K_p}{L_{ef}} \cdot \frac{s + K_i / K_p}{s} \cdot \frac{1}{1 + sT_e} \cdot \frac{1}{s + R_{ef} / L_{ef}} \quad (7)$$

Sisteme ait $s = -R_{ef} / L_{ef}$ kutbunu iptal etmek için Eşitlik 8'deki orantı meydana gelir. PI kontrolcü kazançlarının seçimi Eşitlik 9'da olduğu gibi yapılır.

$$\frac{K_i}{K_p} = \frac{R_{ef}}{L_{ef}} \quad (8)$$

Buna göre kapalı çevrim transfer fonksiyonu $G_{kç}$ yazılmak istenirse,

$$G_{kç} = \frac{G_{aç}(s)}{1 + G_{aç}(s)} = \frac{k / T_e}{s^2 + 1 / T_e \cdot s + k / T_e} \quad (9)$$

Eşitlik 10'da ikinci dereceden genel bir sistemin transfer fonksiyonu görülmektedir. Burada eşitliği basitleştirme amacı ile $k = K_p / L_{ef}$ sabit kazancı alınır.

$$G_{kç} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n \cdot s + \omega_n^2} \quad (10)$$

İkinci dereceden genel bir sistem Eşitlik 9 ile eşleştirildiğinde Eşitlik 11 elde edilir.

$$k = \frac{K_p}{L_{ef}} = \frac{1}{2T_e} \quad (11)$$

Buradan oran katsayısı $K_p = L_{ef} / 2T_e$ ve integral katsayısı $K_i = K_p R_{ef} / L_{ef}$ şeklinde elde edilir. Bu yöntem sistemdeki en büyük zaman sabitinin iptal edilmesiyle birlikte kapalı döngü kazancının en büyük değerli olarak ayarlanmasına dayanır. Kontrolcü katsayıları seçilirken öncelikle sistemin açık çevrim transfer fonksiyonu yazılır. Daha sonra kapalı çevrim transfer fonksiyonu ikinci dereceden bir sistemin transfer fonksiyonuna benzetilerek en büyük kutup iptal edilerek kontrolcü katsayılar elde edilir.

4.2 Kesir Dereceli Tekrarlamalı Kontrolcü Tasarımı (KDTK)

Pratik elektrik sistemlerinde şebeke frekansı f belirli sınırlar içerisinde zamanla değişim gösterebilir. Bu yüzden N dereceli gecikme katsayısı (örnekleme frekansının şebeke frekansına oranı), frekansın da kesirli veya virgüllü değerler alabilmesinden dolayı kesirli hale gelir. Şebeke

frekansının pratikte kesirli bir değer alması durumunda tam katsayılı gecikme teorisine dayanan tekrarlamalı kontrol yöntemi, yüksek frekanslı harmonik bileşenlerin varlığında şebeke frekansını takip edemez. Bu nedenle sistemi kontrol eden kontrolcü frekanslarında kayma meydana gelir. Bu duruma göre gecikme operatörünün yeni değeri $z^{-N} = z^{-N_i - F}$ olarak değiştirilir. Yeni gecikme operatörü ile hassas bir şekilde harmonik bileşenlerin bastırılması için uygun frekans takibi gerçekleştirilir. Kesir dereceli tekrarlamalı kontrolcü tasarımı, tamsayı ve kesirli periyotlara sahip sistemlerde uygulanabilen kesir dereceli filtre tasarımı teorisine dayanmaktadır. N katsayısı tam sayı ve kesirli sayı kısmına ayrılır. Tamsayı kısmı N katsayısı tam sayı ve kesirli sayı kısmına ayrılır. Tamsayı kısmı N_i ile ifade edilecek olursa kesirli kısım da $F = N - N_i$ ile gösterilebilir. İdeal gecikme elemanının transfer fonksiyonu ise,

$$H_i(z) = z^{-F} \quad (12)$$

Eşitlik 12'de görüldüğü gibidir. Bu transfer fonksiyonunun yakınsamalı olarak FIR filtresine dönüştürülmesi ile,

$$z^{-F} = H(z) = \sum_{k=0}^n h(k)z^{-k} \quad (13)$$

Eşitlik 13 elde edilir. FIR filtresi katsayıları ise,

$$h(k) = \prod_{i=0, i \neq k}^n \frac{F - i}{k - i} \quad (14)$$

Eşitlik 14'ten bulunur. Buna göre KDTK genel transfer fonksiyonu,

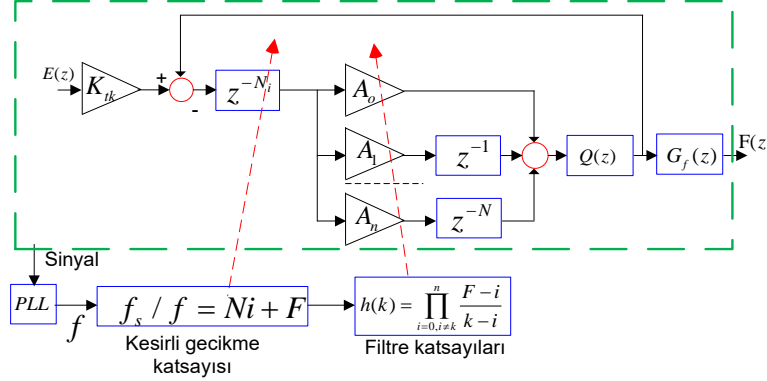
$$G_{kdtk} = \frac{z^{-N_i} H(z)}{1 - Q(z)H(z)z^{-N_i}} S(z) \quad (15)$$

Eşitlik 15'te görülen hale dönüşür. Bu transfer fonksiyonuna ait blok şema Şekil 6'da görülmektedir. Bu blok şemada $E(z)$ kontrolcü hata girişini, $F(z)$ kontrolcü çıkışını temsil etmektedir. Faz kilitlemeli döngüden elde edilen şebeke frekansı ile anahtarlama frekansının oranlanmasından gecikme sayısının tam ve kesirli kısmı elde edilir. Kesirli kısmı oluşturan filtrenin katsayıları A_0, A_1, \dots ve A_n 'dir. Eşitlik 14'ten Lagrange polinom derecesi $n=3$ olarak seçilmiştir.

Böylelikle Eşitlik 16 yazılabilir [8]. Bu çalışmada anahtarlama frekansı 10 kHz olarak seçilmiştir. Şebeke frekansı 50 Hz olduğundan dolayı $N=200$ olarak elde edilmektedir.

$$z^{-N} = A_0 z^{-N_i} + A_1 z^{-N_i-1} + A_2 z^{-N_i-2} + A_3 z^{-N_i-3} \quad (16)$$

Bu çalışmada anahtarlama frekansı 10 kHz olarak seçilmiştir. Şebeke frekansı 50 Hz olduğundan dolayı $N=200$ olarak elde edilmektedir.



Şekil 6: Kesir dereceli tekrarlamalı kontrolcünün eklenti olarak uygulanması.

4.3 Kararlılık Analizi

Kontrol sistemi kararlılık analizini oluştururken tekrarlamalı kontrolü sistemin içerisine katmadan kapalı çevrim transfer fonksiyonu,

$$G_{kç} = \frac{G_k(z)G_s(z)}{1+G_k(z)G_s(z)} \quad (17)$$

Eşitlik 17'deki gibi elde edilir. Eklemeli yapıdaki tekrarlamalı kontrol bloğu eklendikten sonra ise,

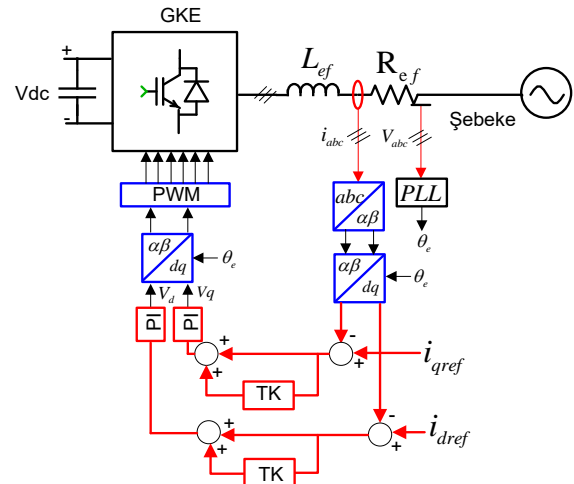
$$G_{kç} = \frac{(1+G_{kdtk})G_k(z)G_s(z)}{1+(1+G_{kdtk})G_k(z)G_s(z)} \quad (18)$$

Eşitlik 18'deki halini alır. Kapalı çevrim bir sistemin karakteristik transfer fonksiyonunda karakteristik eşitliği yani $1+G_k(z)G_s(z)=0$ eşitliği birim daire içerisinde yer almalıdır. Bu durumdaki temel kapalı çevrim eşitliği paydasına eklemeli tekrarlamalı kontrol dahil değildir. Eşitlik 15 kapalı çevrim transfer fonksiyonuna dahil edildiğinde benzer şekilde Eşitlik 15'in karakteristik paydası birim daire içerisinde yer alacak şekilde katsayılar seçilir. Bu durumda seçilen kazanç değeri 1'den küçük olacağı için 0,95 olarak seçilmiştir.

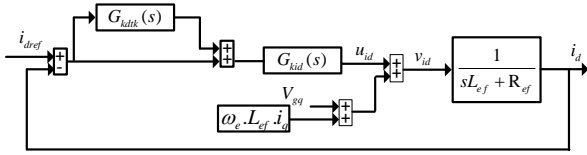
$$\|1-KQ(z)H(z)z^{-Ni}\| < 1 \quad (19)$$

4.4 Şebekeye Bağlı GKE'de KDTK Kontrolcüsünün Uygulanması

$N=200$, $n=3$ için $z^{-200,3} = z^{-199} \cdot z^{-1,3}$ olarak ve $z^{-1,3} = -0.0595 + 0.773z^{-1} + 0.331z^{-2} - 0.045z^{-3}$ şeklinde yazılabilir. $Q(z)$ alçak geçiren filtresi ise $Q(z) = 0,1z + 0,8 + 0,1z^{-1}$ olarak seçilmiştir. PI kontrolcü katsayıları $K_p=3,33.e-4$ ve $K_i=0,367$ olarak belirlenmiştir. Şekil 7'de GKE eviricinin şebekeye bağlı olduğu durumda eklentili kontrolcünün uygulama şeması görülmektedir.

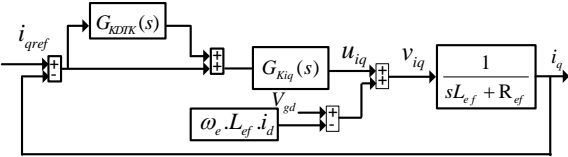


Şekil 7: PKDTK-PI kontrolün GKE eviricide uygulanmasına ait şema.



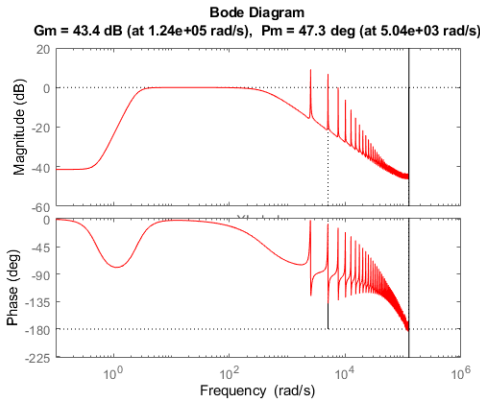
Şekil 8: i_d eksenli akım kontrolcüsüne ait blok şema

Şekil 8'de ise d eksenli akım kontrolcüsüne ait blok şema görülmektedir. Blok şemada d ve q eksenleri arasındaki bağıın ayrıştırılması (decoupling) katsayıları eklenmiştir.



Şekil 9: i_q eksenli akım kontrolcüsüne ait blok şema.

Şekil 9'da q eksenine ait akım kontrol şeması ayrıştırma etkileri de dikkate alınarak verilmektedir.



Şekil 10: KDTK frekans cevabına ait Bode diyagramı.

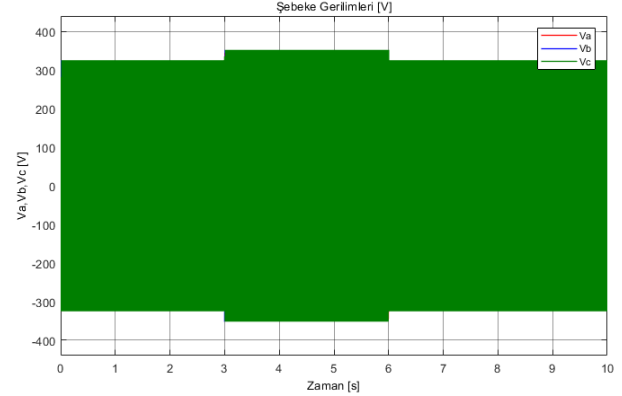
Şekil 10'da eklenti yapıli kontrolcünün açık çevrim Bode diyagramı görülmektedir. Faz marjini ve kazanç marjini incelendiğinde önerilen kontrolcü yapısının kararlı olduğu görülmektedir. Tekrarlamalı kontrolcü yapısından dolayı belirli frekanslarda periyodik olarak çentiklerin oluştuğu gözlenmektedir. Buna göre şebeke frekansı ve katlarındaki harmonik bileşenlerin bastırıldığı anlaşılmaktadır.

Tablo 1: Parametreler.

Parametre	Değer
Anahtarlama frekansı	10 kHz
Filtre bobini	1 mH
Gecikme katsayısı	200
Şebeke endüktansı	100 uH
Şebeke direnci	0,1 ohm

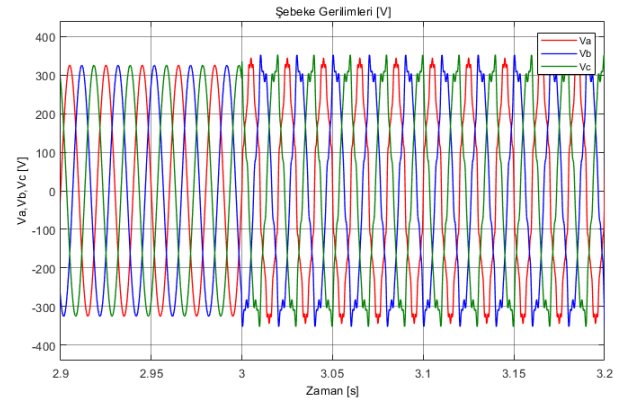
5. KESİR DERECELİ TEKRARLAMALI KONTROL BENZEŞİMİ

Çalışmada, harmonik bileşenlerin sistemi etkilediği durumda yalnız PI kontrol ve KDTK ile PI kontrolcüsünün karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.



Şekil 11: Şebeke gerilimleri.

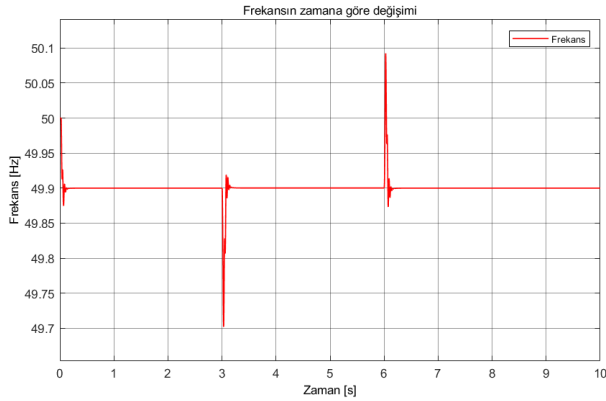
Şekil 11'de şebekeye ait faz gerilimleri görülmektedir. 220 V efektif gerilim değerine göre şebeke gerilimi 311 V tepe gerilim değeri olarak gerçekleşmektedir. 3 faza ait gerilim değerleri 3 ile 6 saniye arasında frekans değişimi ve harmonik bileşenlerin var olduğu durumda değişime uğramaktadır.



Şekil 12: 2,9-3,2. saniye arası şebeke gerilimleri.

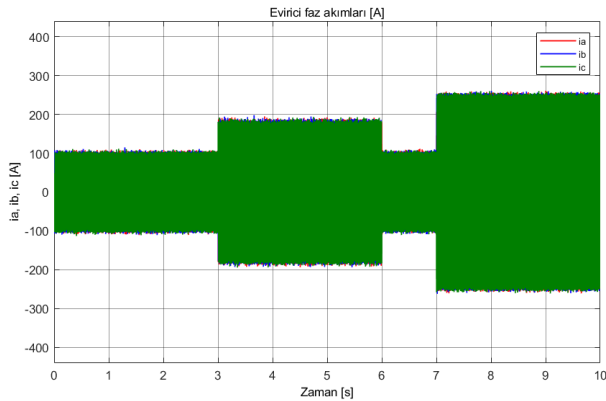
Şekil 12'de 2,9 ve 3,2'nci saniyeler arasında harmonikler ve frekans değişiminin şebeke geriliminin bozmasına ait grafik yer almaktadır. Buna göre sistemde 3, 5, 7, 11, 15 düşük dereceli harmoniklerin oluşturduğu THD izin verilen standartların üzerinde değere sahiptirler. Bu değerler toplam harmonik bozunum olarak %25 civarındadır. Bu Değer IEEE 519-2022 standartlarına göre %8 değerinin üzerindedir.

Ayrıca, harmonik bileşenlere ilave olarak frekansın 49,9 Hz ile 50,1 arasında değiştiği var sayılmıştır.



Şekil 13: Frekansın zamana göre değişimi.

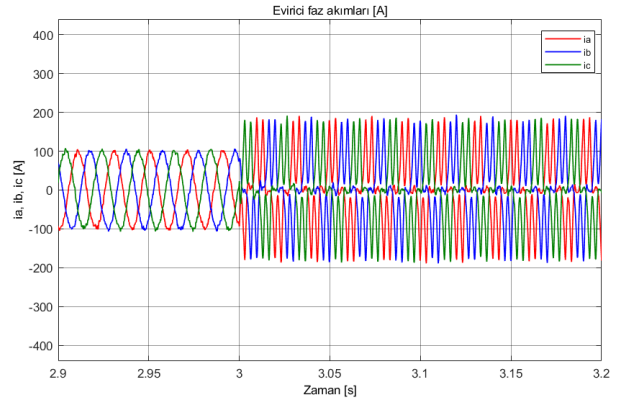
Şekil 13'te frekansın değişimine ait grafik görülmektedir. Hem harmoniklerin var olduğu durumda hem de frekans değişimi altında tekrarlamalı kontrol etkisine ait grafikler karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



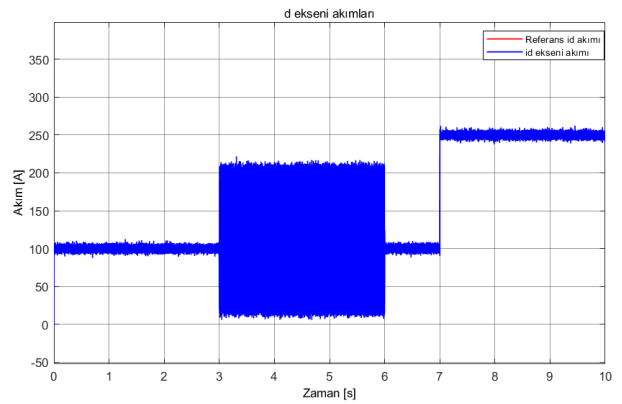
Şekil 14: Evirici çıkışı faz akımları grafikleri.

Şekil 14'te evirici çıkışındaki faz akımları grafikleri görülmektedir. Başlangıçta d eksen referans akım değeri 100 A olarak verilmiştir. Bu durumda ise q eksen referans akım değeri sıfıra çekilmiştir. 3 ile 6. Saniyeler arasında frekans değişimi ile harmoniklerin etkilediği zaman dilimi görülmektedir. 7. Saniyeden sonra akım referansı 250 Amper değerine çıkarılmıştır.

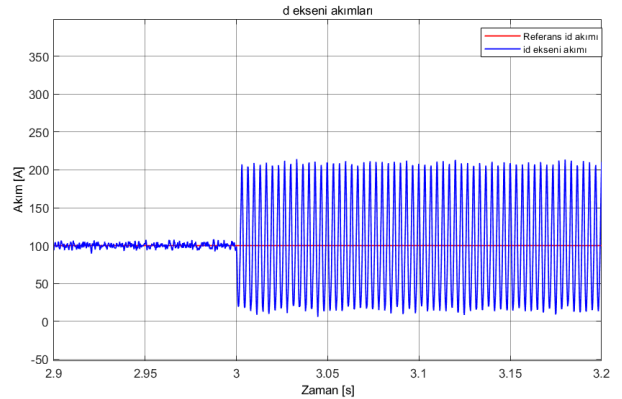
Şekil 15'te ise 2,9 ile 3,2'nci saniyeler arasında akım grafiklerine ait değişimler görülmektedir. Şekil 16'da şebeke etkileşimli GKE eviricisinin akım kontrolü yalnızca PI kontrolcü ile gerçekleştirilmektedir. Frekans değişimi ve harmonik varlığı altında PI kontrolcü cevabının yetersiz olduğu görülmektedir.



Şekil 15: 2,9-3,2 saniyeler arası evirici çıkışı faz akımları grafikleri.

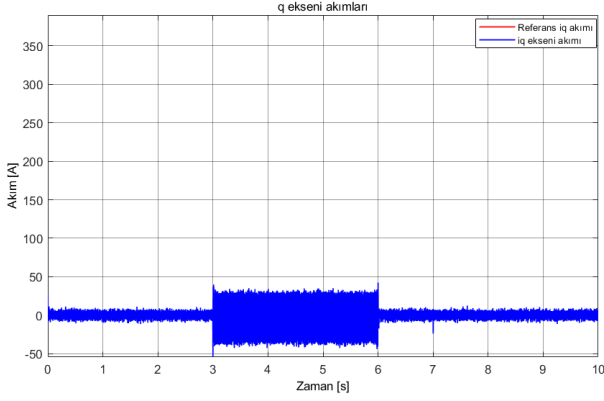


Şekil 16: Senkron referans çatıda d eksen referans ve geri besleme akımı grafikleri.

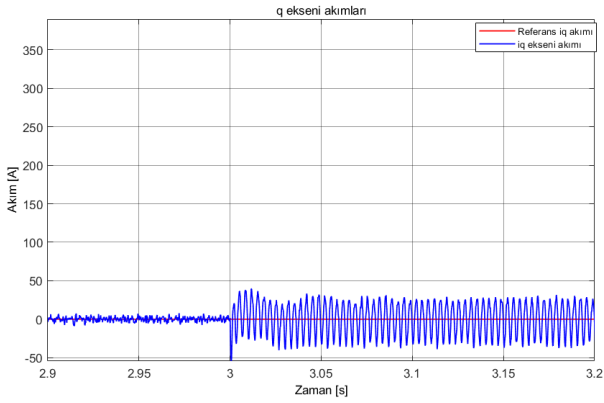


Şekil 17: 2,9-3,2 saniyeler arası d eksen akım grafikleri.

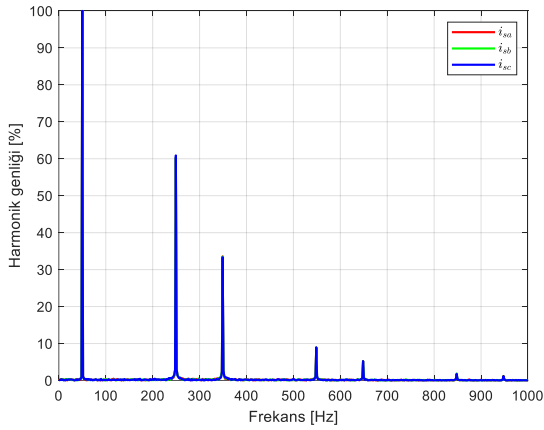
Şekil 17'de 2,9 ve 3,2'nci saniyeler arasında PI kontrolcünün d eksen referans akımına karşı verdiği daha açık bir biçimde görülmektedir. Şekil 18'de ise q eksenine verilen sıfır referans akımına karşı PI kontrolcü etkisi ile çıkış akımının değişimi yer almaktadır. Şekil 19'da q eksen referans ve geri besleme akımları değerlerinin 2,9 ve 3,2'nci saniyeler arasında değişimi görülmektedir.



Şekil 18: Senkron referans çatıya q eksenli referans ve geri besleme akımı grafikleri.



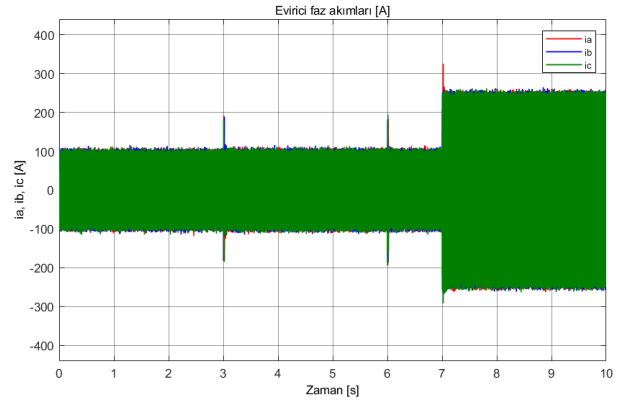
Şekil 19: 2,9-3,2 saniyeler arası q eksenli akım grafikleri.



Şekil 20: Sistemin PI kontrolcü ile kontrol edildiği durumdaki faz akımları harmonik genlikleri.

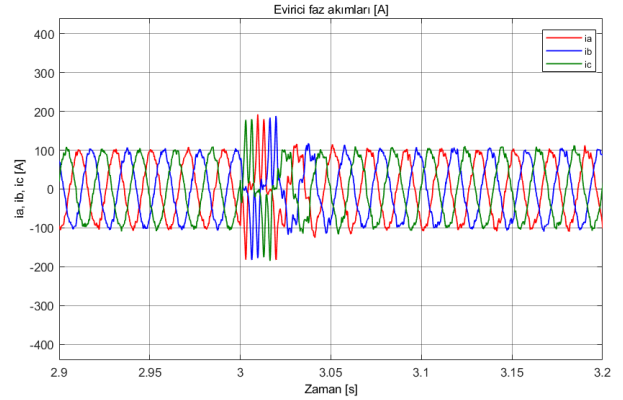
Şekil 20'de sistemin yalnızca PI kontrolcü ile kontrol edildiği durumdaki evirici faz harmonik genlik değerlerine ait grafik görülmektedir. Buna göre 250, 350, 550, 650 Hz ve diğer düşük dereceli harmonik bileşenlerin var olduğu görülmektedir. 5, 7, 11 ve 15 dereceli harmonik değer oranları yaklaşık %60, %35, %10 ve %5 seviyesindedir.

Toplam harmonik bozulma IEEE 519-2022'ye göre %5 sınır değerinin üzerindedir.

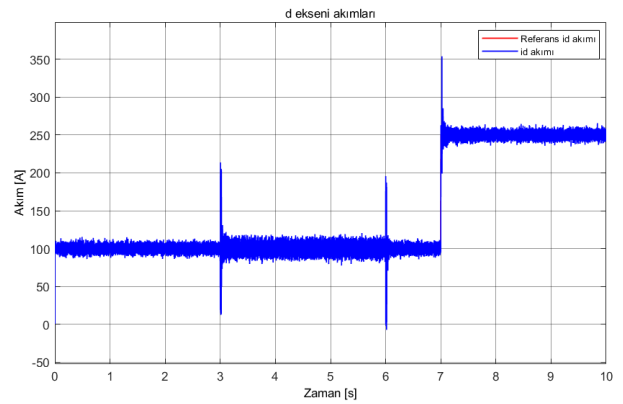


Şekil 21: Sistemin KDTK+PI kontrolcü ile kontrol edildiği durumda evirici çıkışı faz akımları grafikleri.

Şekil 21'de GKE eviricinin KDTK ve PI ile kontrol edildiği durumda faz akımlarına ait çıkışlar görülmektedir.

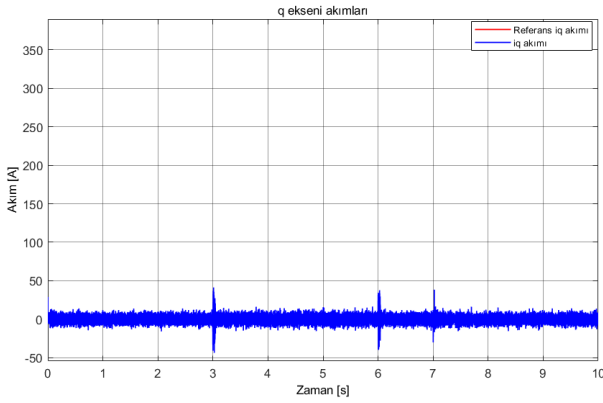


Şekil 22: Sistemin KDTK+PI kontrolcü ile kontrol edildiği durumda 2,9-3,2. saniyeler arası evirici çıkış akımları.



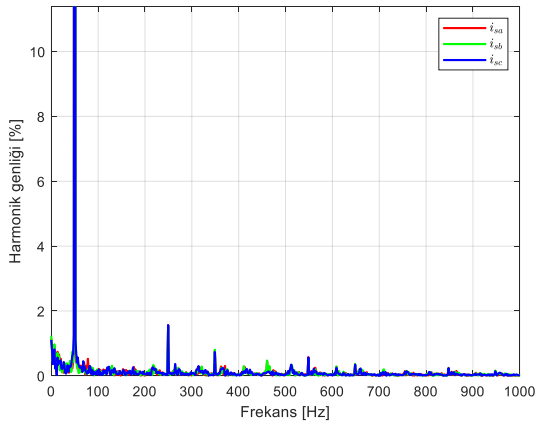
Şekil 23: Sistemin KDTK+PI kontrolcü ile kontrol edildiği durumda d eksenli referans ve geri besleme akımı grafikleri.

Şekil 22'de 2,9 ve 3,2'nci saniyeler arasında tekrarlamalı kontrolcünün tepkisi görülmektedir. Buna göre tekrarlamalı kontrolcünün varlığında harmonik bileşenler etkin bir şekilde azaltılmakla beraber hem de daha üstün kontrol varlığından söz etmek mümkündür. Şekil 23'te d eksenine ait referans akım ve geri besleme akımının değerleri görülmektedir. Harmoniklerin varlığında, frekans değişimi olduğu durumda e referans akımının 7. Saniyeden sonra değiştiği durumda tekrarlamalı kontrol tabanlı sistem kontrolü arzu edildiği biçimde gerçekleştirilmektedir.



Şekil 24: Sistemin KDTK+PI kontrolcü ile kontrol edildiği durumda senkron referans çatıya q eksenli referans ve geri besleme akımı grafikleri.

Şekil 24'te sistem aynı kontrolcü ile kontrol edilirken q eksenli referans akım ve geri besleme akım değerleri görülmektedir.



Şekil 25: Sistemin KDTK+PI kontrolcü ile kontrol edildiği durumda faz akımlarının harmonik genlikleri.

Şekil 25'te eklenti yapıları KDTK ile PI kontrolcünün GKE evircisinin akım kontrolünü sağladığı durumdaki harmonik genlik grafiği yer almaktadır. Sırası ile 5, 7, 11 ve 15 nolu

harmoniklerin yüzdelik değerlerine bakıldığında %1,5, %1, %0,5, %0,25 civarındadır. Buna göre akım harmonikleri IEEE 519-2022 standartlarına uygun olarak %5 değerinin altına başarılı olarak indirilmiştir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada KDTK kontrolcünün eklenti yapıları olarak PI kontrolcüsü ile beraber GKE evirci çıkındaki akım harmoniklerini bastırmak için kullanılmasına ait simülasyon çalışması sunulmaktadır. Makalede sunulan kontrolcü daha fazla bant genişliğine sahip olup daha kararlı ve harmonik etki gibi bozucuları azaltma etkisine sahiptir. Bu kontrolcü yapısı sıfır kalıcı durum hatası, hızlı hata yakınsaması ve daha iyi dinamik performans ortaya koymaktadır. Güç kalitesi için IEEE 519 standartlarına uygun olarak akım harmonik değerleri %5'in altına düşürülmüştür. Bu nedenden harmonik bileşenlerin ve frekans değişiminin var olduğu durumlarda çalışmada sunulan kontrolcü yapısı kolay uygulanması açısından üstün performansa sahiptir.

Yazar Katkısı: Fuat Kılıç, metodoloji, yazma-özgün taslak hazırlama, tüm hesaplamaların yapılması, benzeşim, kaynaklar ve düzenleme kısımlarına katkı sağlamıştır.

Teşekkür: Balıkesir Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Araştırma Geliştirme ve Uygulama Merkezi imkânlarının kullanılmasından dolayı Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması: Bu çalışmanın yazarı olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylıyorum.

7. KAYNAKLAR

- [1] H. Chen, Q. Zhao, H. Zhang, K. Liu, G. Zhan and B. Wang, "Improved Dual-mode repetitive control for grid connected inverters," in Proceedings of the 2022 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, Toyama, Japan, December, 2022, pp. 17-20.
- [2] IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems, IEEE Std. 519-2022, 2022.
- [3] L. Shuai, S. Lizhi, L. Xingya, A. Quntao, "Current harmonics suppression strategies of

- permanent magnet synchronous motor," Transactions of China Electrotechnical Society, vol. 34, pp. 87-96, 2019.
- [4] P. Alemi, C. Bae and D. Lee, "Resonance suppression based on PR control for Single-Phase Grid-Connected inverters with LLCL filters". IEEE J. Emerg. Sel. Topics Power Electron, vol. 4 no. 2, pp. 459-467, 2016.
- [5] W. Li, X. Ruan, D. Pan, and X. Wang, "Full-feedforward schemes of grid voltages for a three-phase LCL-type grid-connected inverter," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 60, no. 6, pp. 2237–2250, Jun. 2013.
- [6] Z. Lin, X. Ruan, L. Wu, H. Zhang, and W. Li, "Multi resonant component-based grid-voltage-weighted feedforward scheme for gridconnected inverter to suppress the injected grid current harmonics under weak grid," IEEE Trans. Power Electron., vol. 35, no. 9, pp. 9784–9793, Sep. 2020.
- [7] Y. Yang, K. Zhou, H. Wang, and F. Blaabjerg, "Analysis and mitigation of dead-time harmonics in the single-phase full-bridge PWM converter with repetitive controllers," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 54, no. 5, pp. 5343–5354, Apr. 2018.
- [8] K. Zhang, Y. Kang, J. Xiong, and J. Chen, "Direct repetitive control of SPWM inverter for UPS purpose," IEEE Trans. Power Electron., vol. 18, no. 3, pp. 784–792, May 2003.
- [9] L. Zheng, F. Jiang, J. Song, Y. Gao, and M. Tian, "A discrete-time repetitive sliding mode control for voltage source inverters," IEEE J. Emerg. Sel. Topics Power Electron., vol. 6, no. 3, pp. 1553–1566, Sep. 2018.
- [10] L. Zheng, F. Jiang, J. Song, Y. Gao, and M. Tian, "A discrete-time repetitive sliding mode control for voltage source inverters," IEEE J. Emerg. Sel. Topics Power Electron., vol. 6, no. 3, pp. 1553–1566, Sep. 2018.
- [11] Z. Liu, B. Zhang, and K. Zhou, "Universal fractional-order design of linear phase lead compensation multirate repetitive control for PWM inverters," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 64, no. 9, pp. 7132–7140, Sep. 2017.
- [12] M. Zhu, Y. Ye, Y. Xiong, and Q. Zhao, "Multibandwidth repetitive control resisting frequency variation in grid-tied inverters," IEEE J. Emerg. Sel. Topics Power Electron., vol. 10, no. 1, pp. 446–454, Feb. 2022.
- [13] Q. Zhao, S. Chen, S. Wen, B. Qu, and Y. Ye, "A frequency adaptivePIMR-type repetitive control for a grid-tied inverter," IEEE Access, vol. 6, pp. 65 418–65 428, Oct. 2018.
- [14] Y. Yang, K. Zhou, and F. Blaabjerg, "Enhancing the frequency adaptability of periodic current controllers with a fixed sampling rate for grid-connected power converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 31, no. 10, pp. 7273–7285, Oct. 2016.
- [15] M. Liserre, T. Sauter and J.Y. Hung, "Future Energy Systems: integrating renewable energy systems into the smart power grid through industrial electronics", IEEE Industrial Electronics Magazine, March 2010.
- [16] M. Karabacak, F. Kılıç, B. Saraçoğlu, A. Boz and A. Ferikoğlu "Şebeke Bağlantılı Eviriciler için LLCL Filtre Tasarımı; Detaylı Bir Performans Analizi", Politeknik Dergisi vol. 19 no. 3, pp. 251-260, 2016.
- [17] K. H. Ahmed, S. J. Finney and B. W. Williams, "Passive Filter Design for Three-Phase Inverter Interfacing in Distributed Generation," 2007 Compatibility in Power Electronics, Gdansk, Poland, 2007.
- [18] A. Garcia-Cerrada, O. Pinzon-Ardila, V. Feliu-Batlle, P. Roncero- Sanchez, and P. Garcia-Gonzalez, "Application of a repetitive controller for a three-phase active power filter," IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 1, pp. 237–246, Jan. 2007.
- [19] W. Meng, S. Q. Xie, Q. Liu, C. Z. Lu, and Q. Ai, "Robust iterative feedback tuning control of a compliant rehabilitation robot for repetitive ankle training," IEEE/ASME Trans. Mechatronics, vol. 22, no. 1, pp. 173–184, Feb. 2017.
- [20] H. Liao, M. J. Roelle, J. Chen, S. Park, and J. C. Gerdes, "Implementation and analysis of a repetitive controller for an electro-hydraulic engine valve system," IEEE Trans. Control Syst. Technol., vol. 19, no. 5, pp. 1102–1113, Sep. 2011.
- [21] G. Pandove and M. Singh, "Robust repetitive control design for a threephase four wire shunt active power filter," IEEE Trans. Ind. Inform., vol. 15, no. 5, pp. 2810–2818, May 2019.
- [22] S. Hara, Y. Yamamoto, T. Omata, and M. Nakano, "Repetitive control system: A new type servo system for periodic exogenous

- signals," *IEEE Trans. Autom. Control*, vol. 33, no. 7, pp. 659–668, Jul. 1988.
- [23] Chandra Bajracharya, Marta Molinas, Member IEEE, Jon Are Suul, Tore M Undeland Understanding of Tuning Techniques of Converter Controllers for VSC-HVDC, Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, June 9-11, 2008, pp.1-8.
- [24] M. A. Herran, J. R. Fischer, S. A. González, M. G. Judewicz, I. Carugati, and D. O. Carrica, "Repetitive control with adaptive sampling frequency for wind power generation systems," *IEEE J. Emerg. Sel. Topics Power Electron.*, vol. 2, no. 1, pp. 58–69, Mar. 2014.
- [25] R. Teodorescu, M. Liserre and P. Rodríguez, "Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems", John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex, 2011.

RESEARCH ARTICLE

Use of Artificial Intelligence in Next-Generation Wireless Network Infrastructures

Yeni Nesil Kablosuz Ağ Altyapılarında Yapay Zeka Kullanımı

Remzi Gürfidan^{1*}, Mevlüt Ersoy², Hilal Kartal²

¹ Isparta University of Applied Sciences, Yalvaç TBMYO, Computer Programming, Isparta, Türkiye.

² Süleyman Demirel University, Computer Engineering, Isparta, Türkiye.

Received / Geliş : 04.10.2023

Accepted / Kabul : 25.10.2023

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author) Remzi Gürfidan remzigurfidan@isparta.edu.tr

ABSTRACT: The diversity in service requirements, applications, devices, and networks that emerges with the development of technology transforms into complex systems in next-generation wireless networks. Wireless communication technologies and infrastructures, which play a critical role in communication and are becoming increasingly widespread, stand out as a highly favourable and productive area for research. In particular, the popularity of research areas such as artificial intelligence, cyber security, and signal intelligence, where wireless network technologies are specialized, is growing rapidly every day. Next-generation wireless networks are needed to meet and serve the requirements of the complex networks of the future. The systematic use of big data with next-generation wireless networks will be effective in making the system intelligent. The use of artificial intelligence with next generation wireless network infrastructures will make an effective contribution to artificial intelligence services. In this paper, the developments in wireless networks over the years are analysed in detail. The standards and limitations of wireless technologies are clearly compared. There are debates on how artificial intelligence, the technology of today and the future, will be used in next generation wireless network infrastructures. We hope that this paper will guide future researchers by providing a comprehensive review on the integration of wireless communication technologies and artificial intelligence. We also hope to inspire researchers by providing more information about the applications and limitations of wireless networks in different domains. We hope that this study will shed light on the gaps in the literature for future studies.

Keywords: Artificial intelligence, wireless networks, next-generation wireless networks, 6G wireless networks, network infrastructures.

ÖZ: Teknolojinin gelişmesiyle birlikte ortaya çıkan hizmet gereksinimleri, uygulamalar, cihazlar ve ağlardaki çeşitlilik, yeni nesil kablosuz ağlarda karmaşık sistemlere dönüşüyor. İletişimde kritik bir rol oynayan ve giderek yaygınlaşan kablosuz iletişim teknolojileri ve altyapıları, araştırmalar için oldukça elverişli ve verimli bir alan olarak öne çıkıyor. Özellikle kablosuz ağ teknolojilerinin uzmanlaştığı yapay zekâ, siber güvenlik ve sinyal zekâsı gibi araştırma alanlarının popülaritesi her geçen gün hızla artıyor. Geleceğin karmaşık ağlarının gereksinimlerini karşılamak ve bunlara hizmet etmek için yeni nesil kablosuz ağlara ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni nesil kablosuz ağlar ile büyük verinin sistematik kullanımı, sistemin akıllı hale gelmesinde etkili olacaktır. Yapay zekanın yeni nesil kablosuz ağ altyapıları ile birlikte kullanılması yapay zeka hizmetlerine etkin bir katkı sağlayacaktır. Bu bildiride gerçekleştirilen çalışmada kablosuz ağlarda yıllar içinde yaşanan gelişmeler detaylı olarak analiz edilmiştir. Kablosuz teknolojilerin standartları ve sınırlılıkları açık bir şekilde karşılaştırılmıştır. Günümüzün ve geleceğin teknolojisi olan yapay zekânın yeni nesil kablosuz ağ altyapılarında nasıl kullanılacağı, yeri ve önemi üzerine tartışmalar yapılmaktadır. Bu bildirinin, kablosuz iletişim teknolojileri ve yapay zekanın entegrasyonu konusunda kapsamlı bir inceleme sunarak gelecekteki araştırmacılara yol göstereceğini umuyoruz. Ayrıca, kablosuz ağların farklı alanlardaki uygulamaları ve sınırlamaları hakkında daha fazla bilgi sağlayarak araştırmacılara ilham vermeyi umuyoruz. Bu çalışmanın gelecekte yapılacak çalışmalar için literatürdeki boşluklara ışık tutacağını umuyoruz.

Anahtar Kelimeler: Yapay zeka, kablosuz ağlar, yeni nesil kablosuz ağlar, 6G kablosuz ağlar, ağ altyapıları.

1. INTRODUCTION

In 1946, the world's first telephone call was made using a car radio telephone. Thus, the basic principles of the cellular network were first introduced in 1947. In 1959, a general wireless telephone service was introduced to customers in the United Kingdom and this service was controlled by two base stations. With the increase in users, these networks have had difficulty handling large search volumes. A portion of the radio spectrum frequency has been published to initiate a larger scale study. This allowed the development of AMPS (American Advanced Cell Phone System) in 1983. Thus, 824 – 849 MHz frequencies are used for transmission from mobile and 869 – 894 MHz frequencies for transmission from cell base station [1].

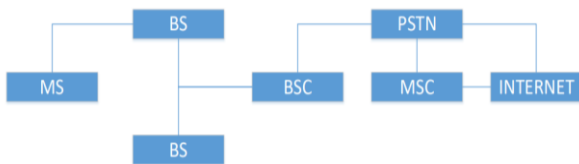


Figure 1: AMPS Architecture.

The 1G (First Generation) network model, which means first generation, was first introduced in 1980 as the first cellular network technology [2]. The 1G network model is also known as Enhanced Cell Phone Services (AMPS) [3]. Analog signal technology is used in the 1G network model. FDMA (Frequency Division Multiple Access) technique is used in the 1G network model. This technology is provided with radio antennas with a frequency of 150 Mhz for sound transmission. Because the FDMA technique has low capacity, it could not provide security in weak connections. At the same time, another limitation of this network is that it does not have a common standard [4]. In this model, it was not possible to service a device in motion. Voice call can be disabled when the user moves from one point to another base station.

Figure 2 shows the 1G cellular network design. Mobile Telephone Switching Office (MTSO) provides connectivity between Base Transceiver station (BTS) and design. MTSO provides connectivity between BTS and Public switched telephone network (PSTN). Manages circuit-switched (CS) networking relays, call forwarding,

registration, and authentication [5]. The 1G network model has three cellular standards; AMPS, NMT and TACS. In 1990, the 2G network model was developed. With the 2G network model, the transmission rate has been increased from 150 MHz to 10Kbps (Kilobytes per second). The model, in which digital signal is used instead of analog signal, provides not only voice transmission but also data transmission. For audio transmission, unlike 1G, digital signals are used instead of analog signals [6]. In this network model, GSM (Global Systems for Mobile Communications) standard, SMS (Short Message Service) and e-mail services were used for the first time.

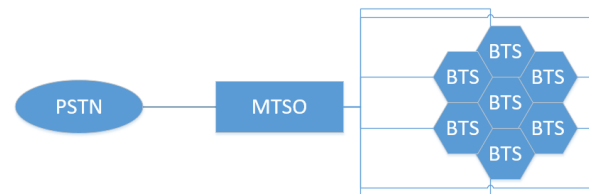


Figure 2: Network Architecture of 1G Technology.

With the 2G network model, data transmission also enabled short message and multimedia message (MMS) transmission. CDMA and TDMA are used as multiplexing technology in the 2G network model (Table 2) [7]. Another reason why 2G is more efficient compared to the 1G network model is that it provides two-pronged security for users. In this model, security is provided by both the sender and the receiver. Lack of video sharing facility and weakening of digital signals in case of network coverage loss are the shortcomings of this model [8]. At the beginning of the 2000s, 2.5G and 2.75G network models were put into use. With the use of GPRS (General Packet Radio Services) in the 2.5G network model, the transmission rate has been increased to 50 Kbps. It has different uses such as Wireless Application Protocol (WAP), Access Multimedia Messaging Services (AMMS), Email and World Wide Web Access services [9]. The increase in consumption of data services paved the way for the development of 2.75G and. The data transmission rate has been increased with Enhanced Data rates (EDGE) for GSM Evolution [10]. 3G technology was introduced as needs such as faster internet access came to the fore. With 3G technology, mobile devices have become able to accommodate the features of many devices. Services that can be provided from different devices

such as cameras, computers, MP3 players, radios have become available on a single device [11]. 3G network technology consists of a radio core network and a radio access network. On the basis of 3G network technology, GSM (Global System for Mobile) is used to provide mobile communication. It also combines TDMA (Time Division Multiple Access) and CDMA (Code Division Multiple Access) wireless principles in 3G network technology with GSM.

3G supported real-time application services to smartphone users with high-speed access. These applications include Video on Demand (VOD), Global Positioning System (GPS), Location-Based Services (LBS), Mobile TV (MTV) and Video Conferencing (VC) [12]. 4G (4th Generation) has developed after 2G and 3G. The 4G network model supports browsing and data transfer at much higher data rates compared to previous models and a supported transmission rate of up to 100 Mbps [7]. 4G networks are an IP-based heterogeneous network model that can be used regardless of the user's location, time and system. It has important features such as high availability (anytime, anywhere and with any technology), low transmission cost, multimedia support, personalization and integrated service. It also provides convenience for 4G integrated services. It allows users to use more than one service. Examples of these services are wireless services, GPS, CDMA. With 4G, such highly integrated services became possible in applications [13].

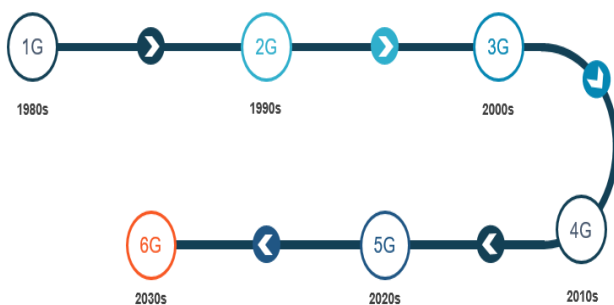


Figure 3: Mobile communication system evolution process.

2. 5G TECHNOLOGY

Technologies up to 5G had major shortcomings. Although each new network model tries to eliminate the deficiencies of the previous one, there

are still deficiencies in 4G. The shortcomings of 1G; limited capacity, poor battery life, large phone size and poor sound quality. To address these, 2G was introduced, but when the network coverage weakened in 2G, digital signals were lost and data such as video was not processed. In 3G technology, although the deficiencies of the previous generations were eliminated, there was a lack of high bandwidth requirement with the developing technology, and the cost increased considerably as the phones supporting 3G supported wireless technology. Although 4G technology provided basic services such as MMS, wireless broadband access, HDTV content, voice and data, the 4G system required complex hardware and was difficult to implement. However, the battery usage was also high. To overcome these shortcomings, a new concept, 5G, was introduced [14]. 5G networks, which came to the fore at the beginning of 2015, have started to be used in some countries as of 2020, although they do not reach every part of the world. The 5G network model has been officially named International Mobile Telecommunications (IMT) - 2020 by ITU (International Telecommunication Union). At the same time, ITU has defined three application scenarios for the 5G network model [15]. These three broad categories are envisioned to support a wide variety of use cases/use cases: eMBB (Enhanced mobile broadband): In this usage scenario, large area, less coverage and high mobility are targeted. The need for high mobility is only required at pedestrian speeds. eMBB can also meet user requirements such as high-definition video broadcasting and artificial reality. URLLC (Ultra-reliable and low-latency communication): In this use case, the requirements are to ensure reliability, achieve low latency, and increase availability. Intelligent transportation systems, transportation security, smart networks, providing wireless control in industrial production, wireless and fast communication in the use of artificial intelligence are examples of the usage areas of these requirements [16]. mMTC (Large machine type communication): In cases where there is heavy data traffic, it is expected that the requirements will be met with mMTC. mMTC deployment may consist of many devices that are not latency sensitive. The cost of these devices should be low and the battery life should be long [17].

Compared to 4G, the 5G network model aims to keep the latency and battery consumption at a lower level and to implement the internet of things (IoT) better. 5G provides users with higher capacity, higher mobile broadband user density and reliable machine communication [18]. The 5G network

model is a model designed for www. Cellular networks such as 4G and 5G use IPv6 as an internet protocol [19]. Table 1 shows the characteristics of cell communication in different generations.

Table 1: Characteristics of cell communication in different generations.

Generations	Audio	Data	SMS	E Mail	MMS	Video Call	Online Game	High-Definition TV	High-Definition Video	Virtual Reality App.
1G	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2G	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
2.5G	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
2.75G	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
3G	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
3.5G	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
4G	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
4.5G	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
5G	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Table 2: Different generations of cell communication.

Generations	Release Year	Standards	Multiplexing Technologies	Switching	Transmission Speed
1G	1980	AMPS	FDMA	CS	2.4Kbps
2G	1990	GSM	CDMA/TDMA	CS	10Kbps
2.5G	2000	GPRS	CDMA/TDMA	CS and PS	50Kbps
2.75G	2003	EDGE	CDMA/TDMA	CS and PS	144Kbps
3G	2001	UMTS	CDMA-2000 WCDMA	CS and PS	384Kbps
3.5G	2003	HSDPA	CDMA-2000 WCDMA	CS and PS	2Mbps
3.75G	2003	HSUPA	CDMA-2000 WCDMA	CS and PS	30Mbps
4G	2010	LTE M-WIWX	OFDM SC-OFDM	CS ve PS	100Mbps
4.5G	2014	LTE-PRO	OFDM SC-OFDM	CS and PS	300Mbps
5G	2015	WWWW	BDMA	CS and PS	1Gbps+

3. PROSPECTS FOR 6G AND ITS FUTURE USES

The application of wireless communication has become an expanding technology from connecting people to connecting objects. With 6G technology, it is expected to meet the requirements that 5G cannot meet to a large extent [19]. The 5G cellular network model can provide reliable and low-latency (URLLC) communication.

However, the short packet limiting this situation causes the disadvantage of URLLC functions, making it a disadvantage in the 5G cellular network

model. IoT (Internet of Things) applications have developed rapidly since the day they were defined and continue to develop. 5G network model is not enough to meet the communication, sensing, control and computing requirements in IoT applications.

This situation shows the lack of 5G in some issues and reveals the necessity of 6G technology for the developing technology. The need for 6G is not only due to the challenges and performance limits presented by 5G, but also to the continuous evolution of wireless networks. With the new

generation wireless networks, the efficiency that can be obtained is maximized.

The evolution of artificial intelligence, intelligent driving, and industrial revolutions are creating key requirements for 6G that will lead to ubiquitous mobile ultra-broadband (uMUB), ultra-high-speed and low-latency communications (uHSLLC), and ultra-high data density (uHDD) service classes.

With the developments in artificial intelligence and industry, the need for new requirements in the 6G wireless network model has stopped. To meet these requirements, uMUB (mobile ultra-wideband), uHDD (ultra high data density) and uHSLLC (ultra high speed and low latency communication) services are needed. These services expose photonic-based cognitive radio technology and computational holographic painting technology for the 6G network model.

Technology-driven paradigm shift and network evolution provide clues about the design of 6G networks. As in Figure 4, 6G has three basic technologies; It demonstrates the logical beginning of 6G, which can generate several key technical requirements such as AI, photonic technology and RF holography [20].

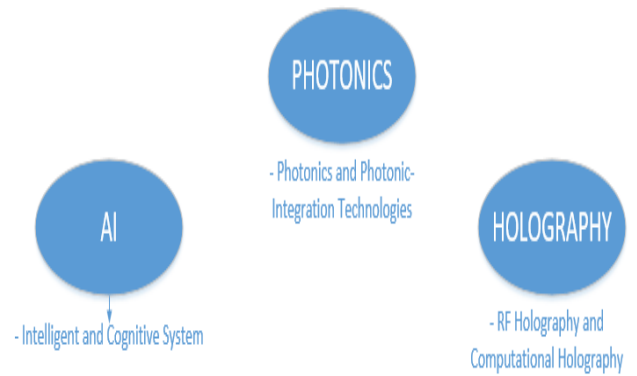


Figure 4: Three key technologies of 6G.

3.1 Performance Expectations for 6G

Unlike the 5G network model, the 6G network model is expected to have major performance improvement goals. Different use cases for 6G require the use of different KPI sets.

The 6G network model is expected to support smart networks, IoT applications, artificial intelligence-based decisions, along with developing applications such as distance education and smart tools [21].

Table 3: Comparison of 5G and 6G network model in terms of KPIs.

KPI'S	5G	6G
Peak Data Rate	20 Gb/s	1 Tb/s
User-experienced Data Rate	0.1 Gb/s	1 Gb/s
Peak Spectral Efficiency	30 b/s/Hz	60 b/s/Hz
User-experienced Spectral Efficiency	0.3 b/s/Hz	3 b/s/Hz
Maximum Bandwidth	1 GHz	100 GHz
Connection Density	106 devices/km ²	107 devices/km ²
Latent Period	1 ms	0.1 ms
Jitter	not specified	1 μ s
Mobility	500 km/h	1000 km/h

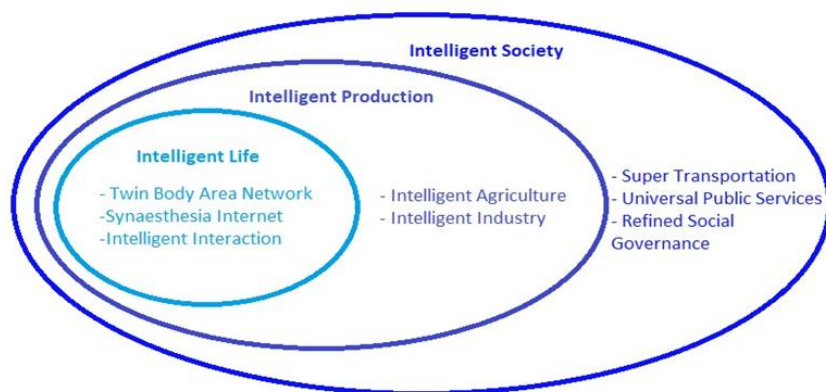


Figure 5: Scenario categories of 6G applications in 2030.

3.2 Security Protocols of 6G

Complex security infrastructures are required to meet the needs of the 6G network model. Security models designed for the 5G network model need to be developed separately for 6G. This security should be brought to the top by developing Software Defined Network (SDN) and Network Function Virtualization (NFV) [22].

3.3 6G Usage Areas

Although there are many application scenarios for 6G in 2030 and beyond, it is possible to examine all these in three main categories: smart life, smart production and smart society.

The twin body area network, synesthesia internet and smart interaction in the intelligent life category are expected to develop in areas such as learning, shopping, working and health. The concept of twin body area network refers to the digitization of the body and the smartening of treatments in the field of health, together with molecular communication. In this way, targeted therapy, pathological research and prevention of critical illness risks will be possible. With synesthesia, it is possible to have non-physical experiences of playing music and art with the internet. With the development of technology used in agriculture and industry, the development of the digital economy will accelerate. While the use of technology such as drones, VR and robots will increase efficiency with 5G, there will be better smart production with 6G. Technologies such as big data, IoT and cloud computing will play an important role in sectors such as agriculture, forestry and animal husbandry, and will provide a

great efficiency for smart agriculture. It is expected that the transportation network consisting of land, sea, air and space vehicles will become multidimensional and fully autonomous driving will be in question. With the regular operation of multi-dimensional traffic vehicles, customized and safe transportation services will be provided and there will be an increase in initiatives for a smart society [1].

3.4 6G and Artificial Intelligence (AI)

With the 5G network model, NWDAF (Network Data Analytics Function) [23] has provided a network design convenient for artificial intelligence services. NWDAF is used to implement artificial intelligence-based network automation and optimize relevant network functions. Studies on the use of artificial intelligence and integrating mobile technologies are carried out by ITU (International Telecommunication Union). Technical features in areas such as the use of artificial intelligence and machine learning are also prepared for next-generation networks. These specifications include network architectures, protocols, algorithms and data formats [24].

In the new generation wireless networks, an alternative to many communication problems is offered by using artificial intelligence. Studies have been carried out to enable various applications with the use of artificial intelligence in new generation wireless networks [25]. There is a high level of interaction between mobile communication technology and artificial intelligence. By using AI technology, it is possible to optimize network resource usage and achieve better performance. At the radio link layer, radio resource scheduling or

link customization can be better implemented via radio channel estimation. Or at the network layer, artificial intelligence can be used to solve the problem of self-driving network operation and management or mapping future networks [26][27]. There are also some challenges for AI-connected wireless networks. Depending on innovations such as artificial intelligence and machine learning, it is necessary to use big data analytics in wireless networks. Big data used for the control and optimization of new generation wireless networks is expected to cause some difficulties. Another challenge will be network operators losing direct control over the network. This situation can be caused by real-time operations and automations.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

In this section, a comparative discussion of 4G, 5G and 6G technologies in terms of pros and cons will be carried out. Afterwards, the results obtained from the discussion will be reported.

4G technology is a significant advancement that allows for high-speed data transfers and improves connection quality. More bandwidth, lower latency, better capacity, and higher energy efficiency are anticipated for 4G networks in the future. To meet these aspirations for faster and more dependable mobile internet access, 4G infrastructure must be continuously improved. 5G technology, which provides even faster speeds, lower latency, and more capacity, is acknowledged as a revolutionary stride forward in communications. Even more bandwidth, the capacity to link billions of devices simultaneously, ultra-low latency, enhanced security, and increased energy efficiency are some of 5G's potential future benefits. To meet these aspirations, 5G networks must continue to grow in order to support the creation of next-generation services and applications. 6G is still a developing technology with questionable future prospects. However, the following are some expectations and potential solutions:

- **Data transmission rates that are extremely fast:** 6G is anticipated to offer even faster data transfer rates. This will allow for the faster transmission of far greater data quantities and the creation of more sophisticated applications.

- **Lower latency:** The 6G network seeks to further lower latency. Real-time applications (like virtual reality and augmented reality) will function more effectively as a result.

- **Greater connection density:** 6G is anticipated to offer a greater connection density, enabling the simultaneous connectivity of billions of devices. This will improve the integration and communication of Internet of Things (IoT) devices.

- **Better energy efficiency:** 6G aims to use energy more efficiently. This will result in electronics with longer battery lives and a more environmentally friendly communications network.

- **Uses of the next generation:** As 6G technology develops, even more cutting-edge uses are anticipated. These might incorporate remote medical care, driverless cars, augmented reality, virtual reality, artificial intelligence, and other things. However, as 6G is still in the research and development stage, it is still uncertain exactly what kind of technology it will be and what it will deliver. With the advancement of technology, more details regarding potential outcomes and remedies will become more apparent in the years to come. As shown in Table 3, 4G speeds up to 300Mb can be accessed, while 6G data speeds are expected to reach 11 GB. This will eliminate the problem of data speed, which is one of the biggest requirements in developing technology.

Author Contributions: The current state of the art and research on security and artificial intelligence in the literature in this study was carried out by author Remzi Gürfidan. Future work and discussion sections were carried out by the author Mevlüt Ersoy. Comparison and benchmarking studies were carried out by the author Hilal Kartal.

Conflicts of Interest: As the authors of this study, I confirm that there is no conflict of interest with any institution/organization or person.

5. REFERENCES

- [1] N. Linge and A. Sutton, "The road to 4G", J. Inst. Telecommun. Prof, vol. 8, no. 1, pp. 9-16. Jan. 2014.
- [2] A.F.M.S. Shah, "A Survey From 1G to 5G Including the Advent of 6G: Architectures,

- Multiple Access Techniques, and Emerging Technologies" IEEE 12th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), Las Vegas, 2022, pp. 1117-1123.
- [3] T.H. Kim, H. Adeli, "Advances in Computer Science and Information Technology AST/UCMA/ISA/ACN 2010 Miyazaki – Japan Conferences, vol. 6059, Berlin, Germany: Springer.
- [4] V. Abramov, S. Li, M. Wang, E.W Wong and M. Zukerman, "Computation of blocking probability for large circuit switched networks", IEEE Commun. Lett., vol.16, no. 11, pp. 1892-1895, Nov. 2012.
- [5] R. Akkurt, "Wireless Mobile Communication Technologies from Past to Present", Eur. J. Sci and Tech, vol. 28, pp 115-119, Nov. 2021.
- [6] A.U. Gawas, "An overview on evolution of mobile wireless communication networks: 1G-6G", Int. J. Recent Innov. Trends Comput. Commun., vol. 3, no. 5, pp. 3130-3133, May 2015.
- [7] A. Chaturvedi, A.V. Dhuman, "A Future of 5G Wireless System", J. Sci. Technol., vol. 6, special issue 01, pp. 47-52, Aug. 2021.
- [8] R. Yadav, "Challenges and evolution of next generations wireless communication", International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists, (IMECS 2017), Hong Kong, 2017, pp. 1-5.
- [9] A. Sutton and N. Linge, "Mobile network evolution within the UK", J. Inst. Telecommun. Prof., vol. 9, no. 2, pp. 10-16, Jul. 2016.
- [10] M. Karabulut, "Improvement of Internet/Network Based Applications", M.Sc. Thesis, Institute of Science, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Kahramanmaraş, 2007.
- [11] F.M. Asmare, F.M. Geremew and L. Getnet Ayalew, "A survey on 3G mobile network traffic performance and analysis in Ethiopia", Cogent Eng., vol. 9, no. 1, pp. 1-12, Dec. 2021.
- [12] M. Lin, H. Choi, T. Dawson and T. La Porta, "Network integration in 3G and 4G wireless networks", 19th International Conference on Computer Communications and Networks, Zurich, Switzerland, Aug. 2010, pp. 1-8.
- [13] S.Y. Hui and K.H. Yeung, "Challenges in the migration to 4G mobile systems", IEEE Commun. Mag., vol. 41, no. 12, pp. 54-59, Dec. 2003.
- [14] R. Khutey, G. Rana, V. Dewangan, A. Tiwari, A. Dewamngan, "Future of wireless technology 6G & 7G", Int. J. Electr. Electron. Res., vol. 3, no. 2, pp. 583-585, April 2015.
- [15] L. Dong, et al., "Introduction on IMT-2020 5G trials in China", IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 35, no. 8, pp. 1849-1866, Aug. 2017.
- [16] M. Simsek, A. Aijaz, M. Dohler, J. Sachs and G. Fettweis, "5G-Enabled Tactile Internet", IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 34, no. 3, pp. 460 – 473, March 2016.
- [17] M. Shafi et al., "5G: A Tutorial Overview of Standards, Trials, Challenges, Deployment, and Practice", IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 35, no. 6, pp. 1201-1221, June 2017.
- [18] Turkey Information and Communication Technologies Authority, "5G and Beyond, White Book", (2021) [Online]. Available: <https://btk.gov.tr/uploads/announcements/5g-ve-otesi-beyaz-kitap/5g-ve-otesi-beyaz-kitap.pdf>
- [19] Y. Zhao, G. Yu, H. Xu, "6G Mobile Communication Network: Vision, Challenges and Key Technologies", Chinese Science: Information Science, Scientia Sinica Information, vol. 49, no. 8, pp. 963-987, May 2019.
- [20] B. Zong, C. Fan, X. Wang, X. Duan, B. Wang and J. Wang, "6G Technologies: Key Drivers, Core Requirements, System Architectures, and Enabling Technologies", IEEE Veh. Technol. Mag., vol. 14, no. 3, pp. 18-27, Sept. 2019.
- [21] S. Kumar, "6G Mobile Communication Networks: Key Services and Enabling Technologies", J. ICT Stand., vol. 10, no. 1, pp. 1-10, Feb. 2022.
- [22] M. Ylianttila et al., "6g white paper: Research challenges for trust, security and privacy" arXiv preprint arXiv:2004.11665. 2020.
- [23] G. Liu et al., "Vision, requirements and network architecture of 6G mobile network beyond 2030" China Commun., vol. 17, no. 9, pp. 92-104, Sept. 2020.
- [24] FG-ML5G, I. Focus Group on Machine Learning for Future Networks Including 5G" (2019) [Online]. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ml5g/Pages/default.aspx>.
- [25] M. Chen, U. Challita, W. Saad, C. Yin and M. Debbah, "Artificial Neural Networks-Based Machine Learning for Wireless Networks: A

- Tutorial", IEEE Commun. Surv. Tutor., vol. 21, no. 4, pp. 3039-3071, July 2019.
- [26] R. Li et al., "Intelligent 5G: When Cellular Networks Meet Artificial Intelligence", IEEE Wirel. Commun. vol. 24, no. 5, pp. 175-183, Oct. 2017.
- [27] D. Bega, M. Gramaglia, R. Perez, M. Fiore, A. Banchs and X. Costa-Pérez, "AI-Based Autonomous Control, Management, and Orchestration in 5G: From Standards to Algorithms", IEEE Netw., vol. 34, no. 6, pp. 14-20, Nov. 2020.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Manyetik Rezonans Görüntülerinden Beyin Tümörü Tespitinde Sınıflandırma Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi

Comparative Analysis of Classification Algorithms in Brain Tumour Detection from Magnetic Resonance Images

Oruç Altay Kırılı¹ Merve Sansarcı¹ Osman Özkaraca^{2,*} Gürcan Çetin²

¹ Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Anabilim dalı, 48000, Muğla, Türkiye.

² Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilişim Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 48000, Muğla, Türkiye.

Geliş / Received: 05.10.2023

Kabul / Accepted: 25.10.2023

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author) Osman Özkaraca osmanozkaraca@mu.edu.tr

ÖZ: Beyinde normal hücreleri kontrol eden mekanizmalar tarafından kontrol edilemeyen, kontrolsüz bir şekilde büyüyen ve çoğalan anormal bir doku kütlelerine intrakraniyal tümör ya da beyin tümörü adı verilir. İlk olarak beyin tümörleri baş ağrısı, nöbetler sürekli hasta hissetme (bulantı), hasta olma (kusma) ve uyuşukluk gibi semptomlar göstermeye başlar. Genel olarak, bir beyin tümörü teşhisi manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile başlar. MRG beyinde bir tümör olduğunu gösterdiğinde, beyin tümörünün tipini belirlemenin en yaygın yolu biyopsi veya ameliyat sonrası alınan doku örneğinin sonuçlarına bakmaktır. Bu tümörlerin tedavi edilmesinde erken teşhisin önemi oldukça büyüktür. Son yıllarda gelişen yapay zekâ teknolojileri ve yöntemleri ile bu tür tümörlerin erken tespiti ve analizi daha kolay hale gelmiştir. Tümörlerin bilgisayar destekli algoritmalar ile tespiti sırasında görüntülerin segmentasyonu yapılmaktadır. Etkili bir tıbbi segmentasyon algoritması çıktısı, sınıflandırıcıyı bu tür anormalliklerin aşamalarını belirlemede daha verimli bir şekilde yönlendirmektedir. Bu çalışmada, yapay zekâ teknolojilerinin de içerisinde bulunduğu tıbbi segmentasyon yöntemleri ile MRG görüntülerindeki tümör tespitinde nasıl kullanılabileceği incelenmiş ve çeşitli modellerin analizleri yapılmıştır. En yüksek doğruluk oranı (% 84,4), özellik çıkarımında Chi-Kare testi kullanılan Doğrusal-DVM (Destek Vektör Makinesi) algoritması ile elde edilmiştir. Rassal orman algoritması da % 81,5 doğruluk oranı ile oldukça başarılı bir sonuç vermiştir. Çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde, Rassal Orman ve DVM algoritmalarının en iyi performansı gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: MRG, beyin tümörü, sınıflandırma, destek vektör makinesi, rassal orman, makine öğrenmesi.

ABSTRACT: An abnormal tissue mass that grows and proliferates uncontrollably and cannot be controlled by the mechanisms that control normal cells in the brain is called an intracranial tumour or brain tumour. First, brain tumours begin to show symptoms such as headaches, seizures, feeling sick all the time (nausea), being sick (vomiting), and lethargy. Generally, diagnosing a brain tumour begins with magnetic resonance imaging (MRI). When an MRI shows that there is a tumour in the brain, the most common way to determine the type of brain tumour is to look at the results of a biopsy or tissue sample taken after surgery. Early diagnosis is of great importance in treating these tumours. With the developing artificial intelligence technologies and methods in recent years, early detection and analysis of such tumours has become easier. Segmentation of images is performed during the detection of tumours with computer-aided algorithms. The output of an effective medical segmentation algorithm guides the classifier more efficiently in identifying the stages of such abnormalities. In this study, how medical segmentation methods, including artificial intelligence technologies, can be used to detect tumours in MRI images was examined and various models were analysed. The highest accuracy rate (84,4%) was obtained with the Linear-SVM (Support Vector Machine) algorithm using the Chi Square test in feature extraction. The Random Forest algorithm also gave a very successful result with an accuracy rate of 81,5%. When the results of the study were evaluated, it was seen that Random Forest and SVM algorithms showed the best performance.

Keywords: MRI, brain tumour, classification, Support Vector Machine, Random Forest, machine learning.

1. GİRİŞ

Beyinde oluşan anormal hücreler, genellikle beyin tümörü olarak adlandırılırlar. Literatürde tümörler iki kategoriye ayrılır: iyi huylu (benign) ve kötü huylu (malign) tümörler. Hastalık ciddi sayılabilecek semptomlara sahip olmakla birlikte ilerleyen zamanlarda bilinç kaybına kadar gidebilmektedir [1]. Beyin tümörünün teşhisine en uygun yöntem MRG (Manyetik Rezonans Görüntüleme) olarak görülmüştür.

MRG, bu tür beyin ve diğer türdeki tümörleri değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan bir görüntüleme tekniği olarak kabul edilir. MRG görüntüleri, diğer görüntüleme teknolojilerine göre daha yüksek kalitede görüntüler sunar ve tümörlerin büyüklüğü, şekli ve yerleşimi gibi özelliklerini daha iyi gösterebilir. MRG ile tümörler hakkında kabaca bir fikir elde edilir ve sonrasında patoloji laboratuvar incelemesi ile beyin tümörü olup olmadığı net olarak anlaşılır. Ancak, MR görüntülerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi zordur ve insanların gözden kaçırabildiği detaylar olabilmektedir. Aynı görüntüyü farklı radyologlar farklı şekilde yorumlayabilir. Gelişen teknoloji sayesinde yapay zekâ algoritmaları gibi yüksek teknolojik yöntemler kullanılarak MR görüntülerindeki tümör tespitinde daha fazla doğruluk ve hız sağlanabilir. Yapay zekâ algoritmaları, görüntülerdeki nüansları ve detayları daha doğru bir şekilde analiz ederek, insanların kaçırabileceği tümör belirtilerini fark edebilir.

Son yıllarda gelişen bu yapay zekâ teknolojileri ve yöntemleri ile bu tür tümörlerin tespiti ve analizi yapay zekâ destekli tıbbi bilişim segmentasyon yöntemleri ile rahatlıkla yapılmaya başlanmıştır. Bilgisayar teknolojilerindeki hız ve kapasitenin fazlasıyla artması bu tümörlerin erken safhada tespitine olanak sağlamakla birlikte hayati bir önem taşımaktadır. Etkili bir tıbbi segmentasyon algoritması çıktısı, sınıflandırıcıyı bu tür anormalliklerin aşamalarını belirlemede verimli bir şekilde yönlendirmektedir.

Tıbbi segmentasyon algoritmaları, yapay zekâ destekli olmakla birlikte sağlık alanında önemli rol oynayan bir teknolojidir. MRG çıktıları, hastalıkların erken teşhisinde, tedavide ve izlemede

kullanılır. Yapay zekâ teknolojilerinin tıp alanında kullanımı, görüntü analizinde daha fazla doğruluk ve verimlilik sağlamaya olanak tanımıştır.

Bu makale, yapay zekâ teknolojilerinin de içerisinde bulunduğu tıbbi segmentasyon teknikleri ile MRG görüntülerindeki tümör tespitinde nasıl kullanılabileceği incelenmiş ve çeşitli modellerin analizleri yapılmıştır. Ayrıca, gelecekte bu alandaki gelişmeler ve yapay zekâ teknolojilerinin daha da iyileştirilmesi için yapılması gereken çalışmalar hakkında da bilgi vermektedir. Tümör tespitindeki doğruluk ve hızın hayat kurtarıcı bir önemi bulunmaktadır ve yapay zekâ teknolojileri günümüzde sağlık sektöründe yapay zekâ teknolojisi hızla yaygınlaşmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, Kaggle'dan elde edilen Navoneel Chakrabarty tarafından paylaşılan Brain MRG Images for Brain Tumor Detection veri seti kullanılarak Destek Vektör Makineleri (DVM), Doğrusal DVM, Toplamalı Chi-Kare Çekirdek, Lojistik Regresyon ve Rassal Orman derin öğrenme modelleri karşılaştırılmıştır. Literatürde beyin tümörü konusunda yapılan çalışmalara bakıldığında iyi sonuçlar verdiğinden dolayı bu modeller tercih edilmiştir [2].

Çalışmada gerçekleştirilen modelin performansı ise karşılaştırma matrisi ile hesaplanan doğruluk, kesinlik, hassasiyet, F-ölçüsü, duyarlılık, özgüllük değerleri üzerinden hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Beyin tümörü, her gün birçok insanın etkilenmesi ve ölmesi nedeniyle dünya çapında önemli bir sorun haline gelmiş rahatsızlıktır. Beyin tümörünün erken teşhisi, büyümenin kontrol altına alınmasına yardımcı olabilir ve etkili tedavi seçeneklerini artırabilir. Literatürde bu alanda yapılmış birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Bu çalışmaların temelinde görüntü işleme algoritmaları ve görüntü segmentasyon algoritmaları önem arz etmektedir. Çünkü görüntü segmentasyonu özellikle anormalliklerin tespitinde hayati bir rol oynar. Segmentasyon algoritmalarının değerlendirilmesi, optimum performans için uygun algoritma ve parametrelerin seçilmesi açısından hayati öneme sahiptir. Bu nedenle Kumar ve arkadaşları, gerçekleştirdikleri çalışmada

segmentasyon algoritmalarının kalitesini değerlendirmek için çeşitli metrikler tanımlanmıştır. Bu çalışma, segmentasyon algoritmalarının etkinliğini analiz etmek için kullanılacak performans değerlendirme parametrelerini sunmaktadır [3].

Balaji tarafından gerçekleştirilen başka bir çalışmada Generative Deep Belief modelini kullanarak insan vücudundaki tümörlerin doğru teşhisini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada geleneksel derin ResNet 0.92, AdaResU-Net 0.89 ve HSMA-WOA 0.90 doğruluk elde ederek önerilen yöntemin altında kalmıştır. Bununla birlikte, önerilen yöntem 0,999 doğruluk oranı ile geleneksel yöntemden daha üstün bir performans elde etmiştir [4].

Babu ve Singh'in yaptığı çalışmada standart derin öğrenme modelleri ile U-Net mimarisi karşılaştırılmıştır. Doğruluk açısından U Net, optimum performansın yanı sıra yüksek doğruluk da sağlamıştır. Bu çalışmada sırasıyla Brain Tumor Segmentation Challenge (BraTS) 2017 ve 2018 adlı açık kaynaklı standart veri tabanları kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, Evrimsel Sinir Ağı (CNN), Dense CNN, FCNN, U NET, Res U NET ve NovelNet mimarilerine kıyasla önerilen yeni mimari segmentasyon doğruluğunda %7'lik önemli bir artış elde etmiştir [5].

Ghulam ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) için beyin tümörünü tespit etmek ve segmentlere ayırmak için yeni bir U-Net tabanlı (CNN) tekniği önermişlerdir. Önerilen model BRATS2020 veri kümesi üzerinde %0,98'lik bir doğruluk değeri elde etmiştir ki bu değer mevcut tekniklerle karşılaştırıldığında en yüksek değer olduğu çalışmada belirtilmiştir [6].

Sedlar çalışmasında çok yollu CNN dayalı otomatik bir beyin tümörü segmentasyonu yaklaşımı sunmaktadır. Modelin eğitimi ve hiper-parametre ayarlaması BraTS 2017 eğitim veri kümesi üzerinde, modelin doğrulaması BraTS 2017 doğrulama veri kümesi üzerinde yapılmış ve nihai sonuçlar BraTS 2017 test veri kümesi üzerinde raporlanmıştır. Test veri kümesinde elde edilen ortalama Dice skorları tümör, tüm tümör ve tümör çekirdeği için sırasıyla 0.6049, 0.8436 ve 0.6938'dir [7].

Zhao ve arkadaşları yapılan son çalışmalarda, derin evrişim sinir ağı (DCNN) tıbbi görüntü segmentasyonu için en güçlü yöntemlerden biri olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu makalede de, BraTS2019 çevrimiçi test seti üzerinde değerlendirildiğinde, gelişmiş tümör çekirdeği, tüm tümör ve tümör çekirdeği için sırasıyla 0,810, 0,883 ve 0,861 Dice puanları ve 2,447, 4,792 ve 5,581 Hausdorff Uzaklıkları (95. yüzdeler dilim) elde edilmiştir. Ancak bu model küçük anatomik bölgeler için yanlış tahminler yapma eğilimindedir [8].

Liu ve arkadaşlarının çalışmasında, beyin tümörü görüntülerinin segmentasyonu için bir dikkat mekanizmasına sahip hafif bir otomatik 3D algoritması önerilmiştir. BraTS 2019 test setine uygulanan önerilen ağ modelinin sonuçları, tümör, tüm tümör ve tümör çekirdeği için Dice katsayılarının sırasıyla %77,91, %89,94 ve %83,89 olduğunu ortaya koymuştur. BraTS 2018, BraTS 2019 ve BraTS 2020 veri setleri üzerinde yapılan kapsamlı deneyler, önerilen modelin küçük beyin tümörü bölgelerinin verimli segmentasyonu açısından daha iyi bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir [9].

Behrad ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, U-Net tabanlı ağı gereksiz filtrelerini belirlemek için genetik algoritma kullanılmıştır. Filtre budama işlemini, performans ve çıkarım süresinin aynı anda optimize edildiği çok amaçlı bir optimizasyon problemi olarak ele almışlardır. Ardından, beyin tümörü segmentasyonu için sıkıştırılmış ağ kullanılmaktadır. Çalışmada, Dice katsayıları sırayla %80,19, %78,77, %79,58 ve %77,45 elde edilmiştir ve en başarılı performansın genetik algoritmada elde edildiği saptanmıştır [10].

Pereira ve arkadaşları CNN'e dayalı otomatik bir segmentasyon yöntemi önermektedir. Çalışmada CNN tabanlı segmentasyon yöntemlerinde yaygın olmasa da veri büyütme ile birlikte MRG görüntülerinde beyin tümörü segmentasyonu için çok etkili olduğu kanıtlanan yoğunluk normalizasyonunun kullanımı ile ön işleme adımı araştırılmıştır. Çalışmanın 2013 BRATS veritabanında Dice benzerliği katsayı ölçümü %88, %83 ve %77 çıkmıştır ve çevrimiçi yapılan değerlendirmeyi birincilikle bitirmiştir. Aynı

çalışma 2015 BRATS veri setinde denendiğinde ise Dice değerleri %78, %65 ve %75 çıkmıştır [11].

Bhagat ve Kaur yaptığı bu çalışmada, doğru segmentasyon için multimodal bilgilerin daha yeterli bir şekilde kullanılmasını amaçlayan, multimodal MRG'da derin semantik ve kenar bilgilerinin füzyonuna dayanan bir beyin tümörü segmentasyon yöntemi önermektedir. Önerilen yöntem temel olarak bir semantik segmentasyon modülü, bir kenar algılama modülü ve bir özellik füzyon modülünden oluşmaktadır. Çalışmanın doğruluk, kesinlik ve duyarlılık değerleri sırasıyla %99,24, %95,83 ve %95,30'dur. Performans parametreleri açısından sonuçlar, sistemin verimliliğinin daha önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında daha iyi olduğu görülmektedir [1].

Anand ve arkadaşları, MRG taramalarını kullanarak beyin tümörlerini segmente etmek ve sınıflandırmak için makine öğrenimi ve tıbbi destekli multimodal bir yaklaşım önermektedir. Analize hazır MRG görüntülerini DVM, RBF, ANN ve AdaBoost gibi çeşitli makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak kategorize edilmiştir. DVM RBF algoritmasının performansı, beyin tümörlerinin sınıflandırılması ve tespiti konusunda en başarılı algoritma olarak gözlenmiştir [12].

Ragupathy ve arkadaşlarının çalışmasında, mevcut kısıtlamaların ve engellerin üstesinden gelmek için bilgisayar destekli beyin tümörü segmentasyonu yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen konvolüsyonel sinir ağı ve destek vektör makinesi yaklaşımı aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır. Ön işleme aşamasında, istenmeyen gürültü ve yoğunluk homojensizliği bir anizotropik difüzyon filtresi kullanılarak bastırılır. Ardından, derin evrişimli sinir ağı kullanılarak özellikler çıkarılır ve özelliklere dayalı olarak; giriş beyin görüntüsü bir destek vektör makinesi sınıflandırıcısı kullanılarak normal veya anormal olarak sınıflandırılır. Önerilen yöntem (Proposed CNN-DVM) kendisine en yakın yöntem göre (Dual force CNN) %2,11 ile daha başarılı bir doğruluk oranı vermektedir. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında (SWT-GCNN, Patch-based CNN, Multi-grade, Dual force CNN) duyarlılık ve özgüllük değerleri de %4,79 ve %1,19'a yükselmiştir [13].

Görüldüğü üzere literatürde birçok çeşitli makine öğrenimine yönelik sınıflandırma algoritması başarıyla denendikten sonra tıbbi tedavi ve teşhis için en iyi sonucu verebilecek algoritma bulunmaya çalışılmıştır. Tüm bu algoritmaları karşılaştırarak ve geliştirerek tıbbi tedavi ve teşhiste doğru sonuç verecek en iyi görüntü deseni tanıma algoritmasına ulaşabileceği düşünülmektedir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, tümör tespiti için üç farklı sınıflandırma algoritması (Rassal Orman, Doğrusal Regresyon ve DVM) ve iki farklı özellik çıkarım yöntemi (Chi-Kare ve HOG) kullanılmıştır. Veri seti, negatif ve pozitif tümör görüntülerini içermektedir. Veri seti üzerinde görüntü işleme yöntemleri kullanılarak özellik çıkarılmış ve sınıflandırma algoritmaları kullanılarak tümör tespiti yapılmıştır.

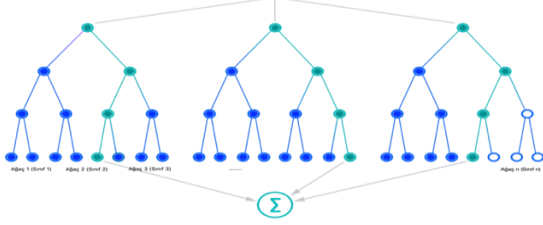
Özellik çıkarımı için, Chi-Kare ve HOG yöntemleri kullanılmıştır. Chi-Kare yöntemi, özellik vektörlerinin tümör sınıfları arasındaki farklılıklarını vurgulamak için kullanılan bir yöntemdir. HOG yöntemi ise, görüntüyü küçük parçalara ayırır ve her parçanın histogramını hesaplar. Bu histogramlar daha sonra, tümör sınıflarını ayırt etmek için kullanılır.

Sınıflandırma algoritmaları olarak, Rassal Orman, Doğrusal Regresyon ve DVM kullanılmıştır. Rassal Orman, birden çok ağaç kullanarak sınıflandırma yapar. Doğrusal Regresyon, görüntü özelliklerinin doğrusal bir kombinasyonunu kullanarak sınıflandırma yapar. DVM ise, iki sınıf arasındaki ayrım çizgisini belirlemek için kullanılır. Performans ölçütleri olarak, doğruluk, hassasiyet, özgüllük ve F1-score kullanılmıştır. Doğruluk, tümör teşhisi doğru yapılan örneklerin yüzdesini, hassasiyet ise tümör olan örneklerin ne kadarının doğru bir şekilde tespit edildiğini göstermektedir.

3.1 Rassal Orman Yöntemi

Rassal Orman algoritması, birden fazla karar ağacının oluşturulması ve bu ağaçların sonuçlarının bir araya getirilerek ortak bir sonuç üretilmesine dayanmaktadır. Şekil 1'de yer alan karar ağaçları, veri kümesindeki özelliklerin belirli bir sıraya göre sıralanarak bir ağaç yapısı oluşturulmasıyla elde edilir. Her bir düğümde belirli bir özellik değeri

kontrol edilir ve ağacın dallarına ayrılır. Rassal Orman algoritması, bu işlemi birden fazla karar ağacı ile gerçekleştirir ve her bir ağacın sonucunu bir araya getirerek daha doğru ve stabil bir sonuç üretmeyi hedefler.

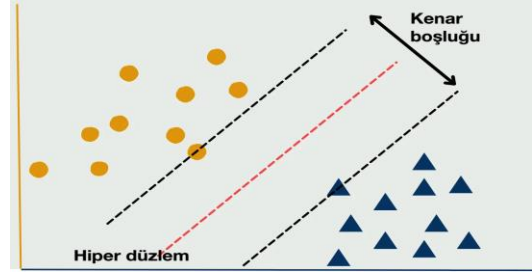


Şekil 1: Rassal Orman algoritmasının blok gösterimi.

Rassal Orman Sınıflandırıcı, Rassal Orman algoritmasını uygulamak için birden fazla karar ağacı oluşturur. Ağaçların sayısı ve diğer parametreler, sınıfın yapıcı (constructor) yöntemi aracılığıyla belirlenir. Oluşturulan ağaçlar, veri kümesindeki özelliklerin belirli bir alt kümesini kullanarak rastgele seçilir, böylece her bir ağacın farklı özellikleri kullanarak farklı sonuçlar üretmesi sağlanır. Sonuçlar bir araya getirilirken, örneğin sınıflandırma yapıyorsa, sınıflandırma sonuçlarının oylaması (voting) yöntemi kullanılır [3].

3.2 Destek Vektör Makineleri (DVM)

Destek vektör makineleri, sınıflandırma, regresyon ve aykırı değerlerin tespiti için kullanılan bir dizi denetimli öğrenme yöntemidir. Destek vektör makinesi algoritmasının amacı, N boyutlu bir uzayda (N - özellik sayısı) veri noktalarını belirgin bir şekilde sınıflandıran bir hiperdüzlem bulmaktır [1]. Şekil 2’de görüldüğü gibi iki veri noktası sınıfını ayırmak için seçilebilecek birçok olası hiperdüzlem vardır. Amacımız maksimum kenar boşluğuna, yani her iki sınıfın veri noktaları arasındaki maksimum mesafeye sahip bir düzlem bulmaktır. Kenar boşluğu mesafesini maksimuma çıkarmak, gelecekteki veri noktalarının daha güvenle sınıflandırılabilmesi için bir miktar güçlendirme sağlar.



Şekil 2: Destek vektör makineleri çalışma şekli.

3.3 Doğrusal-DVM

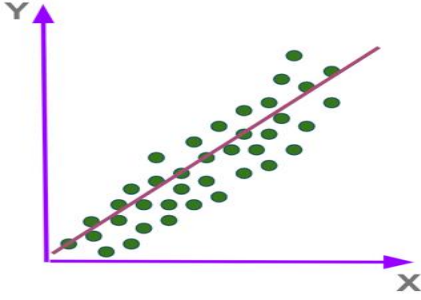
DVM algoritması, bir sınıflandırma problemi için veri kümesindeki örnekleri bir hiperdüzlemle iki sınıfa ayırmayı hedeflerken Doğrusal-DVM algoritması ise, bu hiperdüzlemi Doğrusal bir fonksiyonla ifade etmektedir. Doğrusal-DVM algoritmasının temelinde yatan optimizasyon problemi olan çift yönlü kararlılık yöntemini kullanır. Bu yöntem, veri kümesindeki örnekleri iki sınıfa ayırmak için bir hiperdüzlem bulurken, bu hiperdüzlemi en iyi şekilde ayıracak olan destek vektörlerini bulmaya çalışır. Bu işlem, hiperdüzlemi tanımlayan ağırlık vektörü ve bias terimini tahmin etmek için kullanılır.

Doğrusal-DVM algoritması, bir hiperdüzlemi bulmak için örnekleri iki sınıfa ayırmaya çalışırken, ayrılabilir bir veri kümesi için doğrudan çözüm bulabilir. Ancak, eğer veri kümesi ayrılabilir değilse, DVM algoritması yumuşatmalı sınıflandırma adı verilen bir yöntemle çalışır. Bu yöntem, bazı örneklerin hiperdüzlemin ötesinde yer almasına izin verir, böylece DVM algoritması daha iyi bir sınıflandırma performansı elde eder. Özetle, Doğrusal-DVM algoritması, veri kümesindeki örnekleri iki sınıfa ayırmak için bir hiperdüzlem bulmaya çalışırken DVM algoritmasının dual-formulation yöntemini kullanarak, hiperdüzlemi en iyi şekilde ayıracak olan destek vektörlerini bulmaya çalışmaktadır.

3.4 Doğrusal Regresyon (DR)

Doğrusal regresyon, bir bağımsız değişken (X) ile bir veya daha fazla bağımlı değişken (Y) arasındaki doğrusal ilişkiyi modellemektedir. Doğrusal regresyon, en uygun bir doğru veya düzlem (eğer çoklu değişkenler varsa) çizerek, verilerin değişkenler arasındaki ilişkisini en iyi şekilde temsil eden Şekil 3’deki gibi bir model oluşturur. Burada

yeşil noktalar verilerin konumu kırmızı doğrusal çizgi regresyon çizgisidir.



Şekil 3: Doğrusal regresyon grafiği.

Bu çalışmadaki Doğrusal regresyon sınıflandırıcısı, Python programlama kütüphanesinde yer alan "Linear Regression" sınıfı kullanılarak uygulanmıştır. Bu sınıf, doğrusal regresyon için temel özellikleri ve parametreleri içermektedir ve regresyon modeli oluşturmak için veriler üzerinde en küçük kareler yöntemini kullanır. Doğrusal regresyon, veri kümesindeki değişkenler arasındaki ilişkiyi modellerken, hataların en aza indirilmesi prensibine dayanır. Bu nedenle, doğrusal regresyon, en küçük kareler yöntemi olarak da adlandırılmaktadır [14].

Bu model, veri noktaları arasındaki doğrusal ilişkiyi temsil eden bir doğru ile ifade edilir. Bu doğru, eğitim verilerindeki hataların en aza indirilmesi prensibine göre en iyi uyumu sağlar. Eğitim verilerindeki özellikler, Şekil 3'de görüleceği üzere sınıflandırıcının X girdisi olarak kullanılırken, etiketler (pozitif ve negatif tümör durumları) sınıflandırıcının Y çıktısı olarak kullanılmıştır.

3.5 Chi-Kare

Chi-Kare (Chi-Square) testi, kategorik verilerin analizinde kullanılan bir istatistiksel testtir. Bu test, iki kategorik değişken arasındaki ilişkinin varlığını veya yokluğunu belirlemek için kullanılmaktadır [15]. Çalışma içinde, Chi-Kare sınıflandırıcısı özellik çıkarımı için Select KBest sınıfı kullanılarak uygulanmıştır. Bu sınıf, verilerden en önemli özellikleri seçmek için kullanılır. Özellik seçimi, sınıflandırıcı için en anlamlı ve önemli olan özelliklerin seçilmesi amacıyla yapılır ve sınıflandırma doğruluğunu artırmayı hedefler. Select KBest sınıfı, veri özelliklerinin önemini, istatistiksel bir test olan Chi-kare testini kullanarak

belirler. Bu test, her özelliğin her sınıftaki frekanslarını ve beklenen frekanslarını karşılaştırarak, sınıf etiketleriyle ilişkisini ölçer. Sonuç olarak, özellikler sıralanır ve en önemli olanları seçmek için bir kriter belirlenir.

3.6 HOG

Yönlendirilmiş Gradyan Histogramı (HOG), bilgisayarlı görüş ve nesne tanıma alanında yaygın olarak kullanılan bir özellik çıkarım yöntemidir. Bu yöntem, özellikle nesne tanıma ve insan algılama gibi uygulamalarda kullanılır. HOG, görüntüleri bloklara böler, her bloktaki kenar ve gradient bilgilerini hesaplar, ardından bu bilgileri bir özellik vektörü olarak birleştirir.

Bu çalışmada, HOG özellikleri kullanılarak nesne tanıma yapılacaktır. HOG, görüntülerdeki kenarları ve yapıları yakalamak için kullanılan bir özellik vektörüdür. Bu özellik vektörü, görüntülerin kenar ve gradient bilgilerini temsil eder. HOG özellikleri genellikle nesne tanıma sistemlerinde ve insan algılama uygulamalarında kullanılır.

3.7 Veri Seti

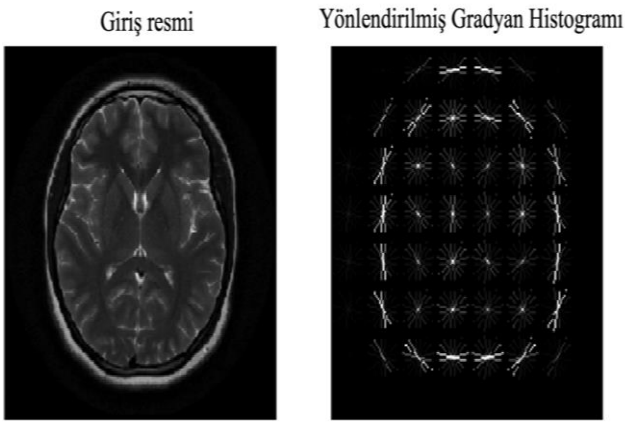
Bu çalışmada, beyin tümörü için MRG görüntülerinden oluşan Brain MRG Images for Brain Tumor Detection veri seti kullanılmıştır. Veri seti, pozitif ve negatif olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır. Toplamda 100'ü pozitif ve 100'ü negatif olan 200 MRG görüntüsü bulunmaktadır. Pozitif örnekler, beyin tümörü bulunduran görüntüler olmakla beraber negatif örneklerde ise beyin tümörü bulunmamaktadır [16]. Çalışmada veri setinin model içerisinde kullanılabilir hale getirilmesi için veri ön işleme gereklidir. Verilerin ön işleme aşaması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- Verilerin yüklenmesi
- Verilerin önemli özelliklerinin seçilmesi
- Verilerin temizlenmesi
- Verilerin ölçeklendirilmesi

Verilerin yüklenmesi aşaması Python'daki Pandas kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Önemli özelliklerin seçilmesi aşamasında, görüntülerin RGB renk uzayındaki histogram eşitleme özellikleri kullanılmıştır. Verilerin temizlenmesi aşamasında, boş veya eksik verilerin bulunduğu örnekler silinmiştir. Verilerin

ölçeklendirilmesi, görüntülerin yeniden boyutlandırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu işlem, ölçeklendirme işlemlerini kolaylaştırdı ve ayrıca öğrenme algoritmaları için daha uygun bir boyut sağlamıştır.

Bu işlemleri tüm görüntülere uyguladıktan sonra, HOG özellikleri çıkarılmaktadır. HOG, bilgisayarla görme ve görüntü işlemede nesnelere tespit etmek için kullanılan bir özellik tanımlayıcısıdır. HOG kullanımına alternatif olarak PCA (Temel Bileşen Analizi) de kullanılmaktadır. Şekil 4’de bir MR görüntüsünün HOG uygulandıktan sonraki çıktısı gösterilmiştir.



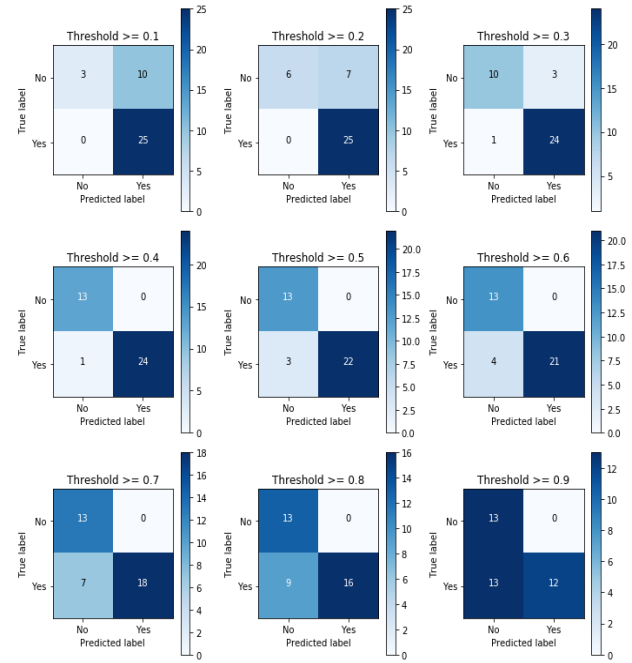
Şekil 4: MR görüntülerine Yönlendirilmiş Gradyan Histogramının uygulanması.

Uygulamadaki sınıflandırma probleminin tahmin sonuçlarının özetini sunmak için Tablo 1’deki karışıklık matrisi kullanılmıştır. Algoritmaların kullanımı için, ön işlem aşaması bittikten sonra Duyarlılık metriğini 1’e eşitlemek amaçlanmaktadır. Böylece FN (False Negative) parametresi 0 olacaktır. Bu şekilde, sınıflandırıcı tümörlü görüntüleri istenilen şekilde tespit edecektir.

Tablo 1: Karışıklık matrisi.

		Tahmini Değer	
		Pozitif	Negatif
Gerçek Değer	Pozitif	TP	FP
	Negatif	FN	TN

Şekil 5’te metriğin en iyi olduğu optimum eşik aranmaktadır. Bu eşik, modelin doğruluğuna ve doğrulama setindeki duyarlılık performansına göre seçilir. Program %10’dan başlayıp %90’a kadar farklı yakınsama değerlerine göre olasılıklar yapmakta ve her bir eşik değeri için matris tablosunun değeri değişmektedir. Bu yakınsama değerleri, sağlıklı ve sağlıklı veri setlerinin karşılaştırılması sırasında, ne kadarlık bir yüzdeyle rastgele karşılaştırılacağı konusunda uygulanır. Böylece performans ölçümleri (doğruluk, hassasiyet, duyarlılık, f1) üzerinden en iyi sonuç bulunmaya çalışılmıştır. %10 eşikinde %73,68, %20 eşikinde %81,58, %30 eşikinde %89,47, %40 eşikinde %97,37, %50 eşikinde %92,11, %60 eşikinde %89,47, %70 eşikinde %81,58, %80 eşikinde %65,79 doğruluk oranları elde edilmiştir. Sonuçlardan incelenebileceği üzere, en optimum doğruluk oranı %40 eşikinde elde edilmiştir ve çalışma kodlarında %40 eşik değeri baz alınarak ilerleme sağlanmıştır.



Şekil 5: 0,1-0,9 arası farklı eşik değerlerine göre karşılaştırma matrisi sonuçları.

3.7.1 Özellik Çıkarımı

Özellik çıkarımı, öğrenme algoritmalarının kullanabileceği temel özelliklerin belirlenmesi için gereklidir. Bu çalışmada, histogram eşitleme tekniği kullanılarak görüntülerden özellikler çıkarılmıştır. Görüntülerin RGB renk uzayındaki

histogram eşitleme özellikleri, veri kümesindeki özellikler olarak kullanılmıştır.

3.7.2 Öğrenme Algoritmaları

Bu çalışmada Doğrusal Regresyon, Destek Vektör Makineleri ve Rassal Orman olmak üzere 3 farklı öğrenme algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmalar da Python'daki scikit-learn kütüphanesi kullanılarak uygulanmıştır.

3.8 Değerlendirme Ölçütleri

Model performansının ölçülmesi, makine öğrenmesi ve yapay zekâ alanlarında oldukça önemlidir. Modelin veriler üzerinde nasıl bir performans sergilediğinin anlaşılmasını sağlayan bu metrikler, modellerin geliştirilmesi ve olası eksikliklerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F-Ölçüsü ve özgüllüğü, yapay zekâ ve makine öğrenmesi alanında model performansının ölçülmesinde kullanılan temel metriklerdir. Bu metrikler, modelin doğruluğunu, hassasiyetini, hatırlamasını, ölçülebilirliğini ve özgüllüğünü ölçmek için kullanılır.

Doğruluk: Modelin veriler üzerinde doğru tahmin yapma oranını ifade etmektedir. Modelin doğru tahmin yapma oranı, tüm verilere uygulandığında modelin tahmin ettiği doğru sonuçların toplamını, tüm verilerin sayısına bölünmesi ile Denklem 1 ile bulunmaktadır. Modelin doğruluk değeri 0 ile 1 arasında değişir ve 1'e yakın olması, modelin verileri doğru tahmin ettiğini gösterir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (1)$$

Kesinlik: Modelin pozitif tahminlerinin doğru olma oranını ifade etmektedir. Kesinlik, Denklem 2'de görüldüğü üzere, pozitif tahminlerinin doğru olma oranını, pozitif tahminlerinin toplamını, pozitif tahminlerin doğru olma sayısına bölünmesi ile bulunmaktadır. Modelin kesinliği, 0 ile 1 arasında değer alır ve 1'e yakın olması, modelin pozitif tahminlerinin doğru olduğunu gösterir.

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

Duyarlılık: Modelin pozitif verilerinin doğru tahmin edilme oranını ifade etmektedir. Duyarlılık, pozitif verilerinin doğru tahmin edilme oranı, pozitif verilerinin doğru tahmin edilme sayısını, pozitif verilerin toplamına bölünmesi ile Denklem 3 kullanılarak bulunmaktadır. Modelin duyarlılığı, 0 ile 1 arasında değer alır ve 1'e yakın olması, modelin pozitif verileri doğru tahmin ettiğini gösterir.

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

Hassasiyet: Modelin negatif verilerinin doğru tahmin edilme oranını ifade etmektedir. Hassasiyet, negatif verilerinin doğru tahmin edilme oranı, negatif verilerin doğru tahmin edilme sayısını, negatif verilerin toplamına bölünerek Denklem 4 ile bulunmaktadır. Modelin hassasiyeti, 0 ile 1 arasında değer alır ve 1'e yakın olması modelin tüm negatif verilerinin doğru tahmin edildiğini göstermektedir.

$$\text{Hassasiyet} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

F-ölçüsü kesinlik ve duyarlılığın harmonik ortalamasıdır ve modelin pozitif verileri üzerindeki performansının ölçülmesinde kullanılmaktadır. F-Ölçüsü, kesinlik ve duyarlılık değerlerine göre modelin pozitif veriler üzerindeki performansının genel bir değerlendirmesini yapar.

F-Ölçüsü, bir denge oranıdır ve hem Kesinlik hem de Duyarlılık değerlerinin yüksek olmasını hedefler ve Denklem 5 ile hesaplanır. F-Ölçüsü, harmonik ortalama formülü kullanılarak hesaplanır ve 0 ile 1 arasında değer almaktadır. 1 değeri modelin hem kesinlik hem de duyarlılık değerlerinin maksimum olduğunu göstermektedir.

$$F_1 = 2 \times \frac{\text{Kesinlik} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (5)$$

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Sonuçlar, farklı özelliklere sahip öğrenme algoritmaları kullanılarak elde edildi. En yüksek doğruluk oranı, Rassal Orman algoritması kullanılarak elde edilmiştir. Ancak, Destek Vektör

Makineleri algoritmasının verdiği yüksek performans da göz ardı edilmemelidir.

F-ölçüsü (F1) değeri, harmonik ortalama değeri verdiği için Rassal Orman modelinin MRG görüntülerini işleme konusundaki sorunu, ileride yapılacak benzer çalışmalarda göz önünde bulundurulmalıdır.

Ayrıca, çalışma sonucunda elde edilen değerlere göre, DVM tek başına kullanıldığında doğruluk ve kesinlik değerinin, diğer modellere kıyasla daha kötü performans verdiği görülmüştür. Doğrusal-DVM ve Ki Kare-DVM uygulamalarının, sıradan DVM modeline göre bazı noktalarda %40'a kadar daha yüksek doğruluk avantajı sunduğu görülmüştür.

Tablo 2: Sınıflandırma algoritmalarının karşılaştırmalı analizi.

	Doğru luk	Kesin lik	Duyarl ılık	Fölç üsü	Duyarl ılık
DR	0.842	0.8	1.0	0.888	0.571
DVM	0.815	0.774	1.0	0.872	0.5
Doğru sal- DVM	0.868	0.827	1.0	0.905	0.642
RF	0.815	0.793	0.958	0.867	0.571
DVM- Chi²	0.894	0.857	1.0	0.923	0.714

Tablo 2'de incelendiğinde çalışmanın sonunda alınan sonuçlar, çalışmanın ana konusu olan beyin tümörlerinin sınıflandırılması için kullanılan modellerinin performanslarını kapsamlı bir şekilde değerlendirmemizi sağlamaktadır.

Bu çalışmada, MRG görüntülerinin histogram eşitleme özellikleri kullanılarak farklı makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak sınıflandırıldı. Çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde, Rassal Orman ve DVM algoritmaları en iyi performansı göstermiştir.

Değerlendirme ölçütlerinin sonuçları incelenecek olursa, en yüksek doğruluk değerini 0.894 ile DVM-Additive Chi² algoritması elde etmiştir. Ayrıca, bu algoritma en yüksek Kesinlik (0.857), Duyarlılık (1.0) ve F-Ölçüsü (0.923) değerlerini de elde etmiştir. Bu sonuçlar, DVM-Additive Chi²

algoritmasının tümör tespit etmede en başarılı algoritma olduğunu göstermektedir.

DVM-Additive Chi² algoritmasının takibinde %86,8 doğruluk oranıyla, Chi-Kare testinin kullanıldığı Doğrusal-DVM algoritması bulunmaktadır.

Rassal Orman algoritması da %81,5 doğruluk oranı ile oldukça başarılı bir sonuç vermiştir. Sonuçlar ayrıca, özellik seçimi yöntemlerinin performanslarının model doğruluğuna önemli ölçüde katkıda bulunduğunu göstermiştir. Hem özellik çıkarımı hem de özellik seçimi yöntemleri, tümör sınıflandırma performansını arttırmada kritik rol oynamaktadır.

Bununla birlikte, elde edilen sonuçlar birçok yönden ilginç ve değerlidir, ancak çalışmanın bazı sınırlamaları da vardır. Veriler sadece beyin tümörünü içermektedir. Bu sebeple beyin tümörü haricindeki diğer tümör türleri için kullanılabilirliğinin başka veri setleri ile test edilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, çalışmadaki veri seti sınırlı sayıda görüntü içermektedir, gelecekte daha büyük veri setleri kullanılarak model performansının daha fazla değerlendirilmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, tümör sınıflandırma modellerinin geliştirilmesi için özellik çıkarımı ve özellik seçimi yöntemlerinin önemli olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, tümör sınıflandırması için farklı makine öğrenimi algoritmalarının kullanılabileceğini ve özellik seçimi ve çıkarımı yöntemlerinin başarılı sonuçlar elde etmek için kullanılabileceğini göstermektedir. Bu çalışma, tümör sınıflandırma alanında daha fazla araştırma yapılması için bir temel sağlamaktadır.

Yazar Katkısı: Oruç Altay Kırlı ve Merve Sansarcı çalışmada literatür taraması ve uygulamanın gerçekleştirilmesi alanında katkı vermişlerdir. Osman Özkaraca ve Gürcan Çetin verilerin yorumlanması uygulamanın doğrulanması noktasında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması: Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylarız.

5. KAYNAKLAR

- [1] N. Bhagat and G. Kaur, "MRI brain tumor image classification with support vector machine," *Mater. Today: Proc.*, vol. 51, no. 8, pp. 2233-2244, 2022.
- [2] P. Sutradhar, P. K. Tarefder, I. Prodan, M. S. Saddi and V. S. Rozario, "Multi-modal case study on MRG brain tumor detection using support vector machine, random forest, decision tree, k-nearest neighbor, temporal convolution transfer learning," *AJSE*, vol. 20, no. 3, pp. 107-117, Sep. 2021.
- [3] S. N. Kumar, A. L. Fred, H. A. Kumar and P. S. Varghese, "Performance metric evaluation of segmentation algorithms for gold standard medical images," *Recent Findings in Intelligent Computing Techniques*, Springer, Singapore, Nov. 2018, pp. 457-469.
- [4] P. Balabil, "Generative deep belief model for improved medical image segmentation," *Intell. Autom. Soft Comput.*, vol. 35, no. 1, pp. 1-14, 2023.
- [5] K. D. Babu and C. S. Singh, "Brain tumor segmentation through level based learning model," *Comput. Syst. Sci. Eng.*, vol. 44, no. 1, pp. 709-720, 2023.
- [6] R. Ghulam, S. Fatima, T. Ali, N. A. Zafar, A. A. Asiri, H. A. Alshamrani, S. M. Alqhtani and K. M. Mehdar, "A U-Net-based CNN model for detection and segmentation of brain tumor," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 74, no. 1, pp. 1333-1349, 2023.
- [7] S. Sedlar, "Brain tumor segmentation using a multi-path CNN based method," *Brainlesion: Glioma, Multiple Sclerosis, Stroke and Traumatic Brain Injuries, Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Cham, Feb. 2018, vol. 10670, pp. 403-422.
- [8] Y.-X. Zhao, Y.-M. Zhang ve C.-L. Liu, "Bag of tricks for 3D MRG brain tumor segmentation," *Brainlesion: Glioma, Multiple Sclerosis, Stroke and Traumatic Brain Injuries*, Springer, Cham, May 2020, vol. 11992, pp. 210-220.
- [9] H. Liu, G. Huo, Q. Li, X. Guan and M.-L. Tseng, "Multiscale lightweight 3D segmentation algorithm with attention mechanism: Brain tumor image segmentation," *Expert Syst. Appl.*, vol. 214, pp. 119166, Mar. 2023.
- [10] F. Behrad and M. S. Abadeh, "Evolutionary convolutional neural network for efficient brain tumor segmentation and overall survival prediction," *Expert Systems with Applications*, vol. 213, no. Part B, pp. 118996, 2023.
- [11] S. Pereira, A. Pinto, V. Alves and C. A. Silva, "Brain tumor segmentation using convolutional neural networks in MRG images," *IEEE Trans. Med. Imaging.*, vol. 35, no. 5, pp. 1240-1251, Mar. 2016.
- [12] L. Anand, K. P. Rane, L. A. Bewoor, J. L. Bangare, J. Surve, M. P. Raghunath and S. Sankaran, "Development of machine learning and medical enabled multimodal for segmentation and classification of brain tumor using MRG images," *Comput. Intell. Neurosci.*, pp. 7797094, Aug. 2022.
- [13] B. Ragupathy, B. Subramani and S. Arumugam, "A novel approach for MR brain tumor classification and detection using optimal CNN-SVM model," *Int. J. Imaging Syst. Technol.*, vol. 33, no. 2, pp. 746-759, Nov. 2022.
- [14] J. Wu and H. Yang, "Linear regression-based efficient SVM learning for large-scale classification," *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.*, vol. 26, no. 10, pp. 2357-2369, Jan. 2015.
- [15] The Chi squared tests., 1997. [Online]. Available: <https://www.bmj.com/about-bmj/resources-readers/publications/statistics-square-one/8-chi-squared-tests>.
- [16] M. Nickparvar, "Brain Tumor MRG Dataset," 2021. Retrieved from <https://www.kaggle.com/datasets/masoudnickparvar/brain-tumor-mri-dataset/metadata>.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Çelik Cürufu Kullanılan Yol Katmanlarında Geosentetik Tabaka Konumunun Etkisinin Belirlenmesi

Determination of the Effect of the Position of Geosynthetic Layers on Road Layers using Steel Slag

Mürüvet Özsoy^{1*}, Seyhan Fırat², Nihat Sinan Işık², Berna Unutmaz³

¹ Aksaray Üniversitesi, İnşaat Bölümü, Aksaray, Türkiye.

² Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye.

³ Hacettepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Geliş / Received: 04.10.2023

Kabul / Accepted: 30.10.2023

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author) Mürüvet Özsoy munluozsoy@aksaray.edu.tr

ÖZ: En önemli ulaşım ağlarından biri olan karayollarında sürekli taşıt trafiğine bağlı olarak yol yüzeyinde yorulma çatlakları, tekerlek izleri gibi yapısal deformasyonlarla karşılaşmaktadır. Bozulmaların meydana geldiği tasarımlarda bakım ve onarım çalışmalarının yanı sıra yolun tümüyle yeniden inşası da gerekebilmektedir. Birçok ülkede karayolları için gerekli olan agregaların kullanımı hem doğal kaynakların azalması hem de kaynağa uzak olması nedeniyle zorlaşmaktadır. Bu durum göz önünde bulundurulduğunda atık malzemelerin geri dönüşüme katkısının artırılması ve malzeme temininin sağlanması açısından çelik cürufu da yol agregası olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla çelik cürufunun yolun granüler katmanlarında kullanımı sayesinde hem yol yapısının stabilite kazanması hem de doğal kaynaklarının verimli kullanımı mümkün olmaktadır. Bu çalışmada temel ve/veya alt temel tabakalarında çelik cürufu ve doğal agrega kullanılarak oluşturulan dört farklı kombinasyondaki kesitler için sayısal analizler yapılmıştır. Ayrıca geosentetik donatı yerleştirilen tabaka sayısı etkisinin belirlenmesi amacıyla üç farklı yerleşim durumu için statik analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, çelik cürufu ile oluşturulmuş kesitlerde literatür ile uyumlu olacak bir şekilde alt temel tabakasında çelik cürufu kullanılması halinde düşey deformasyona etkisinin başarılı bir şekilde yansıtıldığı görülmüştür. İki sıra geogrid donatı kullanılması durumunda deformasyon değerinde tek sıra kullanımına kıyasla daha fazla azalma meydana geldiği de elde edilen önemli bulgulardan biridir.

Anahtar Kelimeler: Statik analiz, çelik cürufu, geogrid, deformasyon, donatı konumu.

ABSTRACT: On highways, one of the most important transportation networks, structural deformations such as fatigue cracks and ruts are encountered on the road surface due to constant vehicle traffic. In designs where deterioration occurs, complete reconstruction of the road may be required, as well as maintenance and repair work. In many countries, the use of aggregates required for highways becomes difficult. Considering this situation, steel slag is also used as road aggregate to increase the contribution of waste materials to recycling and to provide material supply. Use of steel slag in the granular layers of the road both increases the stability of the road structure and provides an efficient use of natural resources. In this study, numerical analyses were performed for the sections in four different combinations created by using steel slag and natural aggregate in the foundation and/or sub-base layers. In addition, static analyses were carried out for three different settlement situations to determine the effect of the number of layers in which geosynthetic reinforcement was placed. The results of the analyses showed that the vertical deformation effect was successfully reflected in the case of using steel slag in the lower foundation layer, in accordance with the literature, in the sections formed with steel slag. It is also one of the important findings that in the case of using two rows of geogrid reinforcement, there is a greater decrease in the deformation value compared to the use of a single row.

Keywords: Static analysis, steel slag, geogrid, deformation, position of reinforcement.

1. GİRİŞ

İnsanlığın başlangıcından günümüze kadar olan süreçte insanların seyahat etmesi ve ekonomik olarak gelişmenin devam etmesi için ulaşım temel bir ihtiyaç halini almıştır. Bu amaçla yapılan ulaşım yolları yüzyılı aşkın süredir tasarlanmış ve inşa edilmiştir.

Karayolları, tüm Dünya’da olduğu gibi ülkemizde yük ve yolcu taşımacılığında yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Karayolları teknik açıdan değerlendirildiğinde çok katmanlı olarak tasarlanmaktadır. Genel anlamda yüzey tabakası bitümlü karışımların tercih edildiği esnek üstyapı sistemleri granüler temel ve alttemel tabakalarından oluşmaktadır.

Nüfus artışıyla birlikte farklı ulaşım türlerine olan ihtiyacın artmasının yanında tasarımlarda kullanılacak malzeme özelliklerinin artan taşıt trafiği ve diğer etkili faktörlere karşı nitelikli bir performans göstermesi de beklenmektedir. Özellikle inşaat sektöründe yaşanan ekonomik ve teknolojik gelişmeler dolayısıyla doğal kaynaklar, aşırı ve bilinçsiz kullanıma maruz kalmıştır. Bunun bir sonucu olarak yeni inşa edilecek tasarımlarda kullanılacak malzemelerin azalan doğal kaynakların daha etkili ve verimli kullanımına yönelik çabaların artması da gerekli olmuştur. Özellikle inşaat sektöründe sürdürülebilir malzemelerin kullanımı döngüsel bir ekonomi sisteminin varlığına katkı sağlamaktadır [1].

Yol üstyapılarında doğal agrega yerine kısmen ya da tamamen çelik cürufunun, inşaat yıkım atıklarının ve geri dönüştürülmüş beton agregaların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Atık malzemelerin kullanımı ile atık depolama alanlarının ve devasa atık dağlarındaki birikmenin en aza indirilmesi mümkün olmaktadır [2]-[4]. Biriken atıklar kısa vadede zemin ve su kirliliğine neden olurken uzun vadede küresel ısınma gibi tüm dünyayı etkisi altına alan felaketleri de beraberinde getirmektedir.

Çelik cürufu çelik üretiminin sonucunda ortaya çıkan yan ürün olarak en çok tercih edilen malzemelerden olup doğal agregaların yerini alma konusunda büyük bir potansiyele sahip olduğu için yeşil bir kaynak olarak kabul edilmektedir [5]-[7]. Bununla birlikte çeşitli inşaat mühendisliği

uygulamaları ve yol katmanları inşaatında çelik cürufu yaygın olarak kullanılmaktadır [8]. İnşaat mühendisliği ve diğer malzeme disiplinleri tarafından çelik cürufu kullanımının incelenmesi sonucunda harmanlanmış çimento üretimi için bir hammadde, asfalt karışımlarının üretimi için agregalar veya bir yol kaplaması temeli ya da alt temel tabakaları için granüler malzeme gibi geniş alanlarda kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır [9]-[10]. Yapılan çok sayıdaki araştırmaya göre çelik cürufunun sahip olduğu köşeli şekli ve pürüzlü yüzey dokusu ile mekanik kitlelemenin yanında yüksek özgül ağırlığının yüksek kayma direnci sağlaması, daha iyi stabilite, yüksek sıcaklıkta deformasyonlara karşı ve düşük sıcaklıkta ise çatlama direnci sağladığı ifade edilmiştir [11]-[13]. Ayrıca doğal agregaların kullanıldığı yüzeyler zamanla cilalanmaya maruz kalırken çelik cürufu agregaların sahip olduğu özellikler sayesinde cilalanmaya karşı sürtünme direncini korumaktadır. Bununla birlikte literatürde çelik cürufu kullanmanın hem çevre açısından olumlu etkilere sahip olduğu hem de maliyet tasarrufu sağladığı belirtilmektedir [14].

Yolların servis ömrü boyunca beklenen performansı göstermesinde özellikle yol tabakalarında kullanılan granüler malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerinin önemli olduğunu söylemek mümkündür. Ancak servis ömrü süresince yol üstyapısı tekrarlı trafik yükleri ve doğal koşulların etkisine doğrudan maruz kalmaktadır [15]. Bu nedenle geosentetikler ile güçlendirilerek/rehabilite edilerek servis ömrünün ve taşıma kapasitesinin artırılmasının yanında çevresel faktörlere dayanıklı bir tasarım oluşturmak mümkündür. Geosentetikler, zemin malzemesine sürtünme, yapışma, kenetlenme veya hapsedme yoluyla bağlanarak zemin kütlelerinin stabilitesini artırır. Polimerik malzemelerden üretilen geogridler yollar, duvarlar, şevler ve bina temelleri gibi çoğu uygulamalarda tercih edilen bir yapı malzemesidir. Önceki yıllarda gerilme kuvvetlerini bir veya iki yönde taşımak amacıyla kare ve dikdörtgen açıklıklı üretimleri bulunurken son yıllarda üçgen açıklıklı olanların üretimleri yaygınlaşmaktadır. Geogridler, agrega malzemesinin uygulanan tekerlek yükü altında yanal olarak hareket etmesini önler taban katmanında yerel güçlenmeyi ve sertliği artırır.

Yapılan bu çalışmada çelik cüruflarının agrega olarak kullanılması halinde tekrarlı trafik yükleri altındaki yol performansına olan etkisinin yanında geogridlerin kullanımı ile ilgili verilen kısa bilgi sonrasında sayısal analizler yardımıyla çevresel ve teknik açıdan kullanımları değerlendirilmiştir. Son olarak bu amaçla yapılan çalışmalar mevcut ve gelecekteki gelişmenin sağlanması açısından faydalı olmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Çelik cürufu çelik üretim sonucunda yan ürün olarak ortaya çıkan sentetik bir agrega türüdür. Üretilen çelik ve fırın tipine bağlı olarak Bazik Oksijen Fırını (BOF) cürufu Şekil 1’de, Elektrik Ark Fırını (EAF) cürufu Şekil 2’de ve Pota Fırını (LF) Şekil 3’de gösterilen temelde üç türü bulunmaktadır.



Şekil 1: BOF cürufu [16].

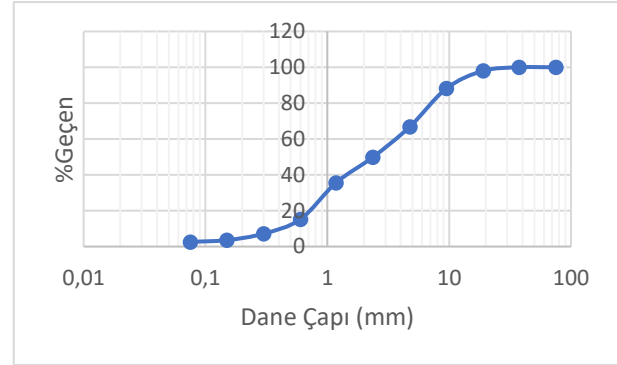


Şekil 2: EAF cürufu [17].



Şekil 3: LF cürufu [18].

Çalışma kapsamında kullanılan EAF cürufuna ait yapılan elek analizi sonucunda oluşturulan granülometri eğrisinden hareketle temel ve alttemel tabakaları için Karayolları Teknik Şartname limitlerini sağladığı ifade edilmiştir [23]. Şekil 4’de elek analizine ait granülometri eğrisi verilmiştir.



Şekil 4: EAF cürufu [23].

BOF, EAF ve LF cüruflarının içeriğinde öncelikle CaO, MgO, SiO₂ ve FeO bulunmaktadır. Bu oksitlerin oranları ve diğer küçük bileşenlerin konsantrasyonu oldukça değişkendir ve ham maddelere, üretilen çeliğin türüne, fırın koşullarına vb. bağlı olarak aynı zamanda üretim sürecindeki partiden partiye değişiklik gösterir [10]. Tablo 1’de EAF ve BOF cüruflarının kimyasal içerik aralığı verilmiştir.

Tablo 1: Çelik cürufunun tipik kimyasal bileşim aralığı [10].

Kimyasal Bileşenler (%)	BOF Cürufu	EAF Cürufu
FeO	10-35	15-30
MnO	2-15	3-10
P ₂ O ₅	0.2-3.0	0.1-2.0
SiO ₂	8-20	9-20
CaO	30-55	35-60
Al ₂ O ₃	1-6	2-9
MgO	5-15	5-15
TiO ₂	0.4-2	

Çelik cürufunun kimyasal içeriğinde bulunan FeO sayesinde mukavemeti artmaktadır. Bu nedenle daha yüksek demir içeriğine sahip çelik cürufunun daha yüksek yoğunluk ve aşınmaya karşı direnç göstermesi beklenmektedir [19]. Buna ek olarak içerikte bulunan kireç ve serbest MgO çelik cürufunun hacimsel davranışında etkili olan element bileşimleridir.

Mohr-Coulomb malzeme bünye modeline sahip asfalt tabakası ve Hardening Soil (small strain

stiffness) malzeme modeline sahip granüler tabakalar için elastisite modülü (E), ν (poisson oranı), γ (birim hacim ağırlık), c (kohezyon)

değerlerine ait sayısal analizler için gerekli parametreler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Granüler malzeme parametreleri.

Malzeme Parametreleri	Asfalt	Kireç taşı Temel	Kireç taşı Alttemel	Katı kil	Çelikhane cüruf Temel	Çelikhane cüruf Alttemel
	Model	MC	HSsmall	HSsmall	HSsmall	HSsmall
E(MPa)	4500					
ν	0.3	0.35	0.35	0.2	0.35	0.35
γ (kN/m ³)	24	21.33	20.77	18	23.11	22.47
c (kN/m ²)	525	40	35	100	47	45

Geogridler, farklı bir imalat süreciyle (ekstrüde ve zımbalanmış-çekilmiş, örgü veya kaynak) polimerik malzemelerden (çoğunlukla yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen veya polyester) üretilirler [20]. Geogridler, agrega malzemesinin uygulanan tekerlek yükü altında yanal olarak hareket etmesini önler taban katmanında yerel güçlenmeyi ve sertliği artırır. Yapılan bu çalışmada ekstrüde geogridler kullanılmıştır. Tablo 3’de geogrid malzeme parametreleri verilmiştir.

Tablo 3: Geogrid sayısal analiz için malzeme parametreleri.

Özellik	Birim	Değer
Ağırlık	g/m ²	740
Elastisite modülü	GPa	0.39
Çekme gerilmesi	MPa	9
Kopma anında uzama	%	6

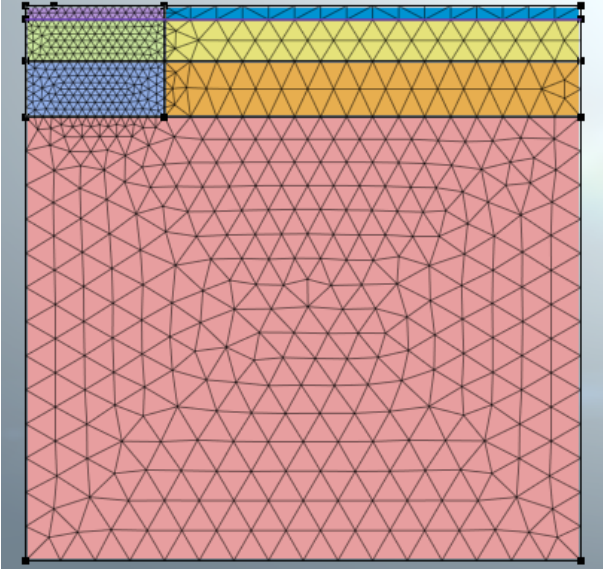
Günümüzde 2000’li yıllar öncesine kıyasla kişisel bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte Sonlu Elemanlar Metodu (FEM, Finite Element Method) sayesinde esnek kaplama sistemlerinin gerçeğe en yakın sayısal analizlerini FEM ile yapmak mümkündür. Gerilmelerin, şekil değiştirmelerin ve bozulmaların belirlenmesinde doğrusal olmayan malzeme davranışının simüle edilmesinde yaygın olarak FEM kullanılmaktadır. Sayısal analizler temelde statik ve dinamik olarak yaygın iki türü sıkça tercih edilmektedir. Dinamik ve statik yük koşulları altında yapılan analiz sonuçlarının karşılaştırılması neticesinde kaplama sisteminin düşey yüzey deformasyonunun statik analiz sonuçlarıyla kıyaslandığında %50 daha az olduğu bunun nedeninin ise olarak dinamik analizlerde atalet kuvvetleri, enerji tüketen kuvvetler ve iç kuvvetlerin, dışarıdan uygulanan kuvvetleri absorbe etmesi olduğu ifade edilmiştir. Statik analiz

sonuçlarının ise yalnızca iç kuvvetler etkisiyle, dış kuvvetleri sönmemesi dolayısıyla daha yüksek deformasyon değerlerinin hesaplanmasına yol açacağı belirtilmiştir [26]. Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda statik ve dinamik analiz sonuçları arasındaki eğilimin benzer olduğu ifade edilmiştir [27]-[28].

Çalışma kapsamında güçlendirilmiş ve çelik cürufu kullanılarak modellenmiş yol üst yapı katmanlarının tepkisinin belirlenmesinde bu yöntem kullanılarak statik analizi yapılmıştır.

3. SAYISAL MODELLEME VE ANALİZ

Sayısal analiz için Şekil 5’de gösterilen 2D aksel simetrik sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Modelin sonlu elemanlar ağ sisteminin oluşturulmasında 6 düğümlü üçgen elemanlar tercih edilmiştir. Tekerlek yükleme bölgelerinde daha sık ağ sistemi kullanırken yükleme bölgesinden uzaklaştıkça hem depolama alanı bakımından hem de optimum sürede sayısal analizin tamamlanması açısından ağ boyutları büyütülmüştür. Modelin yan sınırlarında düşey yönde harekete izin verilirken model alt sınırlarında hem yatay hem de düşey yönde hareketi sınırlandırılmıştır. Şekil 6’da verilen kesitler üzerinde belirtilen konumlardaki geogridlerin yazılımda tanımlanması aşaması ilk olarak malzeme bünye modelinin seçimi ve bu model için gerekli parametrelerin atanması ile başlanmaktadır. Yine belirtilen konumlardaki geogridler ve model geometrisinden faydalanılarak 1D mesh sistemi oluşturulup bu sisteme geogrid için atanan özelliklerin seçimi ile donatı tanımlaması yapılmaktadır.

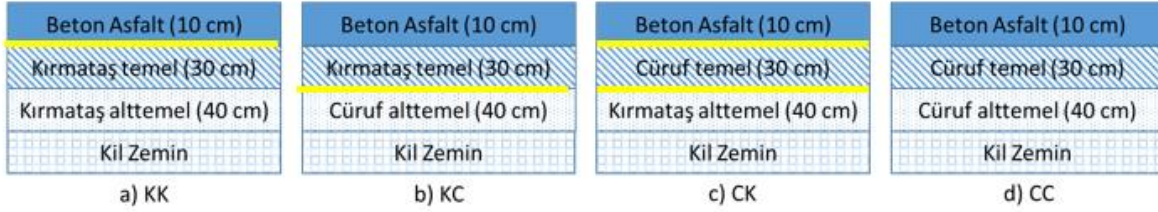


Şekil 5: 2D sonlu elemanlar modeli.

Yol tabakalarında meydana gelen deformasyonların en önemli nedenlerinden biri şüphesiz trafik yükleridir. Model boyutlarının seçimine yönelik yapılan çalışmalarda aksel simetrik modellerde genişlik ve derinliğinin 12R×50R boyutlarında ya da 20R×140R model boyutlarının analiz sonuçlarına olan etkisinin ihmal

edilebilecek nitelikte olduğu belirtilmiştir [24,25]. Sayısal analizi yapılması için oluşturulan iki boyutlu sonlu elemanlar model boyutlarının seçiminde 300 mm lastik genişliğine sahip taşıt için aksel simetrik model olması nedeniyle tek lastik sayısal verileri düşünülerek simüle edilmiştir. Araç tekerlekleri vasıtasıyla aktarılan aksel yükün uygulanmasında R yükleme yarıçapı 0,15 m alınmıştır. Tekerlek yükleme bölgesinde literatürde olduğu gibi düzgün dağılmış 400 kPa değerinde temas basıncı uygulanmıştır [20]. Sayısal analizi yapılması için oluşturulan iki boyutlu sonlu elemanlar model boyutlarının

Granüler tabakalarda Hardening Soil Small Stiffness asfalt tabakasında ise Mohr-Coulomb malzeme modeli seçilmiştir. Şekil 6'da tanımlandığı şekilde KK, CK, KC ve CC olmak üzere dört farklı kesit için sayısal analizler yapılmıştır. Ayrıca bu kesitler üzerinde geogrid donatı konumları da gösterilmiştir. Tüm kesitlerde kaplama tabakası altında, temel tabakası altında ve kaplama ile temel tabakası geogrid donatı kullanılması sonucunda sayısal analizler yapılmıştır.



Şekil 6: Sayısal analizi yapılan kesitler.

4. BULGULAR

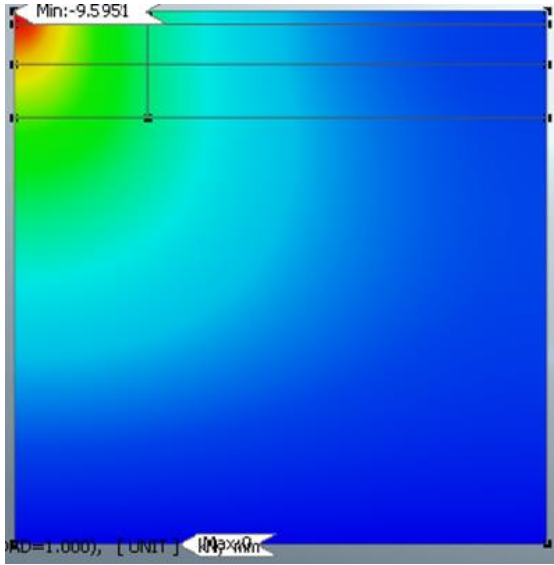
400 kPa tekerlek yükü altında hem donatılı hem de donatısız kesitler için yapılan sayısal analizler sonucunda Şekil 7'de verilen donatısız KC kesitine ait deformasyon görüntüsü elde edilmiştir. Çalışma kapsamında donatı yerleşim konumları kaplama tabakası altı, temel ile alttemel tabakaları arası ve belirtilen konumlarının her ikisinin birlikte kullanıldığı üç durum için nümerik analizler yapılmıştır. Aksel simetrik olarak modellenen sonlu elemanlar modelinde en fazla deformasyon değeri sayısal analizler sonucunda tekerlek ekseninde (Şekil 8) meydana gelmiştir. Tekerlek

ekseninden uzaklaştıkça düşey deformasyon etkisi azalmıştır.

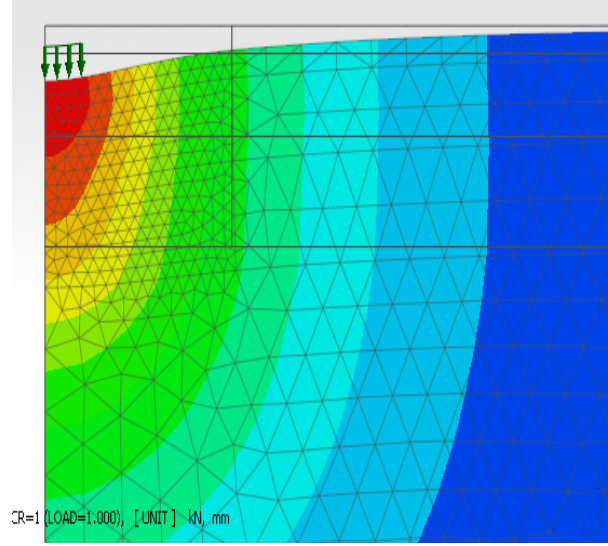
Tablo 4'de donatılı ve donatısız kesitlerde tekerlek yükleme bölgesinde meydana gelen en yüksek deformasyon değerleri verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde donatısız kesitler içerisinde en düşük deformasyonlar cürufun temel/alttemel tabakalarında kullanıldığı durumunda meydana gelmiştir.

Donatılı kesitler için yapılan değerlendirmede ise tek sıra geogrid kullanılması halinde en iyi performans kaplama tabakası altında kullanımı ile sağlanmıştır. Buradan hareketle trafik yüklerinden en çok etkilenen kaplama tabakası olması nedeniyle

geogrid donatı etkisini göstermiştir. Ancak iki tabaka geogrid kullanılması durumunda tüm durumlara kıyasla en düşük deformasyon değerleriyle karşılaşılmıştır.



Şekil 7: KC kesiti deformasyon görüntüsü.



Şekil 8: Tekerlek yükü etkisi.

Tablo 4: Donatılı ve donatısız kesitlerde düşey deformasyon değerleri.

	Yük değeri	KK (mm)	CC (mm)	CK (mm)	KC (mm)
Donatısız	400 kPa	9.64	9.396	9.52	9.496
Kaplama tabakası altı	400 kPa	8.42	8.37	8.40	8.38
Temel ve Alttemel tabakası arasında	400 kPa	8.88	8.66	8.68	8.85
İki tabaka güçlendirme	400 kPa	8.07	8.03	8.02	8.08

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yapılan nümerik analizler sonucunda yol üstyapı tabakalarında çelik cürufu ve geosentetik kullanımı sayesinde fonksiyonel, mekanik ve çevresel açıdan avantajlar sağlandığını söylemek mümkündür. Öncelikle çelik cürufunun kullanımına yönelik yapılan sayısal analiz sonuçları değerlendirildiğinde en düşük deformasyon değerleriyle cürufun alttemel tabakasında kullanıldığı kesitlerde karşılaşılmıştır. Geoteknik açıdan değerlendirildiğinde uygun malzeme niteliğinde olduğu yapılan çalışmalarda da desteklenmiştir [21]. Özetle çelik cürufunun kullanılmasına yönelik yapılacak en net yorum doğal agregaların yerine çelik cürufu kullanımının daha çok tercih edilmesi sayesinde yol üstyapısının mekanik performansının iyileşmesinin yanında geri dönüşüm sürecine de katkı sağlanacaktır. Bu durum sürdürülebilir bir çevre ve ekonomik sistem

açısından olumlu bir gelişme olacaktır. Geogrid kullanımına yönelik yapılan değerlendirmede ise kaplama tabakası altında kullanılan geogridler ile eksnel olarak etki eden tekerlek yükünün tabakada daha geniş bir alana yayılması ile meydana gelecek olan deformasyonların daha düşük seviyede kalması mümkündür. Ayrıca geogridlerin sahip olduğu yüksek çekme dayanımı sayesinde yol tabakalarında tekrarlı trafik yükleri nedeniyle oluşan çekme gerilmelerinin neden olduğu yorulma ve tekerlek izi gibi bozulmalar en düşük seviyeye indirgenebilmektedir. Genellikle donatılı tabakanın en uygun konumu temel tabakasının kalınlığına ve trafik yüklerinin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir [22]. Çift sıra geogrid kullanımında ise en düşük deformasyon değerleri ile karşılaşılmıştır. Buradan hareketle iki geogrid tabakası arasında kalan bölgede mekanik bir kilitleme sağlanarak yol üst yapısı daha dayanıklı bir hale gelmiştir.

Yazar Katkısı: Mürüvet Özsoy, kavram, metodoloji, sayısal modelin oluşturulması, bulguların elde edilmesi, görselleştirme ve orijinal ilk taslak hazırlama, Seyhan Fırat inceleme, düzenleme ve denetleme, Nihat Sinan Işık, inceleme ve düzenleme, Berna Unutmaz, inceleme ve düzenleme kısımlarına katkı sağlamıştır.

Teşekkür: Yazarlar, yorum ve önerileri için hakemlere teşekkür eder.

Çıkar Çatışması: Yazarlar, bu makalede rapor edilen çalışmayı etkileyecek gibi görünen, birbiriyle rekabet halinde olan herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile finansal çıkar veya kişisel ilişkinin bulunmadığını beyan etmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] European Commission. (2020, March). A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe. European Commission: Brussels, Belgium. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2020%3A98%3AFIN>
- [2] J. Choudhary, B. Kumar, A. Gupta, "Utilization of solid waste materials as alternative fillers in asphalt mixes: A review", *Constr. Build. Mater.*, vol. 234, 117271, (2020).
- [3] A. Wozzuk, L. Bandura, W. Franus, "Fly ash as low cost and environmentally friendly filler and its effect on the properties of mix asphalt", *J. Clean. Prod.*, vol. 235, pp. 493-502, (2019).
- [4] C. Plati, "Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies: A literature review", *Constr. Build. Mater.*, vol. 211, pp. 539-555, (2019).
- [5] Y. Jiang, T.C. Ling, C. Shi, S.Y. Pan, "Characteristics of steel slags and their use in cement and concrete-A review", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 136, pp. 187-197, (2018).
- [6] B.A. Abd Alhay, A.K. Jassim, "Steel Slag Waste Applied to Modify Road Pavement". IOP Publishing in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1660(1), 012067, (2020).
- [7] M. Shiha, S. El-Badawy, A. Gabr, "Modeling and performance evaluation of asphalt mixtures and aggregate bases containing steel slag", *Construction and Building Materials*, vol. 248, 118710, (2020).
- [8] M. Pasetto, N. Baldo, "Mix design and performance analysis of asphalt concretes with electric arc furnace slag", *Construction and Building Materials*, vol. 25(8), pp. 3458-3468, (2011).
- [9] H. Kumar, S. Varma, "A review on utilization of steel slag in hot mix asphalt", *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 14, pp. 232-242, (2021).
- [10] G. Wang, Y. Wang, Z. Gao, "Use of steel slag as a granular material: Volume expansion prediction and usability criteria", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 184(1-3), pp. 555-560, (2010).
- [11] C. Maharaj, D. White, R. Maharaj, C. Morin, "Re-use of steel slag as an aggregate to asphaltic road pavement surface", *Cogent Engineering*, vol. 4(1), 1416889, (2017).
- [12] Z. Chen, Z. Gong, Y. Jiao, Y. Wang, K. Shi, J. Wu, "Moisture stability improvement of asphalt mixture considering the surface characteristics of steel slag coarse aggregate", *Construction and Building Materials*, vol. 251, 118987, (2020).
- [13] M.R. Hainin, G. Rusbintardjo, M.A.S. Hameed, N.A. Hassan, N.I.M. Yusoff, "Utilization of steel slag as an aggregate replacement in porous asphalt mixtures", *J. Teknol.*, vol. 69(1), pp. 67-73, (2014).
- [14] L. He, C.Y. Zhan, J. Gao, J. Xie, T.Q. Ling, "Application status of steel slag asphalt mixture", *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 20(2), pp. 15-33, (2020).
- [15] H. Karadag, S. Fırat, N.S. Işık, G. Yılmaz, "Determination of permanent deformation of flexible pavements using finite element model", *Grđevinar*, vol. 74(06), pp. 471-480, (2022).
- [16] BOF SLAG: Basic oxygen furnace (Thailand Trading Company) - Mining Machine - Industrial Supplies Products - DIYTrade China manufacturers, DIYTrade.com. [Online]. Available: https://www.diytrade.com/china/pd/20376629/BOF_SLAG_Basic_oxygen_furnace.html (accessed Mar. 07, 2023).
- [17] O. US EPA, "Electric Arc Furnace (EAF) Slag," Jun. 03, 2021. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/smm/electric-arc-furnace-eaf-slag>
- [18] [Online]. Available: <https://electrodepaste.en.made-in->

- china.com/product/IFXJIhZjMrVc/ChinaLadle-Furnace Refining-Slag-Fuesd-Sythetic-Slag.html (accessed 25 July 2023)
- [19] H. Qasrawi, "Use of Relatively High Fe₂O₃ Steel Slag as Coarse Aggregate in Concrete", *ACI Materials Journal*, vol. 109(4), pp. 471-478, (2012).
- [20] H. Karadağ, S. Fırat, N.S. Işık, "Çelikhane Cürufunun Yol Temel ve Alttemel Malzemesi Olarak Kullanılması", *Politeknik Dergisi*, vol. 23(3), pp. 799-812, (2020).
- [21] M. Özsoy, S. Fırat, "Çelik Cürufu ile Yapılan Yol Katmanlarının Sayısal Analizleri", *Politeknik Dergisi*, in press, (2023).
- [22] S.W. Perkins, M. Ismeik, "A synthesis and evaluation of geosynthetic-reinforced base layers in flexible pavements-part-i." *Geosynthetics International*, vol. 4(6): pp. 549-604, (1997).
- [23] H. Karadağ, "Yol Temel ve Alttemel Tabakalarında Kullanılan Çelikhane Cürufunun Dinamik Performansının Sonlu Elemanlar Analizi ile Değerlendirilmesi", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, pp.70-133, (2020).
- [24] J. M. Duncan, C. L. Monismith and E. L. Wilson, "Finite element analysis of pavements". *Highway Research Record*, vol.228, no. 18-33, pp.157, (1968).
- [25] M. Kim, "Three-dimensional finite element analysis of flexible pavements considering nonlinear pavement foundation behavior". *Ph.D. Thesis*, University of Illinois Urbana, Illinois, 57-70, (2007).
- [26] B. Saad, H. Mitri and H. Poorooshasb, "Three-dimensional dynamic analysis of flexible conventional pavement foundation". *Journal of transportation engineering*, vol. 131(6), pp. 460-469, (2005).
- [27] S. M. Zaghoul and T. White, "Use of a three-dimensional, dynamic finite element program for analysis of flexible pavement". *Transportation research record*, (1388), (1993).
- [28] W. Uddin and L. Ricalde, "Nonlinear material modeling and dynamic finite element simulation of asphalt pavement". In *Fourteenth Engineering Mechanics Conference*. (2000).

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) ve Stiren Bütadien (SBR) Kauçukların Kükürt ve Peroksit Vulkanizasyon ile Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Physical and Mechanical Properties of Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM) and Styrene Butadiene Rubber (SBR) with Sulfur and Peroxide Vulcanization

Ali Öteleş¹ İlker Köprü¹ Salih Hakan Yetgin^{2*}

¹ Seçil Kauçuk San. ve Tic. A.Ş., Tarsus, Mersin, Türkiye.

² Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tarsus, Mersin, Türkiye.

Geliş / Received: 17.10.2023

Kabul / Accepted: 31.10.2023

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author) Salih Hakan Yetgin shyetgin@gmail.com

ÖZ: Bu çalışmada, Stiren Bütadien Kauçuğu (SBR) ve Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) kauçukların Kükürt ve Peroksit vulkanizasyon yöntemleri ile üretilerek fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. 1,5 lt'lik laboratuvar tipi mini banbury kullanılarak EPDM ve SBR hamur haline getirilmiştir. Elde edilen EPDM ve SBR hamurları preste 180 °C ve 20 dakika boyunca vulkanize edilerek test plakaları elde edilmiştir. Pres öncesi rehometri (MDR) ve Mooney viskozite testleri ile EPDM ve SBR hamurlarının reolojik ve akışkanlık özellikleri incelenmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesi için çekme testi ve kalıcı deformasyon testi, fiziksel özelliklerin belirlenmesi için yoğunluk ve Shore A sertlik testleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda, CRI değerleri EPDM/P kauçuğu için %52,2, SBR/P kauçuğu için %2,8 oranında artmıştır. EPDM/P ve EPDM/K kauçukların mooney viskozite değeri değişmezken SBR/P kauçuğunun ise %16,7 oranında artmıştır. EPDM kauçuğun vulkanizasyon türüne bağlı olarak kopma mukavemeti ve kopma uzaması artarken SBR kauçuğun azalmıştır. EPDM/P kauçuğunun kalıcı deformasyon oranı %86,9 oranında artarken SBR/P kauçuğunun kalıcı deformasyon oranı %78,1 oranında azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Etilen Propilen Dien Monomer, Stiren Bütadien Kauçuğu, kükürt, peroksit, vulkanizasyon.

ABSTRACT: In this study, Styrene Butadiene Rubber (SBR) and Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM) rubbers were produced by Sulfur and Peroxide vulcanization methods and their physical and mechanical properties were examined. EPDM and SBR were turned into dough using a 1,5-liter laboratory type mini bandury. The obtained materials was vulcanized in the press at 180 °C for 20 minutes, and test plates were obtained. Rheological and fluidity properties of EPDM and SBR rubbers were examined using pre-press rheometer (MDR) and Mooney viscosity tests. Tensile tests and permanent deformation tests were performed to determine mechanical properties and density and hardness tests were performed to determine physical properties. As a result of the study, CRI values increased by 52,2% for EPDM/P rubber and 2,8% for SBR/P rubber. While the Mooney density value of EPDM/P and EPDM/K rubbers did not change, it decreased by 16,7% of SBR/P rubber. Depending on the vulcanization type of EPDM rubber, the breaking strength and elongation at break increased, while the breaking elongation of SBR rubber decreased. While the compression set of EPDM/P rubber increased by 86,9%, the compression set of SBR/P rubber decreased by 78,1%.

Keywords: Ethylene Propylene Diene Monomer, Styrene Butadiene Rubber, sulfur, peroxide, vulcanization.

1. GİRİŞ

Kauçuklar, sentetik ve doğal kauçuk olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bütil-kauçuk (IIR), Poli-izopren-kauçuk (IR), butadien-kauçuk (BR), akrilo-nitril-bütadien-kauçuk (NBR), poli-kloropren (CR), silikon-kauçuk, etilen-propilen-dien-kauçuk (EPDM) ve stiren-bütadien-kauçuk (SBR), başlıca kullanılan sentetik kauçuklardır. Etilen-propilen-dien-monomer (EPDM) kauçuğu, ısı, ışık ve oksidasyona karşı dayanım, yüksek dolgu ve yağ alabilme özelliği ile düşük maliyetli karışımlar oluşturabilme, sulu ve konsantre asit ve alkalilere karşı yüksek dayanım, düşük yoğunluk nedeniyle hafif malzemeler üretilebilmesi ve iyi dielektrik özellikleri nedeniyle hortum ve profiller başta olmak üzere, otomotiv, inşaat ve makine ürünlerinde kullanım alanı bulan kauçuk türünden birisidir [1-4].

Stiren-bütadien-kauçuğu (SBR), stiren ve bütadien monomerlerin polimerizasyonu ile elde edilen diğer bir sentetik kauçuk türüdür. Ağırlıkça üçte bir oranında stiren ve bütadienden oluşmaktadır. SBR kauçuğunun reolojik ve mekanik özellikleri polimerizasyon tipine bağlı olarak farklılıklar göstermekle birlikte yapısındaki stiren oranına bağlı olarak camsı geçiş sıcaklığı artmakta ve rijitliği azalmaktadır. Aynı zamanda, işlenebilirlik zorlaşmakta ancak mekanik özellikleri iyileşmektedir. Katkı maddeleri ile birlikte iyi aşınma direnci ve iyi yaşlanma kararlılığı göstermektedirler. Otomotiv sektöründe araç lastiği olarak %75 oranında kullanılmakla birlikte hortum, konveyör kayışı, spor malzemeleri ve ayakkabı tabanında da tercih edilen bir kauçuk türüdür [5-8].

Vulkanizasyon, çapraz bağlanma reaksiyonu (üç-boyutlu network) ile kauçuk malzemelerin kimyasal yapılarının değiştirilerek geri dönüşümsüz olarak yüksek plastik özellikler yerine yüksek elastik özelliklerin elde edilmesi işlemidir [4], [9, 10]. Günümüzde vulkanizasyon işlemi kauçuk teknolojisindeki en önemli prosestir. Kimyasal yapıları ve doğaları ile özellikleri bakımından farklılık gösteren birçok ticari kauçuk türü mevcuttur ve dolayısıyla bu kauçukların vulkanizasyonları için farklı türde vulkanizasyon sistemleri geliştirilmiştir [11]. En çok kullanılan vulkanizasyon sistemleri kükürt, peroksit, metal oksitler ile vulkanizasyon ve fenolik reçinelerdir.

Günümüzde pratikte en yaygın kullanılan vulkanizasyon sistemleri ise kükürt ve peroksittir [4], [11-14]. Tercih edilen vulkanizasyon türü, elde edilen çapraz bağların tipini, yapısını ve özelliklerini dolayısıyla elde edilen vulkanizatların özelliklerine etki etmektedir [11, 14].

Kükürt vulkanizasyonu 180 yılı aşkın süredir bir süreç olarak bilinmesine rağmen, hangi kimyasal mekanizma ile gerçekleştiği henüz tam olarak aydınlatılamamıştır. Peroksit vulkanizasyonu çok daha sonra keşfedilmesine rağmen, kimyasal süreci daha iyi araştırılmıştır. Bununla birlikte, her iki tip kauçuk vulkanizasyonunun da avantajları ve dezavantajları vardır [4,15]. Kükürt vulkanizasyonunun avantajları, elde edilen vulkanizatların iyi mekanik, fiziksel ve dinamik özelliklerle karakterize edilmesidir. Nispeten yüksek çekme mukavemetine ve iyi esnekliğe sahiptirler. Ancak bu tip vulkanizasyon sisteminin dezavantajı sadece doymamış kauçuklara uygulanabilmesi ve ortaya çıkan vulkanizatların genellikle ısıyla yaşlanmaya karşı düşük dirence ve yüksek sıkıştırma ayarına sahip olmasıdır [15-17]. Peroksit vulkanizasyonunun avantajları, kükürt vulkanizasyonundan farklı olarak hem doymuş hem de doymamış kauçuklarda kullanılabilmesidir. Vulkanizasyonun bu türü daha yüksek sıcaklıklarda geri dönüş olmaksızın hızlı bir işlemdir. Peroksit vulkanizatları, düşük sıkıştırma ayarı ve ısıyla yaşlanmaya karşı yüksek direncin yanı sıra daha iyi elektriksel özelliklerle karakterize edilmektedir [18-20]. Peroksit vulkanizasyonunun bir dezavantajı, elde edilen vulkanizatların düşük elastikliğe ve zayıf dinamik özelliklere sahip olmasıdır. Ayrıca çok daha önemli iki dezavantajı daha vardır. Bunlardan ilki; çapraz bağlanma işlemi sırasında yan reaksiyonların oluşma ihtimalinin yüksek olması ve elde edilen vulkanizatların daha gevşek bir çapraz bağ ağına sahip olmasıdır. İkincisi ise sürecin çok kısa sürede başlaması ve masif kauçuk ürünlerin üretimindeki uygulamasının sınırlanmasıdır [13-14], [21].

EPDM kauçuğu etilen ve propilen monomerlerinin yanında üçüncü bir monomerin reaksiyona girmesiyle elde edilmektedir. Bu sayede diğer polimerlerle karıştırılabilmekte, peroksit ve radyasyon haricinde kükürt ve kükürt verici sistemler ile de vulkanizasyon işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Çift bağa sahip olan

üçüncü monomer sülfür ile vulkanizasyona da imkan vermektedir [4, 22, 23]. SBR kauçukları ise diğer doymamış kauçuklar gibi çoğunlukla kükürt ile vulkanize edilmektedir. SBR kauçuğu, doğal kauçuğun vulkanizasyonundan daha fazla hızlandırıcı ve daha az kükürt kullanımı nedeniyle farklılık içermektedir. Daha sert kauçuk talep edildiğinde kükürt miktarı artırılmalıdır [22].

Bu çalışmada peroksit vulkanizasyonu ile kükürt vulkanizasyonun EPDM ve SBR kauçukların reolojik, fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Vulkanizasyon türüne bağlı olarak reolojik ve mekanik özellikler açısından en uygun malzeme türü belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, ticari olarak piyasada kullanılan bir EPDM ve SBR kauçuğu kullanılmıştır. Vulkanizasyon işlemi için ise ticari olarak piyasada kullanılan kükürt ve peroksit kullanılmıştır. EPDM ve SBR kauçukların üretiminde kullanılan katkıları ve oranları phr cinsinden Tablo 1’de verilmiştir.

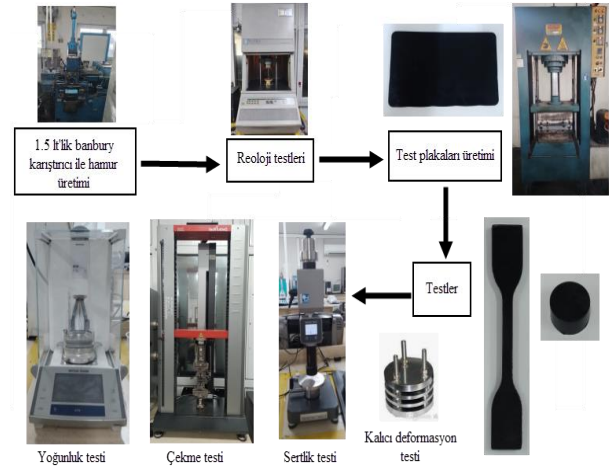
Tablo 1: EPDM ve SBR kauçukların formülasyonu.

	EPDM/S	EPDM/P	SBR/S	SBR/P
EPDM	100	100	-	-
SBR	-	-	100	100
Karbon siyahı	50	50	50	50
Beyaz dolgu	20	20	20	20
Yağ	40	40	40	40
Çinko oksit	4	4	4	4
Stearik asit	2	2	2	2
Sülfür	1	-	1	-
MBT	0.5	-	0.5	-
TMTD	1	-	1	-
Trigonox	-	0.3	-	0.3
Luperox	-	4	-	4
Acticgran	-	0.6	-	0.6

2.2 Üretim Aşamaları/Yöntemleri

Kükürt ve peroksit ilaveli EPDM ve SBR kauçukları 1.5 lt’lik laboratuvar tipi mini banbury ile hamur haline getirilmiştir. Üretilen numunelerin reometre testleri, Seçil Kauçuk A.Ş. firmasında bulunan Alpha MDR 2000 marka reometre cihazında ASTM D 5289 standardına uygun olarak yapılmıştır. Test 200 °C ve 5 dakikada yapılmıştır. Hamur ürünlerden preste 180 °C ve 20 dakika boyunca

vulkanize edilerek test plakaları elde edilmiştir. Çekme testleri, ASTM D638 standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Testler, Zwick marka Z020 model bir çekme test cihazında gerçekleştirilmiştir. Her bir çekme test numunesi en az 5 ölçüm yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Çekme testleri 200 mm/dakika çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Kalıcı deformasyon testleri 100 °C’de 22 saat ve %25 oranında sıkıştırma ile DIN 53517 standardına göre yapılmıştır. Sertlik testleri DIN 53505 standardına uygun olarak yapılmış sertlikler Shore A cinsinden ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde her bir test numunesi üzerinden en az 10 sertlik ölçümü yapılmıştır. Yoğunluk testleri ISO 1183 standardı kullanılarak Arşimet prensibine göre yapılmıştır. Şekil 1’de deneysel çalışma aşamalarının şematik resmi verilmiştir.



Şekil 1: Deneysel çalışma aşamalarının şematik gösterimi.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

Tablo 2’de kükürt ve peroksit ile vulkanize edilen EPDM ve SBR kauçuk malzemelerin reolojik ve fiziksel test sonuçları verilmiştir. Kauçuk hamurun üretim koşullarını ve minimum viskoziteye açıklayan minimum tork (ML) ve hamurun gerilim, yırtılma ve kopma mukavemeti gibi özelliklerin elde edildiği maksimum tork (MH) değerleri incelendiğinde vulkanizasyon türünün kauçukların ML ve MH değerlerini önemli oranda etkilediği belirlenmiştir. Scorch time, t_{s2} , yani hamurun ilk pişme süresi ve t_{90} hamurun maksimum pişmeye ulaştığı süre değerleri incelendiğinde vulkanizasyon türüne bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. EPDM/S kauçuğun shore A sertlik değeri 57 iken EPDM/P kauçuğun sertlik değeri

azalarak 49 elde edilmiştir. SBR kauçuğunda ise Shore A sertlik değeri vulkanizasyon türüne bağlı olarak artmış ve SBR/P kauçuğunda 77 Shore A değerine ulaşmıştır.

Tablo 2: Reolojik ve fiziksel test sonuçları.

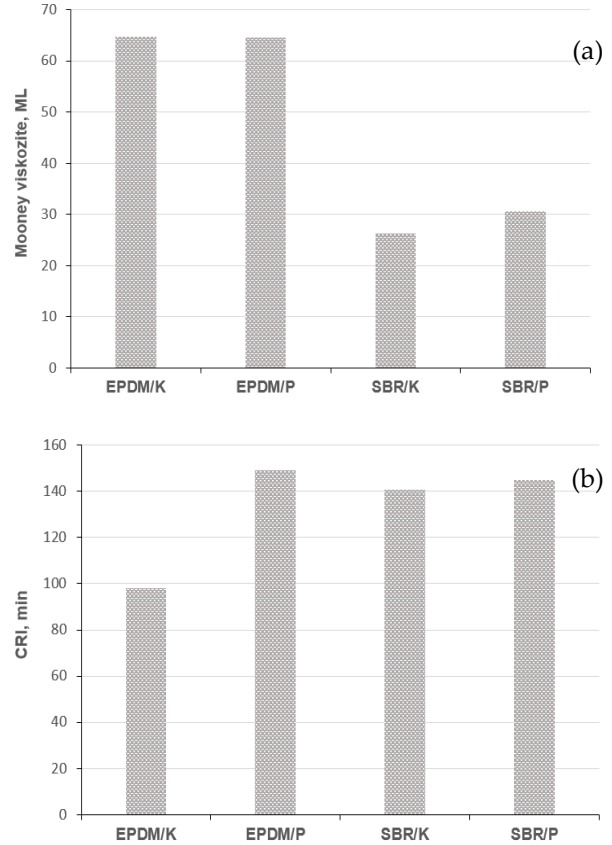
	EPDM /S	EPDM /P	SBR/ S	SBR/ P
ML (dNm)	0.96	1.19	0.47	1.02
MH (dNm)	12.69	6.61	4.85	17.45
ts ₂ (min)	0.43	0.37	0.63	0.24
ts ₉₀ (min)	1.45	1.04	1.34	0.93
Yoğunluk(g/cm ³)	1.08	1.08	1.12	1.17
Sertlik(Shore A)	57	49	43	77

Şekil 2 (a) ve (b)'de EPDM ve SBR kauçuklarının kükürt ve peroksit ile vulkanize edilmesi sonrası elde edilen mooney viskozite ve kür indeksi veya kür oranı indeksi olarak adlandırılan CRI sonuçları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi EPDM kauçuğunun vulkanizasyon işleminde kükürt ve peroksit kullanılması mooney viskozite değerlerini etkilemez iken SBR kauçuğunun vulkanizasyon işleminde peroksit ile vulkanize olan SBR kauçuğunun mooney viskozitesi %16,7 oranında artmıştır. Bunun sebebinin çapraz bağ yoğunluğunun vulkanizasyon işlemine bağlı olarak değişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Krmelova ve arkadaşları [24] yaptıkları çalışmada EPDM karışımlarında mooney viskozite değerlerinin 88-95 MU arasında olduğunu bunun sebebinin ise karışımların farklı rijitlik değerine sahip olmasına bağlamışlardır.

CRI sonuçları incelendiğinde ise EPDM ve SBR kauçuklarının peroksit ile vulkanize edilmesi ile CRI değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Bu artış EPDM/P kauçuğu için %52,2 oranında SBR/P kauçuğu için ise %2,8 oranında artmıştır. Bu sonuçlar Minnath ve arkadaşlarının [25] yaptığı araştırmayla tutarlıdır, CRI değerinin artması vulkanizasyon reaksiyon süresinin azalmasıyla orantılıdır.

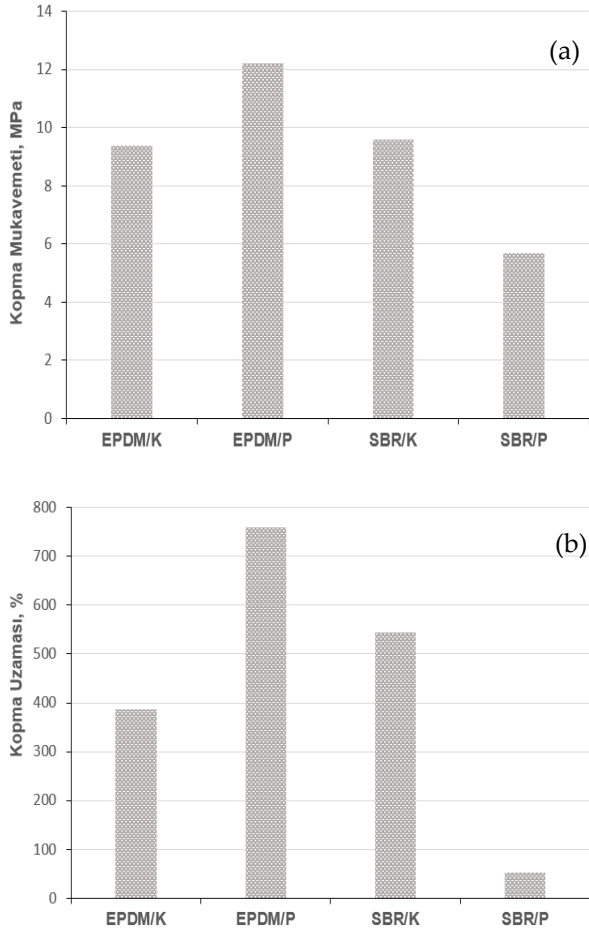
Şekil 3 (a) ve (b)'de EPDM/S, EPDM/P, SBR/S ve SBR/P kauçuklarına ait kopma mukavemeti ve kopma uzaması değişimleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi EPDM kauçuğun vulkanizasyon türüne bağlı olarak kopma mukavemeti artarken SBR kauçuğun kopma mukavemeti azalmıştır. EPDM kauçuğun kükürt ile vulkanizasyonu ile 9,4 MPa olarak elde edilen kopma mukavemeti %29,7 oranında artarak 12,2 MPa elde edilmiştir. SBR

kauçuğunda ise kopma mukavemeti kükürt ile vulkanize edildiğinde 9,6 MPa iken peroksit ile vulkanize edildiğinde %40,6 oranında azalarak 5,7 MPa elde edilmiştir. Kauçuk malzemelerin uzaması çekme dayanımları ile orantılıdır. Artan çapraz bağ miktarı malzeme uzamasını daha zor hale getirdiği için çapraz bağ yoğunluğunun artması ile uzama azalacaktır [26].



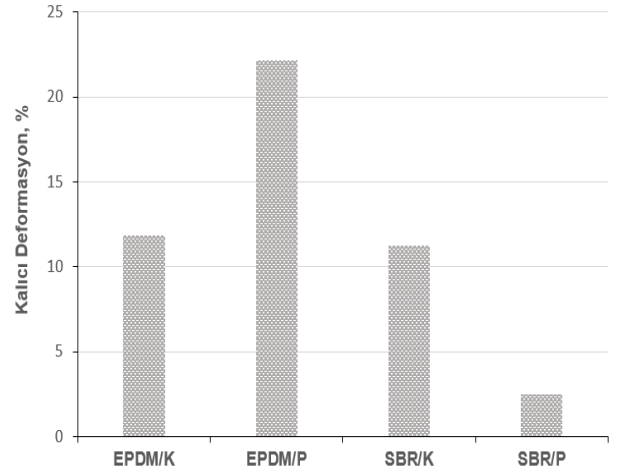
Şekil 2: (a) Mooney viskozite ve (b) CRI sonuçları.

Şekil 3 (b)'de EPDM/S, EPDM/P, SBR/S ve SBR/P kauçuklarına ait kopma uzaması değişimleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi EPDM kauçuğun vulkanizasyon türüne bağlı olarak kopma uzaması artarken SBR kauçuğun kopma uzaması önemli oranda azalmıştır. EPDM kauçuğun kükürt vulkanizasyonu ile %386 olarak elde edilen kopma uzaması %96,6 oranında artarak %759 elde edilmiştir. SBR kauçuğunda ise kopma uzaması kükürt ile vulkanize edildiğinde %544 iken peroksit ile vulkanize edildiğinde %926,4 oranında azalarak 53% elde edilmiştir. Mayasari ve Yuniari [27] vulkanizasyon sistemi ve kauçuk türüne bağlı olarak mekanik özelliklerdeki değişimin çapraz bağ oluşumuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 3: (a) Kopma mukavemeti ve (b) kopma uzaması sonuçları.

Şekil 4'te ise kauçuk parçaların sızdırmazlık özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir parametre olan kalıcı deformasyon testleri sonuçları verilmiştir. EPDM kauçuğunun peroksit kullanılarak vulkanize edilmesi ile kalıcı deformasyon oranı %86,9 oranında artarken SBR kauçuğunun poeroksit kullanılarak vulkanize edilmesi ile kalıcı deformasyon oranı %78,1 oranında azalmıştır.



Şekil 4: Kalıcı deformasyon sonuçları.

4. SONUÇLAR

EPDM ve SBR kauçuklarının kükürt ve peroksit vulkanizasyonu ile reolojik ve mekanik özelliklerin incelendiği çalışma sonucunda;

- EPDM/P ve EPDM/K kauçukların mooney viskozite değerlerinin değişmediği SBR/P kauçuğunun ise %16,7 oranında arttığı belirlenmiştir.
- EPDM kauçuğun vulkanizasyon türüne bağlı olarak kopma mukavemeti ve kopma uzaması artarken SBR kauçuğun azalmıştır.
- EPDM/P kauçuğunun kalıcı deformasyon oranı %86,9 oranında artarken SBR/P kauçuğunun kalıcı deformasyon oranı %78,1 oranında azalmıştır.
- Kauçuk parçaların sızdırmazlık özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir parametre olan kalıcı deformasyon testleri sonucunda EPDM kauçuğunun peroksit kullanılarak vulkanize edilmesi ile kalıcı deformasyon oranı %86,9 oranında artarken SBR kauçuğunun poeroksit kullanılarak vulkanize edilmesi ile kalıcı deformasyon oranı %78,1 oranında azalmıştır.

Çalışma sonucunda peroksit ile vulkanize edilen EPDM kauçuğunun reolojik ve mekanik özellikler açısından kullanımının daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Yazar Katkısı: Yazarlar çalışmaya eşit şekilde katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması: Bu çalışmanın yazarları olarak, herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile çıkar çatışması bulunmadığını onaylarız.

5. KAYNAKLAR

- [1] P. Rybinski, B. Syrek, A. Marzec, B. Szadkowski, M. Kusmierk, M. Sliwka-Kaszynska, U. Z. Mirkhodjaev, "Effects of basalt and carbon fillers on fire hazard, thermal, and mechanical properties of EPDM rubber composites," *Mater.*, vol. 14, no.18, 5245, Sept. 2021.
- [2] C. Zhang, J. Wu, F.Teng, B. Su, Y. Wang, H. Ao, "Theoretical and experimental characterization for macro-micro friction behaviors of EPDM rubber," *Polym. Test.*, vol. 99, 107213, July 2021.
- [3] A. A. Abdelsalam, W. S. Mohamed, G. Abd El-Naeem, S. H. El-Sabbagh, "Effect of the silane coupling agent on the physicomechanical properties of EPDM/SBR/AL2O3 rubber blend nanocomposites," *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, vol. 36, no. 5, pp. 1811–1832, Feb. 2022.
- [4] J. Kruželák, M. Mikolajová, A. Kvasničáková, M. Džuganová, I. Chodák, J. Hronkovič, J. Prefo, I. Hudec, "Combined sulfur and peroxide vulcanization of filled and unfilled EPDM based rubber compounds," *Mater.*, vol. 16, no. 16, p. 5596, Aug. 2023.
- [5] N. P. R. Guntur, S. G. Yadav, S. Gopalan, "Effect of titanium carbide as a filler on the mechanical properties of styrene butadiene rubber," *Mater. Today: Proc.*, vol. 24, no. 2, pp. 1552–1560, 2020.
- [6] J. Zhang, W. Wang, Y. Wang, C. Qiu, C. Mao, S. Deng, W. Jian-Guo, "Effect of cross-linked structures on mechanical properties of styrene-butadiene rubber via molecular dynamics simulation," *Macromol. Theory Simul.*, vol. 31, no. 2, p. 2100054, Mar. 2022.
- [7] Y. Zou, J. He, Z. Tang, L. Zhu, F. Liu, "Structural and mechanical properties of styrene-butadiene rubber/silica composites with an interface modified in-situ using a novel hindered phenol antioxidant and its samarium complex", *Compos. Sci. Technol.*, vol. 188, 107984, Mar. 2020.
- [8] J. K. Ahmed, M.H. Al-Maamori, H. M. Ali, "Effect of nano silica on the mechanical properties of Styrene-butadiene rubber (SBR) composite," *Int. J. Mater. Sci. Appl.*, vol. 4 no. 2-1, pp. 15-20, 2015.
- [9] K. C. Baranwal, H. L. Stephens, "Basic Elastomer Technology," Akron, OH, USA, Rubber Division, American Chemical Society, 2001.
- [10] E. M. Dannenberg, "The effects of surface chemical interactions on the properties of filler-reinforced rubbers," *Rubber Chem. Technol.*, vol. 48, no. 3, pp. 410-444, July 1975.
- [11] J. Kruželák, R. Sýkora, I. Hudec, "Sulphur and peroxide vulcanisation of rubber compounds-overview," *Chem. Pap.*, vol. 70, no. 12, pp. 1533-1555, Sept. 2016.
- [12] J. Kruzalak, R. Sykora, I. Hudec, "Influence of mixed sulfur/peroxide curing system and thermooxidative ageing on the properties of rubber magnetic composites," *J. Polym. Res.*, vol. 22, no. 1, p. 636, 2015.
- [13] J. Kruzalak, A. Kvasnicakova, I. Hudec, "Peroxide curing systems applied for cross-linking of rubber compounds based on SBR", *Adv Ind Eng Polym Res.*, vol. 3, no. 3, pp. 120-128, July 2020.
- [14] J. Kruzalak, A. Kvasnicakov, R. Dosoudil, I. Hudec, J. Vilcakova, "Combined sulfur and peroxide curing systems applied in cross-linking of rubber magnets," *Polym. Polym. Compos.*, vol. 29, no. 8, pp. 1155–1166, Oct. 2021.
- [15] W. Naebpetch, B. Junhasavasdikul, A. Saetung, T. Tulyapitak, N. Nithi-Uthai, "Influence of accelerator/sulphur and co-agent/peroxide ratios in mixed vulcanisation systems on cure characteristics, mechanical properties and heat aging resistance of vulcanised SBR," *Plast. Rubber Compos.*, vol. 45, no. 10, pp. 436-444, Nov. 2016.
- [16] H. Shahrapour, A. Motavalizadehkakhky, "The effects of sulfur curing systems (insoluble-rhombic) on physical and thermal properties of the matrix polymeric of styrene butadiene rubber," *Pet. Chem.*, vol. 57, no. 8, pp. 700-704, July 2017.
- [17] Y. Gao, Y. Xue, Z.G. Lu, Z. Wang, Q. Chen, N. Shi, F. Sun, "Self-accelerating decomposition temperature and quantitative structure-property relationship of organic peroxides", *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 94, pp. 322-328, March 2015.

- [18] Q. Lian, Y. Li, K. Li, J. Cheng, J. Zhang, "Insights into the vulcanization mechanism through a simple and facile approach to the sulfur cleavage behavior," *Macromolecules*, vol. 50, no. 3, pp. 803–810, Feb. 2017.
- [19] J. Kruželák, H. K. Kvasničáková, I. Hudec, "Influence of dicumyl peroxide and Type I and II coagents on cross-linking and physical-mechanical properties of rubber compounds based on NBR," *Plast. Rubber Compos.*, vol. 49, no. 7, pp. 307-320, Mar. 2020.
- [20] N. Thanh Liem, N. Huy Tung, N. P. Duy Linh, B.T. Phuc, N. T. Thuy, B. Chuong "Preparation and investigation of the mechanical and thermal properties of styrene butadiene rubber using dicumyl peroxide as curing agent," *JS: NST*, vol. 36, no. 2, pp. 91-97, June 2020.
- [21] B. George, R. Alex, "Stable free radical assisted scorch control in peroxide vulcanization of EPDM," *Rubber Science*, vol. 17, no. 1, pp. 135-145, 2014.
- [22] N. Torbati-Fard, M. H. R. Ghoreishy, G. Naderi, S. M. Hosseini, "Enhancement of mechanical properties of styrene-butadiene rubber composites by carbon black/silicone carbide hybrid filler networking," *Polym. Compos.*, vol. 43, no. 7, pp. 4255–4267, July 2022.
- [23] K. Deredas, N. Kepczak, M. Urbaniak, "Influence of doping with styrene-butadiene rubber on dynamic and mechanical properties of polymer concrete," *Compos. Struct.*, vol. 268, no. 5, p. 113998, July 2021.
- [24] V. Krmelova, L. Fusikova, J. Krmela, "Evaluation of effect of white fillers on selected properties of EPDM blend," *Procedia Eng.*, vol. 136, pp. 336-340, 2016.
- [25] A. M. Minnath, G. Unnikrishnan, E. Purushothaman, "Transport studies of thermoplastic polyurethane/natural rubber (TPU/NR) blends," *J. Membr. Sci.*, vol. 379, no. 1-2, pp. 361-369, Sept. 2011.
- [26] K. A. J. Dijkhuis, J. W. M. Noordermeer, W. K. Dierkes, "The relationship between crosslink system, network structure and material properties of carbon black reinforced EPDM", *Eur. Polym. J.*, vol. 45, no. 11, pp. 3302-3312, Nov. 2009.
- [27] H. E. Mayasari, A. Yuniari, "Effect of vulcanization system and carbon black on mechanical and swelling properties of EPDM blends," *MKKP*, vol. 32, no. 1, pp. 59-64, 2016.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

Akıllı Staj Mobil Asistanı: Tasarım ve Geliştirme

Smart Internship Mobile Assistant: Design and Development

Sinem Çelikaş¹ Zeynep Aktürk¹ Özcan Özyurt^{1*}

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, Yazılım Mühendisliği, 61830, Trabzon, Türkiye.

Geliş / Received: 11.10.2023

Kabul / Accepted: 01.11.2023

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author) Özcan Özyurt oozyurt@ktu.edu.tr

ÖZ: Staj, mesleki eğitimde teorik bilgilerin uygulamaya dönüştürülmesini sağlayarak öğrencilerin iş dünyasına hazırlanmalarını destekleyen ve onların mesleki becerilerin gelişimine katkı sağlayan önemli bir deneyimdir. Öğrenciler, kendi ilgi alanlarına, becerilerine ve yaşam koşullarına uygun, kendilerini mesleki anlamda geliştirebilecekleri staj yerlerini bulma konusunda birçok uygulamadan yararlanmaktadır. Ancak günümüzde var olan uygulamalar bu konuda yardımcı olsa da istenilen niteliklere uygunluk ve etkileşim açısından yetersizdir. Bu çalışmada kullanıcıların kendilerine ait bilgileri, istedikleri nitelikleri girebileceği ve kullanıcılara sisteme girdikleri verilere uygun staj yeri veya stajyer adayları önerilerinde bulunacağı bir çizge tabanlı veri tabanına sahip akıllı ve yenilikçi uygulama geliştirilmiştir. Akıllı Staj Mobil Asistanı adı verilen bu uygulamanın amacı stajyer ve işverenlerin istediği niteliklere uygun staj yeri ve stajyer önerilerini sağlayarak staj yeri arama sürecini daha kolay ve etkili hale getirmektir. Akıllı Staj Mobil Asistanı uygulaması basit bir ara yüz ve etkin bir öneri sistemi içermektedir. Kullanıcı uygulamaya kayıt olurken kişisel bilgilerinin yanında kendi ilgi, çalışma alanını ve şehir bilgisini girer. Kullanıcı ana sayfada girdiği ilgi, çalışma alanı ve şehir bilgisine uygun önerilerle karşılaşır. Akıllı Staj Mobil Asistanı uygulamasının içerisinde sağlanan kolay ara yüz ve öneri sistemi sayesinde staj yeri ve stajyer arama süreci etkili hale gelecek, staj yapacak öğrencilerin kendilerine uygun staj yeri bulması ve işverenlerin de kendilerine uygun çalışan adaylarını kazanmasına olanak sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı sistemler, çizge veri tabanı, mobil uygulama geliştirme, öneri sistemi, staj.

ABSTRACT: Internship is an important experience that supports the preparation of students for the business world by turning theoretical knowledge into practice in vocational education and contributing to the development of their professional skills. Students benefit from many applications to find internship places suitable for their interests, skills, and living conditions, where they can improve themselves professionally. However, although existing applications today are helpful in this regard, they are insufficient in terms of compliance with the desired qualities and interactions. In this study, a smart and innovative application with a graph-based database was developed, where users can enter their own information, the qualifications they want, and make recommendations for internship places or internship candidates in accordance with the data they enter into the system. The purpose of this application, called Smart Internship Mobile Assistant, is to make the internship search process easier and more effective by providing internship location and intern suggestions that meet the qualifications desired by interns and employers. The Smart Internship Mobile Assistant application includes a simple interface and an effective suggestion system. When registering for the application, the user enters his or her area of interest, work, and city information in addition to his or her personal information. The user encounters suggestions appropriate to the area of interest or work and city information entered on the home page. Thanks to the easy interface and suggestion system provided in the Smart Internship Mobile Assistant application, the internship/intern search process will become effective, allowing students to find a suitable internship place for them and employers to find suitable employee candidates.

Keywords: Systems, graph database, mobile application development, recommendation system, internship.

1. GİRİŞ

Staj, bir mesleğe sahip olacak kimsenin mesleki bilgi ve deneyimini artırmak amacıyla belirli bir kurumda çalışarak geçirdiği öğrenme süreci olarak tanımlanmaktadır. Stajını nitelikli bir kurumda yapan ve başarılı bir şekilde tamamlayan bir öğrenci, bunun bir sonucu olarak hedeflediği kariyer başarısına da ulaşabilmektedir [1].

Staj süreci öğrencilere birçok yönden fayda sağlamaktadır. Meslek hakkında ayrıntılı bilgi edinmek, yapılan işin yerinde görülmesi, öğrenilen teorik bilgilerin uygulanması, öğrencilerin kendilerinde mesleki anlamda eksik ve geliştirilmesi gereken taraflarını görmesi, mesleki alanda genel bir izlenim ve çevre edinmesi bu faydalar arasında sayılabilir. Staj gören öğrenciler, staj süresince deneyim kazandıkları ve sektörü tanıdıkları için mezun olduktan sonra kariyer hedeflerini de kolaylıkla belirleyebilirler. Stajlar yoluyla elde edilen başarılar arasında öğrencilerin kariyer planlamalarındaki zorlukların azaltılması, geleceğe yönelik güven oluşturulması ve bunun iş başarısı üzerindeki etkisi yer almaktadır. Bir meslek edinmek amacıyla eğitim alan bireylerin, teorik bilgi ve uygulamalı eğitim aldıkları mevcut durum göz önüne alındığında sınırlı bir alanda ve sürede edinilen bilgilerin meslek hayatı için yeterli olmaması staj eğitimlerinin gerekliliğini gözler önüne sermektedir [2].

Staj, şirketlerin ihtiyaç duyduğu potansiyel insan kaynağının belirlenmesinde büyük bir önem arz etmektedir. Öğrencilerin iş hayatına adapte olmasını sağlarken hem bireyin yetkinliğini arttırmakta hem de işverene en iyi çalışanı seçebilme imkânı sunmaktadır. Birçok ilan ve başvuru fırsatı bulunmasına rağmen hem öğrencilerin sahip olduğu niteliklere göre kurum bulmakta zorlanması hem de kurumların uygun stajyer adaylarını bulamaması büyük bir sorun oluşturmaktadır. Öğrenciler, kendi ilgi alanlarına, becerilerine ve yaşam koşullarına uygun, kendilerini mesleki anlamda geliştirebilecekleri staj yerlerini bulma konusunda birçok uygulamadan yararlanmaktadır. Ancak günümüzde var olan uygulamalar bu konuda yardımcı olsa da istenilen niteliklere uygunluk ve etkileşim açısından yetersizdir.

Bu probleme bir çözüm olarak geliştirilen bu uygulamada Çizge (Graph) tabanlı veri tabanıyla kullanıcıların kendilerine ait bilgileri, istedikleri nitelikleri girebileceği ve kullanıcıların sisteme girdikleri verilere uygun staj yeri veya stajyer adayı önerilerinde bulunan bir öneri sistemi oluşturularak belirtilen niteliklere göre öğrenci ve kurum arasında doğru eşleşmeler sağlanacak ve çift yönlü gerçekleşecek değerlendirmelerle öğrenci ve işveren arasında etkileşim sağlanmış olacaktır. Bu çalışmanın; kullanılan çizge veri tabanı, bu veri tabanındaki verilerin eşleştirildiği öneri sistemi ve staj konusu üzerinde özelleşmiş olması yönünden benzerlerinden daha kullanışlı ve özgün olduğu görülmektedir. Çizge veri tabanları, sakladığı verilerin dinamik bir şekilde işlenmesini sağlayan sistemlerdir. Bu doğrultuda sistemde çok sayıda ilişkiye sahip olan verilerin veri tabanında saklanıp işlenmesi avantaj sağlamaktadır [3].

2. METOT

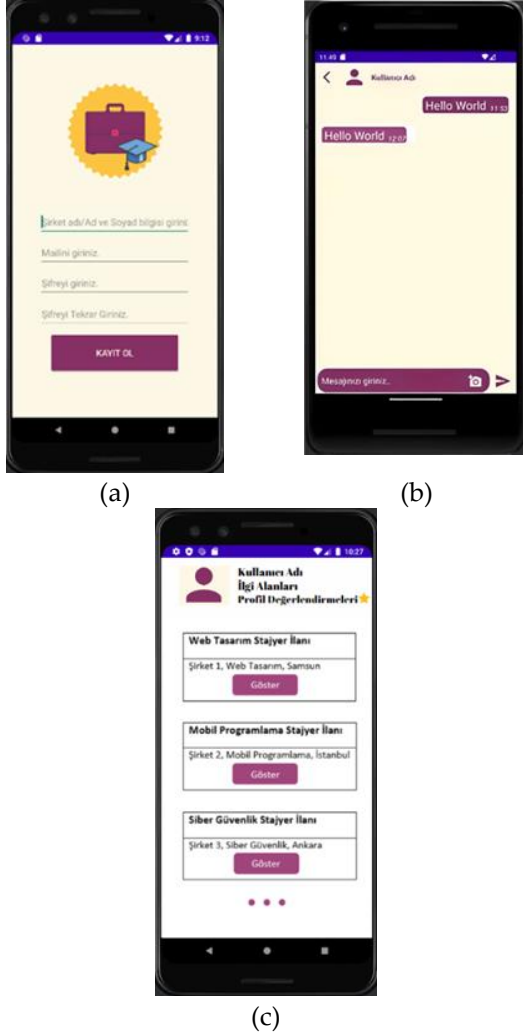
Projede yazılım yaşam döngüsü adımları uygulanmıştır. Kullanılan yazılım geliştirme süreci Birleşik Süreç'tir. Birleşik Süreç (Unified Process) yinelenmeli, artımlı, mimari merkezli ve kullanım senaryosuna dayalı bir geliştirme süreci olup birleşik modelleme dilini kullanır. Birleşik süreç, çeşitli sektörlerde değişen teknik ve yönetim karmaşıklığına sahip çeşitli yazılım sistemlerine uygulanabilir [4].

Projenin backend (arka yüz) tarafı Spring Boot ile frontend (ön yüz) tarafı Java ile geliştirilmiştir. Projenin özgün tarafı olan Neo4j veri tabanına bağlantı, Retrofit kütüphanesi aracılığıyla sağlanmıştır. Retrofit kütüphanesi; Square tarafından geliştirilen, API (Application Programming Interface) isteklerini daha işlevsel ve sistematik hale getirmek için kullanılan bir REST (Representational State Transfer) istemcisidir [5]. Ara yüz tasarımları Android Studio üzerinde kodlanmıştır. Android Studio Android uygulamalar geliştirmeyi sağlayan teknolojik araçların ve uygulamaların geliştirildiği entegre geliştirme ortamı olarak tanımlanmaktadır [6].

2.1. Ara Yüz Tasarımı

Ara yüz, kullanıcı ile uygulama arasında etkileşimi sağlayan bileşendir. Akıllı Staj Mobil Asistanında stajyer ve işverenlerin kayıt olduğu "Kayıt Ol", giriş

yaptığı “Giriş Yap”, profillerini düzenledikleri “Profil Düzenle”, diğer kullanıcılar ile mesajlaşabildikleri “Mesajlaşma” ve kendi belirledikleri ilgi alanlarına göre önerilerin sunulduğu “Ana sayfa” sayfaları bulunmaktadır. Bu kısımda uygulamaya ait belirtilen sayfalardan birkaçı gösterilecektir. Şekil 1’de uygulamaya ait üç ana ekranın tasarımı verilmiştir.



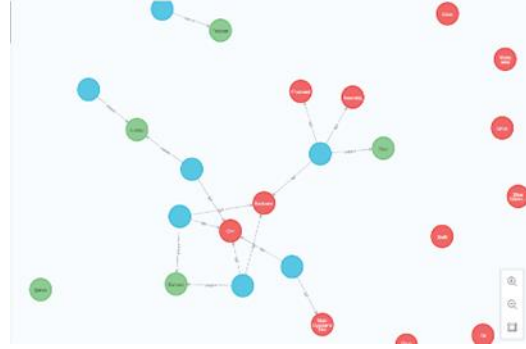
Şekil 1: Akıllı staj mobil asistanı ara yüz tasarımı (a) ilk ekran, (b) ikinci ekran ve (c) üçüncü ekran.

İlk ekran stajyerlerin uygulamaya kayıt olma ekranı, ikinci ekran kullanıcıların mesajlaşma ekranı, üçüncü ekran ise kullanıcılar için önerilerin gösterildiği ana sayfa ekranıdır.

2.2. Veri Tabanı Tasarımı

Akıllı Staj Mobil Asistanı projesinde çizge tabanlı Neo4j veri tabanı kullanılmıştır. Neo4j, veri yapısı düğümler ve düğümler arası ilişkileri temel alan

grafiksel bir veri tabanı yönetim sistemi olarak tanımlanmaktadır. Neo4j veri tabanında yer alan düğüm kavramı veriyi, ilişki kavramı ise düğümler arasındaki bağlantıları temsil eder. Bir ilişkinin veya düğümün birden çok niteliği olabilir. Bu kısımda Akıllı Staj Mobil Asistanı projesine ait Stajyer, İşveren düğümlerinin ve bu düğümler arasındaki ilişkilerin yer aldığı Neo4j veri tabanı modeli Şekil 2’de gösterilecektir.



Şekil 2: Düğümlerin ve bu düğümler arasındaki ilişkilerin yer aldığı veri tabanı tasarımı.

2.3. Mobil Ara Yüz Tasarımının Oluşturulması

Giriş ekranında kullanıcılar, stajyer ve işverenlerin uygulamaya girişini sağlayan iki farklı butondan kendi niteliğine uygun olanı tercih ederek giriş ekranına gidebilir. Kullanıcı, eğer uygulama üzerinde bir hesabı yoksa İşveren Girişi Yap butonunun altında yer alan “Hesabınız Yok mu? Kayıt Ol” butonuna tıklayarak “Kayıt Ol” sayfasına giderek uygulamaya kayıt olabilir. Giriş ekranı Şekil 3’te gösterilmektedir.

“Giriş Yap” ekranlarında kullanıcılar, belirtilen alanlara mail ve şifrelerini girerek uygulamaya giriş yapabilirler. Kullanıcılar belirtilen alanları boş bıraktıklarında veri tabanındaki bilgilerle eşleşmeyen mail veya şifre girdiklerinde uyarı ile karşılaşılır. Kullanıcı, veri tabanındaki bilgileriyle eşleşen mail ve şifre bilgisini girdiğinde ise “Ana sayfa” ekranına yönlendirilir. “Giriş Yap” ekranı Şekil 4’de gösterilmektedir.



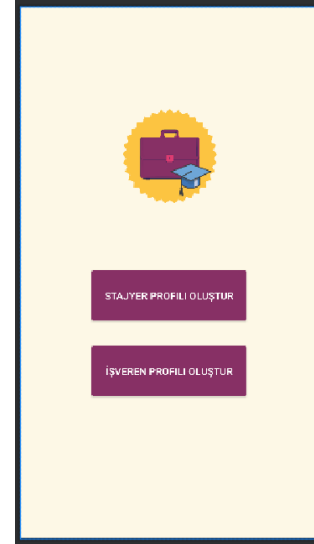
Şekil 3: Giriş ekranı.



Şekil 5: Kayıt ol ekranı.



Şekil 4: Giriş yap ekranı.



Şekil 6: Profil oluştur ekranı.

“Kayıt Ol” ekranında kullanıcılar belirtilen alanlara kendilerine ait kullanıcı adı, mail bilgilerini ve oluşturacakları şifreleri girerler. Girilen bilgiler istenilen niteliklere uygun değilse kullanıcıya bilgilendirici uyarı mesajları döndürülür eğer girilen bilgiler istenilen niteliklere sahipse ve veri tabanına kayıt gerçekleşmişse kaydın başarılı olduğuna dair bir mesaj döndürülür ve kullanıcı “Profil Oluştur” ekranına yönlendirilir. “Kayıt Ol” ekranı Şekil 5’te gösterilmektedir.

“Profil Oluştur” ekranında kullanıcı işverene ait bir profil oluşturacaksa İşveren Profili Oluştur butonuna, stajyer olarak profil oluşturacaksa Stajyer Profili Oluştur butonuna tıklayarak yaptığı tercihe göre “Profil Düzenle” ekranına gider. Profil Oluştur ekranı Şekil 6’da gösterilmektedir.

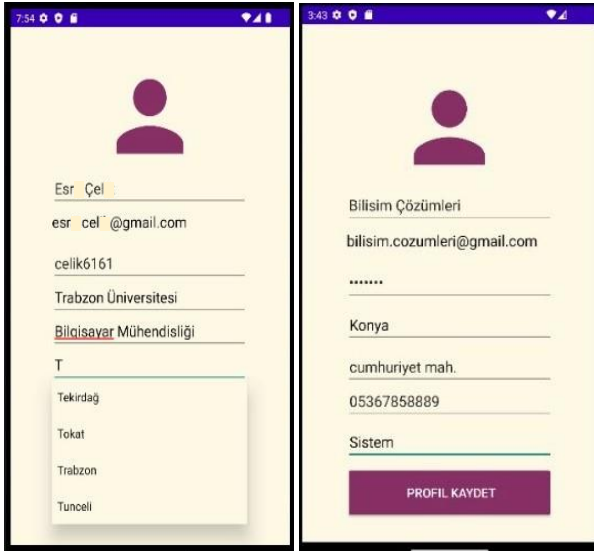
“Profil Kaydet” ekranında kullanıcı stajyer profili oluşturacaksa AutoCompleteTextView şeklinde oluşturulmuş alanlara şehir, okul, bölüm ve ilgi alanları bilgilerini Spinner yapısından yararlanarak da ilgili alana sınıf bilgisini girer. AutoCompleteTextView, kullanıcının girdiği karaktere bağlı olarak olası seçenekleri göstererek otomatik tamamlama özelliği sunar. Kullanıcı, belirtilen düzenlemeleri yaptıktan sonra Kaydet butonuna tıklayarak kendisine ait stajyer profilini oluşturmuş olur ve uygulama tarafından “Giriş” ekranına yönlendirilir.

Kullanıcı işveren profili oluşturacaksa, AutoCompleteTextView şeklinde oluşturulmuş alanlara şehir, çalışma alanı bilgilerini, diğer alanlara da adres ve telefon bilgilerini girer.

Kullanıcı, belirtilen düzenlemeleri yaptıktan sonra Kaydet butonuna tıklayarak işveren profilini oluşturmuş olur ve uygulama tarafından "Giriş" ekranına yönlendirilir. "Profil Kaydet" ekranları Şekil 7'de gösterilmektedir.

Kullanıcı "Ana sayfa" ekranında sayfalar arası geçişin sağlandığı bir Toolbar yapısını ve öneri sisteminin sağladığı önerilerin yer aldığı Önerilenler GridView yapısını görür. GridView, verilerin bir ızgara yapısında gösterilmesini sağlayan ara yüz öğesidir. Kullanıcı Toolbar yapısından yararlanarak kendi Profil Sayfasına, Ana sayfaya ve Mesajlar kısmına geçiş yapabilirken Önerilenler GridView yapısından yararlanarak da kendi girdiği niteliklere uygun önerinin yer aldığı profile gidebilir. "Ana sayfa" ekranı Şekil 8'de gösterilmektedir.

"Profil" ekranında kullanıcı kendine ait bilgilerin olduğu TextView alanları ve "Profil Güncelle" sayfasına geçişi sağlayan butonla karşılaşır. TextView metin verilerini görüntülemek için kullanılan arayüz öğesidir. Profil bilgilerini değiştirmek için buton yardımıyla "Profil Güncelle" sayfasına geçebilir. Profil ekranı Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 7: Profil düzenle ekranları.



Şekil 8: Ana sayfa ekranı.

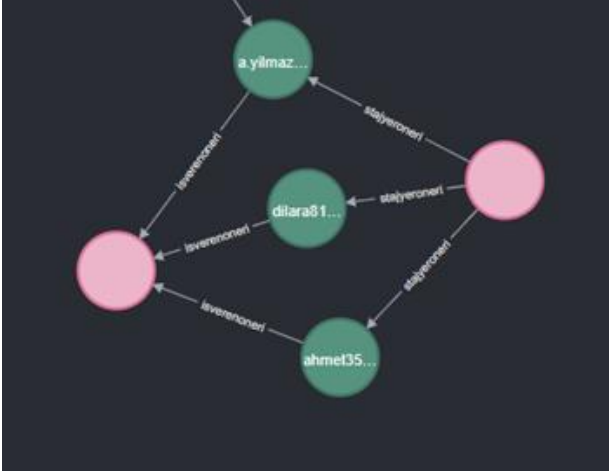


Şekil 9: Kullanıcı profil bilgileri ekranı.

2.4. Veri tabanının Oluşturulması

Akıllı Staj Mobil Asistanı projesinde çizge tabanlı Neo4j veri tabanı kullanılmıştır. Neo4j, sorgu yöntemleri için ürettiği Cypher sorgulama dilini kullanır. Bu sorgu dili ile kolayca düğümler ve sahip oldukları ilişkiler için ekleme, silme ve güncelleme gibi işlemler yapılır [7]. Yazılan sorgular ile işverenler ve stajyerler arasındaki ilişkilerin girilen çalışma/ilgi alanı bilgisine göre kurulması, ilişkilerden yararlanılarak öneri sisteminin oluşturulması sağlanmıştır. Şekil 10' da

stajyerler ve işverenler arasındaki ilişkilerin yer aldığı veri tabanı gösterilmektedir. Pembe renk olan düğümler işverenleri, yeşil renk olan düğümler ise stajyerleri temsil etmektedir. İşverenden stajyere doğru gösterilen yapı stajyer öneri ilişkisini yani işverenin ilişkili olduğu stajyerlere bağlantısını temsil etmektedir. Stajyerden işverene doğru gösterilen işveren öneri ilişkisi ise stajyerlerin ilişkili olduğu işverenlere bağlantısını göstermektedir.



Şekil 10: Düğümler arası ilişkiler.

2.5. Katmanlı Mimarinin Oluşturulması

Çok katmanlı mimari geliştiriciler arasındaki uyum sağlanmaktadır. Kodların çeşitli katmanlara ayrılmasıyla yönetimin kolaylaştırılması sağlanmaktadır. Katmanlar birbirlerinden bağımsız olarak güncellenebilmektedir [8]. Katmanlı mimari, daha birçok avantajı sebebiyle projede kullanılmıştır. Eclips üzerinde yazılan katmanlı mimaride dataAccess (veri erişim) katmanında Repository (depo) 'de Cypher dili kullanılarak yazılan sorgular bulunmaktadır. Repository'de yazılan sorguların işlendiği katman business (iş) katmanıdır. Controller (denetleyici) katmanında ise PostMapping, GetMapping anotasyonları kullanarak frontend tarafından bu metotlara erişim sağlanır.

2.6. Düğümler Arası İlişkilerin Oluşturulması

Cypher, grafik teorisi kavramları temel alınarak oluşturulmuş sorgulama dilidir. Bu yapıda veriler, düğümler ve düğümler arasındaki ilişkiler olarak yapılandırılır [9]. Cypher dili kullanarak öneri sisteminin kurulabilmesi için İşveren düğümleri ve

Stajyer düğümleri arasındaki işverenleri ve stajyerleri adlı ilişkilerin kurulması sağlanmıştır. İlişkiler işverenin profilinde girmiş olduğu çalışma alanı ile stajyerin profilinde girmiş olduğu ilgi alanı eşlenerek kurulmuştur.

2.7. Öneri Sisteminin Oluşturulması

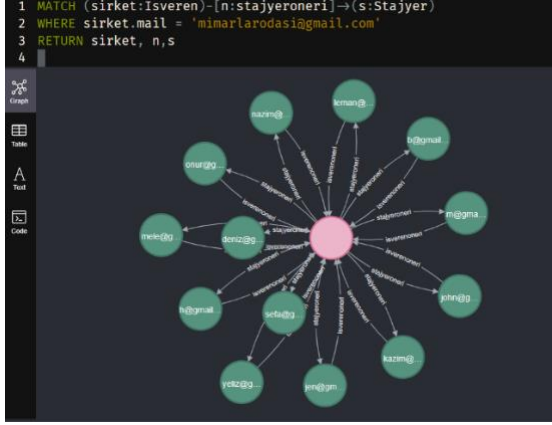
Öneri sistemleri kullanıcıya tercihleri sonucunda uygun tavsiyelerde bulunan sistemlerdir. Sistem kullanıcının istediği bilgileri bulmaya çalışmaktadır. Öneri sistemleri aynı zamanda kullanıcılara yeni bilgiler de sunmaktadır [10]. İşverenin ilişkili olduğu stajyer düğümlerinin listelenmesi ve stajyerin ilişkili olduğu İşveren düğümlerinin listelenmesi sağlanarak öneri sistemi sunulmuştur. İşverenin stajyerleri ilişkisi ile bağlı olduğu stajyerler veri tabanından çekilerek liste formatında döndürülmüştür. Stajyerin ise işverenleri ilişkisi ile bağlı olduğu işverenler çekilerek liste formatında döndürülmüştür.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç, stajyer ve işverenler arasında etkileşimin sağlandığı Akıllı Staj Mobil Asistanı uygulaması üzerinde sunulmuştur. Bu uygulama, stajyer ve işverenlerin kendi ilgi ve çalışma alanına uygun niteliklere sahip staj yeri veya stajyer bulunmasına olanak tanımaktadır. Uygulama sayesinde öğrencilerin kariyerlerinde önemli bir yere sahip olan staj sürecinin iyileştirilmesi ve stajyer ile işveren arasında etkileşimin artması sağlanacaktır. Şekil 11 ve 12'de sistemin çalışmasını gösteren örnek verilerle yapılan simülasyon ekran çıktıları verilmiştir.

Yazılan sorgu sonucunda mimari danışmanlık çalışma alanına sahip olan işverenin aynı ilgi alanına sahip stajyer önerileri Şekil 11'de gösterilmektedir.

Önerilen stajyerlerin işverenin ana sayfasında listelenmesi Şekil 12'de gösterilmektedir.



Şekil 11: İşverene önerilen stajyerler.



Şekil 12: Önerilen stajyerlerin listesi.

Bu çalışmanın sonuçlarının alana katkıları şu şekilde beklenmektedir:

- Stajyer, kendini geliştirmek istediği alana yönelik işyerlerine daha hızlı ulaşacak ve işyerleri ile etkileşimde bulunabilecektir.
- İşveren, kendi çalışma alanına uygun stajyere ulaşabilecek ve istihdam sürecini daha etkin bir şekilde yönetebilecektir.

Uygulamanın hayata geçmesi durumunda ortaya çıkabilecek riskleri belirlemek ve bu risklerle başa çıkmak için alınabilecek önlemlere de yer verilmiştir. Uygulamanın başarıya ulaşabilmesi için olası risklerin belirlenmesi, risklere karşı önlemler

alınması ve sürekli olarak iyileştirme yapılması önemlidir.

Bu riskler şu şekilde sıralanabilir:

- İşveren/Staj Yeri Yetersizliği Riski: Uygulama üzerinde yeterli sayıda işveren/staj yeri bulunmaması riski ortaya çıkabilir. Bu risk, stajyerlerin staj yeri bulması konusunda zorluk yaşamalarına neden olabilir. Bu riski önlemek için, işverenlerin uygulamaya katılımını teşvik edecek avantajlar sunulmalıdır.
- Kullanıcı Kabulü Riski: Kullanıcıların uygulamayı tercih etmemesi riski vardır. Bu riski azaltmak için kullanıcıların uygulamadan beklentilerini anlamak önemlidir. Kullanıcı geri bildirimlerini dikkate almak, kullanıcı deneyimini iyileştirmek ve uygulamanın basit ve anlaşılır bir ara yüze sahip olmasını sağlamak önemlidir.
- Teknolojik Riskler: Akıllı Staj Mobil Asistanı uygulamasının başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için güvenilir bir teknolojik altyapıya ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, teknik sorunlar, veri güvenliği zafiyetleri veya sistem hataları gibi teknolojik riskler ortaya çıkabilir. Yazılım güncellemeleri ve siber güvenlik önlemleri düzenli olarak uygulanmalıdır.
- Veri Güvenliği Riski: Uygulama üzerinde stajyer ve işverenlerin verileri depolanacak ve işlenecektir. Veri güvenliği ihlalleri veya veri kaybı gibi riskler ortaya çıkabilir. Bu riskleri azaltmak için güçlü veri şifreleme yöntemleri, güvenlik duvarları ve erişim kontrolü gibi önlemler alınmalı ayrıca veri yedekleme süreçleri ve felaket kurtarma planları oluşturulmalıdır.
- Rekabet ve Piyasa Riski: Benzer uygulamaların ortaya çıkması, piyasa koşullarının değişmesi ve bu nedenlere bağlı olarak rekabetin artması riski vardır. Bu durum, kullanıcıların alternatif uygulamalara yönelmelerine veya platformun rekabet gücünün azalmasına

neden olabilir. Bu riski aşmak için sürekli rekabet analizi yapmak, uygulamadaki özgün değerleri vurgulamak ve kullanıcıları uygulamalara bağlı tutacak değer teklifleri sunmak önemlidir.

Elde edilen sonuçlara dayanarak, ileriye yönelik çalışmalar için işveren ve stajyer arasındaki karşılıklı etkileşimleri daha verimli hale getirecek bir değerlendirme ve puanlama sistemi önermekteyiz. İlgi/çalışma alanlarına birden fazla veri girişi sağlanarak öneri sistemi kapsamı arttırılabilir. Bu şekilde işverenler ve stajyerler daha fazla fayda sağlayabilir.

Yazar Katkıları: Sinem Çelikleş ve Zeynep Aktürk: Kavramsal çerçeve, yazılımsal ve mimarisel tasarım, uygulama geliştirme, makale yazımı, Özcan Özyurt: Kavramsal çerçeve, süreç kontrolü, makale yazımı.

Teşekkür: Bu çalışmada yürütülen faaliyetler, 2023 yılında TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Yurt İçi Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında 1919B012220467 numaralı çalışma olarak TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması: Herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

4. KAYNAKLAR

- [1] Y. Duran, N. Dolmacı, "Ön lisans düzeyinde öğrenim gören öğrencilerin zorunlu staj uygulanmasına ilişkin görüşleri, sorunları ve çözüm önerileri: Isparta meslek yüksekokulu örneği", MAKU SOBED, cilt 9, sayı 21, sayfa 254- 267, Ekim 2017.
- [2] N. Tektaş, A. Yayla, A. Sarıkaş, Z. Polat, M. Tektaş, N. Ö. Ceviz, "Ön lisans öğrencilerinin staj uygulamalarının değerlendirilmesi: Marmara üniversitesi örneği", JRET, cilt 5, özel sayı, sayfa 310-318, Aralık 2016.
- [3] G. N. Karagöz, M. Komesli, "Çizge veri tabanı kullanılarak geliştirilen yazılım lisans yönetimi amaçlı veri görselleştirilmesi uygulaması: Biglogvis", DEU FMD, cilt 19, sayı 57, sayfa 779-789, Eylül 2017.
- [4] Birleşik süreç (yukarı) nedir? (2023, Ekim). [Çevrimiçi]. Erişim:

<https://tr.theastrologypage.com/unified-process>.

- [5] Android ile Retrofit HTTP kütüphanesi kullanımı (Eylül, 2023). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://yazilimdarsi.info/makaleler/detay/113/android-ile-retrofit-http-kutuphanesi-kullanimi>
- [6] Yeni Başlayanlar İçin AndroidStudio nedir? Neler yapılabilir? (Eylül, 2023). [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.alastyr.com/blog/androidstudio-nedir-neler-yapilabilir/>.
- [7] J. Guia, V. G. Soares, J. Bernardino, "Graph databases: Neo4j Analysis," in ICEIS 2017, Porto, Portugal, 26-29 April 2017, pp. 351-356.
- [8] Çok katmanlı mimari nedir? (Eylül, 2023). [Çevrimiçi].Erişim: <https://cemelma.wordpress.com/2015/06/10/co-k-katmanli-mimari-nedir/>
- [9] Cypher (query language) (Ekim, 2023). [Çevrimiçi]. Erişim: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cypher_\(query_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Cypher_(query_language)).
- [10] Ö. Özgöbek, R. Erdur, "Öneri sistemleri ve bir uygulama alanı olarak haber öneri sistemleri", Akademik Bilişim Konferansları, Eskişehir, 4-6 Şubat 2015.

