

ISSN : 1305-7820
E-ISSN : 2587-165X

FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ

Yıl:23

Sayı:45

2024-Bahar

Year:23

Vol:45

2024-Spring

Istanbul Commerce University
Journal of Science

ISSN : 1305-7820
E-ISSN: 2587-165X



İSTANBUL TİCARET
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ

DERGİSİ

Yıl: 23

Sayı: 45

Bahar 2024

Year: 23

Volume: 45

Spring 2024

Istanbul Commerce University
Journal of Science













İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Istanbul Commerce University Journal of Science

<http://dergipark.org.tr/ticaretfbd>



İstanbul Ticaret Üniversitesi Adına Sahibi <i>Owner on behalf of Istanbul Commerce University</i>	Prof. Dr. Abdülhamit AVŞAR <i>Istanbul Ticaret Üniversitesi Rektörü</i>
Editör <i>Editor</i>	Prof. Dr. Berk AYVAZ <i>Istanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Yardımcı Editör <i>Assistant Editor</i>	Arş. Gör. Dr. Kader ŞİMŞİR ACAR <i>Istanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Dil Editörü <i>Language Editor</i>	Dr. Öğr. Üyesi Elif NURAY YILDIRIM <i>Istanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Alan Editörleri <i>Associate Editors</i>	Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK <i>Matematik, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye</i> Prof. Dr. Fatih ÜSTÜNER <i>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye</i> Prof. Dr. Ali Osman KUŞAKÇI <i>Endüstri Mühendisliği, İbn Haldun Üniversitesi, Türkiye</i> Prof. Dr. Muhammet DEVECİ <i>Endüstri Mühendisliği, Imperial Collage London, İngiltere</i> Doç. Dr. Muhammet CEYLAN <i>Malzeme Mühendisliği, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye</i> Doç. Dr. Mehmed Rafet ÖZDEMİR <i>Makine Mühendisliği, Marmara Üniversitesi, Türkiye</i> Doç. Dr. Furkan Türker SARICAOĞLU <i>Gıda Mühendisliği, Bursa Teknik Üniversitesi, Türkiye</i> Dr. Öğr. Üyesi Alihan KAYA <i>Makine Mühendisliği, Ghent Üniversitesi, Belçika</i> Dr. Öğr. Üyesi Amir ZAINALI <i>Makine Mühendisliği, Virginia Tech, ABD</i> Doç. Dr. Tarık NAMAS <i>Bilgisayar Mühendisliği, International University of Sarajevo, Bosna Hersek</i> Dr. Öğr. Üyesi Vedat TAVAS <i>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye</i>
Sorumlu Yazı İşleri Müdürü <i>Publishing Manager</i>	Engin ÇETİN <i>İstanbul Ticaret Üniversitesi</i>
Yönetim Yeri /Head Office	İstanbul Ticaret Üniversitesi / İstanbul Commerce University
Yazışma Adresi <i>Corresponding Address</i>	Küçükyalı E-5 Kavşağı, İnönü Cad. No: 4 Küçükyalı-34840 İstanbul-TÜRKİYE Tel: 0 216 444 0 413 (3141) e-posta: fendergi@ticaret.edu.tr
İnternet Adresi <i>Web Address</i>	https://dergipark.org.tr/pub/ticaretfbd
Yayın Türü <i>Publication Type</i>	Yerel Süreli / <i>Periodical</i> Yılda iki sayı yayımlanır: Bahar (Haziran) ve Güz (Aralık) <i>Two issues per year: Spring (June) and Fall (December)</i>
Yayın Dili / Publication Language	Türkçe ve İngilizce / <i>Turkish and English</i>
Online Yayınlanmaktadır <i>Published Online</i>	ISSN : 1305-7820 E-ISSN : 2587-165X
Derginin Tarandığı Kaynaklar	         

Yayın Kurulu <i>Editorial Board</i>	Prof. Dr. Ali Osman KUŞAKCI	İbn Haldun Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Adnan ÇALIK	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye
	Prof. Dr. Berk AYVAZ	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. M. Hakan HOCAOĞLU	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Prof. Dr. Qamrul Hasan ANSARI	Aligarh Muslim University, Aligarh, India
	Prof. Dr. Vatan KARAKAYA	Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Doç. Dr. Mehmed Rafet ÖZDEMİR	Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Doç. Dr. Muhammet CEYLAN	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Dr. Kader ŞİMŞİR ACAR	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
	Danışma Kurulu <i>Advisory Board</i>	Prof. Dr. Abdül Halim ZAIM
Prof. Dr. Adnan ÇALIK		Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye
Prof. Dr. Ahmet Şükrü ÖZDEMİR		Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Akram BEGMATOV		Semerkant Devlet Üniversitesi, Semerkant, Özbekistan
Prof. Dr. Ali FARAJZADEH		Razi Üniversitesi, Kermanshah, İran
Prof. Dr. Ali Osman KUŞAKCI		İbn Haldun Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Aslan GÜLCÜ		Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye
Prof. Dr. Bayram Ali ERSOY		Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Bilal BİLALOV		Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Doğan KAYA		İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Emrah Evren KARA		Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye
Prof. Dr. Farman MAMEDOV		Azerbaycan Milli İlimler Akademisi, Bakü, Azerbaycan
Prof. Dr. Fatih NURAY		Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye
Prof. Dr. Hasan GENÇ		Van Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye
Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ		Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. İdris KABALCI		Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye
Prof. Dr. İsmail KÜÇÜK		İstanbul Zaim Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Metin BAŞARIR		Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
Prof. Dr. Metin GÜMÜŞ		Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Mikail ET		Fırat Üniversitesi, Elâzığ, Türkiye
Prof. Dr. Muammer KALYON		İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Murat KİRİŞÇİ		İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Murat KOCA		Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye
Prof. Dr. Murat SARI		İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Mustafa KÖKSAL		İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Mustafa KURT		Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. M. Emin ÖZDEMİR		Uludağ Üniversitesi, Bursa, Türkiye
Prof. Dr. Necip ŞİMŞEK		İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Nedim TUTKUN		İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Oğuz BORAT		İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Orhan İCELLİ		Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Rifat YAZICI		İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Serhan YARKAN		İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Sibkat KAÇTIOĞLU		İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Ünal Halit ÖZDEN		İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Vatan KARAKAYA		Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Yasin ÜST		Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Prof. Dr. Yusuf ZEREN		Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Doç. Dr. Abdullah DEMİR		Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Doç. Dr. Asif YOKUŞ		Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
Doç. Dr. Faik GÜRSOY		Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye
Doç. Dr. Fatih ÖZTÜRK		İstanbul Medeniyet Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
Doç. Dr. Fuat USTA		Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye
Doç. Dr. Furkan Türker SARICAOĞLU	Bursa Teknik Üniversitesi, Bursa, Türkiye	
Doç. Dr. İbrahim DEMİR	Türkiye İstatistik Kurumu, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Kadri DOĞAN	Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin, Türkiye	
Doç. Dr. Leyla SURİ	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Mehmed Rafet ÖZDEMİR	Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Merve İLKHAN KARA	Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye	
Doç. Dr. Muhammet CEYLAN	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	
Doç. Dr. Yunus ATALAN	Aksaray Üniversitesi, Aksaray, Türkiye	
Dr. Kader ŞİMŞİR ACAR	İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, Türkiye	

45. Sayı HAKEM LİSTESİ / REVIEWER LIST

Prof. Dr. Cemil ÖZ	Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Emrullah YAŞAR	Bursa Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Hale KÖÇKEN	Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Hüseyin ÇALIK	Giresun Üniversitesi
Prof. Dr. İbrahim KIRAT	İstanbul Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Murat GÖK	Yalova Üniversitesi
Prof. Dr. Murat KİRİŞÇİ	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Prof. Dr. Taner UÇAR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Tarık KIŞLA	Ege Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet ÖNEN	Sultan Qaboos University
Doç. Dr. Arif MERMER	Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Doç. Dr. Emin SALUR	Selçuk Üniversitesi
Doç. Dr. Erdem YAVUZ	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Hande GÜNAY AKDEMİR	Giresun Üniversitesi
Doç. Dr. Hülya ÇELİK	Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi
Doç. Dr. İlyas ŞAVKLIYILDIZ	Konya Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Muhammed Emin BAŞAK	Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Nimet AKIN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Onur MERTER	İzmir Ekonomi Üniversitesi
Doç. Dr. Serkan SAVAŞ	Kırıkkale Üniversitesi
Doç. Dr. Süleyman EKEN	Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Şeyda EYÜPOĞLU	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Doç. Dr. Yıldız Uygun CEBECİ	Kırklareli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Aybala YILDIRIM	Marmara Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ebubekir SEYYARER	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İlker Burak GİRESUNLU	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fatih YÜCALAR	Manisa Celâl Bayar Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fatoş Ayça ÖZDEMİR OLGUN	İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Gamze ÖZGÜL ARTUÇ	İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Gözde KONUK EGE	İstanbul Gedik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hacı Abdullah TAŞDEMİR	İstanbul Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hakan AYDOĞAN	Kastamonu Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hatice YAKUT PEKTÜRK	Kırklareli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hilmi GÜRLEYEN	Uşak Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Ali Nur ÖZ	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Veli BAŞARAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Dr. İhsan Berk ALTINER	University of Minesota
Dr. Veysel TATAR	Artvin Çoruh Üniversitesi
Dr. Yasin BEKTAŞ	Aksaray Üniversitesi
Dr. Zehra Binnur AVUNDUK	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

EDİTÖRDEN

Değerli İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Okurları,

Dergimizin 23. yılına girmişken, 2024 Bahar döneminde yayımlanan 45. sayıyı değerli okurlara ulaştırmaktan onur duymaktayız.

Dergimizin bu sayısında Matematik, Kimya Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği, Malzeme Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Bilgi ve Bilgi İşleme Bilimleri, Bilgisayar Mühendisliği, Kimya, Biyomühendislik, Elektrik Mühendisliği, Kontrol Mühendisliği ve Makine Mühendisliği alanlarından on altı makaleyi siz okurlarımızın istifadesine sunmaktan mutluyuz.

Bu sayıda, üniversitemiz içinden ve dışından çalışmalarını bizim aracılığımızla okuyucularıyla paylaşan yazarlarımıza, makalelerin hakemlik süreçlerine itinalı çalışmaları ile katkıda bulunan değerli akademisyenlere ve derginin hazırlanmasında emeği geçen çalışma arkadaşlarımıza teşekkürlerimizi sunarız.

Sayının fen bilimleri alanında değindiği konulara özgün ve güncel bakış açıları kazandırmasını temenni eder, bir sonraki sayıda okuyucularımızla buluşmayı dileriz.

Prof. Dr. Berk AYVAZ
Fen Bilimleri Dergisi Editörü

EDITORIAL POST

Dear Readers of İstanbul Commerce University Journal of Science,

In the 23rd year of our journal, we are honored to share with you our esteemed readers the 45th issue of the Spring 2024 edition.

In this issue, we are pleased to publish sixteen articles from the fields of Mathematics, Chemistry Engineering, Industrial Engineering, Materials Engineering, Civil Engineering, Information and Computing Sciences, Computer Engineering, Chemistry, Bioengineering, Electrical Engineering, Control Engineering and Mechanical Engineering to the readers.

We are eternally grateful to our writers who share their original scientific paper with the readers and our colleagues who have contributed to the preparation of the journal and the valuable academicians.

We hope that the issue will provide unique and actual scientific view into the subjects of natural science. Looking forward to meet with the next issue.

Prof. Dr. Berk AYVAZ
Editor

YAYIN POLİTİKASI

Dergimizde yazarların çalışmalarını makale olarak yayımlamaları, okuyucuların makale okumaları ve indirmeleri ücretsizdir. Aynı şekilde hakem değerlendirmesi ve yayımlanma sürecinde de ücret talep edilmemektedir. Dergimizin tüm sayılarına <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ticaretfb> adresinden ulaşılabilir.

Dergimize yayınlanmak üzere gönderilen çalışmalar, benzerlik kontrol yazılımı olan İntihal.Net ile kontrol edilir. Çift-körleme hakem değerlendirme sürecine sadece benzerlik oranı \leq % 20 çalışmalar alınır. Bu durumda değilse yazar/’lar’dan çalışmanın tekrar revize edilerek yüklenmesi istenir. Benzerlik oranı % 20’den yüksekse, başvuru reddedilir.

Dergimize gönderilen makaleler için değerlendirme aşamaları aşağıdaki gibidir;

1. Makale Ön İncelemeye alınır;

- Makalenin yazım formatı incelenir ve İntihal.Net programı ile benzerlik taraması yapılır.
- Makalenin örnek makale şablonuna uygunluğu kontrol edilir.
- Şablona uymayan makaleler yazara bildirilir ve makalenin düzeltilmesi istenir.
- Makale sunum ve telif hakkı devir formu bilgilerinin kontrolü yapılır.

2. Makale Değerlendirme aşamasına geçer.

- Dergimiz makale değerlendirme sürecinde hakem ve yazarlar birbirlerinin bilgilerini göremediği çift-körleme hakemlik sistemini kullanmaktadır.
- Makaleye en az iki hakem ataması yapılır. Hakemlere değerlendirme için 21 gün süre tanınır. Değerlendirme süreci tamamlanmazsa ek 7 gün süre verilir.
- Makalenin sonucu ret, düzeltme ya da kabul olabilir. Sonuca göre aşağıdaki madde/maddeler uygulanır:
 - Hakem görüşlerinin çoğunluğu doğrultusunda makale ret edilmişse süreç sonlandırılır ve makale reddedilir. Eşitlik durumu söz konusu ise üçüncü hakem ataması yapılır.
 - Makale için düzeltme istenirse hakem görüşleri doğrultusunda yazarın düzeltmeleri yapması istenir.
 - Makale kabul alırsa düzenleme aşamasına geçilir.

3. Mizanpaj aşamasında, düzeltmeler gerekirse yazardan istenir.

4. Süreç tamamlanır ve yazara bilgilendirme mesajı gönderilir.

Makale kabul süreci ortalama 3 ay sürmektedir.

İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Budapeşte Açık Erişim Girişimi'ne bağlı kalır ve Açık Erişim politikasını orijinal BOAI'da geliştirilen tanıma göre tanımlar:

Açık Erişim, “Hakem denetimli bilimsel literatürün, internet aracılığıyla; finansal, yasal ve teknik engeller olmaksızın, erişilebilir, okunabilir, kaydedilebilir, kopyalanabilir, yazdırılabilir, taranabilir, tam metne bağlantı verilebilir, dizinlenebilir, yazılıma veri olarak aktarılabilir ve her türlü yasal amaç için kullanılabilir olması”dır. [Bknz, <https://www.budapestopenaccessinitiative.org/translations/turkish-translation>]

PUBLICATION POLICY

In our journal, it is free for authors to publish their works as articles, and for readers to read and download articles. Likewise, no fee is charged during the referee evaluation and publication process. All issues of our journal can be accessed at <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ticaretfbd>.

Manuscript sent to our journal for publication are checked with İntihal.Net, a similarity checking software. Only manuscript with a similarity rate $\leq 20\%$ are included in the double-blind peer-review process. If this is not the case, the author/s are requested to revise and upload the manuscript again. If the similarity rate is higher than 20%, the application is rejected.

The evaluation stages for the articles sent to our journal are as follows;

1. The article is taken to Preliminary Review;
 - The format of manuscript is checked and İntihal.Net programme is used for the plagiarism.
 - Compliance of the article with the sample article template is checked.
 - Articles that do not fit the template are reported to the author and the article is requested to be corrected.
 - Article presentation and copyright transfer form information is checked.
2. The article goes to the evaluation stage.
 - The journal has double-blind peer-review system in which the referees and authors cannot see each other's information in the article review process.
 - At least two referees are assigned to the article. Referees are given 21 days for review. If the evaluation process is not completed, an additional 7 days is given.
 - Conclusion to the article can be rejection, correction or acceptance. According to the result, the following article/s are applied:
 - If the article is rejected in line with the majority of the referee's opinions, the process is terminated and the article is rejected. In case of equality, the 3rd referee is appointed.
 - If corrections are requested for the article, the author is requested to make them in line with the referee's comments.
 - If the article is accepted, it goes to the editing stage.
3. At the layout stage, if some corrections needed, it is requested from the author.
4. The process is completed and a notification message is sent to the author.

The article review process is almost 3 months.

Istanbul Commerce University Journal of Sciences adheres to the Budapest Open Access Initiative and defines Open Access policy according to the definition developed in the original BOAI:

By "open access" to peer-reviewed scientific literature, we mean its free availability on the public internet, permitting any users to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of these articles, crawl them for indexing, pass them as data to software, or use them for any other lawful purpose, without financial, legal, or technical barriers other than those inseparable from gaining access to the internet itself. [See, <https://www.budapestopenaccessinitiative.org/read>]



İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makaleleri / Research Articles

Matematik / Mathematics

- PAINLEVÉ- BÄCKLUND DENKLEMİNİN RASYONEL (G'/G) AÇILIM METODU İLE SOLITON ÇÖZÜMLERİ** 1
SOLITON SOLUTIONS OF THE PAINLEVÉ- BÄCKLUND EQUATION USING THE RATIONAL (G'/G) EXPANSION METHOD
Sait SAN, Kübra KAYMAK

- GREINER OPERATÖRÜYLE İLİŞKİLENDİRİLMİŞ HIZLI DİFÜZYON DENKLEMİ VE BAZI İNTEGRAL EŞİTSİZLİKLERİ** 14
FAST DIFFUSION EQUATIONS AND SOME INTEGRAL INEQUALITIES RELATED TO GREINER OPERATOR
Ahmet Uğur UTKU, Abdullah YENER

- MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ İLE EĞİTİM BAŞARISINA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN MODELLENMESİ** 27
MODELLING OF THE EFFECTS ON EDUCATIONAL SUCCESS BY MACHINE LEARNING ALGORITHMS
Zeynep BAKAN, Filiz KANBAY

Kimya Mühendisliği / Chemistry Engineering

- NEOPREN/KLOROPREN KAÇUK FORMÜLASYONU, FİZİKSEL, MEKANİK VE REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ** 42
FORMULATION OF NEOPRENE/CHLOROPRENE RUBBER, EXAMINATION OF THEIR PHYSICAL, MECHANICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES
Nükte TOPRAKSEVER, Osman MEHMET

Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering

- LOJİSTİK TAŞIMACILIĞINDA ANP VE CODAS YÖNTEMLERİ İLE KARGO FİRMASI SEÇİMİ** 52
SELECTION OF CARGO COMPANY WITH ANP AND CODAS METHODS IN LOGISTICS TRANSPORTATION
Emine Elif NEBATİ

Malzeme Mühendisliği / Materials Engineering

**SİNTERLEME SICAKLIĞININ MEKANİK ALAŞIMLAMA İLE ÜRETİLMİŞ
OKSİT TAKVİYELİ A360 KOMPOZİTLERİNİN MİKROYAPI VE SERTLİK
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ** 70

*THE EFFECT OF SINTERING TEMPERATURE ON THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS PROPERTIES
OF OXIDE-REINFORCED A360 COMPOSITES PRODUCED BY MECHANICAL ALLOYING*

Salih Bilal ÇETİNKAL, Mustafa ACARER

İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering

**B3 DÜZENSİZLİĞİ KONUMUNUN YAPISAL PERFORMANSA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ** 81

*EVALUATING THE IMPACT OF B3 IRREGULARITY LOCATION
ON STRUCTURAL PERFORMANCE*

İsmail TOZLU, Şenol GÜRSOY

Bilgi ve Bilgi İşleme Bilimleri / Information and Computing Sciences

**SOLUTION OF A MULTI-OBJECTIVE LINEAR PROGRAMMING PROBLEM
HAVING ROUGH INTERVAL COEFFICIENTS USING ZERO-SUM GAME** 97

*KABA ARALIKLI KATSAYILARA SAHIP ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA PROBLEMİNİN
SIFIR TOPLAMLI OYUN İLE ÇÖZÜMÜ*

Gizem TEMELCAN ERGENECOSAR

Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering

**USING ELLIPTIC CURVE CRYPTOGRAPHY FOR AUTHENTICATION AND
KEY EXCHANGE IN CONSTRAINED INTERNET OF THINGS NETWORKS** 114

*KISITLI NESNELERİN İNTERNETİ AĞLARINDA ELİPTİK EĞRİ ŞİFRELEMENİN DOĞRULAMA
VE ANAHTAR KARŞILAŞTIRMA AŞAMASINDA KULLANILMASI*

İbrahim KARATAŞ, Selim BAYRAKLI

Kimya / Chemistry

**MİKRODALGA İŞİMANIN BAZI 1,3-BENZOKSAZOL-2(3H)-ON HİBRİT
BİLEŞİKLERİN SENTEZİ ÜZERİNE ETKİSİ** 133

*EFFECT OF MICROWAVE IRRADIATION ON THE SYNTHESIS OF SOME 1,3-BENZOXAZOL-2(3H)-ON
HYBRID COMPOUNDS*

Fatih YILMAZ

Biyomühendislik / Bioengineering

**A HERBAL TREATMENT METHOD FOR BREAST CANCER: ANTITUMOR
EFFECT OF MOMORDICA CHARANTIA** 144

*MEME KANSERİNE BİTKİSEL TEDAVİ YÖNTEMİ:
MOMORDİCA CHARANTİA'NIN ANTİTÜMÖR ETKİSİ*

Murat İHLAMUR, Kübra KELLEÇİ, Melisa ÖZKAN, Emrah Şefik ABAMOR

Elektrik Mühendisliği / Electrical Engineering

GEOTHERMAL ENERGY BASED HYDROGEN ENERGY STORAGE AND CHARGING STATION SYSTEM 156

JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLI HİDROJEN ENERJİ DEPOLAMA VE ŞARJ İSTASYONU SİSTEMİ
Fikret KAYA, Onur AKAR

Kontrol Mühendisliği / Control Engineering

FRACTIONAL ORDER-BASED PID CONTROLLER DESIGN WITH GENETIC ALGORITHM (FOPID-GA) FOR AIRCRAFT LANDING GEAR SHOCK ABSORBER MECHANISM 169

UÇAK İNİŞ TAKIMI AMORTİSÖR MEKANİZMASI İÇİN KESİR DERECELİ PID KONTROLÖRÜN GENETİK ALGORİTMA (FOPID-GA) İLE TASARIMI

Idriss DAGAL, Bilal EROL

ARAÇ SÜSPANSİYON SİSTEMLERİ İÇİN KONTROLCÜ ALTINDA POTANSİYEL ENERJİ KAZANIMI ANALİZİ 184

CONTROLLER-BASED POTENTIAL ENERGY GAIN ANALYSIS FOR VEHICLE SUSPENSION SYSTEMS
Bilal EROL

Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering

BİTKİSEL LİF TAKVİYELİ BİYOKOMPOZİT MALZEMELERİN ISI İLETİM KATSAYISI TAYİNİ 199

DETERMINATION OF THERMAL CONDUCTIVITY OF FIBER REINFORCED BIOCOMPOSITE MATERIALS

Mehmed Rafet ÖZDEMİR, Garip GENÇ

Derleme Makaleler / Review Articles

Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering

DOĞAL DİL METİNLERİNDEN PROGRAMLAMA DİLİ KODU OLUŞTURMA ÇALIŞMALARI: BİR DERLEME ÇALIŞMASI 209

NATURAL LANGUAGE TEXT TO PROGRAMMING LANGUAGE CODE GENERATION STUDIES: A REVIEW

Ayşegül HATİPOĞLU, Turgay Tugay BİLGİN



Araştırma Makalesi / Research Article

PAINLEVÉ- BÄCKLUND DENKLEMİNİN RASYONEL (G'/G) AÇILIM METODU İLE SOLİTON ÇÖZÜMLERİ

SOLİTON SOLUTIONS OF THE PAINLEVÉ- BÄCKLUND EQUATION USING THE RATIONAL (G'/G) EXPANSION METHOD

Sait SAN¹

Kübra KAYMAK²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1387780>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
ssan@ogu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
09.11.2023

Kabul Tarihi / Accepted
18.01.2024

Öz

Bu çalışmada lineer olmayan oluşum denklemlerinin ilerleyen dalga çözümlerinin bulunmasına yönelik rasyonel (G'/G) açılım yöntemi ele alınmıştır. Bu yöntem sayesinde trigonometrik fonksiyonlar, rasyonel fonksiyonlar ve hiperbolik fonksiyonlara göre düzenlenmiş uygun formdaki çeşitli soliton çözümler elde edilir. Aynı türden başka bir dalgayla çarpıştığında yok olmayan soliton dalgalarını incelemek için lineer olmayan 1+1-boyutlu Painlevé- Bäcklund denklemi üzerinde rasyonel (G'/G) açılım yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem kullanılarak Painlevé- Bäcklund denkleminin keyfi parametreleriyle ilerleyen dalga çözümleri başarıyla elde edilir. Parametrelere özel değerler verildiğinde ise ilerleyen dalgalardan denklemlerin soliter dalga çözümleri bulunarak 3-boyutlu ve kontur grafikleri çizdirilmiştir. Önerilen rasyonel (G'/G) açılım yöntemi doğrudan, basit ve etkilidir. Diğer birçok lineer olmayan ve tam sayı dengelenmeye sahip denklemler için etkili ve güçlü bir matematiksel yöntemdir.

Anahtar Kelimeler: Painlevé - Bäcklund Denklemi, rasyonel (G'/G) açılım metodu, Soliton çözüm.

Abstract

In this study, the rational (G'/G) expansion method for finding traveling wave solutions of nonlinear formation equations is discussed. Thanks to this method, various soliton solutions in appropriate form arranged according to trigonometric functions, rational functions and hyperbolic functions are obtained. The rational (G'/G) expansion method was applied on the non-linear 1+1-dimensional Painlevé- Bäcklund equation to examine soliton waves that do not disappear when they collide with another wave of the same type. Using this method, traveling wave solutions with arbitrary parameters of the Painlevé-Bäcklund equation are successfully obtained. When special values were given to the parameters, solitary wave solutions of the equations were found from the traveling waves and 3-dimensional and contour graphs were drawn. The proposed rational (G'/G) expansion method is direct, simple and effective. It is an effective and powerful mathematical method for many other nonlinear and integer balancing equations.

Keywords: Painlevé - Bäcklund Equation, rational (G'/G) expansion method, Soliton solution.

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü, Eskişehir, Türkiye.
ssan@ogu.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-8891-9358.

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü, Eskişehir, Türkiye.
kbraa.kymkk@gmail.com, Orcid.org/0009-0004-4379-8929.

1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın ikinci yarısı, klasik fizik çalışmalarında ciddi anlamda bir artış görüldü. Bilim adamları, dinamik denklemlerdeki doğrusal olmamanın neden olduğu etkilere özel ilgi göstermeye başladılar. Bu doğrusal olmamanın zıt nitelikte iki ilginç tezahürü olduğu bulundu: Tamamen deterministik sistemlerin davranışındaki görünür rastlantısallık olan kaos ve elastik olarak dağılmış, yerleştirilmiş, kararlı hareket eden nesnelere olan solitonlar. Bu konuların her ikisi de artık sağlam matematiksel arka plana ve çok çeşitli fiziksel gözlemlere ve somut uygulamalara sahip paradigmlar halinde geliştirilmiştir.

Lineer olmayan oluşum denklemleri yalnızca matematiğin birçok alanında değil, aynı zamanda fizik, kimya, biyoloji, mühendislik gibi bilimlerde ve alışkanlar mekaniğinden Navier Stokes denklemi, malzeme biliminden Cahn-Hilliard denklemi, kuantum mekaniğinden lineer olmayan Schrodinger denklemi gibi doğal sorunları anlamak için modellenmiştir. Soliton teorisi, optik fiberler, plazma fiziği, biyofizik, katı hal fiziği, ekoloji, sinyal işleme ve sistemler hakkında temel bilgileri sağlayabildikleri için lineer olmayan modellerin kesin çözümlerini araştırmakta önemli rol oynar. Gerçek hayatta karşımıza çıkan problemleri anlamlandırmak, tahmin etmek, kontrol etmek ve ölçmek için bazı problemleri matematiksel denklemler açısından modellemek ve uygun yöntem ile analitik çözümler elde etmek için birçok etkili ve kullanışlı yöntemler geliştirildi. Bu yöntemlerin bazıları: Ters saçılım yöntemi (Vakhnenko ve ark., 2003), tanh fonksiyonu yöntemi (Parkes & Duffy, 1996), varyasyonel iterasyon yöntemi (Mohyud-Din ve ark., 2009), sinüs-kosinüs yöntemi (Wazwaz, 2004), homojen dengeleme yöntemi (Fan & Zhang, 1998), üstel fonksiyon yöntemi (He & Wu, 2006), Hirota bilinear dönüşümü (Hirota, 1994), genelleştirilmiş Kurdyashov yöntemi (Hosseini ve ark., 2021), Jacobi elliptik fonksiyon yöntemi (Salahshour ve ark., 2021), alt denklem yöntemi (Hossen ve ark., 2017), Backlund dönüşümü (Zhu, 1993), Darboux dönüşümü (Matveev & Salle, 1991) gibi daha birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerle de lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemlerin tam çözümlerini hesaplamak oldukça uzun sürecek ve kolay hata yapma riskini oluşturacağından günümüz teknolojisi yardımıyla sembolik hesaplama programları Maple, Mathematica gibi programlar, yöntemleri uygulamamızı ve sonuçları kolaylıkla bulmamızı sağlar.

Bir soliton, aynı türden başka bir dalgayla çarpıştığında yok olmayan belirli bir tek dalga türüdür. Bu tür bir davranış sayısal simülasyon tarafından önerilmiştir, ancak soliton'un bir çarpışmadan sonra orijinal şeklini tamamen geri kazanması gerçekten mümkün müdür? Bu tür sayısal simülasyonların sonuçlarının ayrıntılı bir analizinde, bir çarpışmadan sonra bazı dalgalanmalar gözlemlenebilir ve bu nedenle, orijinal şeklin tam olarak geri kazanılmadığı görülmektedir. Bu nedenle, solitonların çarpışmaları yoluyla yok olup olmadığını açıklığa kavuşturmak için soliton denklemlerinin kesin çözümlerini bulmak gerekir. Genel olarak, soliton denklemleri de dahil olmak üzere lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemlerin kesin çözümlerini bulmak çok zor bir iştir. Ayrıca, doğrusal olmayan bir denklemi çözmek için bir yöntem bulunsa bile, genel olarak, böyle bir yöntem diğer denklemlere uygulamak her zaman mümkün değildir. Derin bir matematik anlayışı gerektirmeyen birçok doğrusal olmayan denklem türünü çözmeyi sağlayan başarılı ve evrensel bir araç var mıdır (Wang ve ark., 2008) ?

Bu sorunun cevabına evrensel bir cevap bulunamasa da kısmen cevap olarak Wang ve arkadaşları tarafından lineer olmayan dalga denklemlerini güvenilir bir şekilde çözmek için rasyonel (G'/G) açılım metodu (Hirota, 2004) önerilmiştir. Böylece lineer olmayan denklemlerin ve dengelenme sabitine sahip denklemlerin kesin çözümlerini elde etmek için bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu sistematik yolla birçok denklemin kesin çözümlerinin bulunabileceğini göstermişlerdir.

2. RASYONEL (G'/G) AÇILIM METODU

İki bağımsız değişken x ve t 'nin lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemini (1) formunda ele alalım.

$$P(u, u_x, u_t, u_{xx}, u_{xt}, u_{tt}, u_{xxx}, \dots) = 0 \quad (1)$$

$u = u(x, t)$ bilinmeyen fonksiyondur. $P, u(x, t)$ 'nin türevlerini içeren bir polinom olsun. Rasyonel $(\frac{G'}{G})$ açılım yöntemiyle (1) formundaki denklemin genel çözümünü bulmak için aşağıdaki adımlar uygulanır (Islam ve ark., 2015):

Adım 1) Kısmi diferansiyel formdaki (1) denkleminin ilerleyen dalga çözümünü bulmak için $\xi = x \pm vt$ dalga değişkeni ile $u(x, t) = W(\xi)$ dönüşümü yapılarak (2) formundaki adi diferansiyel denklem elde edilir.

$$Q(W, W', W'', W''', \dots) = 0 \quad (2)$$

$Q; W$ ve adi türevlerini içeren bir polinomdur. Buradaki adi türev ξ ye göredir.

Adım 2) (2) denkleminin en yüksek mertebeden lineer terimi ile lineer olmayan teriminin derecesi arasında homojen denge bağıntısı kurularak n pozitif tam sayısı belirlenir. $W(\xi)$ 'nin derecesi ($\deg[W(\xi)] = n$) ise diğer ifadenin derecesi aşağıdaki gibidir.

$$\deg\left(\frac{d^m W(\xi)}{d\xi^m}\right) = n + m, \quad \deg\left[W^m \left(\frac{d^l W(\xi)}{d\xi^l}\right)^p\right] = nm + p(n + l) \quad (3)$$

Adım 3) (2) denkleminin çözümünün aşağıdaki gibi rasyonel formda çözüme sahip olduğunu varsayalım.

$$W(\xi) = \frac{\sum_{i=0}^n a_i \left(\frac{G'}{G}\right)^i}{\sum_{i=0}^n b_i \left(\frac{G'}{G}\right)^i} \quad (4)$$

Burada a_i ve b_i reel parametrelerden ($i=0,1,2,\dots$) en az biri sıfırdan farklı olmalıdır. $W(\xi)$ çözümlerinin elde edilmesinde kullanılacak yardımcı denklem ise ikinci mertebeden denklemdir

$$G'' + \lambda G' + \mu G = 0, \quad (5)$$

burada λ, μ reel sabitlerdir. (5) yardımcı denkleminin çözümleri, $\lambda^2 - 4\mu$ ifadesinin sıfırdan büyük, küçük ve eşit olma durumlarına göre aşağıda verilmiştir.

$$\left(\frac{G'}{G}\right) = \begin{cases} \frac{-\lambda + \frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}}{2} \frac{A \sinh\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \cosh\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right)}{A \cosh\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \sinh\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right)}, \lambda^2 - 4\mu > 0 \\ \frac{-\lambda + \frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}}{2} \frac{-A \sin\left(\left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \cos\left(\left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}\right)\xi\right)}{A \cos\left(\left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \sin\left(\left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}\right)\xi\right)}, \lambda^2 - 4\mu < 0 \\ \frac{-\lambda}{2} + \frac{B}{A + B\xi}, \lambda^2 - 4\mu = 0 \end{cases} \quad (6)$$

A ve B keyfi sabitlerdir.

Adım 4) (2) denkleminde dengeleme sabitinin elde edilmesiyle (4) açılımı yapılır ve (2) de yazılır. Burada gerekli türevler hesaplanır ve yardımcı denklemin kullanılmasıyla $\left(\frac{G'}{G}\right)$ ' nin kuvvetleri cinsinden bir polinomsal denklem sistemine dönüşür. $\left(\frac{G'}{G}\right)$ ' nin her bir kuvvetinin katsayısı sıfıra eşitlenerek elde edilen cebirsel denklem sistemi sembolik hesaplama programları (Maple, Mathematica vs.) yardımıyla çözülür. Bilinmeyen $\lambda, \mu, a_i, b_i, v$ parametreleri elde edilir.

Adım 5) Bulunan parametrelerin değerleri (6) denkleminde verilen çözümlerle birlikte (4) denkleminde yerine yazılmasıyla lineer olmayan oluşum denkleminin soliton çözümleri elde edilir.

2.1. Painlevé- Bäcklund Denklemi Soliton Çözümleri

Bu bölümde Painlevé- Bäcklund denkleminin hareketli dalga çözümleri inşa edilecektir. Painlevé- Bäcklund denklemi, Kakutani ve Kawahara tarafından soğuk iyonlardan ve sıcak elektronlardan oluşan iki sıvılı bir plazma modelinin analiz edilmesiyle türetilmiştir (Kakutani & Kawahara, 1970; Isidore, 1996).

$$u_t + uu_x + bu_{xxx} - a(u_t + mu u_x)_x = 0 \quad (7)$$

Malfliet, $m=0$ için (7)' nin ilerleyen dalga çözümünü tanh yöntemiyle türetmiştir (Malfliet, 1992). Kıvrık şekilli ilerleyen dalgayı elde etmek için $m \neq 0$ durumunun da aynı yöntemle ele alınabileceğini belirtmekte fayda vardır. (7) denkleminin hareketli dalga çözümlerini bulmak için dalga dönüşümünü,

$$u(x, t) = W(\xi), \quad \xi = x + vt \quad (8)$$

olarak alındığında adi diferansiyel denkleme indirgenmiş (9) denklemi elde edilir.

$$vW' + WW' + bW''' - avW'' - am(W')^2 - amWW'' = 0 \quad (9)$$

W''' ile W'^2 ve ya WW'' terimlerine homojen dengeleme bağıntısı uygulandığında $n=1$ bulunur. Böylece $W(\xi)$ çözümü denklem (10) formunda aranacaktır.

$$W(\xi) = \frac{p_0 + p_1 \left(\frac{G'}{G}\right)}{q_0 + q_1 \left(\frac{G'}{G}\right)} \quad (10)$$

(10) çözümünün (9) denkleminde yerine yazılmasıyla (G'/G) 'li bir polinom haline elde edilir. (G'/G) 'nin kuvvetlerinin sıfıra eşitlenmesiyle elde edilen cebirsel sistem çözümlenerek bilinmeyen $p_0, p_1, q_0, q_1, a, b, m$ ve v parametreleri bulunur. Bulunan değerler ile (G'/G) fonksiyonu (6) denklemindeki üç duruma göre incelenecektir.

2.1.1. Bulgular

Çözüm 1:

$$b = -a^2 m^2 v + a^2 m v, \quad p_0 = v(a\lambda m q_0 - 2am\mu q_1 - a\lambda q_0 + 2a\mu q_1 - q_0),$$

$$p_1 = -(a\lambda m q_1 - a\lambda q_1 - 2amq_0 + 2aq_0 + q_1)v$$

Değerlerine göre $W(\xi)$ fonksiyonu

$$W_1(\xi) = \frac{v(a\lambda m q_0 - 2am\mu q_1 - a\lambda q_0 + 2a\mu q_1 - q_0) - (a\lambda m q_1 - a\lambda q_1 - 2amq_0 + 2aq_0 + q_1)v \left(\frac{G'}{G}\right)}{q_0 + q_1 \left(\frac{G'}{G}\right)} \quad (11)$$

olur ve (7) denkleminin dalga çözümü, (11) denkleminde denklem (6) durumlarının incelenmesiyle elde edilir.

$\lambda^2 - 4\mu > 0$ olduğu hiperbolik fonksiyonel çözüm

$$W_{11}(\xi) = \frac{v(a\lambda m q_0 - 2am\mu q_1 - a\lambda q_0 + 2a\mu q_1 - q_0)}{q_0 + q_1 \left(\frac{-\lambda + \frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}}{A \cosh\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \sinh\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right)} \right)}$$

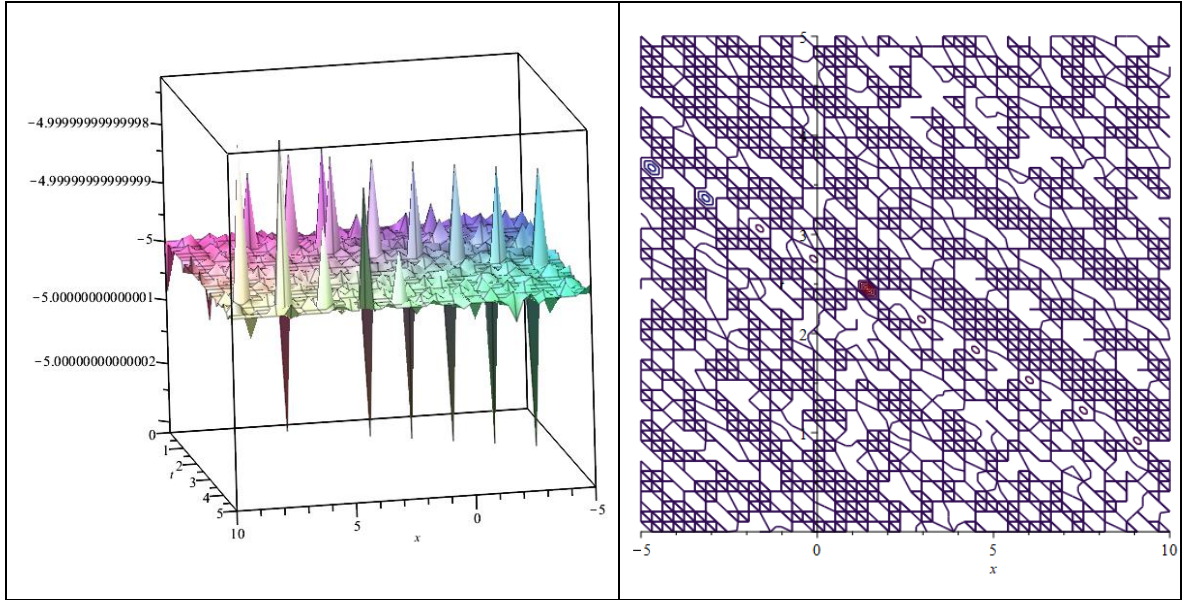
$$- (a\lambda m q_1 - a\lambda q_1 - 2amq_0 + 2aq_0 + q_1)v \left(\frac{-\lambda + \frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}}{A \cosh\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \sinh\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right)} \right)$$

$$+ \frac{q_0 + q_1 \left(\frac{-\lambda + \frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}}{A \cosh\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \sinh\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right)} \right)}{q_0 + q_1 \left(\frac{-\lambda + \frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}}{A \cosh\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \sinh\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right)} \right)}$$

$\lambda^2 - 4\mu < 0$ olduğu trigonometrik çözüm:

$$W_{12}(\xi) = \frac{v(a\lambda m q_0 - 2am\mu q_1 - a\lambda q_0 + 2a\mu q_1 - q_0)}{q_0 + q_1 \left(\frac{-\lambda}{2} + \frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2} \frac{-A \sin\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \cos\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right)}{A \cos\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \sin\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right)} \right)}$$

$$\frac{(a\lambda m q_1 - a\lambda q_1 - 2amq_0 + 2aq_0 + q_1)v \left(\frac{-\lambda}{2} + \frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2} \frac{-A \sin\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \cos\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right)}{A \cos\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \sin\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right)} \right)}{q_0 + q_1 \left(\frac{-\lambda}{2} + \frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2} \frac{-A \sin\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \cos\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right)}{A \cos\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \sin\left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2}\right)\xi\right)} \right)}$$

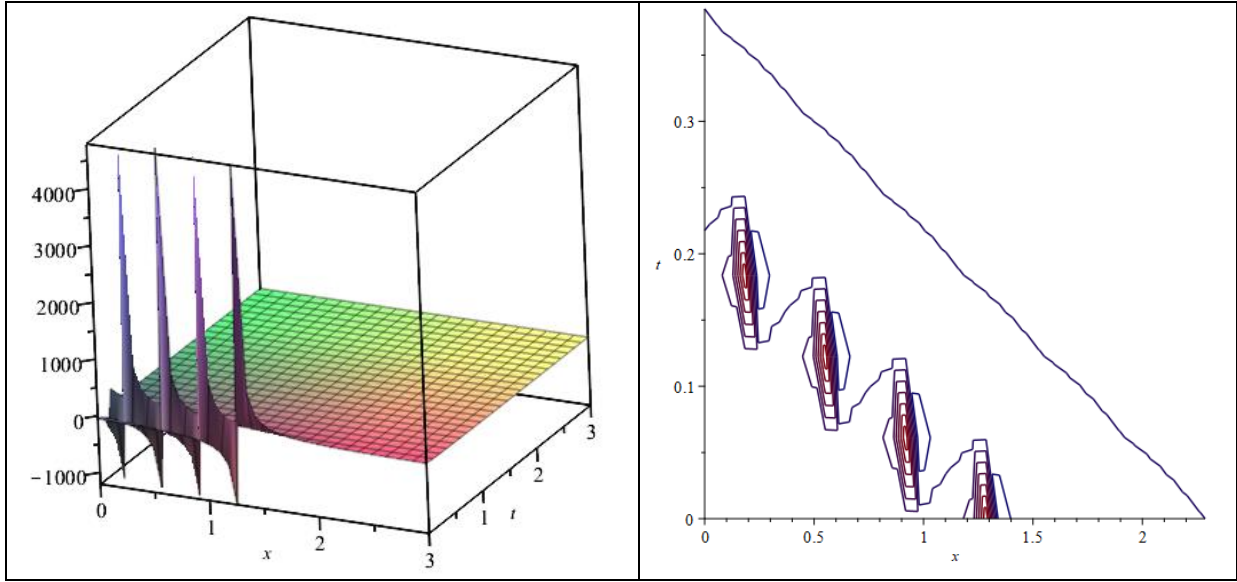


Şekil 1. Elde ettiğimiz çözümde $-5 < x < 10$, $0 < t < 5$ aralığı ve $A = 1, B = 0, \lambda = 4, q_0 = 2, q_1 = 0.5, \mu = 5, m = 1, a = 1$ değerlerine göre 3 boyutlu ve kontur grafikleri verilmiştir.

$\lambda^2 - 4\mu = 0$ olduğu rasyonel çözüm

$$W_{13}(\xi) = \frac{v(2amq_0\sqrt{\mu} - 2am\mu q_1 - 2aq_0\sqrt{\mu} + 2a\mu q_1 - q_0)}{q_0 + q_1 \left(-\sqrt{\mu} + \frac{B}{B\xi + A} \right)}$$

$$\frac{(2amq_1\sqrt{\mu} - 2aq_1\sqrt{\mu} - 2amq_0 + 2aq_0 + q_1)v \left(-\sqrt{\mu} + \frac{B}{B\xi + A} \right)}{q_0 + q_1 \left(-\sqrt{\mu} + \frac{B}{B\xi + A} \right)}$$



Şekil 2. Elde ettiğimiz çözümde $0 < x < 3$, $0 < t < 3$ aralığı ve $A = 2, B = 10, \lambda = 4, q_0 = 2, q_1 = 1.5, \mu = 4, m = 3, a = 2.5$ değerlerine göre 3 boyutlu ve kontur grafikleri verilmiştir.

Çözüm 2:

$$b = -a^2 m v (m - 1), p_0 = q_0 v (a \lambda m - a \lambda - 1), p_1 = 2 q_0 v a m - 2 a q_0 v, \quad q_1 = 0$$

Değerlerine göre $W(\xi)$ fonksiyonu

$$W_2(\xi) = \frac{q_0 v (a \lambda m - a \lambda - 1) + (2 q_0 v a m - 2 q_0 v a) \left(\frac{G'}{G} \right)}{q_0} \quad (12)$$

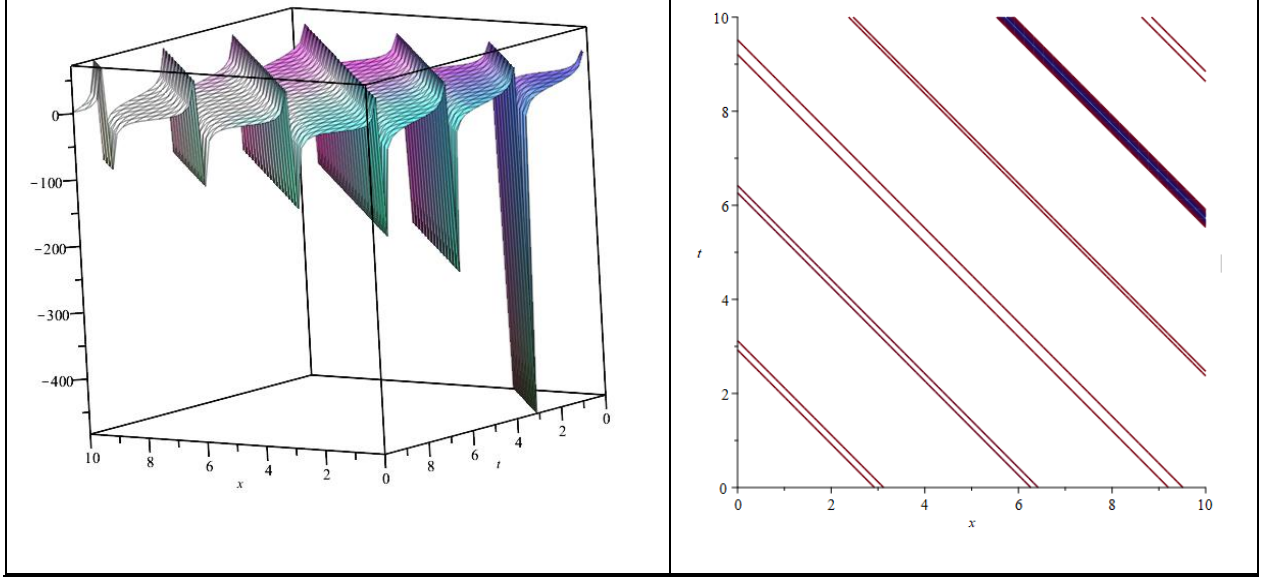
olur ve (7) denkleminin dalga çözümü, (12) denkleminde denklem (6) durumlarının incelenmesiyle elde edilir.

$\lambda^2 - 4\mu > 0$ olduğu hiperbolik fonksiyonel çözüm

$$W_{21}(\xi) = v(a \lambda m - a \lambda - 1) + (2 v a m - 2 v a) \left(\frac{-\lambda}{2} + \frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2} \frac{A \sinh \left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2} \right) \xi \right) + B \cosh \left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2} \right) \xi \right)}{A \cosh \left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2} \right) \xi \right) + B \sinh \left(\left(\frac{\sqrt{\lambda^2 - 4\mu}}{2} \right) \xi \right)} \right) \quad (12a)$$

$\lambda^2 - 4\mu < 0$ olduğu trigonometrik çözüm

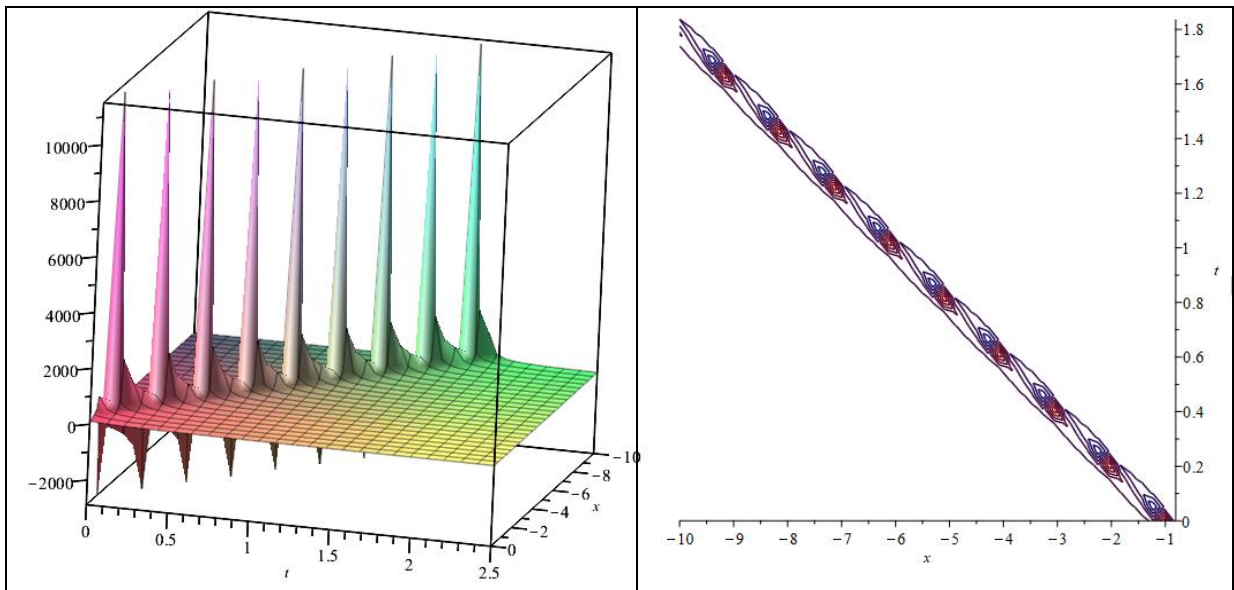
$$W_{22}(\xi) = v(a\lambda m - a\lambda - 1) + (2vam - 2va) \left(\frac{-\lambda + \frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}}{A \cos\left(\left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \sin\left(\left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}\right)\xi\right)} - \frac{-A \sin\left(\left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \cos\left(\left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}\right)\xi\right)}{A \cos\left(\left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}\right)\xi\right) + B \sin\left(\left(\frac{\sqrt{-\lambda^2 + 4\mu}}{2}\right)\xi\right)} \right) \quad (12b)$$



Şekil 3. Elde ettiğimiz çözümde $0 < x < 10$, $0 < t < 10$ aralığı ve $A = 0, B = 1, \lambda = 4, q_0 = 5, \mu = 5, m = 5, a = 1$ değerlerine göre 3 boyutlu ve kontur grafikleri verilmiştir.

$\lambda^2 - 4\mu = 0$ olduğu rasyonel çözüm

$$W_{23}(\xi) = - \frac{((\xi + (-2m + 2)a)B + A)v}{B\xi + A} \quad (12c)$$



Şekil 4. Elde ettiğimiz çözümde $-10 < x < 0$, $0 < t < 2.5$ aralığı ve $A = 1, B = 1, \lambda = 2, \mu = 1, m = 5, a = 3$ değerlerine göre 3 boyutlu ve kontur grafikleri verilmiştir.

Çözüm 3:

$$b = 0, \lambda = \frac{q_1 v + p_1}{a q_1 v}, m = 0, p_0 = 2q_1 a v \mu, q_0 = 0$$

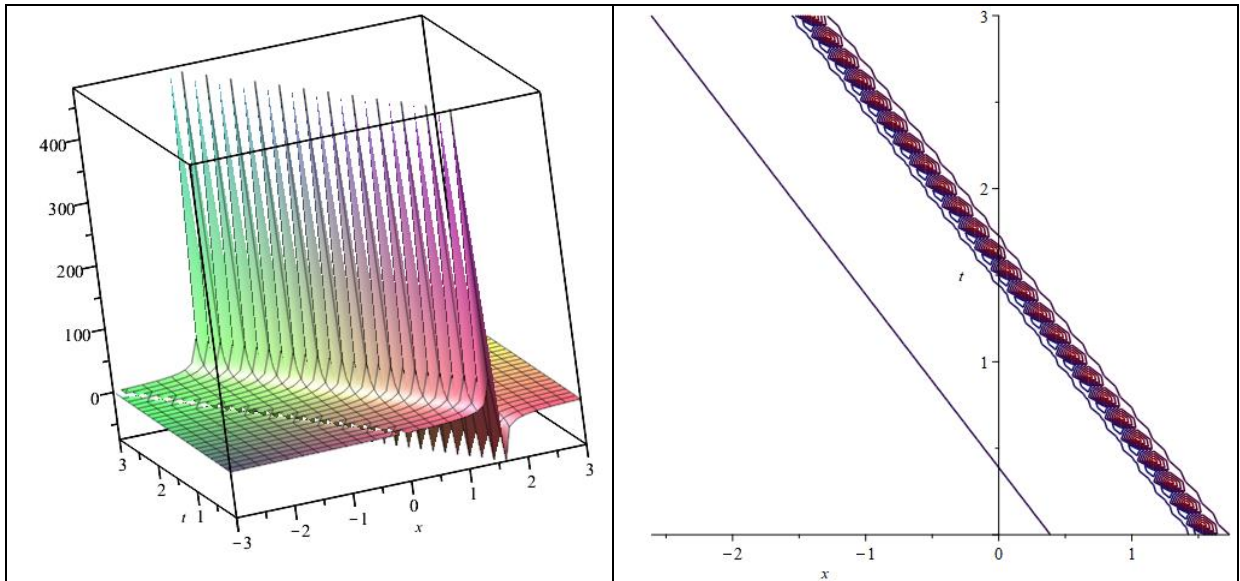
Değerlerine göre $W(\xi)$ fonksiyonu

$$W_3(\xi) = \frac{2q_1 a v \mu + p_1 \left(\frac{G'}{G} \right)}{q_1 \left(\frac{G'}{G} \right)} \quad (13)$$

olur ve (7) denkleminin dalga çözümü, (13) denkleminde denklem (6) durumlarının incelenmesiyle elde edilir.

$\lambda^2 - 4\mu > 0$ durumu için hiperbolik fonksiyon çözümü aşağıda verilmiştir:

$$W_{31}(\xi) = \frac{2q_1 a v \mu + p_1 \left(-\frac{q_1 v + p_1}{2a q_1 v} + \frac{\sqrt{\frac{(q_1 v + p_1)^2}{a^2 q_1^2 v^2} - 4\mu} \left(A \sinh \left(\frac{\sqrt{\frac{(q_1 v + p_1)^2}{a^2 q_1^2 v^2} - 4\mu}}{2} \xi \right) + B \cosh \left(\frac{\sqrt{\frac{(q_1 v + p_1)^2}{a^2 q_1^2 v^2} - 4\mu}}{2} \xi \right) \right)}{A \cosh \left(\frac{\sqrt{\frac{(q_1 v + p_1)^2}{a^2 q_1^2 v^2} - 4\mu}}{2} \xi \right) + B \sinh \left(\frac{\sqrt{\frac{(q_1 v + p_1)^2}{a^2 q_1^2 v^2} - 4\mu}}{2} \xi \right)} \right)}{q \left(-\frac{q_1 v + p_1}{2a q_1 v} + \frac{\sqrt{\frac{(q_1 v + p_1)^2}{a^2 q_1^2 v^2} - 4\mu} \left(A \sinh \left(\frac{\sqrt{\frac{(q_1 v + p_1)^2}{a^2 q_1^2 v^2} - 4\mu}}{2} \xi \right) + B \cosh \left(\frac{\sqrt{\frac{(q_1 v + p_1)^2}{a^2 q_1^2 v^2} - 4\mu}}{2} \xi \right) \right)}{A \cosh \left(\frac{\sqrt{\frac{(q_1 v + p_1)^2}{a^2 q_1^2 v^2} - 4\mu}}{2} \xi \right) + B \sinh \left(\frac{\sqrt{\frac{(q_1 v + p_1)^2}{a^2 q_1^2 v^2} - 4\mu}}{2} \xi \right)} \right)} \quad (13a)$$

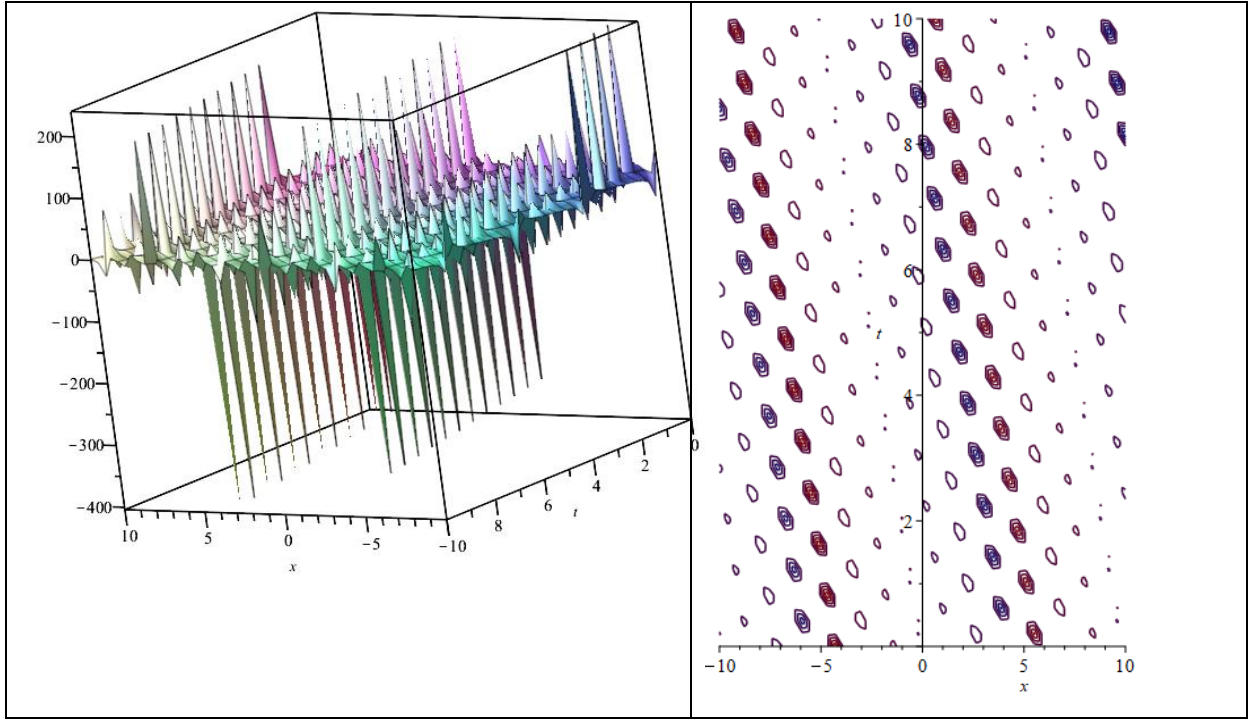


Şekil 5. Elde ettiğimiz çözümde $-3 < x < 3$, $0 < t < 3$ aralığı ve $A = 0, B = 1, \mu = 0.5, m = 1, a = 2, v = 1, p_1 = 1, q_1 = 1$ değerlerine göre 3 boyutlu ve kontur grafikleri verilmiştir.

$\lambda^2 - 4\mu < 0$ olduğu trigonometrik çözüm:

$$W_{32}(\xi) = \frac{2q_1av\mu + p_1 - \frac{q_1v + p_1}{2aq_1v} + \frac{\sqrt{\frac{(q_1v + p_1)^2}{a^2q_1^2v^2} + 4\mu} \left(-A \sin \left(\sqrt{\frac{(q_1v + p_1)^2}{a^2q_1^2v^2} + 4\mu} \xi \right) + B \cos \left(\sqrt{\frac{(q_1v + p_1)^2}{a^2q_1^2v^2} + 4\mu} \xi \right) \right)}{A \cos \left(\sqrt{\frac{(q_1v + p_1)^2}{a^2q_1^2v^2} + 4\mu} \xi \right) + B \sin \left(\sqrt{\frac{(q_1v + p_1)^2}{a^2q_1^2v^2} + 4\mu} \xi \right)} \quad (13b)$$

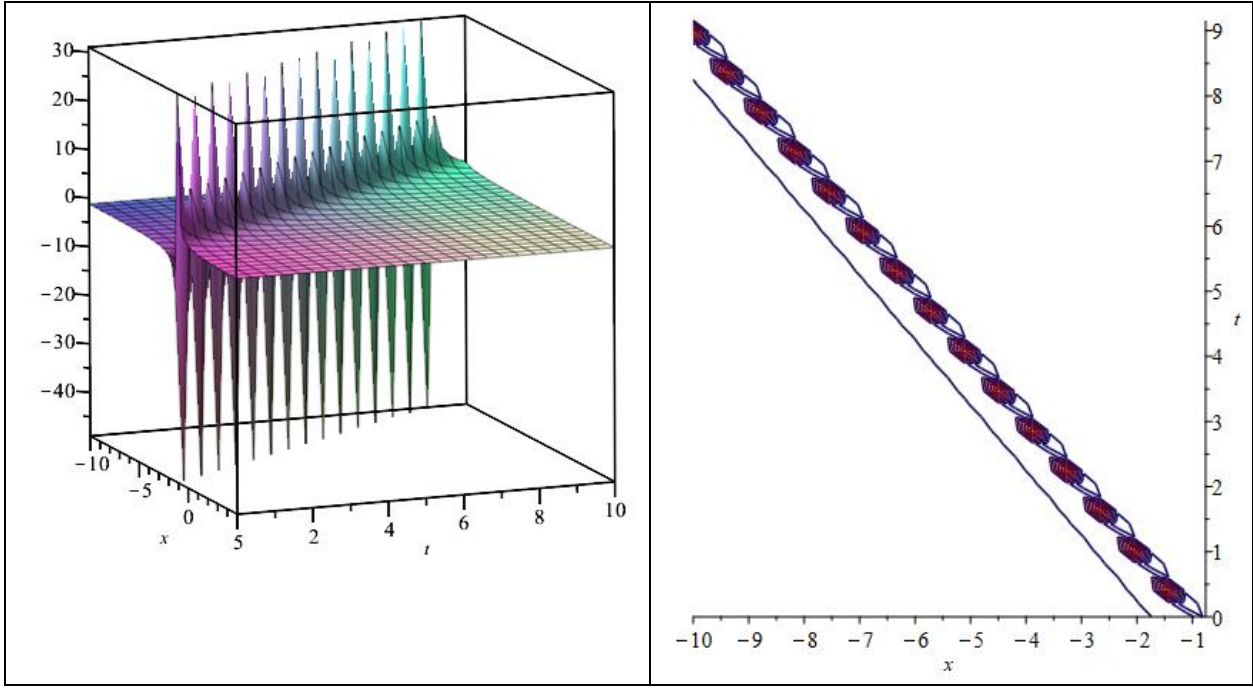
$$= \frac{q}{1 - \frac{q_1v + p_1}{2aq_1v} + \frac{\sqrt{\frac{(q_1v + p_1)^2}{a^2q_1^2v^2} + 4\mu} \left(-A \sin \left(\sqrt{\frac{(q_1v + p_1)^2}{a^2q_1^2v^2} + 4\mu} \xi \right) + B \cos \left(\sqrt{\frac{(q_1v + p_1)^2}{a^2q_1^2v^2} + 4\mu} \xi \right) \right)}{A \cos \left(\sqrt{\frac{(q_1v + p_1)^2}{a^2q_1^2v^2} + 4\mu} \xi \right) + B \sin \left(\sqrt{\frac{(q_1v + p_1)^2}{a^2q_1^2v^2} + 4\mu} \xi \right)}$$



Şekil 6. Elde ettiğimiz çözümde $-10 < x < 10$, $0 < t < 10$ aralığı ve $A = 1, B = 0, \mu = 5, m = 1, a = 2, v = 0.5, p_1 = 0, q_1 = 1$ değerlerine göre 3 boyutlu ve kontur grafikleri verilmiştir.

$\lambda^2 - 4\mu = 0$ olduğu rasyonel çözüm

$$W_{33}(\xi) = \frac{\left(\left(vq_1\xi + 2p_1 \left(a + \frac{\xi}{2} \right) \right) B + a(q_1v + p_1) \right) v}{\left(-2 \left(a - \frac{\xi}{2} \right) q_1v + p_1\xi \right) B + A(q_1v + p_1)} \quad (13c)$$



Şekil 7. Elde ettiğimiz çözümde $-10 < x < 5$, $0 < t < 10$ aralığı ve $A = 0, B = 1, \mu = 1, m = 1, \alpha = -1, \nu = 1, p_1 = 1, q_1 = 1$ değerlerine göre 3 boyutlu ve kontur grafikleri verilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Painlevé- Bäcklund denklemi ele alınmıştır. Lineer olmayan 1+1-boyutlu formdaki denkleme hareketli dalga dönüşümü uygulanarak adi diferansiyel denkleme indirgindikten sonra Rasyonel (G'/G) açılım yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin uygulanışında verilen yardımcı denklem yardımıyla istenilen formdaki $W(\xi)$ çözümü için p_0, p_1, q_0 ve q_1 parametrelerine uygun değerler verilerek üç farklı çözüm elde edilmiştir. Bu çözümlerin her biri için $\lambda^2 - 4\mu > 0$, $\lambda^2 - 4\mu < 0$, $\lambda^2 - 4\mu = 0$ durumlarına bakılarak denklemin hiperbolik, trigonometrik ve rasyonel çözümleri elde edilmiştir. Bulunan soliton çözümlerin tamamı sembolik hesaplama programında yerine yazılarak sağlamaları yapılmıştır. Elde edilen soliton çözümlerin bazılarının üç boyutlu ve kontur grafikleri verilmiştir.

Literatürde bundan önce yapılan çalışmalara bakıldığında, (Isidore, 1996) de Painlevé- Bäcklund denklemine integralleme testlerinden Painleve analizi uygulanmış ve bükülme şeklinde ilerleyen bir dalga çözümü tanh fonksiyonuna bağlı olarak verilmiştir. Malfliet ise tanjant hiperbolik fonksiyon açılımı kullanarak soliton çözümler elde etmiştir (Malfliet, 1992). Ulaşabildiğimiz kadarıyla elde ettiğimiz çözümler literatürden farklıdır böylece yeni çözümlerdir ayrıca içerdiği fonksiyonlara göre çeşitli formlardadır.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Akbar, M. A., Abdullah, F. A., Islam, M. T., Al Sharif, M. A., & Osman, M. S. (2023). New solutions of the soliton type of shallow water waves and superconductivity models. *Results in Physics*, 44, 106180.
- Fan, E., & Zhang, H. (1998). A note on the homogeneous balance method. *Physics Letters A*, 246(5), 403-406.
- He, J. H., & Wu, X. H. (2006). Exp-function method for nonlinear wave equations. *Chaos, Solitons & Fractals*, 30(3), 700-708.
- Hirota, R. (2004). *The direct method in soliton theory* (No. 155). Cambridge University Press.
- Hosseini, K., Sadri, K., Mirzazadeh, M., Chu, Y. M., Ahmadian, A., Pansera, B. A., & Salahshour, S. (2021). A high-order nonlinear Schrödinger equation with the weak non-local nonlinearity and its optical solitons. *Results in Physics*, 23, 104035.
- Hossen, M. B., Roshid, H. O., & Ali, M. Z. (2017). Modified double sub-equation method for finding complexiton solutions to the (1+ 1) dimensional nonlinear evolution equations. *International Journal of Applied and Computational Mathematics*, 3(Suppl 1), 679-697.
- Isidore, N. (1996). Exact solutions of a nonlinear dispersive-dissipative equation. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 29(13), 3679.
- Islam, M. T., Akbar, M. A., & Azad, A. K. (2015). A rational (G'/G)-expansion method and its application to modified KdV-Burgers equation and the (2+ 1)-dimensional Boussinesq equation. *Nonlinear Stud*, 6(4), 1-11.
- Kakutani, T., & Kawahara, T. (1970). Weak ion-acoustic shock waves. *Journal of the Physical Society of Japan*, 29(4), 1068-1073.
- Malfliet, W. (1992). Solitary wave solutions of nonlinear wave equations. *American journal of physics*, 60(7), 650-654.
- Matveev, V. B., & Salle, M. A. (1991). *Darboux transformations and solitons* (Vol. 17). Berlin: Springer.
- Mohyud-Din, S. T., Noor, M. A., & Noor, K. I. (2009). Modified variational iteration method for solving Sine Gordon equations. *World Appl. Sci. J*, 6(7), 999-1004.
- Parkes, E. J., & Duffy, B. R. (1996). An automated tanh-function method for finding solitary wave solutions to non-linear evolution equations. *Computer physics communications*, 98(3), 288-300.
- Salahshour, S., Hosseini, K., Mirzazadeh, M., Ahmadian, A., Baleanu, D., & Khoshrang, A. (2021). The (2+ 1)-dimensional Heisenberg ferromagnetic spin chain equation: its solitons and Jacobi elliptic function solutions. *The European Physical Journal Plus*, 136(2), 1-9.

- Vakhnenko, V. O., Parkes, E. J., & Morrison, A. J. (2003). A Bäcklund transformation and the inverse scattering transform method for the generalised Vakhnenko equation. *Chaos, Solitons & Fractals*, 17(4), 683-692.
- Wang, M., Li, X., & Zhang, J. (2008). The (G' G)-expansion method and travelling wave solutions of nonlinear evolution equations in mathematical physics. *Physics Letters A*, 372(4), 417-423.
- Wazwaz, A. M. (2004). A sine-cosine method for handling nonlinear wave equations. *Mathematical and Computer modelling*, 40(5-6), 499-508.
- Zhu, Z. N. (1993). Lax pair, Bäcklund transformation, solitary wave solution and finite conservation laws of the general KP equation and MKP equation with variable coefficients. *Physics Letters A*, 180(6), 409-412.



Araştırma Makalesi / Research Article

GREINER OPERATÖRÜYLE İLİŞKİLİNDİRİLMİŞ HIZLI DİFÜZYON DENKLEMİ VE BAZI İNTEGRAL EŞİTSİZLİKLERİ*

FAST DIFFUSION EQUATIONS AND SOME INTEGRAL INEQUALITIES RELATED TO GREINER OPERATOR

Ahmet Uğur UTKU¹

Abdullah YENER²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1391212>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
augur.utku@ticaret.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
15.11.2023

Kabul Tarihi / Accepted
03.04.2024

Öz

Bu makalenin öncelikli amacı, Greiner vektör alanlarıyla ilişkilendirilmiş Carnot-Carathéodory uzayındaki düzgün sınırlara sahip sınırlı bir Ω bölgesinde,

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla_k \cdot (A(\omega) \nabla_k u^m) + V(\omega) u^m, & \Omega \times (0, T), \\ u(\omega, t) = 0, & \partial\Omega \times (0, T), \\ u(\omega, 0) = u_0(\omega) \geq 0, & \Omega \end{cases}$$

doğrusal olmayan parabolik probleminin pozitif çözümünün yokluğunun araştırılmasıdır. Burada, $0 < m < 1$, $V \in L^1_{loc}(\Omega)$ ve $0 < A(\omega) \in L^1_{loc}(\Omega)$ 'dır. Bu makalenin diğer bir amacı ise Greiner operatörü ile ilişkilendirilmiş radyal olmayan ağırlıklı bazı Hardy tipi eşitsizlikler elde etmektir.

Anahtar Kelimeler: Greiner operatör, Hardy tipi eşitsizlikler, hızlı difüzyon denklemi, pozitif çözümün yokluğu.

Abstract

The primary goal of this article is to investigate nonexistence of positive solutions to the following nonlinear parabolic problem:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla_k \cdot (A(\omega) \nabla_k u^m) + V(\omega) u^m & \text{in } \Omega \times (0, T), \\ u(\omega, t) = 0 & \text{on } \partial\Omega \times (0, T), \\ u(\omega, 0) = u_0(\omega) \geq 0 & \text{in } \Omega. \end{cases}$$

Here, $0 < m < 1$, $V \in L^1_{loc}(\Omega)$, $0 < A(\omega) \in L^1_{loc}(\Omega)$ and Ω is a bounded domain with smooth boundary in Carnot-Carathéodory space related with the Greiner vector fields. Another aim of this article is to obtain some Hardy type inequalities with non-radial weights related to Greiner operator.

Keywords: Fast diffusion equation, Greiner operator, Hardy type inequalities, nonexistence of positive solutions.

*Bu yayın Ahmet Uğur UTKU isimli öğrencinin İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Programı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

¹İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
augur.utku@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-5684-2309.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Matematik Bölümü, İstanbul, Türkiye.
ayener@ticaret.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-9349-5166.

1. GİRİŞ

Bu makalede öncelikle, Greiner vektör alanlarıyla ilişkilendirilmiş Carnot-Carathéodory uzayındaki düzgün sınırlara sahip sınırlı bir Ω bölgesinde,

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla_k \cdot (A(\omega)\nabla_k u^m) + V(\omega)u^m, & \Omega \times (0, T), \\ u(\omega, t) = 0, & \partial\Omega \times (0, T), \\ u(\omega, 0) = u_0(\omega) \geq 0, & \Omega \end{cases} \quad (1)$$

şeklindeki doğrusal olmayan hızlı difüzyon probleminin pozitif çözümünün hangi şartlar altında mevcut olmadığı incelenmiştir. Burada, $0 < m < 1$, $V(\omega) \in L^1_{loc}(\Omega)$ ve $0 < A(\omega) \in L^1_{loc}(\Omega)$ olmak üzere, $\nabla_k = (X_1, \dots, X_n, Y_1, \dots, Y_n)$ Greiner gradyan vektörüdür.

$$X_j = \frac{\partial}{\partial x_j} + 2ky_j|z|^{2k-2} \frac{\partial}{\partial l} \quad \text{ve} \quad Y_j = \frac{\partial}{\partial y_j} - 2kx_j|z|^{2k-2} \frac{\partial}{\partial l}$$

operatörleri ise, $k \geq 1$, $l \in \mathbb{R}$ ve $j = 1, 2, \dots, n$ olmak üzere, Greiner vektör alanlarını temsil etmektedir. Bu uzayda bir nokta $\omega = (z, l) = (x, y, l) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}$ şeklinde ifade edilir ve $|z| = \sqrt{|x|^2 + |y|^2} = \sqrt{x_1^2 + \dots + x_n^2 + y_1^2 + \dots + y_n^2}$ olarak verilir.

Bu çalışmada ayrıca, Greiner vektör alanlarıyla ilişkilendirilmiş Carnot-Carethéodory uzayında, radyal olmayan ağırlık fonksiyonlarına sahip bazı L^p Hardy tipi eşitsizlikler elde edilmiştir. Elde edilen eşitsizlikler şu şekildedir: $\phi \in C_0^\infty(\Omega)$ ve $p > 1$ olsun. Bu durumda,

$$\int_{\Omega} \cos h^\alpha y_1 |\nabla_k \phi|^p d\omega \geq (p-1) \int_{\Omega} \frac{\cos h^\alpha y_1}{x_1^p \log^{p-1} x_1} |\phi|^p d\omega$$

eşitsizliği $\Omega = \{\omega = (x, y, l) \in \mathbb{R}^{2n+1} : x_1 > 1\}$ ve $\alpha \in \mathbb{R}$ iken;

$$\int_{\Omega} e^{-px_1} |\nabla_k \phi|^p d\omega \geq \int_{\Omega} e^{-px_1} |\phi|^p d\omega$$

eşitsizliği de $\Omega \subset \mathbb{R}^{2n+1}$ sınırlı bir bölge olmak üzere geçerlidir.

(1) problemi özel hallerde birçok önemli problemi içinde barındırır. Şimdi, çalışmamıza motivasyon kaynağı olan, bu önemli problemlerin bazılarında bahsedilecektir. Orijinde tekillığe sahip, pozitif $V \in L^1_{loc}(\mathbb{R}^n \setminus \{0\})$ potansiyelli

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \Delta u + V(x)u, \quad x \in \mathbb{R}^n, \quad t \geq 0 \quad (2)$$

şeklindeki ısı denklemi verilsin. H. Brézis ve J. L. Lions “(2) ısı probleminde bir çözümün mevcut olmaması için $V(x)$ potansiyeli ne kadar tekil olmalıdır? sorusunu ortaya atmıştır. Baras ve Goldstein (1984), bu soruya bir cevap niteliğinde, aşağıda ifade edilen, ters kare potansiyeli içeren doğrusal ısı problemini düzgün sınırlara sahip sınırlı bir $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ bölgesinde ele almıştır.

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \Delta u + \frac{c}{|x|^2} u, & \Omega \times (0, T), \\ u(x, t) = 0, & \partial\Omega \times (0, T), \\ u(x, 0) = u_0(x) \geq 0, & \Omega. \end{cases} \quad (3)$$

Bu problemde, eğer $c > \left(\frac{n-2}{2}\right)^2$ ise, $u \equiv 0$ haricinde, pozitif çözüm yoktur. Pozitif çözümün varlığı ise ancak $c \leq \left(\frac{n-2}{2}\right)^2$ olması ile mümkündür. Buradaki $\left(\frac{n-2}{2}\right)^2$ sabiti L^2 Hardy eşitsizliğindeki en iyi sabittir. Öklid uzayındaki L^2 Hardy eşitsizliği şu şekilde ifade edilir:

$$\int_{\mathbb{R}^n} |\nabla \phi(x)|^2 dx \geq \left(\frac{n-2}{2}\right)^2 \int_{\mathbb{R}^n} \frac{|\phi(x)|^2}{|x|^2} dx, \quad n \geq 3, \quad \forall \phi \in C_0^\infty(\mathbb{R}^n).$$

Ayrıca, $n = 1, 2$ olduğunda, eşitsizlik her $\phi \in C_0^\infty(\mathbb{R}^n \setminus \{0\})$ için geçerlidir. Kısmi diferansiyel denklemlerin çözümlerinin incelenmesinde Hardy tipi eşitsizliklerin rolü oldukça kritiktir.

(3) problemi birçok çalışmaya ilham kaynağı olmuştur. Örneğin, Cabre ve Martel (1999), (3) probleminin pozitif genel tekil potansiyelli halini incelemiştir. Diğer yandan, Azorero ve Alonso (1998), (3) problemini sınırlı bölgeler için aşağıdaki doğrusal olmayan p -Laplace problemine genişletmiştir.

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \operatorname{div}(|\nabla u|^{p-2} \nabla u) + \frac{\lambda}{|x|^p} u^{p-1}, & \Omega \times (0, T), \\ u(x, t) = 0, & \partial\Omega \times (0, T), \\ u(x, 0) = u_0(x) \geq 0, & \Omega. \end{cases}$$

Burada, $\Omega \subset \mathbb{R}^n$ düzgün sınırlara sahip sınırlı bir bölge, $0 \in \Omega$, $\lambda > 0$ ve $1 < p < n$ 'dir. Doğrusal olmayan bu problemin çözümünün varlığı p kuvvetinin aralığına ve L^p Hardy eşitsizliğindeki en iyi sabit olan $\left(\frac{n-p}{p}\right)^p$ değerine bağlıdır. L^p Hardy eşitsizliği, $1 \leq p < n$ ise $\phi \in C_0^\infty(\mathbb{R}^n)$ ve $p > n$ ise $\phi \in C_0^\infty(\mathbb{R}^n \setminus \{0\})$ için geçerlidir ve şu şekilde ifade edilir (Shen, 1980):

$$\int_{\mathbb{R}^n} |\nabla \phi(x)|^p dx \geq \left(\frac{n-p}{p}\right)^p \int_{\mathbb{R}^n} \frac{|\phi(x)|^p}{|x|^p} dx.$$

Daha sonra, Goldstein ve Kömbe (2003) yılındaki çalışmalarında, Cabre ve Martel'in doğrusal problemler için uyguladığı tekniğin doğrusal olmayan problemler için de uygulanabilir olduğunu aşağıdaki problem üzerinde göstermiştir.

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \Delta(u^m) + V(x)u^m, & \Omega \times (0, T), \\ u(x, t) = 0, & \partial\Omega \times (0, T), \\ u(x, 0) = u_0(x) \geq 0, & \Omega. \end{cases} \quad (4)$$

Burada $0 < m < 1$, $V \in L_{loc}^1(\Omega)$ ve Ω, \mathbb{R}^n 'de düzgün sınırlara sahip sınırlı bir bölgedir. Bunların yanında, Goldstein ve ark. (2005), (4) probleminin bir genişlemesi olan, tekil potansiyelli ve kritik üsse sahip

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \operatorname{div}(|x|^{-2\lambda} \nabla u^m) + V(x)u^m, & \Omega \times (0, T), \\ u(x, t) = 0, & \partial\Omega \times (0, T), \\ u(x, 0) = u_0(x) \geq 0, & \Omega \end{cases}$$

doğrusal olmayan parabolik probleminin pozitif çözümünün yokluğunu araştırmışlardır.

Öklid uzayında yapılan tüm bu çalışmalar ışığında, Kömbe (2006) yılındaki yaptığı çalışmayla (4) lineer olmayan hızlı difüzyon problemini Greiner vektör alanlarıyla ilişkilendirilmiş Carnot-Carathéodory uzayına taşımıştır. Problem açıkça şu şekilde verilir:

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \Delta_k(u^m) + V(\omega)u^m, & \Omega \times (0, T), \\ u(\omega, t) = 0, & \partial\Omega \times (0, T), \\ u(\omega, 0) = u_0(\omega) \geq 0, & \Omega. \end{cases}$$

Burada, Ω , \mathbb{R}^{2n+1} uzayında düzgün sınırlara sahip sınırlı bir bölge, $0 < m < 1$, $V \in L^1_{loc}(\Omega)$ ve $\Delta_k = \sum_{j=1}^n (X_j^2 + Y_j^2)$ Greiner alt-Laplace operatörüdür.

Bu makale dört bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde konuyla ilgili literatür çalışması verilmiştir. İkinci bölümde, Greiner operatörü ile ilgili temel tanım ve kavramlar ifade edilmiştir. Üçüncü bölüm, (1) doğrusal olmayan hızlı difüzyon probleminin genelleşmiş pozitif yerel çözümlerinin yokluğu ile ilgili teoremin ispatına ayrılmıştır. Son bölümde ise Δ_k operatörü ile ilişkili radyal olmayan ağırlık fonksiyonlarına sahip L^p Hardy tipi eşitsizlikler elde edilmiştir.

2. ÖN BİLGİLER

Bu bölümde, Greiner operatörü ile ilgili temel tanım ve kavramlar verilecektir. Daha detaylı bilgi için (Yener, 2018; Kömbe, 2006) referanslarına bakınız.

Greiner vektör alanlarıyla ilişkilendirilmiş Carnot-Carathéodory uzayında bir nokta, $n \geq 1$ olmak üzere,

$$\omega = (z, l) = (x, y, l) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}$$

şeklinde gösterilir. Greiner vektör alanları ise şu şekilde tanımlanır (Greiner, 1979):

$$X_j = \frac{\partial}{\partial x_j} + 2ky_j |z|^{2k-2} \frac{\partial}{\partial l}, \quad Y_j = \frac{\partial}{\partial y_j} - 2kx_j |z|^{2k-2} \frac{\partial}{\partial l}. \quad (5)$$

Burada, $j = 1, 2, \dots, n$, $k \geq 1$, $l \in \mathbb{R}$ ve $|z| = \sqrt{x_1^2 + \dots + x_n^2 + y_1^2 + \dots + y_n^2}$ olarak verilir. (5) vektör alanları herhangi $k \in \mathbb{N}$ değeri için Hörmander koşulunu sağlar (Hörmander, 1967). Greiner vektör alanlarına ilişkilendirilmiş gradyan vektörü ve Greiner alt-Laplace operatörü, sırasıyla, şu şekilde ifade edilir:

$$\nabla_k = (X_1, \dots, X_n, Y_1, \dots, Y_n) \quad (6)$$

ve

$$\Delta_k = \nabla_k \cdot \nabla_k = \sum_{j=1}^n (X_j^2 + Y_j^2). \quad (7)$$

(6) gradyan operatörü \mathbb{R}^{2n+1} 'deki her nokta için $2n$ -boyutlu bir vektör alanı oluşturur. $k = 1$ durumunda Δ_k operatörü H^n Heisenberg grubu üzerinde tanımlı Δ_{H^n} Kohn-Laplace operatörüne indirgenir (Folland, 1973). (7) Greiner alt-Laplace operatörünün açıkça yazılmış haldeki ifadesi şu şekildedir:

$$\Delta_k = \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial^2}{\partial x_j^2} + \frac{\partial^2}{\partial y_j^2} \right) + 4k^2 |z|^{2k-2} \frac{\partial^2}{\partial l^2} + 4k |z|^{2k-2} \frac{\partial}{\partial l} \sum_{j=1}^n \left(y_j \frac{\partial}{\partial x_j} - x_j \frac{\partial}{\partial y_j} \right).$$

Detaylı bilgi için (Beals ve ark., 1986; Greiner, 1979) çalışmaları incelenebilir.

\mathbb{R}^{2n+1} 'deki bir ω noktasının orijine olan uzaklığı

$$\rho = \rho(\omega) = \rho(z, l) = (|z|^{4k} + l^2)^{\frac{1}{4k}}$$

olarak tanımlanır. ρ fonksiyonu, Δ_k Greiner alt-Laplace operatörünün orijindeki temel çözümüyle yakından ilişkilidir (Niu, ve ark., 2003). Δ_k operatörüyle ilişkilendirilmiş dilatasyon dönüşümü

$$\delta_\lambda(z, l) = (\lambda z, \lambda^{2k} l), \quad \lambda > 0$$

olarak verilir. Dilatasyon dönüşümü, \mathbb{R}^{2n+1} 'deki bir cismin şeklini değiştirmeyecek biçimde daraltma ya da genişletme işini yapan dönüşümdür. Lebesgue ölçüsü için değişken dönüşümü formülü kullanılırsa

$$d\delta_\lambda(z, l) = \lambda^Q dz dl = \lambda^Q d\omega$$

eşitliği elde edilir ve bu eşitlikte yer alan

$$Q := 2n + 2k$$

sabitine \mathbb{R}^{2n+1} 'in δ_λ dönüşümüne göre homojen boyutu denir. Öklid uzayında n sayısının üstlendiği rolü Greiner vektör alanlarıyla ilişkilendirilmiş Carnot-Carathéodory uzayında Q sayısı üstlenir.

Herhangi iki $\omega_1, \omega_2 \in \mathbb{R}^{2n+1}$ noktası arasındaki uzaklığı veren d_{cc} Carnot-Carathéodory uzaklık fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$d_{cc}(\omega_1, \omega_2) = \inf_{\varphi} \int_0^1 \langle \varphi'(t), \varphi'(t) \rangle^{\frac{1}{2}} dt.$$

Buradaki infimum değeri, $\varphi(0) = \omega_1$, $\varphi(1) = \omega_2$ ve

$$\varphi'(t) \in \text{span}\{X_1(\varphi(t)), \dots, X_n(\varphi(t)), Y_1(\varphi(t)), \dots, Y_n(\varphi(t))\}$$

şartlarını sağlayan tüm φ eğrileri üzerinden alınmıştır. Bu uzaklık fonksiyonu yardımı ile merkezi orijin, yarıçapı R olan Carnot-Carathéodory metrik yuvarı

$$B_R = \{\omega \in \mathbb{R}^{2n+1} : d_{cc}(\omega, 0) < R\}$$

şeklinde ifade edilir (Nagel ve ark., 1985).

3. GREINER VEKTÖR ALANLARINDA HIZLI DİFÜZYON DENKLEMİ

Bu bölümde, aşağıda ifade edilen Greiner vektör alanlarındaki doğrusal olmayan hızlı difüzyon probleminin genelleşmiş pozitif yerel çözümleri ile ilgilenilecektir.

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla_k \cdot (A(\omega) \nabla_k u^m) + V(\omega) u^m, & \Omega \times (0, T), \\ u(\omega, t) = 0 & \partial\Omega \times (0, T), \\ u(\omega, 0) = u_0(\omega) \geq 0, & \Omega. \end{cases} \quad (8)$$

Burada, Ω , \mathbb{R}^{2n+1} uzayında düzgün sınıra sahip sınırlı bir bölge, N ise Ω bölgesinde Lebesgue ölçüsü sıfır olan kapalı bir alt küme, $V(\omega)$ fonksiyonu ve pozitif $A(\omega)$ fonksiyonu $L^1_{loc}(\Omega \setminus N)$ sınıfından birer potansiyel fonksiyon ve $\frac{Q-2}{Q} \leq m < 1$ 'dir.

Genelleşmiş pozitif yerel çözüm kavramı şu şekilde tanımlanmaktadır.

Tanım 3.1 (Kömbe, 2006). Aşağıdaki özellikleri sağlayan çözüme, N 'nin dışında kalan, sürekli yerel pozitif çözüm denir.

- (i) N, Ω bölgesinde Lebesgue ölçüsü sıfır olan kapalı bir alt küme,
- (ii) $u: [0, T) \rightarrow L^1(\Omega)$ fonksiyonu bazı $T > 0$ değerleri için sürekli,
- (iii) $(\omega, t) \rightarrow u(\omega, t) \in C((\Omega \setminus N) \times (0, T))$,
- (iv) $(\Omega \setminus N) \times (0, T)$ bölgesi üzerinde $u(\omega, t) > 0$,
- (v) $\lim_{t \rightarrow 0} u(\cdot, t) = u_0$,
- (vi) $\nabla_k u \in L^2_{loc}(\Omega \setminus N)$ ve u , (8) kısmi diferansiyel denkleminin genelleşmiş manadaki bir çözümünü olsun.

Uyarı 3.1 $N_0, \Omega \setminus N$ bölgesinde kompakt bir alt küme ve $0 < t_1 < t_2 < T$ ise $(\omega, t) \in N_0 \times [t_1, t_2]$ olur ve bazı $\varepsilon > 0$ değerleri için $u(\omega, t) \geq \varepsilon > 0$ ilişkisi sağlanır. Böylelikle, (iii) ve (iv) koşulları şu şekilde zayıflatılabilir:

- (iii)' $u(\omega, t)$ pozitif ve $(\Omega \setminus N) \times (0, T)$ bölgesinde yerel sınırlı,
- (iv)' $(\Omega \setminus N) \times (0, T)$ bölgesinde $\frac{1}{u(\omega, t)}$ yerel sınırlıdır.

Eğer u çözümü, (i), (ii), (iii)', (iv)', (v) ve (vi) maddelerindeki koşulları sağlıyorsa N 'nin dışında kalan genelleştirilmiş yerel pozitif çözüm olarak ifade edilir. Bu çözüm, N 'nin dışında kalan sürekli yerel pozitif çözümden daha genel olup, eğer $N = \emptyset$ ise, genelleşmiş pozitif yerel çözüm olarak adlandırılır (Kömbe, 2006).

Biraz sonra verilecek olan teoremin ispatında gerekli olan ağırlıklı Sobolev tipi bir eşitsizlik ifade edilecektir.

Önerme 3.1 $\Omega, \mathbb{R}^{2n+1}$ 'de düzgün sınırlara sahip sınırlı bir bölge, $1 < p < Q$, $A \in L^{\frac{Q}{p}}(\Omega)$ ve $\phi \in C_0^\infty(\Omega)$ olsun. Herhangi $\varepsilon \in (0,1)$ sayısı için

$$\left| \int_{\Omega} A(\omega) |\phi|^p d\omega \right| \leq \frac{\varepsilon}{2(1-\varepsilon)} \int_{\Omega} |\nabla_k \phi|^p d\omega + S(\varepsilon) \int_{\Omega} |\phi|^p d\omega$$

eşitsizliğini sağlayan pozitif bir $S(\varepsilon)$ sabiti vardır (Kömbe, 2006).

Şimdi (8) doğrusal olmayan hızlı difüzyon probleminin pozitif çözümünün yokluğu için elde edilen teorem ispatıyla birlikte verilecektir.

Teorem 3.1 $\Omega, \mathbb{R}^{2n+1}$ 'de düzgün sınırlara sahip sınırlı bir bölge, N, Ω 'da Lebesgue ölçüsü sıfır olan kapalı bir alt küme ve $Q = 2(n+k)$ olsun. $\frac{Q-2}{Q} \leq m < 1$, $0 < A(\omega) \in L^1_{loc}(\Omega \setminus N)$ ve $V(\omega) \in L^1_{loc}(\Omega \setminus N)$ olmak üzere,

$$R_\phi := \frac{\int_{\Omega} (\varepsilon + A(\omega)) |\nabla_k \phi|^2 d\omega - \int_{\Omega} V(\omega) |\phi|^2 d\omega}{\int_{\Omega} |\phi|^2 d\omega}$$

olsun. Eğer bazı $\varepsilon > 0$ değerleri için

$$\inf\{R_\phi : 0 \neq \phi \in C_0^\infty(\Omega \setminus N)\} = -\infty \quad (9)$$

oluyorsa, (8) doğrusal olmayan hızlı difüzyon probleminin N 'nin dışında kalan genelleşmiş pozitif yerel çözümü yoktur.

İspat. Teoremin kanıtı çelişki yöntemine dayanmaktadır. Keyfi bir $T > 0$ sabiti verilsin. $u: [0, T] \rightarrow L^1(\Omega)$ fonksiyonu $(\Omega \setminus N) \times (0, T)$ bölgesinde (8) probleminin genelleşmiş pozitif yerel çözümü olsun. Ayrıca, $u_0 \geq 0$ ancak $u_0 \not\equiv 0$ olsun. $\phi \in C_0^\infty(\Omega \setminus N)$ olmak üzere,

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \nabla_k \cdot (A(\omega) \nabla_k u^m) + V(\omega) u^m$$

denkleminin her iki yanını $\frac{\phi^2}{u^m}$ test fonksiyonu ile çarpılırsa,

$$\frac{\partial u}{\partial t} \left(\frac{\phi^2}{u^m} \right) = \frac{\phi^2}{u^m} \nabla_k \cdot (A(\omega) \nabla_k u^m) + V(\omega) \phi^2$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade Ω bölgesi üzerinde integre edilirse

$$\frac{1}{1-m} \frac{d}{dt} \int_{\Omega} u^{1-m} \phi^2 d\omega = \int_{\Omega} (\nabla_k \cdot (A(\omega) \nabla_k u^m)) \frac{\phi^2}{u^m} d\omega + \int_{\Omega} V(\omega) \phi^2 d\omega \quad (10)$$

eşitliği bulunur. Daha sonra, bu eşitliğin sağındaki ilk terim için kısmi integrasyon uygulanıp gerekli türev alma işlemleri yapıldığında,

$$\begin{aligned} \int_{\Omega} (\nabla_k \cdot (A(\omega) \nabla_k u^m)) \frac{\phi^2}{u^m} d\omega &= - \int_{\Omega} A(\omega) |\nabla_k \phi|^2 d\omega + \int_{\Omega} A(\omega) \left| m \frac{\phi}{u} \nabla_k u - \nabla_k \phi \right|^2 d\omega \\ &\geq - \int_{\Omega} A(\omega) |\nabla_k \phi|^2 d\omega \end{aligned} \quad (11)$$

eşitsizliğine ulaşılır. (10) ve (11) ifadeleri birleştirildiğinde

$$\frac{1}{1-m} \frac{d}{dt} \int_{\Omega} u^{1-m} \phi^2 d\omega \geq \int_{\Omega} V(\omega) \phi^2 d\omega - \int_{\Omega} A(\omega) |\nabla_k \phi|^2 d\omega \quad (12)$$

eşitsizliği elde edilir. $0 < t_1 < t_2 < T$ olmak üzere, (12) eşitsizliği $t = t_1$ 'den $t = t_2$ 'ye kadar integrale edilirse aşağıdaki eşitsizlik elde edilir:

$$\frac{1}{(1-m)(t_2 - t_1)} \int_{\Omega} (u^{1-m}(\omega, t_2) - u^{1-m}(\omega, t_1)) \phi^2 d\omega \geq \int_{\Omega} V(\omega) \phi^2 d\omega - \int_{\Omega} A(\omega) |\nabla_k \phi|^2 d\omega.$$

Bu aşamada, $\frac{Q-2}{Q} \leq m < 1$ olduğu dikkate alınarak, $f(u) = u^{\frac{(1-m)Q}{2}}$ konkav fonksiyonu için Jensen eşitsizliği uygulanırsa, $i = 1, 2$ olmak üzere,

$$\int_{\Omega} (u(\omega, t_i))^{\frac{(1-m)Q}{2}} d\omega \leq C(|\Omega|) \left(\int_{\Omega} u(\omega, t_i) d\omega \right)^{\frac{(1-m)Q}{2}}$$

sonucu elde edilir. Ω sınırlı bir bölge ve $u(\omega, t_i) \in L^1(\Omega)$ olduğundan

$$C(|\Omega|) \left(\int_{\Omega} u(\omega, t_i) d\omega \right)^{\frac{(1-m)Q}{2}}$$

integrali sonludur. Dolayısıyla, $i = 1, 2$ için

$$u^{1-m}(\omega, t_i) \in L^{\frac{Q}{2}}(\Omega)$$

olur. Buradan

$$(u^{1-m}(\omega, t_2) - u^{1-m}(\omega, t_1)) \in L^{\frac{Q}{2}}(\Omega)$$

olacağı aşikardır. Şimdi, $u^{1-m}(\omega, t_2) - u^{1-m}(\omega, t_1)$ fonksiyonu için, Önerme 3.1'de ifade edilen ağırlıklı Sobolev tipi eşitsizlik kullanılırsa, herhangi $\varepsilon \in (0, 1)$ değeri için

$$\varepsilon \int_{\Omega} |\nabla_k \phi|^2 d\omega + S(\varepsilon) \int_{\Omega} \phi^2 d\omega \geq \frac{1}{(1-m)(t_2 - t_1)} \int_{\Omega} (u^{1-m}(\omega, t_2) - u^{1-m}(\omega, t_1)) \phi^2 d\omega$$

eşitsizliğinin sağlandığı pozitif bir $S(\varepsilon)$ sayısının olduğu görülür. Böylelikle,

$$\varepsilon \int_{\Omega} |\nabla_k \phi|^2 d\omega + S(\varepsilon) \int_{\Omega} \phi^2 d\omega \geq \int_{\Omega} V(\omega) \phi^2(\omega) d\omega - \int_{\Omega} A(\omega) |\nabla_k \phi|^2 d\omega$$

eşitsizliği ve dolayısıyla

$$R_{\phi} = \frac{\int_{\Omega} (\varepsilon + A(\omega)) |\nabla_k \phi|^2 d\omega - \int_{\Omega} V(\omega) \phi^2 d\omega}{\int_{\Omega} \phi^2 d\omega} \geq -S(\varepsilon)$$

ilişkisi elde edilir. $S(\varepsilon)$ pozitif bir reel sayı olduğundan, R_{ϕ} Rayleigh oranı alttan sınırlıdır ve dolayısıyla sonlu bir infimum değerine sahiptir. Buradan

$$\inf\{R_{\phi}: 0 \neq \phi \in C_0^{\infty}(\Omega \setminus N)\} \neq -\infty$$

sonucu elde edilir ki bu Teorem 3.1'de verilen (9) varsayımı ile çelişir ve böylelikle ispat tamamlanmış olur.

4. GREINER OPERATÖRÜ İLE İLİŞKİLENDİRİLMİŞ HARDY EŞİTSİZLİKLERİ

\mathbb{R}^n 'de L^p Hardy eşitsizliği, $\phi \in C_0^{\infty}(\mathbb{R}^n)$ ve $1 \leq p < n$ olmak üzere,

$$\int_{\mathbb{R}^n} |\nabla \phi|^p dx \geq \left(\frac{n-p}{p}\right)^p \int_{\mathbb{R}^n} \frac{|\phi|^p}{|x|^p} dx \quad (13)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki $\left(\frac{n-p}{p}\right)^p$ sabiti en iyi sabittir. (13) Hardy eşitsizliği Greiner vektör alanlarına Zhang ve Niu (2003) tarafından genelleştirilmiştir: $\phi \in C_0^{\infty}(\mathbb{R}^{2n+1} \setminus \{0\})$ fonksiyonu ve $1 < p < Q$ değerleri için

$$\int_{\mathbb{R}^{2n+1}} |\nabla_k \phi|^p d\omega \geq \left(\frac{Q-p}{p}\right)^p \int_{\mathbb{R}^{2n+1}} \left(\frac{|z|}{\rho}\right)^{p(2k-1)} \left(\frac{|\phi|}{\rho}\right)^p d\omega \quad (14)$$

eşitsizliği geçerlidir.

D'Ambrosio (2005) yılındaki, Δ_k operatörünü de içeren, ikinci mertebeden yarı-lineer dejenere operatörler ile ilgili çalışmasında ağırlıklı Hardy tipi eşitsizlikler elde etmiştir. Daha sonra, Niu ve ark. (2010) yılında yaptıkları çalışmada (14) eşitsizliğinin ağırlıklı halini ispatlamıştır. Bu eşitsizlik şu şekildedir:

$$\int_{\mathbb{R}^{2n+1}} \rho^{\alpha p} |\nabla_k \phi|^p d\omega \geq \left|\frac{Q + \alpha p - p}{p}\right|^p \int_{\mathbb{R}^{2n+1}} \rho^{\alpha p} \left(\frac{|z|}{\rho}\right)^{p(2k-1)} \frac{|\phi|^p}{\rho^p} d\omega \quad (15)$$

Burada, $\phi \in C_0^{\infty}(\mathbb{R}^{2n+1} \setminus \{0\})$, $Q > 3$, $\alpha \in \mathbb{R}$, $Q \neq p$ ve $Q + \alpha p - p > 0$ şeklindedir. Ayrıca, $\left|\frac{Q + \alpha p - p}{p}\right|^p$ sabiti (15) eşitsizliği için en iyi sabittir.

Bunların yanında, Lian (2013) yılındaki çalışmasında (15) eşitsizliğinin farklı bir formunu ispatlamıştır. Ahmetolan ve Kömbe (2016), Δ_k Greiner operatörüne ilişkilendirilmiş iki ağırlıklı Hardy tipi eşitsizlikler elde etmiştir. Daha sonra, Yener (2018) Greiner vektör alanında genel ağırlıklı L^p Hardy tipi eşitsizlikler elde etmek için kullanılan etkili bir yöntem tanıtmıştır. Bu yöntem aşağıdaki teorem ile ifade edilmiştir.

Teorem 4.1 $A \in C^1(\mathbb{R}^{2n+1})$ ve $B \in L^1_{loc}(\mathbb{R}^{2n+1})$ negatif olmayan iki fonksiyon olsun. Hemen hemen her $\omega \in \mathbb{R}^{2n+1}$ için pozitif $f \in C^\infty(\mathbb{R}^{2n+1})$ fonksiyonu

$$-\nabla_k \cdot (A|\nabla_k f|^{p-2} \nabla_k f) \geq Bf^{p-1}$$

diferansiyel eşitsizliğini sağlıyorsa, $p > 1$ ve $\phi \in C_0^\infty(\mathbb{R}^{2n+1})$ olmak üzere,

$$\int_{\mathbb{R}^{2n+1}} A(\omega) |\nabla_k \phi(\omega)|^p d\omega \geq \int_{\mathbb{R}^{2n+1}} B(\omega) |\phi(\omega)|^p d\omega$$

genel ağırlıklı L^p Hardy tipi eşitsizlik geçerlidir (Yener, 2018).

Şimdi, yukarıda ifade edilen Teorem 4.1'den faydalanarak, radyal olmayan ağırlık fonksiyonlarına sahip bazı L^p Hardy tipi eşitsizlikler ispatlarıyla verilecektir.

Teorem 4.2 $\Omega = \{\omega = (x, y, l) \in \mathbb{R}^{2n+1}; x_1 > 1\}$, $\alpha \in \mathbb{R}$ ve $p > 1$ olmak üzere,

$$\int_{\Omega} \cos h^\alpha y_1 |\nabla_k \phi|^p d\omega \geq (p-1) \int_{\Omega} \frac{\cos h^\alpha y_1}{x_1^p \log^{p-1} x_1} |\phi|^p d\omega$$

eşitsizliği herhangi $\phi \in C_0^\infty(\Omega)$ fonksiyonu için sağlanır.

İspat. $x_1 > 1$ ve $\alpha \in \mathbb{R}$ olmak üzere, Teorem 4.1'de $A(\omega) = \cos h^\alpha y_1$ ve $f(\omega) = \log x_1$ seçimi yapılımsın. Seçilen fonksiyonlar X_j ve Y_j Greiner vektör alanlarıyla işleme sokulduğunda,

$$X_j(\log x_1) = \left(\frac{\partial}{\partial x_j} + 2ky_j |z|^{2k-2} \frac{\partial}{\partial l} \right) (\log x_1) = \frac{\partial}{\partial x_j} (\log x_1) = \begin{cases} \frac{1}{x_1}, & j = 1, \\ 0, & j \neq 1 \end{cases}$$

ve

$$Y_j(\log x_1) = \left(\frac{\partial}{\partial y_j} - 2kx_j |z|^{2k-2} \frac{\partial}{\partial l} \right) (\log x_1) = 0, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n$$

olduğundan,

$$\nabla_k(\log x_1) = \left(\frac{1}{x_1}, 0, 0, \dots, 0 \right)$$

olarak bulunur ve dolayısıyla

$$|\nabla_k(\log x_1)|^{p-2} = x_1^{2-p}$$

olur. Buradan

$$\begin{aligned}
-\nabla_k \cdot (A|\nabla_k f|^{p-2}\nabla_k f) &= -\nabla_k \cdot \left(\frac{\cos h^\alpha y_1}{x_1^{p-1}}, 0, \dots, 0 \right) \\
&= -X_1 \left(\frac{\cos h^\alpha y_1}{x_1^{p-1}} \right) \\
&= - \left(\frac{\partial}{\partial x_1} + 2ky_1|z|^{2k-2} \frac{\partial}{\partial l} \right) \left(\frac{\cos h^\alpha y_1}{x_1^{p-1}} \right) \\
&= -\cos h^\alpha y_1 \frac{\partial}{\partial x_1} (x_1^{1-p}) \\
&= (p-1) \frac{\cos h^\alpha y_1}{x_1^p \log^{p-1} x_1} f^{p-1}
\end{aligned}$$

eşitliği elde edilir. Tüm bu işlemlerin sonucunda

$$B(\omega) = (p-1) \frac{\cos h^\alpha y_1}{x_1^p \log^{p-1} x_1}$$

olarak bulunur ve Teorem 4.2'nin ispatı tamamlanmış olur.

Teorem 4.3 $\Omega \subset \mathbb{R}^{2n+1}$ sınırlı bir bölge ve $p > 1$ olsun. O halde,

$$\int_{\Omega} e^{-px_1} |\nabla_k \phi|^p d\omega \geq \int_{\Omega} e^{-px_1} |\phi|^p d\omega$$

eşitsizliği herhangi $\phi \in C_0^\infty(\Omega)$ fonksiyonu için sağlanır.

İspat. Teorem 4.1'de, $p > 1$ için $A(\omega) = e^{-px_1}$ ve $f(\omega) = e^{x_1}$ seçimleri yapılsın. Gerekli türev işlemleri ile

$$\nabla_k f = e^{x_1}(1, 0, 0, \dots, 0)$$

olur ve buradan

$$|\nabla_k f|^{p-2} = e^{x_1(p-2)}$$

eşitliği elde edilir. Böylelikle,

$$A(\omega)|\nabla_k f|^{p-2}\nabla_k f = e^{-x_1}(1, 0, 0, \dots, 0)$$

vektör fonksiyonuna ulaşılır. Bu fonksiyon ile $-\nabla_k$ operatörü iç çarpım yapılırsa

$$\begin{aligned}
-\nabla_k \cdot (A(\omega)|\nabla_k f|^{p-2}\nabla_k f) &= - \left(\frac{\partial}{\partial x_1} + 2ky_1|z|^{2k-2} \frac{\partial}{\partial l} \right) (e^{-x_1}) \\
&= - \frac{\partial}{\partial x_1} (e^{-x_1}) \\
&= e^{-x_1}
\end{aligned}$$

skaler fonksiyonu bulunur ve buradan

$$B(\omega) = e^{-p\omega_1}$$

ağırlık fonksiyonuna ulaşılır. Böylelikle, Teorem 4.3 ispatlanmıştır.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Ahmetolan, S. & Kombe, I. (2016). Hardy and Rellich type inequalities with two weight functions. *Mathematical Inequalities & Applications*, 19(3), 937-948.
- Baras, P. & Goldstein, J. A. (1984). The heat equation with a singular potential. *Transactions of the American Mathematical Society*, 284(1), 121–139.
- Beals, R. & Greiner, P. C. (1988). *Calculus on Heisenberg Manifolds*. Annals Mathematics Studies, 119, Princeton University Press.
- Cabré, X. & Martel, Y. (1999). Existence versus explosion instantanée pour des équations de la chaleur linéaires avec potentiel singulier. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series I-Mathematics*, 329(11), 973–978.
- Crespo, J. A. & Alonso, I. P. (2000). Global behavior of the Cauchy problem for some critical nonlinear parabolic equations. *SIAM Journal on Mathematical Analysis*, 31(6), 1270–1294.
- D'Ambrosio, L. (2005). Hardy-type inequalities related to degenerate elliptic differential operators. *Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa*, 4, 451–586.
- Folland, G. B. (1973). A fundamental solution for a subelliptic operator. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 79, 373–376.
- Garcia A. J. & Peral A. I. (1998). Hardy inequalities and some critical elliptic and parabolic problems. *Journal of Differential Equations*, 144, 441–476.
- Goldstein J. A. & Kömbe I. (2003). Nonlinear parabolic differential equations with singular lower order term. *Advances in Differential Equations*, 10, 1153-1192.
- Goldstein, G. R., Goldstein, J. A. & Kombe, I. (2005). Nonlinear parabolic equations with singular coefficient and critical exponent. *Applicable Analysis*, 84(6), 571–583.
- Greiner, P. C. (1979). A fundamental solution for non-elliptic partial differential operator. *Canadian Journal of Mathematics*, 31, 1107–1120.

- Hörmander, L. (1967). Hypoelliptic second order differential equations. *Acta Mathematica*, 119, 147–171.
- Kombe, I., (2006). On the nonexistence of positive solutions to nonlinear degenerate parabolic equations with singular coefficients. *Applicable Analysis*, 85(5), 467-478.
- Lian, B. (2013). Some sharp Rellich type inequalities on nilpotent groups and application. *Acta Mathematica Sinica, English Series*, 33, 59–74.
- Nagel, S., Stein, E. M. & Wainger, S. (1985). Balls and metrics defined by vector fields I: Basic properties. *Acta Mathematica*, 155, 103–147.
- Niu, P., Ou, Y. & Han, J. (2010), Several Hardy-type inequalities with weights related to generalized Greiner operator. *Canadian Mathematical Bulletin*, 53, 153–162.
- Shen, Y. T. (1980). On the Dirichlet problem for quasilinear elliptic equation with strongly singular coefficients. *Proceedings of the 1980 Beijing Symposium on Differential Geometry and Differential Equations*, Science Press, Beijing, 1407-1417.
- Utku A. (2022). Greiner operatörü ile ilişkilendirilmiş hızlı difüzyon denklemi ve bazı integral eşitsizlikleri [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yener, A. (2018). General weighted Hardy-type inequalities related to Greiner operators. *Rocky Mountain Journal of Mathematics*, 48(7), 2405-2430.
- Zhang, H. & Niu, P. (2003). Hardy-type inequalities and Pohozaev-type identities for a class of p-degenerate subelliptic operators and applications. *Nonlinear Analysis*, 54, 165–186.



Araştırma Makalesi / Research Article

MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ İLE EĞİTİM BAŞARISINA ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN MODELLENMESİ*

MODELLING OF THE EFFECTS ON EDUCATIONAL SUCCESS BY MACHINE LEARNING ALGORITHMS

Zeynep BAKAN¹

Filiz KANBAY²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1442084>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
zeyno.cuk@hotmail.com.

Geliş Tarihi / Received
27.02.2024

Kabul Tarihi / Accepted
06.05.2024

Öz

Sağlık, medya, bankacılık ve finans alanında sınıflandırma, kümeleme ve tahmin amacıyla kullanılan makine öğrenmesi günümüzde eğitim alanında da kullanılmaktadır. Bu çalışmada eğitim öğretim kurumlarının belirleyecekleri stratejilerde veya alacakları önlemlerde yol gösterici olması ve hatta daha büyük ana kütle, daha farklı okul türü ya da farklı kademelerde, farklı sektörlerde uygulanarak sonuçların genelleştirilmesine fayda sağlaması amacıyla makine öğrenmesi yöntemlerinden K-en yakın komşu, naive bayes, rastgele orman, destek vektör makineleri, karar ağaçları, boosting makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmaları ile kurulan matematiksel modellerle öğrencilerin akademik başarılarını etkileyen faktörler araştırılmıştır. Kurulan matematiksel modelin başarısına etki eden hiperparametreler ızgara taraması yöntemi ile belirlenerek maksimum model başarısı sağlanmıştır. Matematiksel modellerde akademik başarı ölçütü çıktı olarak belirlenerek; kurulan matematiksel modellerde çıktı ve girdi sayılarına ait model başarılarının değişimi incelenmiş; çıktılarının ve girdilerin sayısının çeşitli yöntemlerle (denetimli ve denetimsiz yöntemlerle) azaltılması işlemlerinin matematiksel model başarısına etkileri gözlenmiştir. Sonuç olarak, en yüksek model başarılarının iki sınıf etiketli veri setine ait olduğu görülmüştür. K-en yakın komşu, naive bayes, rastgele orman, destek vektör makineleri, karar ağaçları, boosting model başarıları sırasıyla 0,62, 0,61, 0,96, 0,72, 0,86, 0,79 olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Destek vektör makineleri, eğitim-öğretim, makine öğrenmesi, k-en yakın komşu, naive bayes, rastgele orman.

Abstract

Machine learning, which is used for classification, clustering and prediction in the fields of health, media, banking and finance, is also used in the field of education today. In this study, by using the mathematical models established with machine learning classification methods such as K-nearest neighbour, naive bayes, random forest, support vector machines, decision trees and boosting; the factors affecting students' academic success were investigated to guide educational institution the strategies, to determine the measures to be taken, and even to benefit the generalization of the results by applying them to a larger population, different types of schools or at different levels, in different sectors. Maximum model success was achieved by determining the hyperparameters that affected the success of the established mathematical model by the grid scanning method. In mathematical modelling, the academic success criterion is determined as the output; The changes in the model success of the output and input numbers in the established mathematical models were examined; The effects of reducing the number of outputs and inputs by various methods (supervised and unsupervised methods) on the success of the mathematical model have been observed. Finally the best accuracy scores were obtained from the data set with two class labels. The accuracy scores of the algorithms (K-nearest neighbour, naive bayes, random forest, support vector machines, decision trees and boosting) respectively were 0,62, 0,61, 0,96, 0,72, 0,86, 0,79.

Keywords: Education-training, machine learning, k-nearest neighbours, naive bayes, random forest, support vector machines.

*Bu yayın Zeynep BAKAN isimli öğrencinin Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Programındaki Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
zeyno.cuk@hotmail.com, Orcid.org/0000-0001-6742-8376.

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, İstanbul, Türkiye.
fkanbay@yildiz.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-3889-6351.

1. GİRİŞ

Sınıflandırma, kümeleme ve tahmin amacıyla günümüzde sağlık, medya, bankacılık ve finans alanında kullanılan makine öğrenmesi eğitim alanında da kullanılmaktadır. Eğitimde makine öğrenmesi yöntemleri ile eğitim alanında karşılaşılan büyük verinin analizi yapılarak eğitim hedeflerinin tahmini, eğitim alanında erken önlemlerin tespiti, öğrencilerin öğrenme süreçlerinin ve içeriklerinin belirlenmesi, ölçme değerlendirme sürecindeki analiz gibi birçok önemli konu ele alınabilir (Tosunoğlu ve ark.,2021). E. Tosunoğlu ve ark. 2015-2020 yılları arasında yapılmış 5 yıllık süreci kapsayan makine öğrenmesi ile ilgili 201 makalenin %35,3 oranıyla en fazla lisans öğrencilerine ait olduğunu; %22,5 karar ağaçları, %17,8 destek vektör makineleri ve %14,2 naive bayes sınıflandırma yöntemlerinin kullanıldığını belirtmiştir. P. Kaur ve ark. eğitimde veri madenciliğinde öğrencilerin performansı, öğrenme ve akılda tutma gibi kabiliyetlerini iyileştirmek için WEKA yazılımı kullanarak Çok Katmanlı Algılayıcı, Naive Bayes, SMO, J48, REPTree sınıflandırma algoritmaları ile yavaş öğrenen öğrencilerin tahminini yapmıştır (Kaur ve ark.,2015). M. Sweeny ve ark., yüksek öğretim kurumlarında bulunan öğrencilerin % 50 başarı düzeyine etki eden faktörlerin tahmini için geliştirdikleri sistem ile Faktoring Makineleri (FM), Rastgele Orman (RM) ve Kişileştirilmiş Doğrusal Regresyon algoritmaları kullanarak eğitim özellikleri ve öğrenci başarısı arasında güçlü bir ilişki olduğunu saptamıştır (Sweeny ve ark.,2016). E. Fernandes ve ark. eğitimin daha verimli hale getirilmesi ve yıl sonu başarısızlığının en aza indirgenmesi amacıyla model güçlendirici bir algoritma olan Gradient Boosting'e dayalı bir sınıflandırma modeli ile okul öncesi ve sonrası öğrenci akademik verilerini kullanarak 2015-2016 yıllarında lise öğrencilerinin sene sonundaki akademik başarılarını tahmin etmiş, devamsızlık ve notlar arasında bir ilişki bulmuştur (Fernandes ve ark.,2019). M. Yıldız ve C. Börekçi 9. sınıf öğrencilerinden toplanan eğitsel durumları ve aileleri ile ilgili verileri kullanarak sınav sonucunu denetimli sınıflandırma algoritmalarından Neural Network algoritması ile %98,6 başarı oranı ile öğrencilerin derslere yönelik tutum ve yargıları ile çalışma düzenlerinin sınıflandırmayı etkilediğini ve bu değişkenler üzerinde durulduğu takdirde öğrencilerin akademik başarılarının olumlu yönde gelişebileceği çıkarımına varmıştır (Yıldız & Börekçi,2020). C. Marquez-Vera ve ark. Meksika'da 419 lise öğrencisinden toplanan verilerle öğrencilerin okulu bırakmasının erken tahmini için WEKA yazılımı aracılığıyla ICMR2 algoritmasını kullanmış ve çalışma sonucunda elde edilen veriler ile okulu erken bırakma riski taşıyan öğrencileri belirleyen EWS sistemini geliştirmiştir (Marquez ve ark.,2015). C. Romero, P. Espejo ve ark. üniversite öğrencilerinin bir derse ait final notlarını karar ağaçları, sinir ağları sınıflandırma algoritmaları, istatistiksel yöntemler ve bulanık kural tümevarım yöntemleri ile tahmin ederek, öğretim üyelerinin karar verme süreçlerinde kullanabileceği moodle madenciliği aracı geliştirmiştir (Romero ve ark.,2013). S. Kayalı ve S. Buyrukoğlu Portekiz'de iki farklı ortaokul öğrencisine ait günlük teknolojik cihaz kullanma saati, okula gitmeden kahvaltı yapma durumu, stress gibi önemli bilgilerin olduğu 33 öznitelik ve 944 örneklemden oluşan veri setine Karar Ağacı, Rastgele Orman ve Destek Vektör Makinası algoritmaları uygulamış ve öğrencilerin başarısını tahmin etmede en etkili algoritmanın Rastgele orman algoritması olduğu sonucuna varmıştır (Kayalı & Buyrukoğlu, 2022). M. Gök 24 soruluk bir anket ile elde edilen veri setini en iyi temsil eden öznitelikleri KÖAK öznitelik seçim yöntemi kullanarak Anne-Baba öğrenim durumu, gelir, kardeş sayısı, uyku, haftalık ders çalışma süresi ve ailenin ders konusundaki tutumu olarak sadeleştirmiş ve 6. , 7., 8. sınıf öğrencilerinin sene sonu Türkçe ve matematik notlarını Lojistik, Naive Bayes, K-NN, Doğrusal DVM, RTF DVM ve Rastgele Orman algoritmaları ile inceleyerek Lojistik algoritması en başarılı sonuç verdiğini tespit etmiştir. (Gök,2017). B. Abbasoğlu Yalova ilindeki dört resmi ortaokulundaki 1395 ortaokul öğrencilerinin 2019-2020 eğitim öğretim yılındaki sosyo-ekonomik durumları ve demografik özelliklerini içeren 27 bağımsız değişkenden en önemli değişkenlerin öğrenci yaşı, devamsızlık durumu, ebeveynlerin birlikte/ayrı olup olmama durumu, gelir durumu, anne/baba eğitim durumu, kendine ait oda ve gelir durumu olarak belirlemiş ve bunların yıl sonu ortalamalarına etkilerini en yüksek tahmin başarısına sahip olan lojistik algoritma ile analiz etmiştir (Abbasoğlu, 2020). Nedeva ve Pehlivanova, Stara Zagora'da Trakia Üniversitesinde yürütülen çalışmanın sonuçlarını

kullanarak öğrenci akademik başarısına etki eden faktörleri Weka ile incelemiştir (Nedeva & Pehlivanova, 2021). N. Yılmaz ve B. Şekeroğlu Yakın Doğu Üniversitesinin Eğitim ve Mühendislik Fakültelerindeki 101 öğrenciye kişisel, aile ve eğitim tercihleri ile ilgili 30 soruluk üç bölümden oluşan bir anket uygulayarak soru türlerinin öğrenci performansı üzerindeki etkilerini incelemiştir ve bu amaçla Geriye Yayılımlı Sinir Ağı (BPNN), Radyal Tabanlı Fonksiyonlu Sinir Ağı (RBFNN), Karar Ağaçları (DT) ve Logistik regresyon (LOGR) algoritmalarını kullanmış ve en yüksek başarının %70-%88 doğruluk oranı ile Radyal Temelli Fonksiyonlu Sinir ağına ait olduğunu tespit etmiş; bunun yanı sıra eğitimin geleneksel eğitimden ziyade uygulamaya yönelik olması, öğrencilerin aktif katılımları ve öğrenci motivasyonunun artması için öğretim sürecine başlamadan önce ders amaçlarının açıklanması, içeriğin soyut olmaması, günlük hayatta kullanılabilir olması, konunun niteliğine göre yöntem ve teknikler uygulanması, öğrencilerin laboratuvar çalışmalarına aktif katılımı gibi konular önermiştir (Yılmaz & Şekeroğlu, 2020). Bezek, IG, GR, SU, CB, Relief-F, One R Measure gibi özellik seçimi yöntemleri kullanarak bu veri setinin öznelikleri azalan önem sırasına göre: cinsiyet, projelerin/faaliyetlerin akademik başarıya etkisi, mezuniyet sonrası beklenen not ortalaması, haftalık çalışma saatleri, alınan burs türü, okuma saatleri olarak belirlemiştir. (Bezok, 2023). Phatai ve Luangrungruang, öğrenci performans sınıflandırması için NN with Artificial Bee Colony (NNABC), NN with Harmony Search (NN-HS), NN with Teaching Learning Based Optimization (NN-TLBO), and NN with Student Psychology Based Optimization (NN-SPBO) yöntemlerini kullanmıştır (Phatai & Luangrungruang, 2023). Jabardi, veri setinin özelliklerini aile, eğitim ve öğrenci kişisel bilgilerini içeren üç kümeye ayırmış ve yaptığı çalışma sonucunda aile ve eğitime ait özelliklerin öğrenci başarısı üzerinde, öğrenci kişisel özelliklerinden daha çok etkiye sahip olduğunu bulmuştur (Jabardi, 2022). Hengpraprom ve arkadaşları, yeni özellik seçimi tekniği olarak bilgi kazanımı ve bilgi kazanım oranı olduğunu belirterek her iki teknik ile öğrencilere ait cinsiyet, son dönem not ortalaması, beklenen genel not ortalaması, okuma sıklığı, ebeveyn durumu gibi özneliklerin bulunduğu 16 özneliğin seçildiğini ifade etmiştir (Hengpraprom ve ark 2022). Pallathadka ve ark. veri seti için kurulan Naive Bayes, ID3, CD4.5, SVM gibi makine öğrenmesi algoritmalarını doğruluk, hata oranı gibi parametrelere göre değerlendirmiştir (Pallathadka ve ark 2023). Şekeroğlu ve ark. ham veri üzerinde bir data ön işleme veya özellik seçimi kullanmadan makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak çeşitli eğitim verileri üzerinde tahmin ve sınıflandırma yöntemlerini çalışmışlardır (Şekeroğlu ve ark., 2019).

Öğrencilerin akademik başarılarını etkileyen faktörlerin belirlenmesi için Makine Öğrenmesi sınıflandırma yöntemleri ile matematiksel modellemeler kurulmasını amaçlayan bu çalışmada elde edilen matematiksel modellerin model doğruluk ölçütlerini yükseltecek parametreler araştırılmış, öğrenci başarısını etkileyen öznelikler sıralanmıştır. İkinci bölümde makine öğrenmesi tanımı, algoritmaları, model değerlendirme ölçütleri ve boyut azaltma yöntemleri gibi temel kavramlara kısaca değinilmiştir. Üçüncü bölümde veri seti ve uygulanacak işlemlere dair akış diyagramı verilmiştir. Dördüncü bölüm veri seti üzerinde matematiksel modellemelerin geliştirildiği ve değerlendirildiği uygulama aşamasını açıklamaktadır. Çalışmaya ait son bölüm öğrenci başarısını etkileyen faktörleri belirlemek için kurulan matematiksel modellemeler ve bu modellerin başarısını arttıracak belirlenmiş parametrelerin değerlendirildiği ve görselleştirildiği grafik ve tabloları içermektedir.

2. MAKİNE ÖĞRENMESİ VE ALGORİTMALARI

2.1. Makine Öğrenmesi

Veri madenciliği ile yakından ilgili olan makine öğrenmesi çok sayıda veriyi anlamlı bilgiye bilinçli eyleme dönüştürecek bilgisayar algoritmalarının geliştirilmesiyle ilgilenen bir alan olarak tanımlanabilir (Lantz, 2013). Makine öğrenmesi verilerden anlamlı sonuçlar çıkarıp bu sonuçları

geliştirip iyileştirir ve modeller oluşturur, veri madenciliği eldeki verilerden çıkan sonuçları yorumlar (Bilgin,2018).

2.1.1. Gözetimli öğrenme

Danışmanlı öğrenme olarak da bilinen gözetimli öğrenme türünde, sisteme girdilerle birlikte sonuçlar da verilerek etiketli veriler üzerinden girdi ve çıktı arasındaki etkileşimi ortaya çıkararak algoritmanın etiketsiz girdiler için yeni sonuçları üretmesi beklenir.

Gözetimli öğrenme sınıflandırma ve regresyon olmak üzere ikiye ayrılır:

1. Sınıflandırma: Örüntü tanıma olarak da isimlendirilen bu makine öğrenmesi türünde, çıktıların sonuçlarının kategorik verilere ayrılması ile algoritmanın mevcut verileri sınıflandırması beklenir (Bozinovski,1981).
2. Regresyon: Çıktıları sürekli sayısal değerlerden oluşan ve değişkenler arasında bir ilişki kuran modellemeler ile tahminler yapan bu sınıflandırma türü sürekli değerler olarak adlandırılan sayısal değerli tahminler bulmak için kullanılır (Amasyalı,2008).

2.1.2. Gözetimsiz öğrenme

Danışmansız öğrenme olarak da bilinen bu öğrenme türünde sisteme sadece girdiler başka bir ifadeyle etiketsiz veriler verilerek, algoritmanın bu girdilere dair sonuçlar (kümeleme gibi) üretmesi beklenir.

2.1.3. Pekiştirmeli öğrenme

Pekiştirmeli takviyeli öğrenme olarak da bilinen bu öğrenme türünde makineler ödül ceza sistemine dayanan geri dönüt verilir. Bir takım deneme yanılma eyleminden sonra makine daha fazla ödülü almak için en iyi cevabı öğrenir. Pekiştirmeli öğrenmede bir öğretici ile makineye ne yapması gerektiğini önceden öğreten gözetimli öğrenmeden farklı olarak, eleştirmen ile makineye ne kadar iyi yaptığı konusunda bilgi verilir. Böylece makine neden-sonuç ilişkisini kendi kurar, eleştirmen önceden bilgi vermez. Bu öğrenme türüne örnek olarak yapay zeka robotları veya oyun oynama vb. verilebilir (Alpaydın, 2010).

2.2. Sınıflandırma Algoritmaları

2.2.1. K-En yakın komşu algoritması

Denetimli bir algoritma türü olan bu algoritma sınıfı belirlenmek istenen etiketsiz verinin etiketini genellikle 1, 3, 5 ... gibi tek sayılardan tercih edilen k parametresi ve Tablo 1’de verilen Manhattan, Öklid, Minkowski metrikleri ile tayin edilmiş en yakın k tane etiketli komşularının çoğunluk etiket sayısına göre belirler (Xu ve ark., 2013), Nayak ve ark (2022).

Tablo 1. En Çok Kullanılan Uzaklık Ölçütleri

Manhattan	Öklid	Minkowski
$d = \sum_{i=1}^k x_i - y_i $	$d = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2}$	$d = (\sum_{i=1}^k (x_i - y_i ^p))^{1/p}$

2.2.2. Naive Bayes algoritması

Çok sayıda girdi verisinin olduğu problemlerde olasılığı tahmin etmede başarılı olan Naive Bayes algoritması Thomas Bayes'in teoremi üzerine temellenmiş koşullu olasılık hesaplamasına dayanan tahmin edici bir sınıflandırma algoritmasıdır. Etiketsiz verilerin tüm sınıflar üzerindeki koşullu olasılıklarını hesaplayarak sınıfını belirlemeye yönelik çalışan bir istatistiksel gözetimli sınıflandırma türüdür (Lantz, 2013).

Naive Bayes algoritması bağımlı olayların olasılık hesaplanmasında X ve Y bağımsız iki olay olmak üzere, Y olayı için X olayının olasılığını hesaplayan $P(X|Y) = \frac{P(Y|X).P(X)}{P(Y)}$ denklemi ile bilinen koşullu olasılık formülünü kullanır. Buna göre bilinen x_1, x_2, \dots, x_n 'ler için y olayının olasılığı $P(y|x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{P(x_1, x_2, \dots, x_n|y).P(y)}{P(x_1, x_2, \dots, x_n)}$ şeklindedir. Bilinen y değerine göre ayrı ayrı x_1, x_2, \dots, x_n 'lerin olasılıkları hesaplanarak $P(y|x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{P(y). \prod_{i=1}^n P(x_i|y)}{P(x_1, x_2, \dots, x_n)}$ formülüyle ifade edilir. Burada $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ sabit olduğu için hesaplamada $P(y). \prod_{i=1}^n P(x_i|y)$ çarpımına bakılır ve elde edilen maksimum olasılık değerine göre y nin tahmin sınıfı bulunur (Zhang, 2004).

2.2.3. Karar ağaçları

Kök düğümler, ara düğümler, dallar ve yapraklardan oluşan bir denetimli öğrenme türü olan karar ağaçları benzer grupları küçük ve daha küçük alt kümelere bölen sınıflandırma problemlerinde kullanılan basit ve hızlı bir algoritma türüdür. Akış şemasına benzeyen ve hiyerarşik yapıda olan bu algoritma ağaç şeklinde bir modele benzer; hem sayısal hem de kategorik verileri modelleyebilir, anlaşılması ve yorumlanması daha basittir (Mitchell, 1997).

2.2.4. Rastgele orman

Birden fazla karar ağacı modeline ait çıktıların birleştirilmesiyle oluşturulmuş yüksek boyutlu bir denetimli öğrenme algoritmasıdır. Birden fazla ağacın bir araya gelerek oluşturulduğu ağaç toplulukları rastgele özellik seçimiyle birleştirildiği için rastgele orman ismini almıştır. Bu algoritma her bir karar ağacı modeline ait sınıf değeri tahminleri alınarak oylamaya tabii tutar ve sonucunda en yüksek oyu alan sınıfı seçer (Breiman, 2001; Lantz, 2013; Şahin, 2021).

2.2.5. Destek vektör makineleri

Destek vektör makinelerinin çalışma prensibi sınıfları birbirinden ayıracak maksimum marjlinli hiper düzlemi seçmeye dayanır. Öncelikle verileri sınıflara ayıran en uygun hiper düzlem seçilir ve destek vektörleri belirlenir. Hiper düzleme en yakın noktalar destek vektörleri olarak adlandırılır. Ardından destek vektörlerinin arasındaki uzaklık olan marjinin en fazla olduğu hiper düzlem seçilerek sınıflandırma tamamlanır (Harrington,2012).

Marjin genişliği $2/w$ ile ifade edilmektedir w arttıkça destek vektörleri arasındaki uzaklık azalacaktır. Hiperdüzlem $w \cdot x + b = 0$, destek vektörleri $w \cdot x + b = \pm 1$ dir. Amaç w yi maksimize etmektir (Cortes & Vapnik,1995; Akarsu,2016).

2.2.6. Boosting

Birden fazla sınıflandırıcının kullanılması ile elde edilen sonuçların birleştirilmesine dayanan bir metod olup tahmin ediciler yani algoritmalar sıralı bir şekilde çalışır. Her model bir önceki modelin yanlış sınıflandırdığı verilere odaklanarak, her model bir önceki modelde yapılmış hataları

düzeltilmeye çalışır. Böylece model sayısı arttıkça sonucun güvenilirliği artar (Han ve ark.,2011; Bilgin, 2018).

2.3. Model Değerlendirme Ölçütleri

Makine öğrenmesi algoritmaları ile belirlenen modelin ne düzeyde başarılı olduğunu ölçmek için kullanılan tekniklerdir.

Model değerlendirme ölçütleri, Tablo 2’de verilen hata matrisi (confusion matrix) tablosundan yararlanılarak hesaplanır; Doğruluk (accuracy), kesinlik(precision), duyarlılık(recall), f-1 skor ve ROC-AUC skor en çok kullanılan model değerlendirme ölçütleridir (Sokolova & Lapalme, 2009; Han ve ark., 2011):

Tablo 2. Hata Matrisi (Confusion Matrix)

Karışım Matrisi		Tahmin Değerler	
		Pozitif	Negatif
Gerçek Değerler	Pozitif	TP	FN
	Negatif	FP	TN

TP: Gerçek değeri pozitif olup model tarafından pozitif tahmin edildiği durumdur.

TN: Gerçek değeri negatif olup model tarafından negatif tahmin edildiği durumdur.

FP: Gerçek değeri pozitif olup model tarafından negatif tahmin edildiği durumdur.

FN: Gerçek değeri negatif olup model tarafından pozitif tahmin edildiği durumdur.

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

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

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

$$\text{F1 Skor} = \frac{2 * \text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (4)$$

2.4. Boyut Azaltma Yöntemleri

2.4.1 Temel bileşen analizi (PCA)

PCA verilerin boyutunu azaltma, veri sıkıştırma, örüntü tanıma, öznelik çıkarımı ve veri görselleştirmek için kullanılan bir denetimsiz öğrenme algoritmasıdır. Çok büyük veri kümelerini daha düşük boyutlu uzaylara taşıyan popüler bir yöntemdir (Tipping & Bishop,1999).

PCA ile veriyi k boyutlu bir uzaya indirgemek için denklem 5, 6 ve 7 kullanılarak normalize edilmiş verinin kovaryans matrisinden elde edilen büyükten küçüğe doğru sıralanmış özdeğerlere karşılık gelen özvektörlerin k tanesi seçilir ve W projeksiyon matrisi elde edilir. Böylece orijinal veri kümesi projeksiyon matrisini kullanarak k-boyutlu yeni uzaya dönüşmüş olur (Çalışkan & Talu, 2020).

$$\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i \quad (5)$$

$$C = \sum_{i=1}^n (X - \bar{X})(X - \bar{X})^T \quad (6)$$

$$\det(\lambda I - C) = 0, (\lambda_k I - C) \times V_k = 0 \quad (7)$$

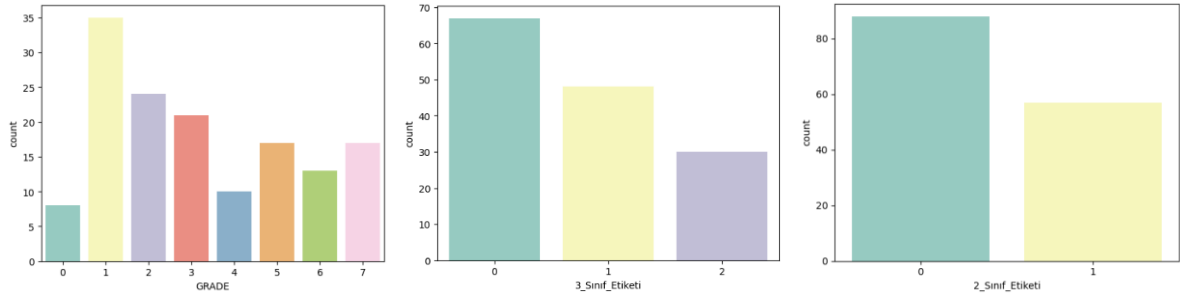
2.4.2 Komşuluk bileşen analizi (NCA)

En yakın komşu tabanlı özellik seçim yöntemi olarak bilinen NCA, en doğru sınıflandırmayı gerçekleştirmek için pozitif ağırlıklar yöntemi kullanır. Yüksek boyutlu verilerden en iyi tahmin sonucuna ulaşmak, zaman ve iş maaliyeti azaltmak için çok sayıdaki özellikten gerekli olan özellikler alt kümesini seçer ve veri boyutunu azaltır (Goldberger ve ark., 2005), (Yang ve ark., 2012).

3. VERİ SETİ VE İŞLEM AKIŞ DİYAGRAMI

3.1. Veri Seti

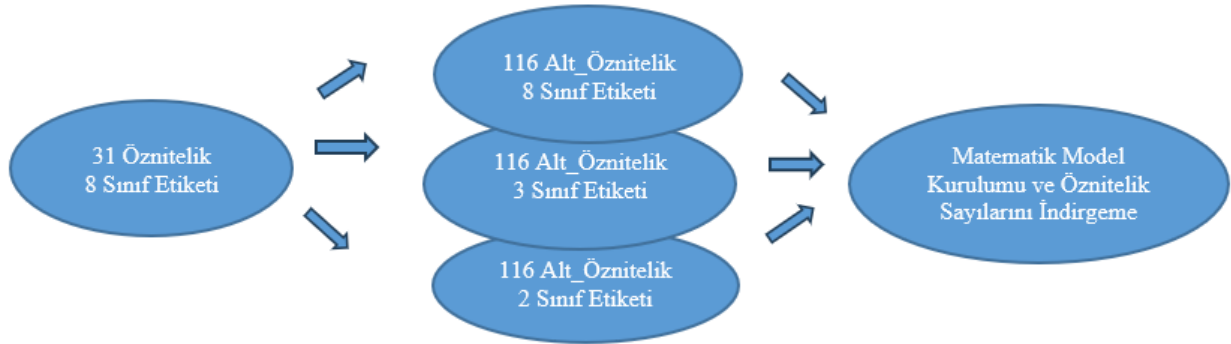
UCI veri tabanı sitesinde <https://archive.ics.uci.edu/dataset/856/higher+education+students+performance+evaluation> internet adresi ile belirli, kayıp verisi bulunmayan 8 sınıflı, 33 kategorik öznitelikli (31 kategorik öznitelik kullanılmıştır), 145 bilgi içeren “Yükseköğretim Öğrencileri Performans Değerlendirme (Higher Education Students Performance Evaluation)” adlı veri seti ile makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak elde edilen matematiksel modellemelerin model başarı analizi yapılmıştır (Yılmaz & Şekeroğlu, 2019). Kurulan matematiksel modellemelerin model başarısını arttıracak hiper parametreler incelenmiştir. Ayrıca sınıflandırma başarısını maksimize etmek amacıyla öznitelik ve sınıf sayısı çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri ile azaltılarak, öznitelik ve sınıf sayısını azaltmanın sınıflandırma başarısı üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. 145 öğrenciye ait 31 adet demografik değişken kategorik olduğu için pandas kütüphanesi kullanılarak tüm öznitelikler ikili olarak temsil edilmiş ve ön ad eklenmiş yeni 116 adet alt öznitelik için rastgele orman algoritması kullanılarak öğrenci başarısına en fazla etki eden faktörler belirlenmiştir. Alt öznitelik ve veri setine ait sınıf etiketi sayısı, kurulan matematiksel modelin başarısını arttırmak için azaltılmıştır. Bu amaçla Şekil 1 de gösterildiği gibi, 8 sınıf etiketi 3 ve 2 olacak şekilde dönüştürülmüş, elde edilen yeni veri setlerinin boyut indirgeme yöntemlerinden olan PCA ve NCA kullanarak azaltılmış öznitelik sayılarına göre model başarıları incelenmiştir. İlgili matematiksel modellerin başarıları, Anaconda Navigator ortamında Phyton programlama dilinde Numpy, Pandas, Matplotlib, Seaborn, Scikit-learn kütüphaneleri kullanılarak K-en yakın komşu, Naive Bayes, Destek Vektör Makineleri, Karar Ağaçları, Rastgele Orman, Boosting makine öğrenmesi algoritmaları ile (bu algoritmalarından bazıları, verileri eğitim ve test verisi olarak ayırırken dağılımdan kaynaklı aşırı öğrenme, yanlılık veya öğrenememe gibi hata oluşma ihtimallerine karşın k-katlı çapraz doğrulama ve katmanlı k-katlı çapraz doğrulama model değerlendirme yöntemleriyle birlikte tekrar uygulanarak) elde edilmiştir (Albon, 2018), (Jake, 2017). Şekil 1 verinin mevcut sınıf etiketlerine göre dağılımı ile, bu sınıf etiketlerinin sırasıyla 0:0, 1:0, 2:0, 3:1, 4:1, 5:1, 6:2, 7:2 ve 0:0, 1:0, 2:0, 3:0, 4:1, 5:1, 6:1, 7:1 tasvirleri ile oluşturulmuş iki yeni veri setinin sınıf etiket sayılarına göre dağılımını göstermektedir.



Şekil 1. Verinin 8, 3 ve 2 Sınıf Etiketli Sayısına Göre Dağılım Grafiği

3.2. İşlem Akış Diyagramı

Şekil 2’de, 31 öznitelik 8 sınıf etiketine sahip veri setine dönüşüm uygulayarak verilerin oluşturulması ve kurulan matematiksel modellemelere dair genel akış diyagramı verilmiştir.

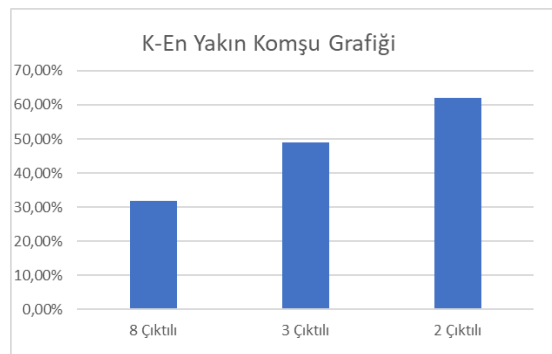


Şekil 2. Çalışmaya Ait İşlem Akış Diyagramı

4. MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ İLE MODEL BAŞARI ANALİZİ

4.1. K-En Yakın Komşu Algoritması

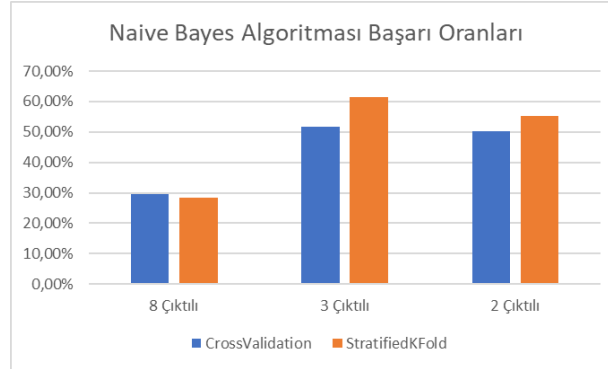
K-en yakın komşu algoritması yukarıda bahsedilen üç farklı veri seti için ayrı ayrı ele alınarak ızgara taraması (grid-search) ile en yakın komşu sayısı ($n_{neighbours}$) için 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12 değerleri; Manhattan, Öklid, Minkowski metrikleri (p) için 1, 2, 3 değerleri kullanılarak $cv=5$ çapraz doğrulama ile veriler toplamda 105 kez fit edilmiş ve en uygun parametreler $k=5$, $p=1$ olarak belirlenmiştir. Şekil 3’te kurulan modelin başarı oranları verilmiş ve en yüksek model başarısının 0,62 ile 2 sınıf etiketli veriye ait olduğu görülmektedir.



Şekil 3. K-En Yakın Komşu Algoritmasının Çıktı Sayısına Göre Başarı Oranları

4.2. Naive Bayes Algoritması

Naive Bayes algoritması k katlı çapraz doğrulama (K-Fold Cross Validation) ve örnek yüzdelerini koruyan k katlı çapraz doğrulama (StratifiedKFold) yöntemi ile ayrı ayrı uygulanmıştır. Şekil 4'te elde edilen sonuçlar görselleştirilmiş ve en yüksek model başarısının örnek yüzdelerini koruyan k katlı çapraz doğrulama (StratifiedKFold) yöntemi kullanılarak 0.61 model başarısı ile 3 sınıf etiketine sahip veri seti olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Sınıf Etiketli Sayısına Göre Hesaplanan Naive Bayes Algoritması Başarı Oranları

4.3. Destek Vektör Makineleri Algoritması

Destek vektör makinelerinde önemli iki parametre C Regularizasyon Parametresi ve γ Gamma-Uzaklık Parametresidir. Mevcut üç farklı veri seti %80-%20 train-test data olarak bölünmüş ve model başarı oranını maksimum yapacak en uygun parametreler için ızgara taraması (grid search) uygulanmıştır. 8 sınıf etiketli veri seti için $C=10$, $\gamma=scale$ ve RBF Kernel en uygun parametreleri ile model başarısı 0,41 olarak hesaplanmıştır. 3 sınıf etiketli veri seti için $C=100$, $\gamma=auto$ ve RBF Kernel en uygun parametreleri ile model başarısı 0,62 olarak belirlenmiştir. 2 sınıf etiketli veri seti için $C=10$, $\gamma=scale$ ve RBF Kernel en uygun parametreleri ile model başarısı 0,72 olarak bulunmuştur.

4.4. Karar Ağaçları Algoritması

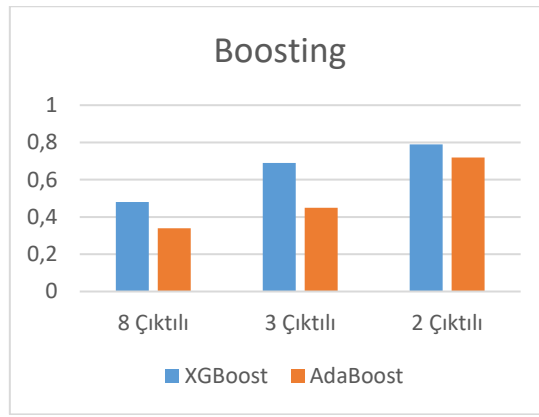
Karar ağaçları algoritması %80 eğitim, %20 test olarak ayrılmış verilere maksimum derinlik (max_depth) parametresi 3 alınarak “gini” ve “entropy” kriterleri için uygulandığında elde edilen sonuçlar Tablo 3’te özetlenmiştir.

Tablo 3. Bölünme Kriterinin Çıktı Sayısına Göre Hesaplanmış Karar Ağacı Algoritması Başarısı

	8 Çıktı	3 Çıktı	2 Çıktı
Gini Kriteri	%34,48	%68,97	%86,21
Entropy Kriteri	%37,93	%75,86	%86,21

4.5. Boosting Algoritması

Boosting algoritmalarından XGBoost ve AdaBoost, %80’e %20 eğitim ve test olmak üzere ayrılmış mevcut üç veri setine $\{n_estimators=400, learning_rate=1, max_depht=6\}$ parametreleri ile uygulandığında elde edilen model başarı ölçütleri Şekil 5’te özetlenmiştir. Buna göre en yüksek model başarısına sahip algoritma 2 sınıf etiketine sahip veriler için 0,79 model doğruluğu ile XGBoost algoritmasıdır.

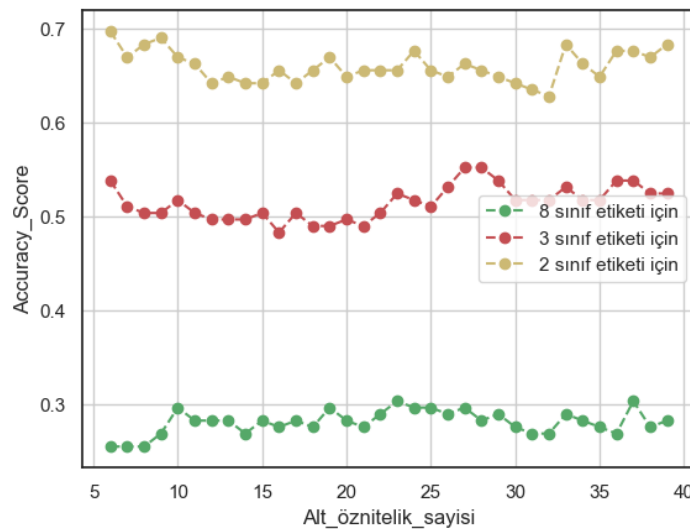


Şekil 5. Farklı Yöntemlerle Sınıf Sayısına Göre Hesaplanan Boosting Algoritması Başarı Oranları

4.6. Boyut Azaltma ve Öznitelik Önem Sıralaması

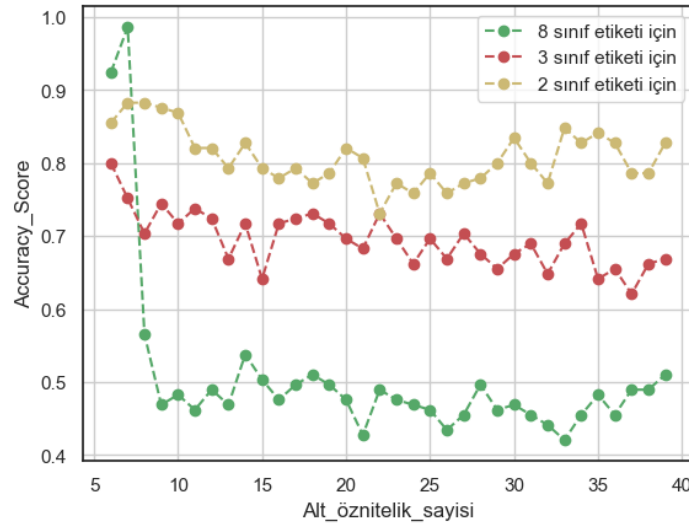
Rastgele orman algoritması ile verinin 31 özneliğinin model başarısı üzerinde yüzdeler etkileri araştırıldığında; akademik ilk 5 özneliğin sırasıyla: course-ıd, son yarıyıl genel not ortalaması, mezuniyette beklenen genel not ortalaması, bursluluk türü, dersi dinleme olduğu; demografik bilgiler içeren ilk 5 özneliğin ise sırasıyla: öğrenci yaşı, baba mesleği, kardeş sayısı, anne eğitimi ve anne mesleği olduğu gözlenmiştir.

Ayrıca, yukarıda 31 kategorik özneliğin 116 alt özneliğin 0-1 şeklinde ifadesi sonrası, şekil 1 de gösterilen 8,3 ve 2 sınıf etiket sayısı ile düzenlenmiş yeni üç veri seti ile incelemelerinin yapıldığı algoritmalar farklı olarak, veri boyutunun indirgenmesi verilerin yorumlanmasını kolaylaştırıp sınıflandırma başarısını arttıracığı için, boyut azaltma teknikleri olan PCA ve NCA sonrasında rastgele orman algoritması uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Öncelikle PCA algoritması ile `pca.explained_variance_ratio_` fonksiyonu kullanılarak 116 alt öznelikli veri setinin 40 adet bileşen tarafından %90 varyans yüzdesi ile ifade edildiği tespit edilmiştir. Bu amaçla alt öznelikler PCA algoritması ile azaltılarak; 6 bileşenden 40 bileşene kadar her bir durum için rastgele orman algoritması kullanılarak ızgara taraması (grid search) ile belirlenmiş en iyi parametrelerle, 8, 3 ve 2 sınıf etiketli verilere uygulanmış ve elde edilen model başarıları Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. PCA Yöntemi ile Azaltılmış Alt Özniteliklerle Kurulan Rastgele Orman Algoritmasının Model Başarılarının Sınıf Etiket Sayısına Göre Değişimi

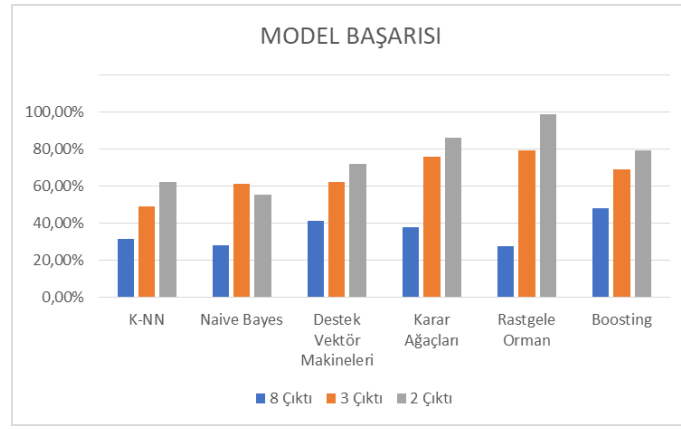
Aynı işlemler NCA boyut indirgeme yöntemi kullanılarak tekrarlanmış ve sonuçlar Şekil 7’de verilmiştir:



Şekil 7. NCA Yöntemi ile Azaltılmış Alt Özniteliklerle Kurulan Rastgele Orman Algoritmasının Model Başarılarının Sınıf Etiket Sayısına Göre Değişimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişen dünyada geleceğin teknolojilerini şekillendiren, hemen hemen her alanda kullanılan ve sıkça duyduğumuz yapay zeka uygulama alanlarından biri olan makine öğrenmesi, eğitim alanında da kullanılmaya başlamıştır. Yapılan literatür araştırmalarına göre öğrencilerden elde edilen çok sayıda verinin işlenerek bunlardan anlamlı sonuçlar çıkarılması ve bu sonuçların yorumlanması amacıyla kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri ve altındaki matematiksel yapı günümüzde eğitimcilere faydalı içerikler sunmaktadır. Bu bağlamda yapılan bu çalışma eğitim öğretim kurumlarının belirleyecekleri stratejiler veya alacakları önlemlerde yol gösterici olabilir. Hatta daha büyük ana kütle için daha farklı okul türü ya da farklı kademelerde, farklı sektörlerde vb. uygulanarak sonuçların geliştirilmesine fayda sağlayabilir. Geleneksel eğitimden ziyade öğrenci başarılarının önceden tahmin edilmesini sağlayan bu yöntem ile kurulan modeller karar verici konumundaki eğitim birimlerinde önleyici tedbirler alınmasına katkı sağlayabilir. Bu doğrultuda verilerin doğru bir şekilde incelenmesi önem arz etmektedir. Çalışmamızda kullanılan 8 sınıf etiketli veri seti, uygulanan sınıflandırma algoritmalarının tahmin başarılarını yükseltmek için, 3 ve 2 sınıf etiketli olacak şekilde düzenlenmiştir. Böylece model performans ölçütlerinden başarı kriterine göre daha yüksek sonuç verecek matematiksel modeller kurmak mümkün olmuş ve kurulan bu matematiksel modeller veri setini daha yorumlanabilir kılarak analizde kolaylıklar sağlamıştır. Akademik ve demografik bilgiler içeren 31 kategorik özniteliğin akademik başarı üzerindeki etkileri gözlenen ve Şekil 8 de model performans metriklerinden başarı ölçütüne göre sonuçları özetlenen bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



Şekil 8. Kurulan Matematiksel Modellemelerin Sınıf Etiketleri Sayılarına Göre Başarı Yüzdeleri

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2024-6152

KAYNAKÇA

- Abbasoğlu, B. (2020). Ortaokul Öğrencilerinin Akademik Başarılarının Eğitsel Veri Madenciliği Yöntemleri İle Tahmini. *Veri Bilimleri Dergisi*, 3(1), 1-10.
- Akarsu, C. (2016). *Twitter verileri ile türk televizyonları izlenme oranı sıralamaları tahmini* [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Albon, C. (2018) *Machine Learning with Python Cookbook: Practical Solutions from Preprocessing to Deep Learning* (1. Baskı). O'Reilly Media.
- Alpaydın, E. (2010). *Introduction to Machine Learning*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England.
- Amasyalı, M.F. (2008). *Yeni makine öğrenmesi metodları ve ilaç tasarımına uygulamalar* [Doktora Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bezek Güre, Ö. (2023). Investigating the Performance of Feature Selection Methods in Classifying Student Success, *International Journal of Education Technology and Scientific Researches*, 8(24), 2695-2728
- Bilgin, M. (2018). *Makine Öğrenmesi Teorisi ve Algoritmaları*. Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul.

- Bozinovski, S. (1981). *Teaching space: A representation concept for adaptive pattern classification*. Department of Computer and Information Science, University of Massachusetts, Amherst, COINS Technical Report No. 81-28.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5-32, 2001.
- Çalışkan, M. & Talu M.F. (2020). Boyut indirgeme yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(1), 107-113. DOI:10.46810/tdfd.707200.
- Cortes, C. & Vapnik, V. (1995). "Support-Vector Networks", *Machine Learning*, 20(3), 273-297.
- Fernandes, E., Holand, M., Victorino, M., Borges, V., Carvalho, R. & Erven, G.V. (2019). Educational data mining: predictive analysis of academic performance of public-school students in the capital of Brazil. *Journal of Business Research*, 94(C), 335-343, DOI: 10.1016/j.jbusres.2018.02.012.
- Goldberger, J., Roweis, S., Hinton, G., & Salakhutdinov, R. (2005) Neighbourhood Components Analysis, *Advances in Neural Information Processing Systems*, 17, 513-520.
- Gök, M. (2017). Makine öğrenmesi yöntemleri ile akademik başarının tahmin edilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part(C): Tasarım ve Teknoloji*, 5(3), 139-148.
- Han, J., Kamber, M. & Pei J. (2011). *Data Mining: Concept and Techniques*. Morgan Kaufmann Publications, USA.
- Harrington, P. (2012). "Machine Learning In Action", By Manning Publications Co, USA.
- Hengprapohm, K., Hengprapohm, S., & Sudjitjoon, W. (2022). A Study of Factors Affecting Learning Efficiency on Higher Education Student Performance Evaluation Dataset Using Feature Selection Techniques. *Information Technology Journal*, 18(2), 34-43.
- Jabardi, M. H. (2022). Machine learning techniques for assessing students' environments' impact factors on their academic performance. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 13(2). <http://dx.doi.org/10.26483/ijarcs.v13i2.6813>
- Jake, V. (2017), *Python Data Science Handbook: Essential Tools for Working with Data*, O'Reilly Media, Inc.
- Kaur, P., Singh, M., & Singh Josan, G. (2015, Mart, 12-13). *Classification and prediction-based data mining algorithms to predict slow learners in education sector*. 3rd International Conference on Recent Trends in Computing. *Procedia Computer Science Journal*, 57, India, 500-508.
- Kayalı, S. & Buyrukoğlu, S. (2022, Haziran, 23-26). *Makine öğrenmesi yöntemleri ile öğrencilerin akademik başarılarının sınıflandırılması*. 2nd International Conference on Educational Technology and Online Learning-ICETOL2022 Full Paper Proceedings, Balıkesir, 330-336.
- Lantz, B. (2013). *Machine Learning with R*. Packt Publishing, 35 Livery Street, Barmingham B3 2PB, UK.

- Marquez-Vera, C., Cano, A., Romero, C., Noaman, AYM., Fardoun, HM. & Ventura, S. (2016). Early dropout prediction using data mining: A case study with high school students. *Expert System*, 33(1), 107-124, DOI:10.1111/exsy.12135.
- Mitchell T.M. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math Publisher, Kaliforniya.
- Nayak S., Bhat M., Reddy N V S., & Rao B A. (2022) Study of distance metrics on k - nearest neighbor algorithm for star categorization, *Journal of Physics: Conference Series* 2161, 012004.
- Nedeva V., & Pehlivanova T. (2021) Students' Performance Analyses Using Machine Learning Algorithms in WEKA. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1031, no. 1, p. 12061, 2021, doi: 10.1088/1757- 899X/1031/1/012061.
- Pallathadka H., Wenda, A., Ramirez-Asís E., Asís-López M., FloresAlbornoz J. & Phasinam K. (2021). Classification and prediction of student performance data using various machine learning algorithms, *Mater. Today Proc.*doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.382>.
- Phatai, G., & Luangrungruang, T. (2023, March, 18-20). A Comparative Study of Hybrid Neural Network with Metaheuristics for Student Performance Classification. In 2023 11th International Conference on Information and Education Technology (ICIET) (pp. 448-452). IEEE. Fujisawa, Japan
- Romero, C., Espejo, PG., Zafra, A., Romero, JR., & Ventura, S. (2013). Web usage mining for predicting final marks of students that use middle courses. *Computer Applications in Engineering Education*, 21(1), 135-146, DOI:10.1002/cae.20456.
- Sokolova, M. & Lapalme G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing and Management* ,45, 427–437.
- Sweeny, M., Lester, J., Rangwala, H. & Johri, A. 2016. Next-Term student performance prediction: A recommender systems approach. *Journal of Educational Data Mining*, 8(1), 22-51, <https://doi.org/10.5281/zenodo.3554603>.
- Şahin, S. (2021). *Makine öğrenmesi yöntemleri ile ortaokul öğrenci başarılarının tespiti ve bir uygulama* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şekeroğlu, B., Dimililer, K., & Tuncal, K. (2019) Student Performance Prediction and Classification Using Machine Learning Algorithms ICEIT 2019: Proceedings of the 2019 8th International Conference on Educational and Information Technology 7–11.
- Tipping, M.E. & Bishop C.M. (1999). Mixtures of probabilistic principal component analyzers. *Neural Computation*, 11(2),443-482. DOI:10.1162.
- Tosunoğlu, R., Yılmaz, E., Özeren, E. & Sağlam, Z. (2021). Eğitimde makine öğrenmesi: Araştırmalardaki güncel eğilimler üzerine inceleme. *Ahmet Keleşoğlu Eğitim Fakültesi Dergisi*, 3(2), 178-199, DOI:10.38151.
- UCI Machine Learning Repository (2024): Higher Education Students Performance Evaluation Dataset <https://archive.ics.uci.edu/dataset/856/higher+education+students+performance+evaluation>. adresinden 25 Şubat 2024 tarihinde erişildi.

- Yang, W., Wang, K.& Zuo W. (2012). Neighborhood component feature selection for high-dimensional data. *Journal of Computers*, 7(1), 161-168.
- Yıldız, M. & Börekçi, C. (2020). Predicting Academic achievement with Machine learning algorithms. *Journal of Educational Technology & Online Learning*, 3(3), 372-392, DOI:10.31681/jetol.773206.
- Yılmaz, N.& Şekeroğlu, B. (2019, Ağustos, 27-28). *Student Performance Classification Using Artificial Intelligence Techniques*. 10 th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions-ICSCCW-2019, Prag, 596-603.
- Xu, G., Zong, Y. & Yang, Z. (2013). *Applied Data Mining*. CRC Press, NewYork.
- Zhang H., (2004). The Optimality of Naive Bayes. Proceedings of the Seventeenth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference (FLAIRS 2004).



Araştırma Makalesi / Research Article

NEOPREN/KLOROPREN KAUÇUK FORMÜLASYONU, FİZİKSEL, MEKANİK VE REOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

FORMULATION OF NEOPRENE/CHLOROPRENE RUBBER, EXAMINATION OF
THEIR PHYSICAL, MECHANICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES

Nükte TOPRAKSEVER¹

Osman MEHMET²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1391571>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
nukte.topraksever@istun.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
16.11.2023

Kabul Tarihi / Accepted
09.02.2024

Öz

Bu çalışmada geliştirilen alev dayanıklı neopren/kloropren konveyör bant formülasyonunun fiziksel, mekanik ve reolojik özellikleri incelenmiştir. Öncelikle reolojik özelliklerden vulkanizasyon eğrisi reometre ile elde edilmiş, vulkanize olan kompozitler fiziksel ve mekanik testler için hazır hale getirilmiştir. Belirlenen standartlara göre alınan konveyör bant numunelerine yoğunluk, sertlik, kopma uzaması ve çekme mukavemeti ve aşındırma testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre, çekme dayanımı; 219,9 N/mm², kopma noktasındaki yük; 290,33 N, kopma noktasındaki uzama yüzdesi; %520,37, sertlik; 59,74±0,90, aşınma; 78,56±2,49 mm³ ve yoğunluk; 1,108±0,051 g/cm³'tür. Yapılan testler Türk Standartları Enstitüsünün yer altı madenlerinde kullanılabilecek tekstil karkaslı kauçuk veya plastik kaplı konveyör bantlar için sunduğu standartlara uyumlu olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alev dayanıklı konveyör bant, formülasyon, Kauçuk, neopren/kloropren.

Abstract

In this study, physical, mechanical and rheological properties of flame resistant neoprene/chloroprene conveyor belt formulation were investigated. Firstly, vulcanization curve was obtained by rheometer and the vulcanized composites were prepared for physical and mechanical tests. Density, hardness, elongation at break, tensile strength and abrasive abrasion tests were performed on conveyor belt samples taken according to the specified standards. According to the test results, tensile strength; 219,9 N/mm², load at break; 290,33 N, elongation at break; 520,37 %, hardness; 59,74±0,90, abrasion; 78,56±2,49 mm³ and density; 1,108±0,051 g/cm³. The tests were found to be in compliance with the standards of the Turkish Standards Institute for rubber or plastic-coated conveyor belts with textile carcasses that can be used in underground mines.

Keywords: Flame resistant conveyor belt, formulation, rubber, neoprene/chloroprene.

¹İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
nukte.topraksever@istun.edu.tr, Orcid.org/0000-0001-8982-2219.

²Bantsan Taşıma Bantları ve Makina Kayışları San. ve Tic. A. Ş., İstanbul, Türkiye.
osmn.mehmet@gmail.com, Orcid.org/0000-0001-6679-1907.

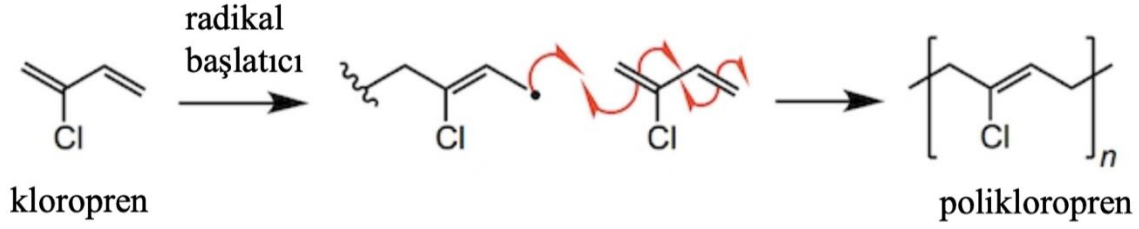
1. GİRİŞ

Kauçuk, *Hevea Brasiliensis* ağacının özsuyundan elde edilen (lateks) bir maddedir (Altundal ve ark., 2022; Vahapoğlu, 2007). Kauçuk, tropik bitkilerden elde edildiğinde doğal kauçuk, petrol türevleri ve alkolden elde edildiğinde sentetik kauçuk olarak adlandırılır. Günlük dilde elastomer ve kauçuk terimi aynı anlamda kullanılmaktadır fakat iki terim kavramsal olarak birbirinden farklıdır (Topçu, 2021). Elastomerler, yüksek elastikiyete sahip polimerik malzemelerdir ve dışardan uygulanan gerilimin ortadan kaldırılmasıyla orijinal durumlarını hızla geri kazanabilirler (Tang ve ark., 2022). Kauçuk ise, uygulanan kuvvet ortadan kalktığında belirli bir zaman diliminde orijinal hallerine dönen makro moleküllerdir. Bu tanımlara göre tüm kauçuk maddeler elastomer iken, tüm elastomerler kauçuk değildir (Vahapoğlu, 2013). Kauçuk konveyör bantlar, havacılık, inşaat, otomobil, maden vb. gibi birçok endüstri kolunda malzeme iletimi için kullanılmaktadır (Tang ve ark., 2022).

Kauçuk tabanlı konveyör bant “karkas” ve “kauçuk kaplama” olmak üzere iki kısımdan oluşur. Karkas yükü taşıyan kısım, konveyör bandın dış görünüşünü oluşturan ve dış etkenlerle temas halinde olan ve karkası koruyan ise kauçuk kaplama kısmıdır. Konveyör bantların çalışacağı ortama göre dayanım göstermesi amacıyla kaplamada kullanılan kauçuğun modifiye edilmesi önemli bir noktadır. Bandın kaplama özellikleri, ısı direncine (ısı ve alev), çözücü direncine, yağ direncine, kimyasal dirence ve fiziksel dayanıma göre değişir (Akpınar Borazan, 2017). Bu özellikler, polimerizasyon reaksiyonlarıyla sentetik kauçukların keşfedilmesi ve polimer kimyanın günden güne gelişmesiyle mümkün hale gelmiş ve çok farklı özelliklere sahip kauçukların geliştirilmesinin önünü açmıştır.

Son üründe elde edilen kauçuk karışımında istenen özellikleri sağlamak amacıyla; polimer (kauçuk), dolgu maddeleri ve katkı maddeleri karıştırılıp vulkanize edilerek (çapraz bağlanarak) bir hamur elde edilir. Kauçuk tabanlı konveyör bant formülasyonlarında kauçuk dışında kullanılan tüm maddeler phr (yüz kauçuk başına parça) olarak belirtilir. phr, yüz parça kauçuk için gerekli miktar anlamına gelmektedir. Kauçuk konveyör bant karışımına ilave edilen maddeler bitmiş üründe istenen özellikleri elde etmek amacıyla kullanılır. Bu basamaklardan en önemlisi kauçuğun çapraz bağlanması için gerekli olan vulkanizasyon sistemidir. Bununla birlikte kauçuk konveyör bant karışımı daha dayanıklı ve maliyeti düşük olmasını sağlamak için bazı dolgu maddeleri kullanılır. Hamurun yumuşak ve esnekliği için plastikleştiriciler kullanılır. Formülasyonda kullanılan tüm maddeler ve proses sırasındaki bozulmalara karşı stabilizatörler konveyör bant karışımlarına eklenir (Leblanc, 2002; Morawetz, 2000). Birçok endüstri kolunda malzemelerin taşınması için kullanılan konveyör bantlar hem herhangi bir sınıflandırma yapılmamış olan normal ortamlarda hem de patlama riski olan ortamlarda kullanılmaktadır. Oksijenle birlikte patlayıcı karışımlar oluşturan ürünler, bir ateşleme kaynağı ile yangın ve patlamaya neden olabilir. Bu gibi riskleri azaltmak için hem ekipmanlar hem de kullanılan kauçuk konveyör bantlar özel yapıda olmalıdır (Păun & Gabor, 2022).

Polikloropren, kloropren kauçuğu, geleneksel olarak kloropren’in (2-kloro-1,3-bütadien) serbest radikal polimerizasyonuyla sentezlenir (Treger ve ark., 2018). Kloropren ve polikloropren kimyasal yapıları ve polimerizasyon reaksiyonu Şekil 1’de verilmiştir (Future Learn, 2024). Kloroprenin yapısında bulunan karbon-klor bağındaki güçlü polarite polimer zincirleri arasındaki kuvveti artırır. Bu da kauçuğa mükemmel mekanik özellikler ve kimyasal stabilite kazandırır. Ayrıca klor, sınırlayıcı oksijen indeksini (LOI) yüksek hale getirerek alev dayanım özelliği sağlar (Jiang ve ark., 2022). Neopren/kloropren kauçuklar kendiliğinden sönen polimer malzemelerdir. Yağa ve ozona karşı direnç gibi değerli özelliklerle birlikte alev direnci ve kablo yalıtımı gibi temel özellikleri de vardır (Karaivanova, 2003).



Şekil 1. Polikloropren Polimerizasyon Reaksiyonu

Kloroprenin sunmuş olduğu bu özellikler nedeniyle aleve dayanıklı konveyör bant üretimlerinde kullanımı oldukça yaygındır. Kauçuğun yalın halinde sunduğu bu özelliklerine ek olarak formülasyon aşamasında kullanılacak inorganik alev geciktirici malzemeler ile modifiye edilmesi çok daha yüksek aleve dayanım özelliği kazandırmaktadır (Sung & Park, 2015). Bu çalışmada bu tür ortamlarda kullanılmak üzere açık aleve karşı dayanım gösterecek özellikte kauçuk tabanlı konveyör bant tasarlanmıştır. Konveyör bandın kaplama kauçuğunu oluşturacak kısımda ise kloropren esaslı bir kauçuk karışımı geliştirilmiş ardından reolojik, fiziksel ve mekanik özellikleri test edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kullanılan Kimyasallar

Konveyör bant kaplama kauçuğunun formülasyonunda kullanılan kimyasallar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Konveyör Bant Formülasyonunda Kullanılan Kimyasal Maddeler

Kimyasal	CAS No	Marka
Neopren	9010-98-4	Arlanxeo Bypren
HAF N330 (karbon siyahı) >%98	1333-86-4	Iran Carbon Company
Trikloro parafinik yağ	63449-39-8	Burak Kauçuk
Aktif çinko oksit (ZnO) >%96	1314-13-2	Burak Kauçuk
Stearin	683-334-02-1	Burak Kauçuk
Antimontrioksit $Sb_2O_3 \geq \%99.5$	1309-64-4	Ataman Kimya A.Ş.
Alüminyum hidroksit $Al(OH)_3 \geq \%90$	21645-51-2	Ataman Kimya A.Ş.
Boraks- $10H_2O$ $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O > \%99$	12179-04-3	Ataman Kimya A.Ş.
CZ (CBS) N-sikloheksil-2-benzotiyazosülfonamid	95-33-0	Burak Kauçuk
Kükürt %98	7704-34-9	Burak Kauçuk

2.2. Kullanılan Cihazlar

Konveyör bant kaplama kauçuğunun formülasyon, şekil verme ve analiz cihazlarının marka ve modelleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Konveyör Bant Üretimi ve Testlerinde Kullanılan Cihazlar

Cihaz	Marka	Model
Banburi	Met-Gür Makina	-
Açık mil	Met-Gür Makina	-
Pres makinası	EMSAL	-
Reometre	GLK	GLK3000-MDR
Densitometre	Precisa	LS220A SCS
Aşındırma test cihazı	GLK	GLK3000-AT150
Sertlik ölçme cihazı	KORI SEIKI MFG. CO. LTD.	Type shore A
Çekme/kopma test cihazı	GLK	GLK3000-T5
Dijital kumpas	Insize	1108-150

2.3. Hamur Karışımlarının Hazırlanması

Tablo 3'te phr cinsinden verilen hammaddelerin tartımları alınarak oda sıcaklığında banburide karıştırılmıştır. Öncelikle neopren/kloropren kauçuk ardından diğer yardımcı kimyasallar ilave edilmiştir. 60 °C sıcaklıkta pişiriciler eklenip, bir süre daha karıştırıldıktan sonra elde edilen hamur banburinin altında bulunan tahliye kapağından alınır. Alınan hamur açık milde 10 mm açıklıkta 10 dakika çekilir. Açık milden çıkan hamur plaka şeklinde kesilerek makinadan alınır. Oda sıcaklığına kadar soğuduktan sonra plakadan hamur testleri için numune alınarak fiziki testler için hazır hale getirilir.

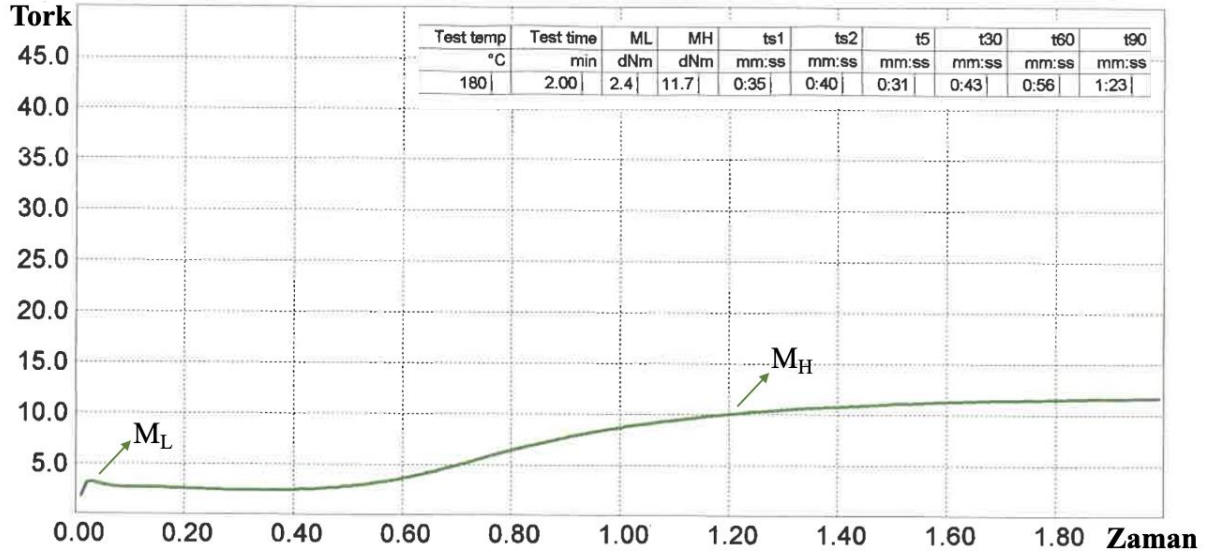
Tablo 3. Kauçuk Konveyör Bant Formülasyonu

Formülasyon kimyasalları	phr
Neopren	100
HAF N330	35
Trikloro parafinik yağ	6,5
ZnO	5,0
Stearin	1,5
Sb ₂ O ₃	10
Al(OH) ₃	10
Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	10
CBS	1,9
S	2,0

2.4. Analizler ve Testler

2.4.1. Reometre ölçümü

Reometre, kauçuk numunelerinin vulkanizasyon özelliklerini hızlı ve hassas bir şekilde tanımlar. Elde edilen neopren/kloropren kauçuk hamurunun optimum vulkanizasyon süresi ve hızları ASTM D1646 standartlarına göre GLK3000-MDR model reometre kullanılarak tayin edilmiştir (ASTM, 2019b). Reometre ölçümlerinin yapıldığı cihaz Şekil 3'de gösterilmiştir. Konveyör bant numunesinden alınan 6,0±0,1 g örnek reometre cihazına yerleştirildikten sonra 180 °C'de vulkanize edilmiştir. Şekil 2'de verilen reometre eğrisine göre M_L çapraz bağlanmanın gerçekleşmediği noktadır. M_H; vulkanizasyonun tamamlandığı andaki tork değeri, t₉₀; optimum vulkanizasyon süresidir.



Şekil 2. Kauçuk Numunesi Reometre Eğrisi



Şekil 3. Reometre Test Cihazı

2.4.2. Şekillendirme

Banburiden alınan kauçuk karışımı Şekil 4a'da verilen açık mile alınarak 5 dakika karıştırma işlemine devam edilir. Bu işlem sırasında kauçuk karışımı plaka haline gelir. Plaka halindeki kauçuk formülasyonuna Emsal marka Şekil 4b'de gösterilen pres makinesi ile sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Macun halindeki kauçuk (70 g), pres makinesinin alt kalıbına yerleştirilerek üst kalıp kapatılarak 20 dakika boyunca 140 °C sıcaklıkta 100 kg/cm² basınçta vulkanize edilmiştir.



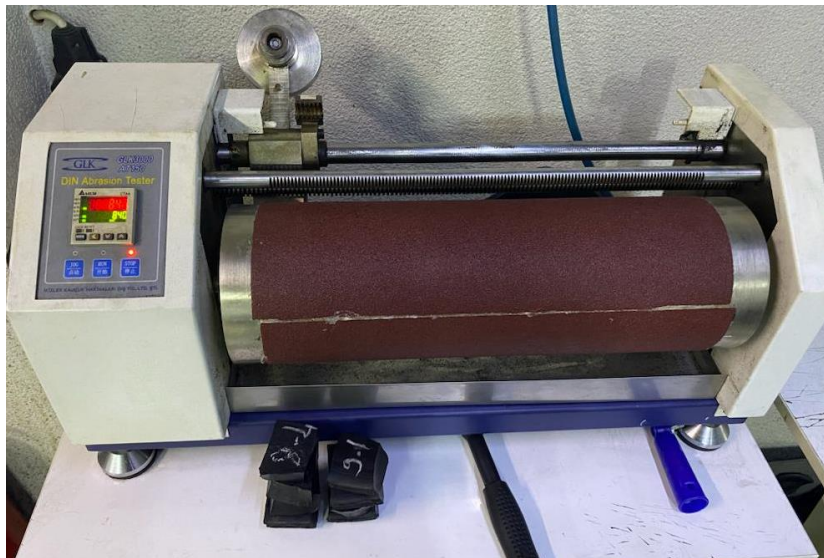
Şekil 4. a) Açık Mil b) Pres Makinası

2.4.3. Yoğunluk

Yoğunluk ölçümleri oda sıcaklığında, ASTM D297 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir (ASTM, 2019a). Konveyör bant numunelerinin yoğunlukları Arşimet Prensibi ile tayin edilmiştir. Bu prensip, birim hacim başına kütle olup, vulkanize olmuş numunenin suda ve havada tartılmasıyla hesaplanır. Yaklaşık 2,5 g numune hassas terazi kullanılarak tartılmış, yoğunluk ölçümleri 5 tekrarlı yapılarak sonuçlar g/cm^3 olarak verilmiştir.

2.4.5. Aşındırma

Aşındırma testi, Şekil 5'te gösterilen GLK3000-AT150 marka aşındırma cihazı kullanılarak TS ISO 4649 metot A standartlarına göre gerçekleştirilmiştir (TS ISO, 2017). Numuneden çapı 16 mm, kalınlığı 6 mm olan bir test parçası alındıktan sonra, aşındırıcı diske karşı 5 N kuvvetlerle bastırılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Numuneler aşındırma analizleri öncesinde ve sonrasında hassas terazi ile tartılarak meydana gelen ağırlık kaybı aşınma miktarı olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Aşındırma Test Cihazı

2.4.6. Sertlik

Sertlik, malzemelerin esnekliğini temsil eder ve ne kadar düşüğe malzeme o kadar elastiktir. Hazırlanan formülasyonun sertlik testi, Type Shore A model sertlik ölçme cihazı ile TS ISO 48-4 standardına göre yapılmıştır (TS ISO, 2019). Shoremetre, 6 mm kalınlığında 100x100 mm ölçülerinde, 140 °C de 20 dakika vulkanize edilip oda sıcaklığına gelmiş numuneye 5 N kuvvet ile bastırılır. Ölçüm cihazının kauçuğa bastırılan kısmı sivri konik bir yapıda olup girinti oluşturacak iğne benzeri bir yapı mevcuttur. İğne, cihaz ile kauçuğa basınç uygulandığında, bir yay sistemiyle test cihazının kasasına geri itilir. Bu itiş shoremetrenin kadranı üzerindeki ibrenin hareketine sebep olur. İbrenin sabit kaldığında gösterdiği değer kaydedilir ve ölçüm alınır. Uygun bir sertlik ölçümü için birbirinden en az 5 mm uzaklıktaki farklı konumlardan beş ölçüm elde edilmiştir. Numunenin sertliği bu ölçümlerin ortalaması olarak hesaplanmıştır.

2.4.7. Kopma uzaması ve çekme mukavemeti

Kaşık tipi (Tip 1 A) kurdele şeklindeki test numuneleri tabaka halindeki malzemelerden kalıpla kesilerek hazırlanmıştır. Test numunesi, 200x200 mm ebatlarında 2,0±0,2 mm kalınlığında kesit alanından alınmıştır. Test çalışma koşulları, 23 °C sıcaklık ve %50 bağıl nem şartlarına getirilir.

GLK3000-T5 test cihazı (Şekil 6), çekme yükünü ve çenelerin ayrılma mesafesini kaydetmektedir. Makinenin çekme hızı 50 mm/dk olacak şekilde ayarlanır. Test numunesinin orta kısmının eni ve kalınlığı ölçülerek mm cinsinden değerleri kaydedilir. Bu kısım çekme dayanımının tayini yapılacak kısımdır. Çekme mukavemeti, maksimum yükün bu kesit alanına bölünmesiyle hesaplanır. Testler TS ISO 37/Şubat 2021 standartlarına göre hesaplanmıştır (TS ISO, 2021).

Uzama, test parçasına uygulanan bir çekme kuvveti tarafından üretilen çeneler arasındaki uzamadır. Aynı zamanda test numunesinin uzunluğundaki değişimdir. Çeneler arasındaki mesafenin bir yüzdesi olarak ifade edilir. Kauçuğun kopma uzaması, numune kesitinin maksimum çekme yükünün tayin edildiği esnada görülen uzamasıdır. Numune kesiti maksimum çekme yükü anında kopar ve test cihazı otomatik olarak bunu algılayıp durur. İki çene arasında bu noktadaki mesafe kauçuğun uzamasını verir. Test verileri, kopmadan sonra kauçuk numunesinin maksimum çekme dayanımı ve uzaması şeklinde kaydedilir.



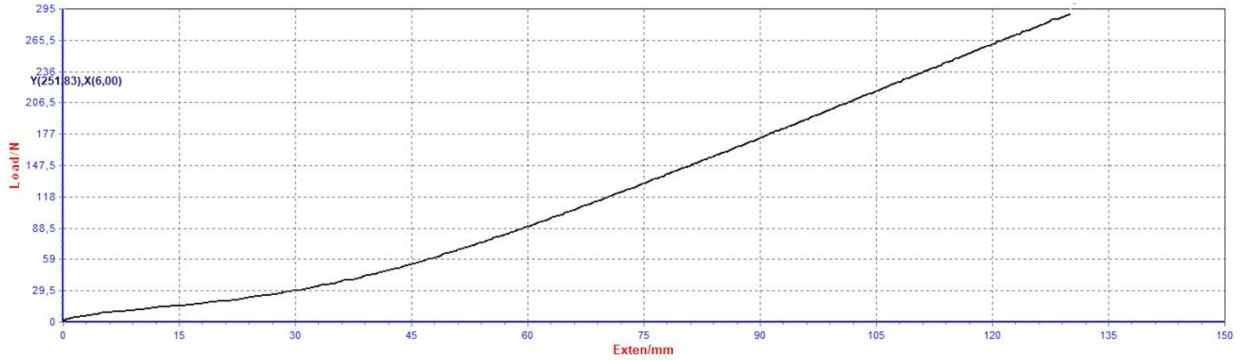
Şekil 6. Çekme/Kopma Test Cihazı

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Konveyör bantlarda kaplama kauçuğunun mekanik özellikleri bandın çalışacağı ortamdaki dayanımını ve bandın kullanım süresini doğrudan etkileyen en önemli parametrelerdir. Kauçuğun direncini belirlemek için çekme dayanımı, kopma noktasındaki uzama, sertlik ve aşınma testleri ana kriterdir. Çekme/kopma testine ait cihaz eğrisi Şekil 7’de gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen neopren kauçuğunun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Neopren Kauçuk Numunenin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Çekme dayanımı (N/mm²)	219,9
Kopma anındaki yük (N)	290,33
Kopma noktasındaki uzama yüzdesi (%)	520,37
Sertlik	59,74±0,90
Aşınma (mm³)	78,56±2,49
Yoğunluk (g/cm³)	1,108±0,051



Şekil 7. Kauçuk Numunesi Çekme/Kopma Test Sonuçları

Türk Standartları Enstitüsünün yer altı madenlerinde kullanılacak tekstil karkaslı kauçuk veya plastik kaplı konveyör bantlarla alakalı sunduğu TS EN ISO 22721/Mart 2013 (TS EN ISO, 2013) standardına göre V kaplama sınıfına ait kaplama kauçuğunun kriterleri; Çekme dayanımı; minimum 175 N/mm², Kopma noktasındaki uzama; minimum %400 ve sertliği; 63±5 shoreA dır. Aşınma testi için ise kauçuğun aşınma kaybı maksimum 175 mm³ olmalıdır. Aleve dayanıklı konveyör bant üretimi için geliştirilmiş olan bu standardın kriterleri ile çalışma kapsamında geliştirilen neopren kauçuğunun testleri karşılaştırıldığında ise mekanik özellikler açısından gerekli şartları sağlamaktadır.

Ayrıca neopren formülasyonlarının daha önce de belirtildiği üzere çok çeşitli yangın söndürücü kimyasalların eklenmesiyle alev dayanıklılıkları artırılabilir. Bu konuyla ilgili olarak metal oksitlerin kullanımı çok yaygındır. Ancak tek tip bir metal oksitin kullanımı önerilmez. Bunun nedeni, alevlenme esnasında kauçuğa nüfus eden alev karşı her kimyasalın farklı sürelerde dayanım göstermesi, birden fazla farklı yapıya sahip kimyasal kullanımında kimyasalların bertarafa yönelik sinerjik etki oluşturabilmeleri ve söndürücü kimyasalların bertaraf mekanizmasının ne kadar çok çeşitli gelişirse sönmeye olayının bir o kadar daha hızlı gerçekleşmesidir (Kauçuk Derneği, 2018).

Metal oksitlerin haricinde alternatif söndürücü kimyasalların kullanımı hem maliyet açısından hem de toksisite bakımından avantaj sağlar. Bu nedenle formülasyonu geliştirirken amaç, metal oksit kullanımını nispeten azaltmak ve alüminyum hidroksit ve boraks.dekahidrat gibi alev dayanımına katkı sunabilecek kimyasalların kullanımınıdır. Bu kimyasallar ayrıca alevlenme

enasında eriyik forma geçerek tekstil bez üzerinde bir yalıtım malzemesi gibi davranmakta ve tekstil bezin yanmasını da geciktirmektedir (Aslan & Özkaya, 2004).

Tekstil karkaslı konveyör bant üretiminde kullanılması hedeflenen bu formülasyonun ön denemelerinde kauçuk performans testleri kapsamında yapılan lastik-doku, doku-doku katmanları arasındaki yapışma mukavemeti testleri de TS EN ISO 22721/ Mart 2013 standardındaki kriterleri karşıladığı görülmüştür (TS EN ISO, 2013). Bu formülasyonla üretilen konveyör bantın güvenlik kategorileri testlerinin yapılmasıyla aleve dayanım konusunda üst seviyelerde performans göstereceği düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Teşekkür

DeneySEL çalışmaların yürütülmesine destek sağlayan Bantsan Taşıma Bantları ve Makina Kayışları San. ve Tic. A.Ş., Z&Q Polimer A. Ş.'den Ege Aydın'a teşekkürler.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Akpınar Borazan, A. (2017). Preparation And Characterization Of Epdm Rubber Mixture For A Heat Resistant Conveyor Belt Cover. *Anadolu University Journal Of Science And Technology A - Applied Sciences and Engineering*, 18(2), 507-520.
- Altundal, G., Görmüşer, T., Kuru, M., Çetin, E., & Uygur, İ. (2022). S-SBR (Solution Stiren Bütadien Kauçuk) Bazlı Kauçuk Karışımlarına Farklı Karbon Siyahlarının Etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 10, 1865-1872.
- Aslan, S., & Özkaya, K. (2004). Farklı Kimyasal Maddelerle Emprenye Edilmiş Ahşap Esaslı Levhaların Yanma Mukavemetinin Araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(2), 122-140.
- ASTM. (2019a). *Standard Test Methods for Rubber Products—Chemical Analysis*, , In *ASTM Annual Book of American Society for Testing and Materials Standards*.
- ASTM. (2019b). *Standard Test Methods for Rubber—Viscosity, Stress Relaxation, and Pre-Vulcanization Characteristics (Mooney Viscometer)*, In *ASTM Annual Book of American Society for Testing and Materials Standards*.
- Future Learn. (2024). *Polymers in Sports Protection Equipment*. University of York. <https://www.futurelearn.com/info/courses/everyday-chemistry/0/steps/22346> adresinden 2 Ocak 2024 tarihinde erişildi.

- Jiang, J., Zhai, J., Kong, L., Zhao, D., & Feng, Y. (2022). Flame retardant chloroprene rubbers with high tensile strength and elongation at break via dual cross-linked networks. *RSC Advances*, 12(42), 27633-27640.
- Karaivanova, M. S. (2003). The use of ammonium salts of oligosulphonic acids as flame retardants for polymer compositions. *Polymers & Polymer Composites*, 11(1), 37-49.
- Kauçuk Derneği. (2018). *Kauçuk* (Kauçuk Derneği İktisadi İşletmesi, Ed.; C. 66).
- Leblanc, J. L. (2002). Rubber-Filler interactions and rheological properties in filled compounds. *Progress in Polymer Science*, 27, 627-687.
- Morawetz, H. (2000). History Of Rubber Research. *Rubber Chemistry and Technology*, 73, 405-423.
- Păun, F. A., & Gabor, D. (2022). Application of flammability testing methods for conveyor belts intended for use in potentially explosive atmospheres in order to select suitable types for field application. *MATEC Web of Conferences*, 354, 1-10.
- Sung, I. K., & Park, C. Y. (2015). Fire Resistance Properties of Chloroprene Rubber containing Inorganic Flame Retardant. *Elastomers and Composites*, 50(4), 279-285.
- Tang, S., Li, J., Wang, R., Zhang, J., Lu, Y., Hu, G., Wang, Z., & Zhang, L. (2022). Current trends in bio-based elastomer materials. *SusMat*, 2(1), 2-33.
- Topçu, M. (2021). *Devulkanize Kauçuğun Etilen Propilen Dien Monomer (Epdm) Ve Doğal Kauçuk (Nr) Kauçuk Karışiminin Reolojik Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. Bursa Teknik Üniversitesi.
- Treger, Yu. A., Morozov, K. A., Dasaeva, G. S., & Frolkova, A. K. (2018). Chloroprene Rubber: Application And Production. *Fine Chemical Technologies*, 13(4), 26-38. <https://doi.org/10.32362/2410-6593-2018-13-4-26-38>
- TS EN ISO. (2013). *Konveyör bantlar- Yeraltı madenleri için tekstil karkaslı kauçuk veya plastik kaplanmış konveyör bantların özellikleri*.
- TS ISO. (2017). *Lastikler - vulkanize veya termoplastik - Aşınma direncinin döner bir silindirik tambur yardımıyla tayini*.
- TS ISO. (2019). *Kauçuk, vulkanize veya termoplastik - Sertlik tayini - Bölüm 4: Durometre yöntemiyle girinti sertliği (Shore sertliği)*.
- TS ISO. (2021). *Lastikler ve termoplastikler- Çekme gerilmesi-Uzama özelliklerinin tayini*.
- Vahapoğlu, V. (2007). Kauçuk Türü Malzemeler I. Doğal Kauçuk. *C. B. U. Journal of Science*, 3(1), 57-70.
- Vahapoğlu, V. (2013). Kauçuk Türü Malzemeler: Sınıflandırma. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 25-34.



Araştırma Makalesi / Research Article

LOJİSTİK TAŞIMACILIĞINDA ANP VE CODAS YÖNTEMLERİ İLE KARGO FİRMASI SEÇİMİ

SELECTION OF CARGO COMPANY WITH ANP AND CODAS METHODS IN LOGISTICS TRANSPORTATION

Emine Elif NEBATI¹

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1397476>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
emine.nebati@izu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
28.11.2023

Kabul Tarihi / Accepted
17.02.2024

Öz

Müşteri odaklı üretim yapan şirketler için lojistik kavramı son derece önemlidir. Kargo taşımacılığı, lojistik sektöründe üretici ve tüketiciler arasında bir köprü görevi görür ve şirketin imajı açısından büyük bir önem taşımaktadır. Bu yüzden şirketler tedarikçi seçimi yaparken birçok kriteri göz önünde bulundurup kendisi için en uygun alternatifini seçmektedir. Bu çalışmanın amacı, tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir şirketin kargo taşımacılığı için tedarikçi seçimini yapmaktır. İlk adımda, kargo taşımacılığından faydalanan şirketlerin seçim esnasında dikkat edilmesi gereken önemli kriterler ANP yöntemi ile belirlenmiştir. İkinci olarak, alternatif kargo şirketleri arasında CODAS (Combinative Distance-based Assessment) yöntemi ile en uygun firma seçimi yapılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda, ana kriterlerde güven, alt kriterlerde kargo güvenliği teminatı en önemli kriterlerdir. Alternatif 1 kargo şirketi ise, ilk sırada yer almaktadır. Kargo firması seçimi, lojistik yönetimi için kritik bir karardır. Doğru seçim, müşteri memnuniyeti, maliyet etkinliği ve operasyonel verimlilik için önemlidir. Çalışmanın alana katkısı ile, sektördeki karar vericilere yol göstereceği umulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ANP, CODAS, çok kriterli karar verme (ÇKKV), lojistik, tedarikçi seçimi.

Abstract

The concept of logistics is extremely important for companies engaged in customer-oriented production. Cargo transportation, acts as a bridge between producers and consumers in the logistics sector and it is great importance for the image of the company. For this reason, companies consider many criteria when choosing a supplier and choose the most suitable alternative for themselves. The aim of this study is to select a supplier for cargo transportation of a company operating in the textile sector. Firstly, the important criteria that companies that benefit from cargo transportation should pay attention to during the selection were determined by the ANP method. Secondly, among the alternative cargo companies, the most suitable company was selected with the CODAS method. As a result of the evaluation, trust in the main criteria and cargo security assurance in the sub-criteria are the most important criteria. Alternative 1 cargo company is in the top. Cargo carrier selection is a critical decision for logistics management. The right choice is important for customer satisfaction, cost effectiveness, and operational efficiency. It is hoped that the study will guide decision makers in the sector with its contribution to the field.

Keywords: ANP, CODAS, logistics, multi-criteria decision making (MCDM), supplier selection.

¹İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
emine.nebati@izu.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-3950-4279.

1. GİRİŞ

Sürekli olarak büyüyen ve gelişen bir teknoloji ortamında firmalar, sürdürülebilirliğini sağlamak ve rekabet ortamında ayakta kalmak adına çeşitli stratejiler geliştirerek planlamalar yapmaktadır. Covid-19 pandemisi sonrasında değişen dünyada da herkesin dijital ortamda yaşamaya alışması ve işlerini cep telefonu, bilgisayar ya da tablet gibi araçlar aracılığıyla kolayca halledebiliyor olması hayatlarını kolaylaştırmaktadır. Bu kapsamda firmalar da internet üzerinden satış kavramına önem vermekte ve müşteri odaklı stratejiler uygulamaktadır. Günümüzde ön plana çıkan müşteri odaklılık kavramı ile kurumlar bu kültüre daha çok merkezine almaktadır. Günümüzde işletmeler artan rekabet ortamında eş zamanlı olarak müşteri taleplerini de karşılayabilmek için rekabet ortamına uyum sağlamaya çalışmaktadır (Deste & Savaşkan, 2021:4-21). Ürünlerin doğru zamanda ve doğru miktarda tüketicilere ulaşmasını hedefleyen şirketler süreç akışını hızlandırmak için dış kaynaklara yönelmektedir (Eren & Gür, 2018: 819-834). Dış kaynak kullanımı, işletmelerin temel faaliyetlerinden farklı olarak maliyet ve zamandan kazanmak adına bazı faaliyetleri farklı firmalara yaptırmasıdır.

Tedarik zinciri sürecinin ilk aşamasından sonuncusuna kadar geçen süreçte bilgi ve malzemenin ulaşması gereken yere doğru zamanda ulaşması işlemlerinin tümüne lojistik adı verilmektedir (Ulutaş, 2020: 1640-1647). Şirketler, taşıma faaliyetlerini sürdürmesi adına bazı stratejik ortaklıklar yapmaktadır ve bu ortaklıklar arasında en önemlilerinden birisi lojistik üzerine olmaktadır. Şirketler, dış kaynaklar aracılığıyla sağladığı hizmeti verecek olan firmayı da büyük bir özenle değerlendirerek karar vermek durumundadır. Üretici ve tüketiciler arasında bir köprü görevi gören Üçüncü Parti Lojistik (3PL) hizmeti veren firmaların yanı sıra diğer avantajları firmaların temel yetkinliklerine odaklanmaları, tedarik zinciri ortaklıklarını geliştirmeleri, verimliliklerini arttırmaları ve ulaşım maliyetlerini azaltmaları olarak sıralanabilir (Liu & Wang, 2009: 4387-4398; Wong & Karia, 2010:51-67; Wang, Persson, & Huermer, 2014:117-128). Karar verme problemini kısaca tanımlamak gerekirse en az bir amaç uğruna en az bir kriterin göz önünde bulundurularak en doğru alternatifin seçilmesi olarak tanımlanabilir. (Asoğlu & Eren, 2018:102-122). Karar verme aşamasında firma yetkilileri hizmet vericiyi değerlendirirken birden fazla kriteri göz önünde bulundurarak en uygun alternatifi seçmek istemektedir. Bu kriterler arasında maliyetin düşük olması, hızlı ve zamanında teslimat yapılması, güvenli teslimat yapılması, firmanın sektördeki deneyimi gibi birçok kriter bulunmaktadır. Birden fazla kriterin birbiriyle çeliştiği ve sonuca ulaştırılması gereken durumlarda “Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden faydalanılmaktadır (Bülbül & Köse, 2016: 187-210). Bu çalışmada lojistik hizmeti için dış kaynaklardan yararlanan bir şirketin alternatiflerinin değerlendirilmesi için ÇKKV tekniklerinden ANP ve CODAS yöntemi kullanarak en uygun alternatif kargo firması seçilmesi üzerine bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, literatür araştırması kısmı yer almaktadır. Üçüncü bölümünde, kullanılan yöntemlerin teorik altyapısına yer verilmiştir. Dördüncü bölümünde lojistikte kuruluş yeri seçimi probleminin Kargo Firması uygulaması ve duyarlılık analizi yer almaktadır. Çalışmanın son bölümünde ise sonuç ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Lojistik sektörünün en önemli aşamalarından birisi olan kargo taşımacılığı için dış kaynak hizmetini başka alt firmalar aracılığıyla şirketler için en uygun kargo firması alternatifinin seçilmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma için ‘Google Academic, Dergipark, ScienceDirect, Academia ve YökTez’ veri tabanlarında ‘Lojistik Sektöründe Kargo Seçimi, Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Kargo Firması Seçimi, Kargo Firması Seçiminde Dikkat

Edilen Kriterler, Online Alışverişte Kargo Teslimatında Müşteri Beklentileri' anahtar kelimeleri ile yapılan araştırmada son 10 yılda (2023-2012) yapılmış çalışmalar referans olarak alınmıştır. E-ticaret ile otomotiv yedek parça satan işletmelerin kargo firması seçiminde etkili olan kriterleri karşılaştırmıştır. Verilerin analizinde, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) kullanmıştır (Şenaran, 2023)

Deste ve Savaşkan tarafından 2021 yılında yapılan çalışma, artan rekabet ve pandeminin olumsuz etkileriyle lojistiğin de önemini öne çıkmasıyla birlikte şirketler için uygun ve hızlı teslimat gibi kriterlerin önemini ortaya koymuştur. Kargo firması seçerken fiyat, deneyim, şube sayısı ve teslimat süresi dahil olmak üzere 8 ana kriter belirlenerek yapılan çalışmada tüm Türkiye'de şubesi bulunan 5 kargo firması alternatifinden en uygun olanı VIKOR yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Deste & Savaşkan, 2021:4-21).

Suratos ve Srinon tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada yaygın olarak ithalat/ihracat işlemlerinde kullanılan yaygın bir model olan ve lojistikte önemli bir problem olarak nitelendirilen bir çok kriterli karar verme problemi ile kargo hizmeti taşımacılığı yapan firma seçimi için Tayland'da bir çalışma yapılmıştır. Bulanık AHP yöntemi ile yapılan çalışmada en önemli kriterler hizmet kalitesi, hizmet maliyeti ve teslimat performansı olarak belirlenmiştir (Suratos & Srinon, 2021).

Göçmen tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada Endüstri 4.0 devrimi ile önem kazanan ve Lojistik 4.0 olarak nitelendirilen sistemde firmaların daha akıllı tesislere geçmesine teşvik etmek amacıyla emniyet, güvenlik, kalite ve maliyet kriterleri altında Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ile firmanın potansiyelleri değerlendirilmiştir. (Göçmen, 2020: 2508-2519.)

Ulutaş tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada lojistiğin temel faaliyetlerinden olan kargo işlemi için uygun kargo firmasının seçimi tam zamanında ulaşım, maliyeti, kargo süresince oluşabilecek hasarları karşılama gibi birçok kriterin göz önünde bulunarak seçim yapılması ele alınmıştır. SWARA tabanlı CODAS yöntemi ile kullanılarak yapılan çalışma ile en uygun alternatifin seçilmesiyle birlikte literatürde karşılığı az olan ÇKKV ile kargo seçimi, SWARA ve CODAS yönteminin beraber kullanılmaması ve ilgili alanda Türkçe çalışmanın az olması gibi ihtiyaçları da karşılamaktadır (Ulutaş, 2020: 1640-1647).

Liu ve diğerleri tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada karmaşık ve belirsizlik ortamında hibrik çok kriterli karar verme kriterlerini önemini artmasına istinaden yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda bazı analiz ve değişikliklerin yapılmasının optimal sıralamayı değiştirmedığı ve çalışmanın doğruluğunu ispatlayıcı nitelikte olduğu ortaya çıkmaktadır (Liu ve ark., 2020).

Sarabi ve Darestani tarafından 2020 yılında yapılan çalışmada tedarik zincirinde üretimi maksimize edip en iyi tedarikçilerle çalışarak kaliteyi arttırmayı amaçlayan şirketlerin makinelerin müşterilere zamanında teslim edilmemesi ve düzensiz satın alma gibi problemlerin önüne geçmek üzere en uygun lojistik hizmet sağlayıcısını seçmesi üzerine durulmuştur. 3 farklı alternatifin değerlendirildiği çalışmada Bulanık En İyi-En Kötü Yöntemi ve Multimoore Yöntemi kullanılmış olup 3. alternatifin en iyi seçenek olduğu sonucuna varılmıştır (Sarabi & Darestani, 2021).

Yaman ve Erdoğan tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada lojistiğin alt kollarından olan kargo teriminin müşteri üzerindeki yansıması ele alınmıştır. X, Y ve Z kuşağından farklı bireylerin kargo hizmetlerinde etkili olan faktörleri değerlendirmesiyle kuşaklar arasındaki farklılıkların kargo hizmetleri üzerine etkisi araştırılmıştır (Yaman & Erdoğan, 2019: 1705-1714).

Karagöz ve diğerleri tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada kargo firmasının seçiminde kullanılan kriterlerin seçiminde bir ölçek kullanarak değerlendirme yapılmaktadır. Doğrulayıcı faktör analizi ile 12 faktörlü bir yapı inşa edilerek uyum, iç tutarlılık ve güvenilirlik gibi ölçütler üzerinden değerlendirme yapılmıştır (Karagöz ve ark., 2019: 235-247).

Ayçin tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada 3PL firmasının seçiminde etkili olan ve rekabet üstünlüğü sağlayacak olan belli başlı kriterleri DEMATEL yöntemi ile inceleyerek optimal seçeneğin seçilmesi amaçlanmıştır. Talep, hizmet, maliyet gibi kriterler göz önünde bulundurularak dış kaynak kullanan lojistik firmaları ile 3PL hizmeti alan firmalar arasındaki farklar da incelenmiştir (Ayçin, 2018: 425-447).

Pamucar ve diğerleri tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada 3PL (3. Parti Lojistik) firma seçiminin son dönemlerde öneminin artmasına istinaden yapılan araştırmalarda belirsizliklerin önüne geçmek için kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden IRN, BWM, WASPAS ve MABAC yöntemleri kullanılarak en uygun firmanın seçilmesi üzerine bir değerlendirme yapılmıştır (Pamucar ve ark.,2018: 383-407).

Asoğlu ve Eren tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada şirketlerin çağa ayak uydurmak adına gelişmeleri takip edebilmesi ve sürdürülebilirliğini sağlaması adına bazı ürün ve hizmetlerde maliyeti azaltarak daha çok verim alabileceği stratejilerin geliştirilmesini incelemektedir. Şirketlerdeki kargo hizmetleri de önemli olduğu için doğru kararı vermek adına AHP, TOPSIS ve PROMETHEE yöntemi ile en uygun kargo firmasının seçilmesi adına kriterler belirlenmiş olup uzman kişiler tarafından değerlendirilmiştir. (Asoğlu & Eren, 2018:102-122).

Eren ve Gür tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada teknolojinin gelişmesiyle birlikte online ticarete de tercih edilen kanalların sayısının artmasıyla birlikte büyüyen rekabette işletmelerin uygun dağıtım kanallarının belirlenmesine yardımcı olmak amacıyla AHP ve TOPSIS yöntemiyle en ideal firmanın seçilmesi üzerine çalışılmıştır. (Eren & Gür, 2018: 819-834).

Guo ve Zhao tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada bilgi eksikliklerinin olması ve belirsizliklerin olması durumlarında ÇKKV tekniklerinin yetersiz kalabileceği ve bu durumda yöntem bulanık ortama genişletilerek çözüme ulaşılabileceği aktarılmıştır. En son ÇKKV tekniği, bulanık BWM (En İyi- En Kötü Metodu) ile kriterler arasında değerlendirmelere (Guo & Zhao, 2017:23-31).

Atmaca ve Turğut tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada günümüz teknolojilerine ayak uydurmaya çalışan lojistik firmalarının faaliyetlerinden olan kargo hizmetini veren kurumların seçimini belirleyen kriterler ile alakalı bir saha çalışması ele alınmıştır. IBM SPSS Statik 20 paketi kapsamında sonuçlandırılan çalışmada zamana ayak uydurabilen ve karlılığını arttırmak isteyen şirketler arasından seçim yapılmıştır (Atmaca & Turğut, 2015:65-79).

Özbek ve Eren tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada firmaların rekabet üstünlüğünde büyük bir paya sahip olan 3PL (3. Parti Lojistik) firmasının seçimi üzerine durulmuştur. 3PL firma seçiminde nicel ve nitel veriler modellenerek Analitik Ağ Süreci (ANP) metodu ile en uygun firma seçimi yapılmıştır (Özbek & Eren, 2013:95-113).

Akmal ve Baynal tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada şirketler için müşteri hizmetleri sistemini geliştirmek ve lojistik maliteylerini düşürmek adına son dönemde önemli bir hale gelen 3PL firmasının seçiminde Bulanık AHP ve TOPSIS yöntemleriyle uygun firmanın seçimi yapılmıştır. Bulanık AHP yöntemiyle belirlenen kriterler ağırlıklandırılmış olup TOPSIS yöntemiyle optimal sonuca ulaşılan çalışmada 8 farklı alternatif değerlendirilmiştir. (Akman & Baynal, 2014)

Uzun tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada kargo taşımacılığında hizmetin önemine istinaden bireysel ve kurumsal firmalarla görüşmeler yapılarak verilen hizmetlerin önem derecesi belirlenmiştir. AHP ve TOPSIS yöntemleri ile sonuçlandırılan çalışmada 3 ana kriter ve her ana kriter için 3'er alt kriter belirlenmiş olup önem derecesine göre sıralanmıştır. (Uzun, 2013)

Ho ve diğerleri tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada 3PL firmalarının seçimini yaparken Kalite Fonksiyon Dağıtımı(QFD)'ni da göz önünde bulundurarak Bulanık AHP yöntemi ile kriterlerin ağırlıklandırılarak en iyi alternatifin seçilmesi üzerine durulmuştur (Ho ve ark., 2012: 10841-10850).

İncelenen çalışmalardan görüldüğü üzere, AHP ,ANP, SWARA ,TOPSIS, PROMETHEE, İstatiksel analiz gibi yöntemleri kullanan çeşitli çalışmalar mevcuttur.Bu çalışma ile, tekstil sektöründe kargo firması seçecek olan karar vericilere yol göstereceği düşünülmektedir.

3. METODOLOJİ

Lojistik sektöründe önemli bir yere sahip olan taşımacılık hizmetini sağlamak adına en uygun kargo firmasının seçilmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda, uzman karar vericilerin bir değerlendirme yapması istenmektedir. Belirlenen 4 ana kriter ve 13 alt kriterin değerlendirilmesinde ÇKVV yöntemlerinden, ANP ve alternatiflerin sıralamasında CODAS yöntemi tercih edilmiştir.

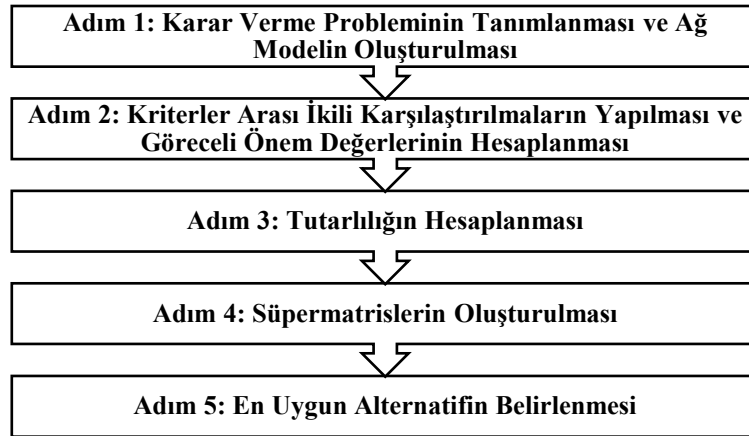
3.1. Analitik Ağ Süreci (ANP) Yöntemi

ANP yöntemi, birçok kriterin değerlendirilmesi ve belirsizlik ortamında uygun alternatifi belirlemek adına kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biridir. Thomas L. Saaty tarafından ortaya atılmış ve geliştirilmiştir (Dağdeviren & Yüksel, 2007: 99-118; Saaty & Shih, 2009: 867-872). ANP yöntemi karmaşık karar verme süreçlerinde gerçekçi çözümler sunar ve karar problemine tek bir yöne bağlı olarak modelleme zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır. Kriterler ve alt kriterler arasındaki geri bildirimleri değerlendiren ANP yöntemi bu özelliği ile karar verme problemlerinin daha etkin ve gerçekçi şekilde çözülmesinde kolaylık sunmaktadır (Çelik & Murat, 2010:32-51).

Geçmiş dönemlerde yapılan araştırmalarda ANP yöntemi; Yenilenebilir Enerji Sektörü (Şahin, 2016: 180-188), Akıllı Şehir (Yaşar ve ark., 2022:15-28), Yazılım Sektörü (Çalışkan & Yüksel, 2021: 1480-1495), Tekstil Sektörü (Çat ve ark., 2022) ve Tehlikeli Madde Sektöründe (Oral ve ark., 2021:115-124) kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. ANP yöntemi ile ilgili incelenen bazı çalışmalara Tablo 1 'de paylaşılmıştır. ANP uygulama adımları ise; Şekil 1'deki gibi beş adımda sıralanabilir.(Dağdeviren & Yüksel, 2007:99-118; Saaty & Shih, 2009: 867-872; Nebati ve ark., 2021).

Tablo 1. ANP Yöntemi ile İlgili Yazındaki Bazı Çalışmalar

Yazar	Yıl	Amaç-Uygulama
Ecer ve Küçük	2005	Çalışmada, en iyi tedarikçi analitik hiyerarşi yöntemiyle belirlenmiştir.
Agarwal ve Vijayvargy	2011	Bir kahve üretim firması için en uygun tedarikçi seçimini yapmışlardır.
Şengül, Eren ve Seyedhadi Eslamian Shiraz	2012	Çalışmada Bulanık AHP tekniklerinden, Chang'in Mertebe Analiz Yöntemi uygulanarak, belediyeler için toplu taşımada araç seçimi ele alınmıştır.
Baynal ve Yüzüğüllü	2013	En uygun tedarikçi/tedarikçilerin seçiminde Analitik Ağ Süreci (AAS) kullanılarak, tedarikçi performansları değerlendirilmiştir.
Assellaou ve diğ	2015	Tedarikçi seçimini otomobil sektöründe gerçekleştirmişlerdir.
Hamurcu ve Tamer Eren	2018	Çalışmada, kentsel ulaşımın iyileştirilmesi için yüksek kapasiteye sahip elektrikli otobüslerin seçimi ANP yöntemi ile belirlenmiştir.
Rad, Sadeghi-Niaraki, Abbasi ve Choi	2018	Akıllı şehirler için önemli olan kriterler belirlenmiştir.
Aksoy	2019	Araç kiralama sektöründe hangi marka aracın seçilmesine yönelik bir çalışma yapmıştır.
Matin, Zare, Ghotbi-Ravandi ve Jahani	2020	Çalışanlarda ısı stresi kontrolleri belirlenmiştir.
Yüksel, Kalan ve Işık	2022	Havaalanlarında kullanılan dijital dönüşüm unsurları incelenmiş ve bu süreci etkileyen riskler değerlendirilmiştir.
Nebati	2022	Perakende sektöründe e-ticarete etki eden başarı kriterleri önceliklendirilmiştir.
Gupta ve diğ	2023	Bulut tabanlı teknolojilerin oluşturduğu tehlikelerin etkisini değerlendirmiştir.



Şekil 1. ANP Yöntemi Uygulama Adımları (Saaty & Shih, 2009)

3.2. CODAS Yöntemi

Ghorabae ve arkadaşları 2016 yılında CODAS yöntemini önermiştir. CODAS yönteminde karar problemini oluşturan alternatiflerin performansları negatif-ideal çözüme uzaklıkları dikkate alınarak belirlenmektedir (Dahooie, ve ark., 2018: 5-16). Negatif-ideal çözüme (NIS) uzaklıklarda ise, Öklidyen ve Manhattan uzaklığı yaklaşımları kullanılmaktadır. (Badi, Abdulshahed, & Shetwan, 2018). Yöntemin en önemli avantajı, basit ve birkaç basit matematiksel denklemden

oluşmasıdır. Bununla birlikte, etkin sonuçlar sunmaktadır. Yazında çeşitli alanlarda örnekler bulunmaktadır. Örneğin; yenilenebilir enerji sektörü (Ayçin & Arsu, 2019:277-292), ticaret (Alioğulları & Tüysüz, 2020:240-248), finans (Demir, 2021: 831-847) ve enerji (Altıntaş, 2022:3-25; Akgün, 2022: 338-356) sektörlerinde çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, Tablo 2’de CODAS yöntemi ile ilgili yazındaki bazı çalışmalara yer verilmiştir. CODAS metodu aşağıdaki adımların takip edilmesiyle uygulanmaktadır (Keshavarz-Ghorabae ve ark., 2016).

Adım 1. Karar matrisi oluşturulur. X matrisi, karar verici tarafından n tane alternatif ve m tane kriterden oluşmaktadır.

$$x = [x_{ij}]_{nm} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2. X matrisindeki değerler kullanılarak Normalize edilmiş karar matrisi hesaplanır. N_b ve N_c sırasıyla fayda ve maliyet kriterlerini tanımlamaktadır.

$$n_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} & j \in N_b \text{ ise,} \\ \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} & j \in N_c \text{ ise,} \end{cases} \quad (2)$$

Adım 3. Ağırlıklandırılmış karar matrisi elde edilir. Kriter ağırlıkları (w_j) ile normalize edilmiş karar matrisindeki sütun değerleri çarpılır.

$$r_{ij} = w_j n_{ij} \quad (3)$$

Adım 4. Negatif ideal çözümün belirlenir. Ağırlıklandırılmış karar matrisinin her sütunundaki değerlerin en küçüğü seçilir.

$$ns = [ns_j]_{1 \times m} \quad (4)$$

$$ns_j = \min_i r_{ij} \quad (5)$$

Adım 5. Her alternatif için Öklid ve Taxicab uzaklıkları hesaplanır.

$$E_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (r_{ij} - ns_j)^2} \quad (6)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^m |r_{ij} - ns_j| \quad (7)$$

Adım 6. Göreceli değerlendirme matrisinin ($R\alpha$) elde edilir.

$$R\alpha = [h_{ik}]_{n \times n} \quad (8)$$

$$h_{ik} = (E_i - E_k) + (\psi(E_i - E_k) \times (T_i - T_k)) \quad (9)$$

$k \in \{1, 2, \dots, n\}$ ve ψ , iki alternatifin Öklid uzaklığının eşitliğini tanımlayan bir eşik fonksiyonunu ifade eder ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\psi(x) = \{1, \text{ eğer } |x| \geq \tau, 0, \text{ eğer } |x| < \tau \quad (10)$$

τ eşik parametresi olarak karar verici tarafından belirlenebilir. Bu parametrenin 0,01 ile 0,05 arasında bir değere alınması tavsiye edilmektedir. Yazında, genellikle τ eşik parametre değeri 0,02 olarak alınmaktadır. Eğer karşılaştırılan iki alternatifin Öklid uzaklıkları arasındaki fark τ 'den küçükse, bu iki alternatif Taxicab uzaklıklarına göre tekrar karşılaştırılır.

Adım 7. Her alternatif için değerlendirme puanları hesaplanır.

$$H_i = \sum_{k=1}^n h_{ik} \quad (11)$$

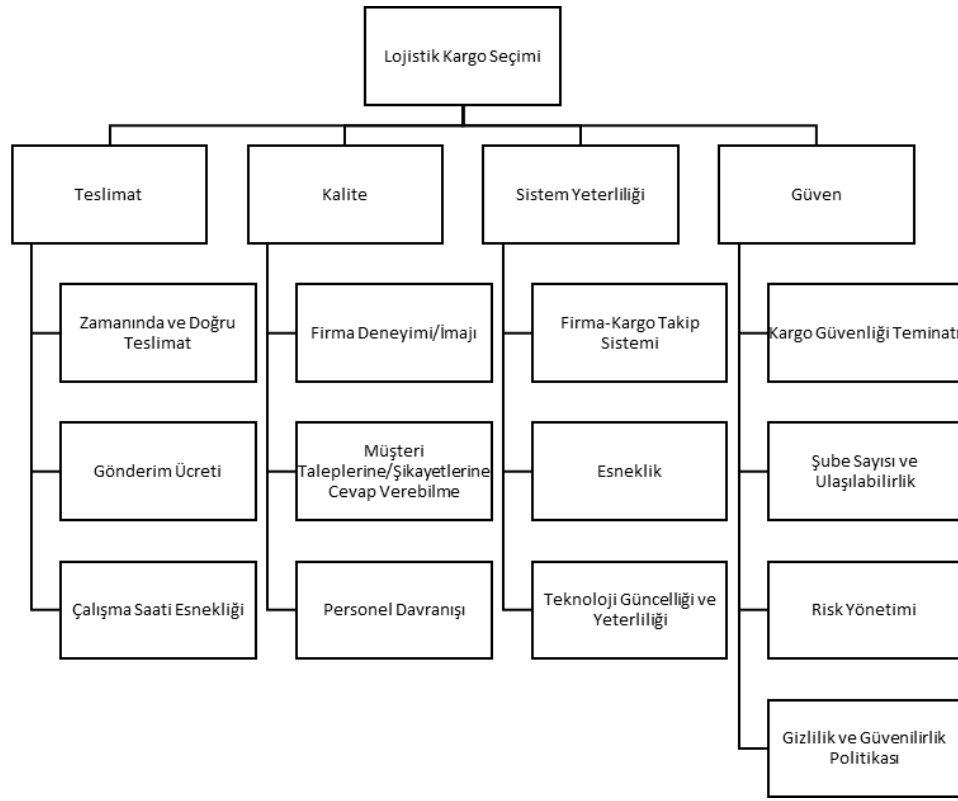
Adım 8. Alternatifler değerlendirme puanlarına (H_i) göre büyükten küçüğe doğru sıralanır. En yüksek değerlendirme puanına sahip alternatif, en iyi seçimdir.

Tablo 2. CODAS Yöntemi ile İlgili Yazındaki Bazı Çalışmalar

Yazar	Yıl	Amaç-Uygulama
Bakır ve Alptekin	(2018)	Havayolu işletmeleri hizmet kalitesi ölçümü
Tuş ve Adalı	(2018)	Tekstil firması personel seçimi yapılmıştır
Ayçin ve Arsu	(2019)	Yenilenebilir enerji kaynaklarının incelenmesi
Dahooie ve diğ	(2019)	Bilişim uygulaması sistemi seçilmiştir
Ulutaş	(2020)	Kargo firması seçilmiştir
Wei ve ark.	(2021)	Yeşil tedarikçi seçimi yapılmıştır
Wątróbski ve diğ	(2022)	Polonya'daki yeşil elektrik üretimi için yenilebilir enerji kaynakları değerlendirilmiştir
Badi ve diğ	(2023)	Kuzey Afrika ülkesinde en uygun merkez havalimanı konumu araştırılmıştır

4. UYGULAMA

Türkiye’de birçok mağazasıyla çeşitli ve kaliteli hizmet sunan bir tekstil işletmesinin beklentileri gözönünde bulundurularak, mağazalar ve depolar arasındaki lojistik hizmetini sağlaması adına uygun bir kargo firması seçimi istenmektedir. Sektörde deneyimli kişilerden oluşan bir ekip, belirlenen kriterleri değerlendirerek, en uygun kargo firması seçimi için bazı değerlendirmelerde bulunmuştur. Karar vericiler, Lojistik Operasyonları Kargolama Biriminde çalışan operasyon yöneticileri ve grup müdürleridir. Uygulama kapsamında, 4 ana kriter ve 13 alt kriter 4 farklı kargo firması alternatif olarak belirlenmiştir. 5 karar verici, tarafından yapılan değerlendirme sonuçlarında ÇKKV tekniklerinden ANP yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş olup CODAS yöntemi ile alternatif kargo şirketleri arasında sıralama yapılmıştır. Değerlendirmede kullanılan kriterler, açıklamaları ve referans alınan kaynaklar, Şekil 2 ve Tablo 3 ve Tablo 4’de paylaşılmıştır.



Şekil 2. Önerilen Model

Tablo 3. Kriter Referansları

Referanslar	Sheen ve Tai 2006	Jharkharia ve Shankar 2007	Meng ve ark 2010	Ho ve ark 2012	Akmal ve Baynal 2013	Özbek ve Eren 2013	Uzun 2013	Liao ve Kao 2014	Atmaca ve Turğut 2015	Cerna ve Bukova 2016	Eren ve Gür 2017	Asoğlu ve Eren 2018	Ayçin 2018	Karağör ve ark 2019	Pamucar ve ark 2019	Ulutaş 2020	Göçmen 2020	Deste ve Savaşkan 2021
Teslimat			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X
Zamanında ve Doğru Teslimat	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X		X		X	X	X
Gönderim Ücreti		X		X	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X
Çalışma Saati Esnekliği	X	X	X				X		X	X				X				
Kalite	X	X		X			X	X	X	X	X		X					X
Firma Deneyimi/İmajı					X	X			X		X		X		X			
Müşteri Taleplerine/Şikayetlerine Cevap Verebilme	X	X	X				X	X	X				X	X				X
Personel Davranışı		X					X					X		X		X		
Sistem Yeterliliği	X			X				X	X		X		X	X	X			
Firma-Kargo Takip Sistemi									X					X		X	X	

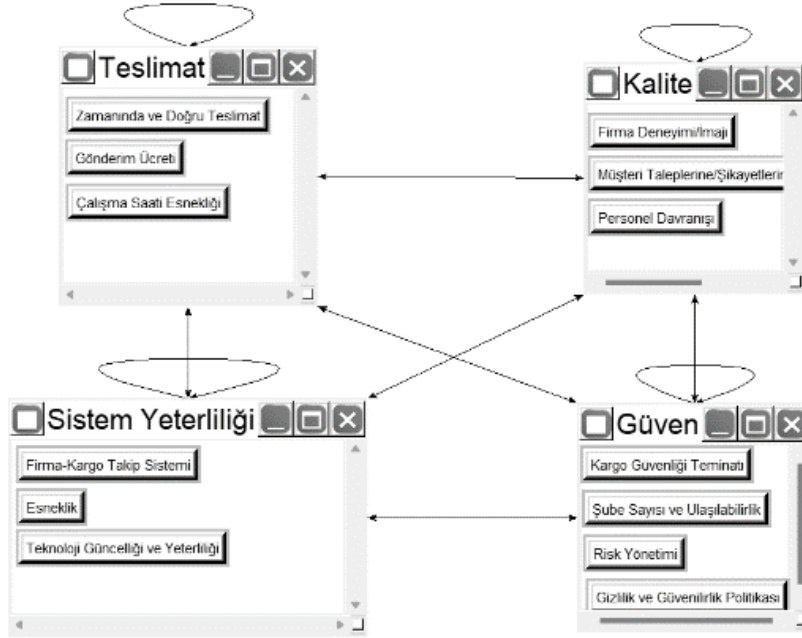
Esneklik	X	X	X	X	X	X			X	X	X		X				
Teknoloji Güncelliği ve Yeterliliği		X		X				X	X		X		X	X	X		
Güven	X		X		X		X	X	X		X		X		X		
Kargo Güvenliği Teminatı			X		X		X		X			X		X		X	
Şube Sayısı ve Ulaşılabilirlik	X	X				X			X			X	X		X		X
Risk Yönetimi		X		X		X		X		X							
Gizlilik ve Güvenilirlik Politikası	X		X		X	X	X		X		X		X				

Tablo 4. Kriter Açıklamaları

Teslimat
Zamanında ve Doğru Teslimat (K1): Gönderinin, müşterinin eline söz verilen tarihte geçmesi (Ulutaş, 2020: 1640-1647).
Gönderim Ücreti (K2): Kargo gönderiminde ödenmesi gereken ücretin uygun seviyede olması (Ulutaş, 2020: 1640-1647).
Çalışma Saati Esnekliği (K3): Firmanın müşteri ile yakın ilişki kurması ve çalışma saatlerinin genişliği etkili bir iletişim imkanı sağlamaktadır (Uzun, 2013).
Kalite
Firma Deneyimi/İmajı (K4): Müşterilerin istek ve ihtiyaçlarını karşılamanın ardından müşterilerin vermiş olduğu ifadeyi gösterir (Ayçin, 2018: 277-292).
Müşteri Taleplerine/Şikayetlerine Cevap Verebilme (K5): Müşteri memnuniyeti, iletişim kurabilme, talepleri karşılayabilme gibi terimleri içerir (Ayçin, 2018: 277-292).
Personel Davranışı(K6): Kargo firmasında çalışan personel ile hizmeti alan işletme arasında nazik ve saygılı bir iletişim kurulmasıdır (Ulutaş, 2020: 1640-1647).
Sistem Yeterliliği
Firma-Kargo Takip Sistemi (K7): Kurulan sistem ile hizmet esnasında mal veya hizmetin anlık takibinin yapılabilme imkanının sunulması. (Ulutaş, 2020: 1640-1647).
Esneklik (K8): Talebi karşılayabilme, müşterilere anlık risk durumlarında bilgilendirme yapabilme ve öngörülemez taleplere karşı aksiyon alabilme yeteneğini anlatır (Ayçin, 2018: 277-292).
Teknoloji Güncelliği ve Yeterliliği (K9): Tedarikçi firmanın hizmeti sağlama ve tutma durumunda kullanmış olduğu ekipmanların teknolojik anlamda yeterli olması ve zamana uygun yeniliklere sahip olmasını simgeler (Ayçin, 2018: 277-292).
Güven
Kargo Güvenliği Teminatı (K10): Mal veya hizmetin teslimatı sırasında oluşması öngörülen hasar ve zararlara karşı güvence verilmesidir (Ulutaş, 2020: 1640-1647).
Şube Sayısı ve Ulaşılabilirlik (K11): Hizmeti veren firmanın coğrafi olarak dağılımını simgeler (Ayçin, 2018: 277-292).
Risk Yönetimi (K12): Riski azaltmak ve esas faaliyet alanına odaklaşmak (Özbek & Eren, 2013:95-113).
Gizlilik ve Güvenilirlik Politikası (K13): İşbirliği yapılacak olan firmalar arasında uzun süreli ilişkilerin sağlanması adına kurulması gereken temel simgeler (Eren & Gür, 2018:819-834).

4.1. ANP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

ANP metodu için öncelikle belirlenen kriterler ile Super Decision programı üzerinden Şekil 3’de verilen ağ yapısı oluşturulmuştur. Ağ yapısı oluşturulduktan sonra kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılmış ve tutarlılık oranları hesaplanmıştır. Tutarlılık oranları 0,1’den küçük çıkmıştır. Tüm hesaplamalar ve kontroller sonrasında elde edilen önem ağırlıkları Tablo 5’de paylaşılmıştır.



Şekil 3. Ağ Yapısı

Tablo 5. Kriter Önem Ağırlıkları

Kriter	Ana Kriter Ağırlığı	Alt Kriter	Alt Kriter Ağırlığı
		Zamanında ve Doğru Teslimat	0,07
Teslimat	0,16	Gönderim Ücreti	0,05
		Çalışma Saati Esnekliği	0,03
		Firma Deneyimi/İmajı	0,10
Kalite	0,34	Müşteri Taleplerine/Şikayetlerine Cevap Verebilme	0,13
		Personel Davranışı	0,11
		Firma-Kargo Takip Sistemi	0,02
Sistem Yeterliliği	0,06	Esneklik	0,02
		Teknoloji Güncelliği ve Yeterliliği	0,02
		Kargo Güvenliği Teminatı	0,18
Güven	0,44	Şube Sayısı ve Ulaşılabilirlik	0,09
		Risk Yönetimi	0,08
		Gizlilik ve Güvenilirlik Politikası	0,09

Elde edilen bulgulara göre, ana kriterlerde güven, (0,44) ile en önemli kriter olurken, kalite (0,34), teslimat (0,16) ve sistem yeterliliği (0,06) sıralamayı takip etmektedir. Alt kriterlerde en önemli

olarak Kargo Güvenliği Teminatı (0,18) ile ilk sırada yer alırken Teknoloji Güncelliği ve Yeterliliği (0,02) ile son sırada yer almaktadır.

4.2. CODAS Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

ANP yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiş olup bu bölümde CODAS yöntemi ile en uygun alternatif kargo firması seçimi yapılacaktır. CODAS yönteminin ilk aşaması olan karar matrisi oluşturulmuş ve Tablo 6'da verilmiştir

Tablo 6. Karar Matrisi

Alternatifler/ Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
Alternatif 1	3,33	3	3	3,33	3,33	3	3,33	3,33	3	3,33	3,33	3,67	3,67
Alternatif 2	2,67	2,67	3,33	3,33	2,67	2,67	2,67	2,67	2,33	2,33	3	2,33	2,33
Alternatif 3	2,67	2,67	2,33	3	2,33	3	2,67	3	2,67	2,33	2,33	3	2,67
Alternatif 4	2,67	2,33	2,67	2,67	2,67	3	2,67	2,67	2,67	3	3	3	3

Karar matrisinin oluşturulmasının ardından bir sonraki adımda Eşitlik 2 kullanılarak karar matrisi normalize edilmiştir. Normalize karar matrisi Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Normalize Karar Matrisi

Alternatifler/ Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
Alternatif 1	1	1	0,90	1	1	1	0,01	1	1	1	1	1	1
Alternatif 2	0,80	0,89	1	1	0,80	0,89	1	0,80	0,78	0,70	0,90	0,64	0,64
Alternatif 3	0,80	0,89	0,70	0,90	0,70	1	0,01	0,90	0,89	0,70	0,70	0,82	0,73
Alternatif 4	0,80	0,78	0,80	0,80	0,80	1	0,01	0,80	0,89	0,9	0,90	0,82	0,82

Sonraki adımda kriterlerin birbirlerine göre ağırlıkları göz önünde bulundurularak Eşitlik 3 ile ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi oluşturulmuş olup Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. Ağırlıklandırılmış Normalize Karar Matrisi

Alternatifler/ Kriterler	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
Alternatif 1	0,07	0,05	0,03	0,10	0,13	0,11	0	0,02	0,02	0,18	0,09	0,08	0,09
Alternatif 2	0,06	0,06	0,03	0,10	0,10	0,10	0,02	0,02	0,02	0,13	0,08	0,05	0,06
Alternatif 3	0,06	0,06	0,02	0,09	0,09	0,11	0	0,02	0,02	0,13	0,06	0,06	0,07
Alternatif 4	0,06	0,07	0,03	0,08	0,10	0,11	0	0,02	0,02	0,17	0,08	0,06	0,07

Karar matrislerinin oluşturulmasının ardından Eşitlik 4 ve Eşitlik 5 kullanılarak negatif ideal çözümleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 9'da belirtilmiştir.

Tablo 9. Negatif İdeal Çözüm Değerleri

K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
0,06	0,05	0,02	0,09	0,09	0,10	0,00	0,02	0,01	0,13	0,06	0,05	0,06

Alternatiflerin negatif ideal çözüme olan Öklid ve Taxicab uzaklıklarının belirlenmesinde Eşitlik 6 ve Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanmış olup Tablo 10'da belirtilmiştir.

Tablo 10. Öklid ve Taxicab Uzaklıkları Değerleri

	Ei	Ti
Alternatif 1	0,09	0,23
Alternatif 2	0,03	0,08
Alternatif 3	0,02	0,05
Alternatif 4	0,05	0,14

Tablo 10'dan faydalanılarak ve Eşitlik 8, Eşitlik 9 ve Eşitlik 10 kullanılarak elde edilen değerler ile göreceli değerlendirme matrisi elde edilmiş olup Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Göreceli Değerlendirme Matrisi (Ra) Değerleri

Alternatifler	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
Alternatif 1	0.00	0,05	0,07	0,00
Alternatif 2	-0,05	0,00	0,01	-0,05
Alternatif 3	-0,07	-0,01	0,00	-0,07
Alternatif 4	-0,03	0,02	0,03	-0,03

Son adımda alternatifler Eşitlik 11 yardımıyla hesaplanarak sıralama belirlenmiştir.

Tablo 12. Alternatiflerin Sıralanması

	Hi	Sıralama
Alternatif 1	0,12	1
Alternatif 2	-0,04	3
Alternatif 3	-0,08	4
Alternatif 4	0,01	2

Analiz sonucunda, Alternatif 1 en iyi seçenek iken Alternatif 3 son sırada yer almaktadır.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada, ANP tabanlı CODAS yaklaşımına başvurulmuş, tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için için kargo firması seçimi yapılmıştır. Firmaların sürdürülebilirliğini sağlaması açısından firma seçimini doğru yapması çok önemlidir. Doğru seçimi yapması için ise birden fazla kriterin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Çalışmada ele aldığımız kriterlerin önem derecelerine baktığımızda, kargo firması seçiminde ele alınana kriterler arasında, ana kriterlerde güven, (0,44) ile en önemli kriter olurken, kalite (0,34), teslimat (0,16) ve sistem yeterliliği (0,06) sıralamayı takip etmektedir. Alt kriterlerde en önemli olarak Kargo Güvenliği Teminatı (0,18) ile ilk sırada yer alırken Teknoloji Güncelliği ve Yeterliliği (0,02) ile son sırada yer almaktadır. Her ana kriter kendi içinde değerlendirildiğinde, Teslimatta en önemli kriter, firma deneyimi ve imajıdır. Kalite için en önemli kriter, müşteri taleplerine ve şikayetlerine cevap verebilmektir. Sistemin yeterliliğinde en önemli kriter, kargo güvenliği teminatıdır. Güven için en önemli kriter, gizlilik ve güvenilirlik politikası, şube sayısı ve ulaşılabilirliktir. Fakat, risk yönetimide çok az bir farkla önemlidir söylenebilir.

Günümüzde, e-ticaret faaliyetlerinin artmasıyla, şirketlerin önem verdiği konulardan birisi de kargo firması seçimidir. Araştırma bulgularına göre, güven ve kalite kriterleri kargo firmalarının seçiminde en önemli unsurlardır. Özellikle hem süre hem de mali kayıplarını önlemek için, doğru firma seçiminde bu kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Son adımda, Çalışmanın güvenilirliğini geçerli kılmak için ikinci bir yöntem olarak MABAC yöntemi ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Alternatif 1 (0,53), Alternatif 4 (0,01), Alternatif 2 (-0,15), Alternatif 3 (-0,17) olarak ortaya çıkmıştır. CODAS yöntemi ile elde edilen sıralama birebir aynıdır.

6. SONUÇ

Günümüzde artan rekabet ortamında firmaların sürdürülebilirliğini sağlamaları adına çalıştıkları firmaların seçimine büyük önem göstermektedir. Lojistik sektöründe de firmalar taşımacılık işlemlerini gerçekleştirmek için dış kaynaklardan yararlanmakta olup bu hizmeti daha profesyonel anlamda sağlamaktadır. Bu çalışmada, İstanbul merkezli olup Türkiye’de birçok mağazası bulunan, lojistik hizmetini ise dış kaynaklar aracılığıyla sağlayan bir tekstil firması gözönünde bulundurularak çalışmış oldukları hizmet sağlayıcı kargo firması alternatifleri arasında değerlendirme yapılmıştır. Alternatifleri değerlendirmek için 4 ana kriter ve 13 alt kriter belirlenmiş olup 4 farklı alternatif ile değerlendirmesi yapılmıştır.

Çalışmada kullanılan ANP yöntemi ile kriterlerimizin ağırlıkları belirlenmiş olup CODAS yöntemi ile en uygun alternatif seçilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda, güven, 0,43844 ile en önemli kriter olurken kalite 0,34182, teslimat 0,15733 ve sistem yeterliliği 0,06241 ile önem dereceleri belirlenmiştir. Alt kriterlerde en önemli, kargo güvenliği teminatı 0,184057 ile ilk sırada yer alırken teknoloji güncelliği ve yeterliliği 0,019224 ile son sırada yer almaktadır. Alt kriterlere ait olan tüm veriler Tablo 3’te yer almakta olup ağırlık değerlerine göre çeşitli hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda Alternatif 1 en uygun kargo firması olurken sıralamada Alternatif 4 2. Sırada yer alırken Alternatif 2 3. Sırada, Alternatif 3 ise son sırada yer almaktadır. Lojistik taşımacılığında kargo firması seçimi, bir işletmenin başarılı bir tedarik zinciri yönetimi, müşteri memnuniyeti, maliyet etkinliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Doğru seçim, işletmeye rekabet avantajı sağlar ve müşteri beklentilerini karşılayarak pozitif bir müşteri deneyimi yaratır.

Çalışmanın sınırlılığı, tekstil sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için değerlendirme yapılmasıdır. Gelecek çalışmalara önerilerde; çalışma alanı genişletilerek birden fazla işletmenin değerlendirmeleri göz önünde bulundurularak araştırma genişletilebilir. Çalışmada önerilen karar modeli genişletilebilir. Kriterlerin ağırlıklandırılması ve tedarikçi alternatiflerinin değerlendirilmesinde farklı karar verme yöntemleri ve bulanık mantık tercih edilebilir, (Buyukozkan & Göçer: 805-811,2019; Baki, 2022:217-230; Zaralı, 2020:74:87) sonuçlar karşılaştırmalı analiz ile desteklenebilir. Analiz kapsamı genişletilerek aynı sektörde faaliyet gösteren farklı işletmelerde tekrarlanarak kriter önem düzeylerindeki değişimler incelenebilir. Ayrıca günümüzde yeşil tedarikçi seçiminin öne çıktığı görülmektedir. Bu bağlamda, model önerileri geliştirilerek bu konuda değerlendirmeler yapılabilir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Akgün, A. (2022). BIST Enerji Şirketlerinin CRITIC ve CODAS Bütünleşik Yaklaşımı ile Finansal Açıdan Değerlendirilmesi. *Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 338-356.
- Akman, G., & Baynal, K. (2014). Logistics Service Provider Selection through an Integrated Fuzzy Multicriteria Decision Making Approach. *Journal of Industrial Engineering*, 4, 1-16.
- Alioğulları, E., & Tüysüz, F. (2020). Edas ve Codas Yöntemiyle İstanbul İlinin Dış Ticaret Kapasitesinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 240-248.
- Altıntaş, F. F. (2022). G7 Ülkelerinin Enerji Sürdürülebilirliği Performanslarının Analizi: OWA Operatörü ve CODAS Yöntemleri İle Bir Uygulama. *Akademik Düşünce Dergisi*, 3-25.
- Asoğlu, İ., & Eren, T. (2018). AHP, TOPSIS, PROMETHEE Yöntemleri ile Bir İşletme İçin Kargo Şirketi Seçimi. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 102-122.
- Atmaca, H., & Turgut, D. (2015). Kargo Şirketi Seçimine Yönelik Kriterlerin Belirlenmesinde Türkiye Genelinde Bir Saha Araştırması. *Çukurova Üniversitesi İİBF Dergisi*, 65-79.
- Ayçin, E. (2018). Üçüncü Parti Lojistik Hizmet Sağlayıcı Seçim Kriterlerinin Gri DEMATEL Bütünleşik Yaklaşımıyla Belirlenmesi. *The Journal of Operations Research, Statistics, Econometrics and Management Information Systems*. 6(2), 277-292.
- Ayçin, E., & Arsu, T. (2019). CODAS VE ENTROPİ Yöntemleri İle Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Düzey 1 Bölgelerine Göre İncelenmesi. *Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi*, 425-447.
- Badi, I., Abdulshahed, A. M., & Shetwan, A. (2018). A Case Study of Supplier Selection For a Steelmaking Company in Libya by Using the Combinative Distance-based Assessment(CODAS) Model Decision Making: Applications in Management and Engineering. 01-12.
- Bottero, M., Mondini, G., & Valle, M. (2007). The Use of The Analytic Network. *International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment* Glasgow: Glasgow Caledonian University.1-22.
- Bülbül, S., & Köse, A. (2016). Türk sigorta sektörünün PROMETHEE yöntemi ile finansal performans analizi. *Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 187-210.
- Çalışkan, Z., & Yüksel, H. (2021). Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM) Yazılımlarının Seçiminde Kullanılan Kriterlerin ANP Yöntemi İle Sıralanması. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 1480-1495.
- Çat, F., Kocaağa, S., Ercin, E. M., Gündüz, T., & Özalp, B. T. (2022). Tekstil Sektöründe Risk Değerlendirmelerinin Anp Yöntemi İle Analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 597-616.
- Çelik, N., & Murat, G. (2010). Analitik Ağ Süreci Yöntemi ile Üniversite Dinamik Entegre Strateji Modeli Geliştirilmesi. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü Yönetim Dergisi*, 32-51.

- Dağdeviren, M., & Yüksel, İ. (2007). Personnel Selection Using Analytic Network Process. *İstanbul Ticaret Odası Fen Bilimleri Dergisi*, 99-118.
- Dağdeviren, M., Dönmez, N., & Kurt, M. (2006). Bir İşletmede Tedarikçi Değerlendirme Süreci İçin Yeni Bir Model Tasarımı ve Uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi.*, 247-255.
- Dahooie, J. H., Abadi, E. B., Vanaki, A. S., & Firoozfar, H. R. (2018). Competency-based IT personnel selection using a hybrid SWARA and ARAS-G methodology. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 5-16.
- Demir, G. (2021). Türk Bankacılık Sisteminin Finansal Performansının ROC-ITARA-CODAS Yöntemleriyle Analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi*, 831-847.
- Deste, D. Ö., & Savaşkan, U. A. (2021). E-Ticaret İşletmelerinin Kargo Firması Seçimi Üzerine Vikor Yöntemiyle Bir Uygulama. *Uluslararası Anadolu Sosyal Bilimler Dergisi*, 4-21.
- Eren, T., & Gür, S. (2017). Online Alışveriş Siteleri İçin Ahp Ve Topsis Yöntemleri İle 3PL Firma Seçimi. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 10 (2) , 819-834.
- Göçmen, E. (2020). Bir Lojistik Şirketi İçin Taşımacılık Emniyeti ve Güvenliği Kapsamında Lojistik 4.0 Potansiyellerinin Değerlendirilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2508-2519.
- Guo, S., & Zhao, H. (2017). Fuzzy best-worst multi-criteria decision-making method and its applications. *Knowledge-Based Systems*, 23-31.
- Ho, W., He, T., Lee, C. K., & Emrouznejad, A. (2012). Strategic logistics outsourcing: An integrated QFD and fuzzy AHP approach. *Expert Systems with Applications*, 10841-10850.
- Karagöz, Y., Mutlu, H. T., Sağır, S., & Celil, M. (2019). Kargo Şirketi Seçimini Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesine Yönelik Ölçek Geliştirilmesi : Sivas Örneği. *Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 235-247.
- Keshavarz-Ghorabae, M., Zavadskas, E., Turskis, Z., & Antucheviciene, J. (2016). A New Combinative Distance-based Assessment (CODAS) Method for Multi-criteria Decision Making. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*.50(3).
- Kirca, Y. (2005). *Üçüncü Parti Lojistik (3PL) Firmalarının Arz Zinciri İçindeki Yeri ve Pazarlama Yaklaşımları* [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Liu, H. T., & Wang, W. (2009). An integrated fuzzy approach for provider evaluation and selection in third-party logistics. *Expert Systems with Applications*, 4387-4398.
- Liu, Y., Zhou, P., Li, L., & Zhu, F. (2020). An Interactive Decision-Making Method for Third-Party Logistics Provider Selection under Hybrid Multi-Criteria. *Symmetry*, 12(5), 729, 1-15.
- Meng, S. M., Liang, G., Lin, K., & Chen, S. (2014). Criteria for services of air Cargo Logistics Providers: How do they relate to client satisfaction? *Journal of Air Transport Management*, 284-286.

- Nebati, E.E., Gedik, E. & Albayrak, S.(2021). Pandemi Etkisinde Müşteri Sadakati Programına Stratejik Bir Yaklaşım: THY Uygulaması. Sanat, Tasarım ve Mühendislik Alanında Akademik Değerlendirmeler. SRA Academic Publishing Press, Klaipeda, Lithuania.
- Oral, N., Yumuşak, R., & EREN, T. (2021). AHP ve ANP yöntemleri kullanılarak tehlikeli madde depo yeri seçimi: Kırıkkale ilinde bir uygulama. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 115-124.
- Özbek, A., & Eren, T. (2013). Analitik Ağ Süreci Yaklaşımıyla Üçüncü Parti Lojistik (3PL) Firma Seçimi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*. 27(1), 95-113.
- Özder, H. E. (2015). Tedarikçi Seçiminde Analitik Ağ Süreci ve Hedef Programlama Tekniklerinin Entegrasyonu: Örnek Olay Çalışması. *Kırıkkale Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, 37-40.
- Pamucar, D., Chatterjee, K., & Zavadskas, E. K. (2019). Assessment of third-party logistics provider using multi-criteria decision-making approach based on interval rough numbers. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 383-407.
- Saaty, L., & Shih, H. (2009). Structures in Decision Making: On The Subjective Geometry of Hierarchies and networks. *European Journal of Operational Research*, 867-872.
- Saaty, T. (1994). Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with The Analytic Hierarchy Process. T. Saaty. içinde USA: RWS Publications.
- Saaty, T. L. (1990). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operation Research*, 9-26.
- Sarabi, E. P., & Darestani, S. (2021). Developing a Decision Support System for Logistics Service Provider Selection Employing Fuzzy Multimooore and BWM in Mining Equipment. *Applied Soft Computing*.
- Suratos, R., & Srinon, R. (2021). Fuzzy AHP Signifies Criteria Influencing Third Party Logistics Selection in Outsourcing Decision of Freight Forwarding Company.
- Şahin, U. (2016). Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sürdürülebilirliğinin Değerlendirilmesinde Analitik Ağ Süreci (AAS) Yöntemi İle Fayda, Fırsat, Maliyet ve Risk (FFMR) Analizinin Kullanılması. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi*, 180-188.
- Şenaran, L. E. (2023). *E-ticarette kargo şirketi seçiminde etkili olan kriterlerin AHP ile karşılaştırılması: Otomotiv yedek parça sektörü uygulaması* [Yüksek Lisans Tezi] Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karaman.
- Ulutaş, A. (2020). SWARA Tabanlı CODAS Yöntemi ile Kargo Şirketi Seçimi . *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 9 (3) , 1640-1647 .
- Uzun, H. (2013). *Kargo Taşımacılık Sektöründe Hizmet Kalitesinin Değerlendirilmesi: AHS VE TOPSIS Yöntemi*. [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi]. Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü. Ankara.

- Wang, X., Persson, G., & Huermer, L. (2014). Logistics service providers and value creation through collaboration: a case study. *Long Range Planning*, 117-128.
- Wong, C., & Karia, N. (2010). Explaining the competitive advantage of logistics service providers: a resource-based view approach. *International Journal of Production Economics*, 51-67.
- Yaman, D. D., & Erdoğan, H. (2019). Lojistik Sektöründe Kargo Şirketlerinin Tercih Edilmesinde Etkili Olan Faktörler: X, Y, Z Kuşaklarının Karşılaştırmalı Analizi. *Uluslararası Sosyal ve Beşeri Bilimler Araştırma Dergisi*, 1705-1714.
- Yaşar, S., Poyraz, Z., Yumuşak, R., & T.Eren. (2022). ANP ve PROMETHEE Yöntemleri ile Akıllı Şehir Analizi: Ankara'da Bir Uygulama. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15-28.
- Yıldız, Ü. G. (2021). *Çok Yanıtlı Taguchi Optimizasyonunda Roc-Codas Yaklaşımı*. [Yüksek Lisans Tezi], Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.



Araştırma Makalesi / Research Article

SİNERLEME SICAKLIĞININ MEKANİK ALAŞIMLAMA İLE ÜRETİLMİŞ OKSİT TAKVİYELİ A360 KOMPOZİTLERİNİN MİKROYAPI VE SERTLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ*

THE EFFECT OF SINTERING TEMPERATURE ON THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS PROPERTIES OF OXIDE-REINFORCED A360 COMPOSITES PRODUCED BY MECHANICAL ALLOYING

Salih Bilal ÇETİNKAL¹

Mustafa ACARER²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1444821>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
bilal.cetinkal@selcuk.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
03.03.2024

Kabul Tarihi / Accepted
14.03.2024

Öz

Bu çalışmada, Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen nano boyutta Y_2O_3 takviyeli A360 kompozitlerinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine sinterleme sıcaklığının etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Mekanik alaşımlama yöntemi ile 1 saat öğütülen tozların mikroyapıları taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) incelenmiştir. Daha sonrasında bu tozlar beş farklı sinterleme sıcaklığı (550, 575, 600, 625, ve 650 °C) altında preslenerek kompozit numuneler üretilmiştir. Elde edilen numunelerin mikroyapısal değişimleri ise optik mikroskop ile değerlendirilmiştir. Farklı sinterleme sıcaklıklarında üretilen numunelerin mekanik özelliklerini karakterize etmek için yoğunluk ve Brinell sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hem yoğunluk hem de sertlik değerleri 625 °C sıcaklığına kadar düzenli olarak artarken bu sıcaklıktan sonraki son sıcaklık olan 650 °C' de azalma eğilimine girmiştir. Sonuç olarak, 625 °C'de sinterlenen numuneler, 550 °C'de sinterlenenlere kıyasla %100'den fazla sertlik artışı gösterdi.

Anahtar Kelimeler: A360, mekanik alaşımlama, mikroyapı, sertlik, sinterleme sıcaklığı.

Abstract

In this study, the effect of sintering temperature on the microstructure and mechanical properties of A360 composites reinforced with nano-sized Y_2O_3 produced by powder metallurgy method has been comparatively examined. The microstructures of the powders, subjected to 1 hour of milling using the mechanical alloying method, were scrutinized through scanning electron microscopy (SEM). Subsequently, these powders were pressed under five different sintering temperatures (550, 575, 600, 625, and 650 °C) to produce composite samples. The microstructural alterations in the obtained samples were assessed using an optical microscope. Density and Brinell hardness measurements were conducted to define the mechanical properties of samples produced under varying sintering temperatures. Both density and hardness values consistently increased until the temperature reached 625 °C, beyond which, at the final temperature of 650 °C, a declining trend was observed. Consequently, samples sintered at 625 °C exhibited a hardness increase of more than 100% compared to those sintered at 550 °C.

Keywords: A360, hardness, mechanical alloying, microstructure, sintering temperature.

*Bu yayın Salih Bilal ÇETİNKAL isimli öğrencinin Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programındaki doktora tezinden üretilmiştir. Çalışma S.Ü. BAP 23111009 nolu tez projesi ile desteklenmiştir.

¹Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Konya, Türkiye.
bilal.cetinkal@selcuk.edu.tr Orcid.org/0000-0001-6212-7670.

²Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Konya, Türkiye.
macarer@selcuk.edu.tr Orcid.org/0000-0003-2876-4881.

1. GİRİŞ

A360 (Al-10Si-0.5Mg) alaşımı mukavemet/ağırlık oranının yüksek olması, çok iyi korozyon direnci, iyi iletkenlik, aşınma direnci ve mükemmel dökülebilirlik gibi özelliklerinden dolayı otomotiv ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Guo ve ark., 2022; Lin ve ark., 1999). Bu alaşımın ana alaşım elementleri Si ve Mg'dur. Si oranına bağlı olarak alaşımın ergime sıcaklığı ötektik sıcaklığa yakındır, bu da alaşımın sıcak yırtılma direncini arttırmaktadır. Mg da, Mg₂Si fazı oluşturarak yaşlandırma ile mukavemetin artmasına katkı sağlamaktadır (Bharath ve ark., 2021; Vončina ve ark., 2011).

A360 alaşımında her ne kadar yaşlandırma ile mukavemetin artması sağlanabilse de yaşlandırma ile ulaşılabilecek mukavemeti sınırlı kalmaktadır. Daha yüksek sertlik ve mukavemet değerlerine ulaşılabileceğinden yollarından birisi alaşıma ekstra ikinci faz partiküllerinin ilavesi edilmesidir (Sunar & Cetin, 2021; Sübütay & Şavklıyıldız, 2023). SiC, TiC, Al₂O₃ ve B₄C gibi takviyeler ikinci faz partikülü olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Kumdalı, 2008). Yapılan çalışmalar, Al356 alaşımına ilave edilen oksitli ve karbürlü seramik esaslı takviyelerin alaşımın sertliğini ve çekme mukavemetini arttırdığını göstermektedir (Mazahery ve ark., 2012; Sajjadi ve ark., 2012). Yapılan başka bir çalışmada toz metalurji ile üretilen AA7075 alaşımına Y₂O₃ nano partikül ilavesi yapılmış ve belirli öğütme sürelerinde mukavemetin arttığı gözlemlenmiştir (Salur ve ark., 2021). Cambroner ve ark., (2003) yaptıkları çalışmada, AA7015 alüminyum alaşımına Si₃N₄, TiB₂ ve B₄C gibi seramik partikül ilaveleri yapmış ve yapılan ilavelerin sertliği arttırdığını ifade etmiştir. Dobrzański ve ark., (2006) yaptıkları çalışmada, alüminyum 2024 alaşımına yaptıkları BN ve Al₂O₃ partikül ilavelerinin alaşımın sertliğini ve mukavemetini arttırdığını ifade etmişlerdir. Orhan ve ark., (2007) yaptıkları çalışmada, Al matrisli B₄C takviyeli kompozitleri sıcak pres yöntemi ile üretmişlerdir. Takviye oranını ağırlıkça %10, 20 ve 30 olarak kullanmışlar ve takviyenin oranının artmasıyla kompozitin sertliğinin arttığını ifade etmişlerdir. Y₂O₃ de yeni yeni kullanılmaya başlanan takviye elemanlarından birisidir ancak halihazırda kullanımı oldukça azdır (Salur, 2021).

Alüminyum alaşımları için en çok kullanılan üretim yöntemlerinden birisi dökümdür (Otarawanna & Dahle, 2011). Ancak döküm yönteminin bazı dezavantajları vardır. Takviye elemanının alüminyum tarafından ısıtılabilir olması gerekmektedir. Çekme, gaz boşluğu gibi sıvı metalin katılması sırasında da bazı olumsuzluklar oluşabilmektedir (Haydar, 2012). Takviye edilen partiküllerin sıvıda homojen dağılımındaki güçlükler de sayılabilecek olumsuzluklar arasındadır (Yürüker, 2010). Bu olumsuzluklar diğer bir üretim yöntemi olan toz metalurjisi yönteminde daha çok kontrol edilebilir şekildedir (Orhan ve ark., 2007). Toz metalurjisi yöntemi özellikle döküm yöntemi ile üretimi zor olan parçaların üretiminde, kompleks şekilli parçaların üretiminde ekonomik olarak ön plana çıkmaktadır. Son zamanlarda oldukça yaygın hale gelen toz metalurjisi yönteminde, parçalar belirli şekilde soğuk pres ve ardından sinterleme ve sıcak pres gibi yöntemler kullanılarak üretilmektedir (Angelo ve ark., 2022; Kaufman & Rooy, 2004; Topcu, 2023). Sıcak pres, soğuk presene nazaran daha yüksek yoğunlukta numuneler elde edilmesine imkan sağlamaktadır (Rahmani ve ark., 2020). Sıcak presleme yönteminde sıcaklık ve basınç gibi değişken parametreler kullanılarak üretilen parçaların mikroyapı ve mekanik özelliklerinin değiştirilmesi mümkündür (Yıldız ve ark., 2018).

Bu çalışmada, geri dönüştürülen talaşlardan imal edilen A360 tozuna Y₂O₃ seramik partikül katkısı yapılarak mekanik alaşımlanan tozlar, toz metalurjisi yöntemi ile sıcak pres yapılarak üretilmişlerdir. Üretim sırasında sıcak presleme sıcaklıkları değiştirilerek, sıcaklığın mikroyapı ve mekanik özelliklere (sertlik, yoğunluk) etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, matris malzemesi olarak talaşlı imalat sonrasında çıkan A360 talaşları, takviye malzemesi olarak da %99,99 saflıkta Y_2O_3 nano partikül tozları kullanılmıştır. A360' a ait kimyasal kompozisyonu gösteren X-ışınları Floresans (XRF) sonuçları Tablo 1' de verilmiştir. A360 alaşımının ve Y_2O_3 tozlarının fiziksel özellikleri ise sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1. A360 Alaşımının Ağırlıkça Kimyasal Bileşenleri

	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn
A360	0,50	9,86	0,04	0,53	0,37	0,04	0,009	0,05	0,005	0,04

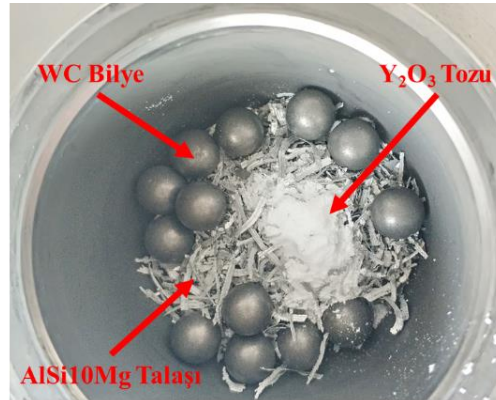
Tablo 2. A360 Alaşımının Fiziksel Özellikleri

Özellik	A360
Form	Talaş
Boyutu	2-20 mm
Teorik yoğunluk (g/cm^3)	2,64

Tablo 3. Y_2O_3 Tozların Fiziksel Özellikleri

Özellik	Y_2O_3
Toz şekli	Küresel
Toz boyutu	50 nm
Teorik yoğunluk (g/cm^3)	5,01

Matris malzemesi ağırlıkça %95 ve takviye malzemesi ise ağırlıkça %5 olarak belirlenmiştir. A360 talaşından 9,5 gr ve Y_2O_3 tozundan 0,5 gr tartılarak Şekil 1' de görüldüğü gibi tungsten karbür (WC) öğütme haznesi içerisine konulmuştur. Mekanik öğütme işlemi için, 10 mm çapında WC bilyeler, bilye/toz oranı 10:1 olacak şekilde hazne içerisine konulmuştur.

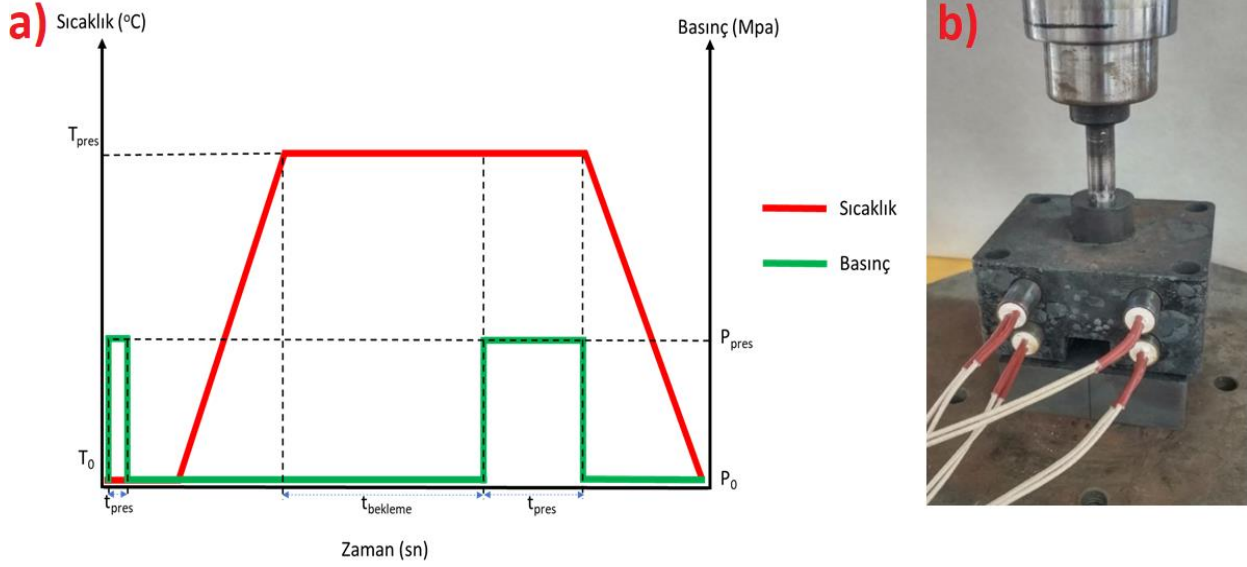


Şekil 1. Öğütme Öncesi Hazne İçerişi

Öğütme esnasında hem soğuk kaynağı engellemek hem de öğütmeyi hızlandırmak için işlem kontrol katkısı (İKK) olarak %2 hekzan ilave edilmiştir. A360/ Y_2O_3 karışımı 350 rpm dönme hızında 1 saat süre ile mekanik öğütme işlemine tabi tutulmuştur.

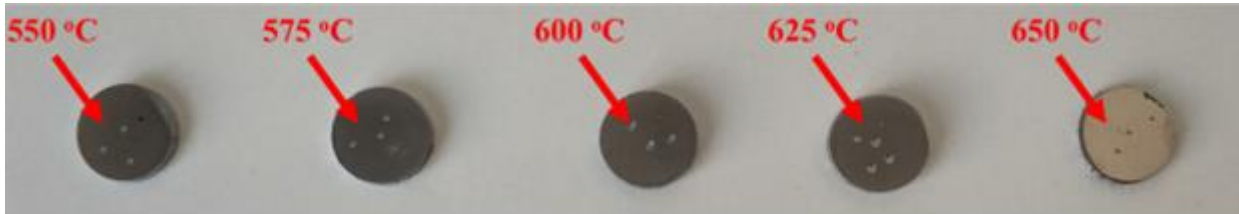
Sıcak pres üretiminden önce tozların bulk hale getirilmesi için, mekanik öğütülmüş 1 gr. kompozit tozları 180 MPa basınç altında 1 dk süre ile soğuk preslenmiştir. Soğuk preslenen tozlar, Şekil

2.a' da gösterilen sıcak presleme işlem adımlarına uygun şekilde sıcak olarak preslenmiştir. Şekil 2.b' de gösterilen özel olarak tasarlanmış kalıp içerisinde belirlenen 5 farklı sıcaklıkta (550, 575, 600, 625, 650 °C) 180 MPa basınç altında 5 dk süreyle sıcak presleme işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 2. a) Sıcak Pres İşlem Aşamaları, b) Sıcak Pres Görşeli

Çalışmada üretilen numunelere metalografik numune hazırlama işlemi uygulanmıştır. Numuneler ilk olarak 800-2000 grid zımpara ile zımparalanmıştır. Daha sonra numuneler sırasıyla 6 µm ve 0,5 µm alümina pasta ile parlatılmıştır (Şekil 3). Parlatılan numuneler mikroyapının açık bir şekilde ortaya çıkarılması için Modifiye Keller solüsyonu ile dağlanmıştır.



Şekil 3. Sıcak Pres Yöntemi ile Üretilen Numuneler

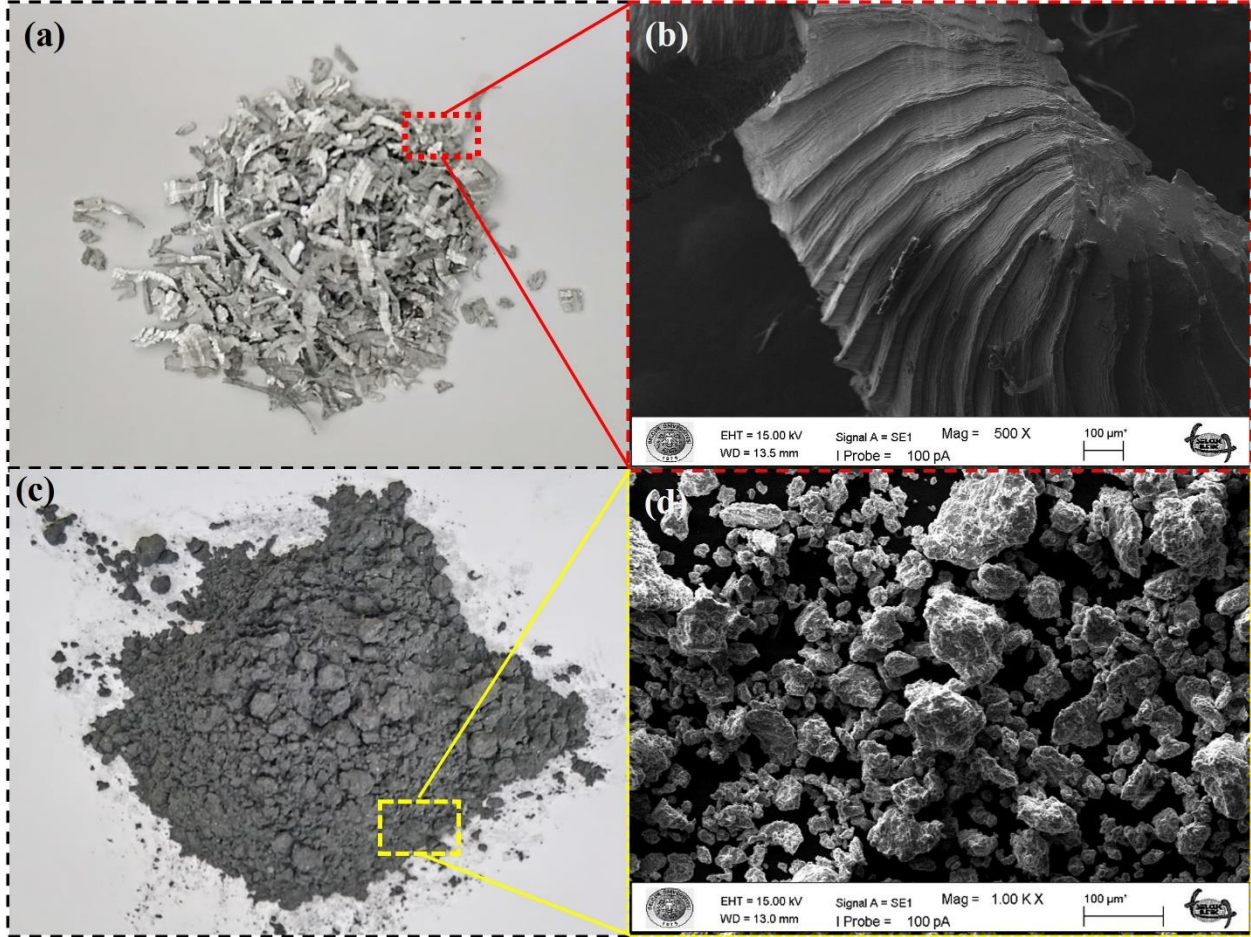
Numunelere sırayla mikroyapı analizi, sertlik ve yoğunluk ölçümü yapılmıştır. Mikroyapı analizinde Nikon Eclipse MA100 mikroskop kullanılmıştır. Sertlik ölçümünde DIGIROCK-LC-RBOV sertlik ölçüm cihazı kullanılmış ve ölçümler Brinell sertlik metoduna göre 62,5 kgf yük altında ile yapılmıştır. Yoğunluk ölçümünde Precisa XB220A cihazı kullanılmış ve ASTM B595-11 standardında yer alan Arşimed prensibine göre yapılmıştır. Sertlik ve yoğunluk ölçüm sonuçları 5 tekrarın ortalaması alınarak sunulmuştur.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

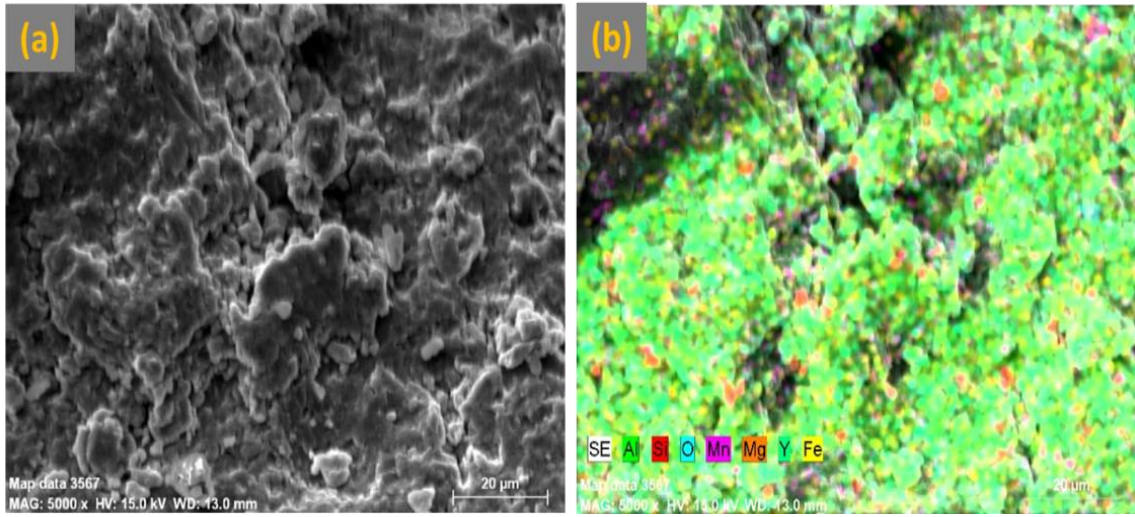
3.1. Sinterleme Sıcaklığının Mikroyapı Morfolojisine Etkisi

Bu çalışma kapsamında kullanılan matris ve takviye malzemelerinin başlangıç şekil ve morfolojilerini ifade eden makro ve mikro yapıları Şekil.4' de yer almaktadır. Çalışmada kullanılan mekanik alaşımlanmış ağ.%5 nano Y₂O₃ partikül takviyeli A360 alaşımına ait taramalı elektron görüntüsü (SEM) ve elementlerin yapı içerisinde dağılımını gösteren SEM- haritalama

görüntüsü sırası ile Şekil.5 (a) ve (b)' de verilmiştir. Şekilden nano Y_2O_3 partikül takviye edilmiş A360 geri dönüşüm talaşına uygulanan mekanik alaşımlama işlemi neticesinde, hem talaşların boyutlarının mm seviyesinden mikron (μm) seviyelerine indiği hem de takviye malzemesinin matris içerisinde homojen bir dağılım sergilediği göstermektedir (Salur ve ark., 2021). Mekanik alaşımlamada tozlar yüksek enerjili öğütme nedeniyle düzleşme eğilimi gösterir. Düzleşen morfoloji, bilyalı öğütme işleminin etkisi ile ilk toz boyutundan daha küçük boyuttaki parçacıklara dönüşür (Sübütay & Şavklıyıldız 2023).

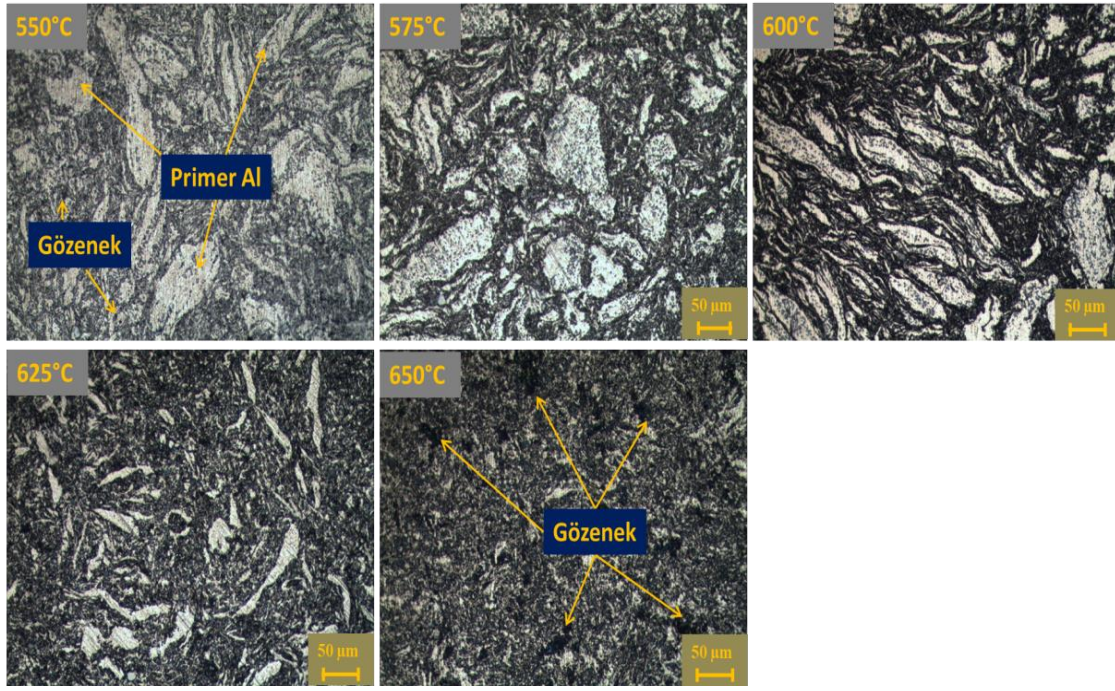


Şekil 4. Matris ve Takviye Elemanı Olarak Kullanılan Malzemelerin Şekil ve Boyutunu Gösteren Makro ve Mikro Yapıları (a) A306 Metal Talaşı, (b) A360 Talaşının SEM Görüntüsü, (c) Öğütülmüş Tozların Makro Görüntüsü, (d) Öğütülmüş Tozların SEM Görüntüsü



Şekil 5. Mekanik Alaşımlanmış A360/Y₂O₃ Alaşımlımının (a) SEM Görüntüsü ve (b) SEM-Haritalama Görüntüsü

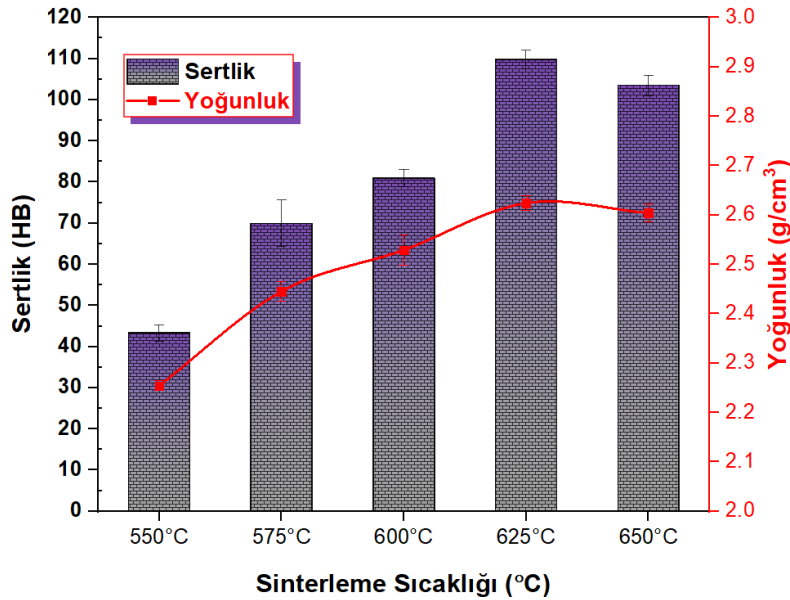
Şekil 6' da mekanik alaşımlanmış Y₂O₃ partikül takviyeli A360 alaşımlımının mikroyapı sinterleme sıcaklığının etkisini açık bir şekilde ortaya koyan optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Çalışmada hem üretim yöntemi olarak seçilen toz metalurjisi proseslerinden olan sıcak pres yönteminden dolayı hem de takviye elemanı olarak seçilen nano Y₂O₃ ile Al tozları arasındaki değişken fiziksel ve mekanik özelliklerden dolayı bütün numunelerin iç yapılarında gözeneklerin varlığı açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 6' da sinterlenmiş numunenin iç yapısındaki beyaz kısımlar primer-Al fazına aittir (Ferhat, 2014). 550 °C' de sinterlenmiş numunede sıcaklığa bağlı olarak primer-Al taneleri diğer numunelere nazaran daha büyüktür. Ayrıca oluşan intermetaliklerin yapıya homojen dağılma eğiliminden ziyade aglomere olup kümelendiği açıkça görülmektedir. 575°C' de sinterlenmiş numuneye bakıldığında, primer-Al tanelerinde yer yer küçülmeler meydana geldiği açıkça görülmektedir. Al-Si faz diyagramında (Miao ve ark., 2020) 600°C' de sıvı+αAl ikili faz bölgesinde yarı katı halde bulunan numunede, uygulanan basıncında etkisi ile, taneler pulsu hale gelerek sarmal yapının meydana geldiği görülmektedir. 625°C' de ise pulsu tanelerin küçüldüğü primer-Al fazının azaldığı ve intermetalik fazların yapıda homojen dağıldığı görülmektedir. Ayrıca 550°C den 625°C' ye kadar artan sıcaklıkta numunelerdeki gözenek miktarının artan sıcaklık ile beraber azaldığı şekilden anlaşılmaktadır. 650°C' de sinterlenmiş numunenin mikro yapısı incelendiğinde tane boyunun küçüldüğü, primer-Al fazının (beyaz kısımların) azaldığı ve gözeneklerin düzensiz bir şekilde yapıya dağılarak miktarlarının arttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Sinterleme Sıcaklığına Bağlı Olarak $Y_2O_3/A360$ Alaşımının İç Yapısında Meydana Gelen Değişim

3.2. Sinterleme Sıcaklığının Yoğunluk ve Sertlik Değişimine Etkisi

Sinterleme sıcaklığının mekanik alaşımlanmış nano Y_2O_3 takviyeli A360 matrisli alaşımların yoğunluk ve sertlik değerleri üzerine etkisi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Sinterleme Sıcaklığının Üretilen Alaşımın Yoğunluk ve Sertlik Değerlerine Etkisi

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen numunelerin fiziksel (yoğunluk) ve mekanik (sertlik vb.) özellikleri gözenek (boşluk) miktarı ve dağılımı ile ilişkilidir. Yapı içerisindeki boşlukların parçanın yük taşıma kapasitesini azaltarak daha düşük yüklerde yapının hasara uğramasına sebebiyet verdiği bilinen bir olgudur. Ayrıca boşluklar yapıda gerilimlerin biriktiği merkez olarak görev yapmakta ve oluşan çatlakların rahat bir şekilde ilerlemesine olanak sağlamaktadırlar

(Gökmeşe & Bostan, 2013). Değişen sıcaklıklarda yapılan sinterleme işlemi sonrasında elde edilen numunelerin yoğunluk sonuçları irdelendiğinde 550°C-625°C arasında sıcak pres ile üretilen dört numunenin yoğunluklarında kademeli olarak her adımda artış meydana geldiği fakat 650°C sıcaklıkta sıcak pres ile üretilen numunenin yoğunluk değerinde bir düşüş meydana geldiği Şekil 7' den anlaşılmaktadır. Sıcak pres ile malzeme üretiminde sinterleme sıcaklığı atomik düzeyde difüzyon hızını yükselterek $Y_2O_3/A360$ arasındaki ıslatabilirliği ve sinterlenebilirliğini geliştirmektedir (Yuan & Lee, 2013; Salur ve ark., 2021). 550°C-575°C-600°C-625°C sıcaklıklarda sıcak pres ile üretilen numunelerin mikroyapısındaki gözeneklerin artan sıcaklık ile azalması sonucunda yapının yoğunluğunun kademeli olarak artmıştır. 650°C sıcaklıkta üretilen numunede ise Şekil 6'da verilen mikroyapı görüntüsünden de anlaşılacağı üzere yapıdaki gözenek miktarının artması ve düzensiz biçimde olması yoğunluk değerinde azaltıcı bir etki sergilemiş olabilir. Ayrıca bu sıcaklıkta yapı tamamen sıvı faz bölgesinde var olduğu için soğuma esnasında soğuk çekinti hatasından kaynaklı yoğunlukta bir düşüş meydana gelmiş olabilir. Sıcak pres sonrasında en yüksek yoğunluk değeri 625°C de üretilen parçada ($2,62 \text{ g/cm}^3$) elde edilmiştir.

Farklı sıcaklıklarda üretimi gerçekleştirilen numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde (Şekil 7), en yüksek sertlik değeri 625°C' de sinterlenmiş numunede (110 HB) tespit edilmiştir. Sıvı faz sinterlemesinde, meydana gelen sıvı haldeki fazın kapiler kuvvet etkisi ile yapı içerisindeki gözenekleri doldurmasından dolayı daha düşük oranlarda ve düzenli halde gözenekler görülmektedir (German ve ark., 2009). Düşük miktarda gözenek içeren yapıların mekanik özelliklerinin yüksek olması bilinen bir olgudur (Karamış ve ark., 2012). Bu sebeple, 550°C' den 625°C ye kadar üretilen dört numunede de sertlik değerleri yükselme eğilimindedir. Sıcaklığın Al'nin ergime derecesinin üzerinde olduğu 650°C' de ise sertlik değerinde düşüş meydana gelmiştir. Sıcak preste yüzde yüz sıvı fazın bulunması numuneye basınç uygulandığı esnada hem kalıba sıvanma olayını gerçekleştirmekte hem de katılma esnasında çekinti olayından dolayı oluşan gözeneklerin düzensiz bir şekilde oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu sebep ile, 650°C de üretilen numunenin iç yapısında gözeneklerin düzensiz bir şekilde dağıldığı bunun da yoğunluk ve sertlik özelliklerini olumsuz etkilediği sonuçlardan görülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, geri dönüştürülen talaşlardan imal edilen A360 tozuna nano Y_2O_3 takviyesi yapılarak mekanik alaşımlanan tozların, beş farklı sıcaklıkta toz metalurjisi yöntemi olan sıcak pres prosesi ile üretilebilirliği araştırılmış ve ayrıca sıcak pres işlem sıcaklığının üretilen numunelerin mikro yapı, yoğunluk ve sertlik özelliklerine etkisi incelenerek sonuçlar maddeler halinde aşağıda sunulmuştur.

- Çalışma için seçilen bütün sıcaklıklarda numuneler sıcak pres yöntemi ile başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- 625°C' ye kadar artan sıcaklıklarda gözeneklerin gittikçe azaldığı ve oluşan intermetaliklerin yapıda homojen bir şekilde dağıldığı belirlenmiştir.
- En yüksek sertlik dayanımı 625°C' de sinterlenmiş numune de 110 HB olarak tespit edilmiştir.
- En yüksek yoğunluk değeri $2,62 \text{ g/cm}^3$ ile 625°C' de sinterlenmiş numunede elde edilmiştir.
- 625 °C sıcaklığında sinterlenen numuneler, daha iyi paketlenabilirlik ve sinterlenebilirlik özelliklerinin sağladığı artan yapısal bütünlük nedeniyle 550 °C de sinterlenen numuneye göre sertlik değerlerinde %100'den fazla artış göstermiştir. Meydana gelen bu değişimler malzeme biliminin temelini oluşturan işlem-özellik ilişkisi içerisinde değerlendirilmiştir.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada 1. yazar veri toplama, deney düzeneğinin kurulması, analiz, yorum, kaynak taraması ve makalenin yazımı konusunda katkı sağlamıştır. 2. yazar fikir, eleştiri ve yorum konusunda katkıda bulunmuştur.

Teşekkür

Yazarlar çalışmada analizlerdeki yardımlarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ARICI 'ya ve yorumlardaki özgün bakış açısından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Halit SÜBÜTAY 'a teşekkür eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Angelo, P., Subramanian, R., & Ravisankar, B. (2022). Powder metallurgy: science, technology and applications. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Bharath, C., Shamanth, V., & Hemanth, K. (2021). Studies on mechanical behaviour of AlSi10Mg alloy produced by selective laser melting and A360 alloy by die casting. *Materials Today: Proceedings*, 45, 78-81.
- Cambronero, L., Sánchez, E., Ruiz-Roman, J., & Ruiz-Prieto, J. (2003). Mechanical characterisation of AA7015 aluminium alloy reinforced with ceramics. *Journal of Materials Processing Technology*, 143, 378-383.
- Dobrzański, L. A., Włodarczyk, A., & Adamiak, M. (2006). The structure and properties of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the BN or Al₂O₃ ceramic particles. *Journal of Materials Processing Technology*, 175(1-3), 186-191.
- Ferhat, G. (2014). AlSi10Mg Döküm Alaşımlarının Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine İkincil Yaşlandırma İşleminin Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1), 30-37.
- German, R. M., Suri, P., & Park, S. J. (2009). Liquid phase sintering. *Journal of materials science*, 44, 1-39.
- Gökçe, A. (2020). Toz metalurjisi yöntemiyle Mg-Sn alaşımı üretimi ve karakterizasyonu. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 8(1), 112-119.
- Gökmeşe, H., & Bostan, B. (2013). AA 2014 alaşımında presleme ve sinterlemenin gözenek morfolojisi ve mikroyapısal özelliklere etkileri. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 1(1), 1-8.
- Guo, M., Sun, M., Huang, J., & Pang, S. (2022). A comparative study on the microstructures and mechanical properties of Al-10Si-0.5 Mg alloys prepared under different conditions. *Metals*, 12(1), 142.

- Haydar, H. (2012). *Alüminyum alaşımlarının dökümünde kullanılan tane küçültücüler* [Yüksek lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karamış, M. B., Sarı, F. N., & Erturun, V. (2012). Friction and wear behaviors of reciprocatingly extruded Al-SiC composite. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(12), 2578-2585.
- Kaufman, J. G., & Rooy, E. L. (2004). *Aluminum alloy castings. Properties, Processes and Applications*. ASM International, 10.
- Kumdalı, F. (2008). Alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemi ile üretimi.
- Lin, C., Mu, C., Wu, W., & Hung, C. (1999). The effect of joint design and volume fraction on friction welding properties of A360/SiC (p) composites. *Welding Journal-New York-*, 78, 100-s.
- Mazahery, A., Shabani, M., Salahi, E., Rahimpour, M., Tofigh, A., & Razavi, M. (2012). Hardness and tensile strength study on Al356-B₄C composites. *Materials Science and Technology*, 28(5), 634-638.
- Miao, Q., Wu, D., Chai, D., Zhan, Y., Bi, G., Niu, F., & Ma, G. (2020). Comparative study of microstructure evaluation and mechanical properties of 4043 aluminum alloy fabricated by wire-based additive manufacturing. *Materials & Design*, 186, 108205.
- Orhan, A., Gür, A., & Çalgülü, U. (2007). Al matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin sıcak presleme yöntemiyle üretimi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4, 8-13.
- Otarawanna, S., & Dahle, A. (2011). Casting of aluminium alloys. In *Fundamentals of aluminium metallurgy* (141-154). Elsevier.
- Rahmani, K., Sadooghi, A., & Hashemi, S. J. (2020). The effect of cold and hot pressing on mechanical properties and tribological behavior of Mg-Al₂O₃ nanocomposites. *Materials Research Express*, 7(8), 085012.
- Sajjadi, S. A., Parizi, M. T., Ezatpour, H., & Sedghi, A. (2012). Fabrication of A356 composite reinforced with micro and nano Al₂O₃ particles by a developed compocasting method and study of its properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 511(1), 226-231.
- Salur, E., Acarer, M., & Şavklıyıldız, İ. (2021). Improving mechanical properties of nano-sized TiC particle reinforced AA7075 Al alloy composites produced by ball milling and hot pressing. *Materials Today Communications*, 27, 102202.
- Salur, E., Aslan, A., Kuntoğlu, M., & Acarer, M. (2021). Effect of ball milling time on the structural characteristics and mechanical properties of nano-sized Y₂O₃ particle reinforced aluminum matrix composites produced by powder metallurgy route. *Advanced Powder Technology*, 32(10), 3826-3844.
- Salur, E. (2021). Mekanik alaşımlanmış TiC ve Y₂O₃ partikül takviyeli AA7075 metal matrisli nanokompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu.

- Salur, E., Nazik, C., Acarer, M., Şavklıyıldız, İ., & Akdoğan, E. K. (2021). Ultrahigh hardness in Y₂O₃ dispersed ferrous multicomponent nanocomposites. *Materials Today Communications*, 28, 102637.
- Sunar, T., & Cetin, M. (2021). Manufacturing of B₄C particle reinforced A360 aluminium cellular composite materials by the integration of stir casting and space holder methods. *Journal of Composite Materials*, 55(25), 3763-3773.
- Sübütay, H., & Şavklıyıldız, İ. (2023). Effect of High-Energy Ball Milling in Ternary Material System of (Mg-Sn-Na). *Crystals*, 13(8), 1230.
- Sübütay, H., & Şavklıyıldız, İ. (2023). The relationship between structural evolution and high energy ball milling duration in tin reinforced Mg alloys. *Materials Today Communications*, 35, 105868.
- Topcu, İ. (2023). h-Bor Nitrür takviyesi ile güçlendirilmiş titanyum metal matrisli kompozitlerin mekanik davranışlarının incelenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22(44), 248-257.
- Vončina, M., Kores, S., Mrvar, P., & Medved, J. (2011). Effect of Ce on solidification and mechanical properties of A360 alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 509(27), 7349-7355.
- Yildiz, T., Kati, N., & Gür, A. K. (2018). The effect of sintering temperature on microstructure and mechanical properties of alloys produced by using hot isostatic pressing method. *Journal of Alloys and Compounds*, 737, 8-13.
- Yuan, Y., & Lee, T. R. (2013). Contact angle and wetting properties. In *Surface science techniques* (pp. 3-34). Springer.
- Yürüker, E. (2010). Aşındırıcı partikül boyut dağılımının erozif aşınmaya etkisi, [Yüksek Lisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.



Araştırma Makalesi / Research Article

B3 DÜZENSİZLİĞİ KONUMUNUN YAPISAL PERFORMANSA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

EVALUATING THE IMPACT OF B3 IRREGULARITY LOCATION ON STRUCTURAL PERFORMANCE

İsmail TOZLU¹

Şenol GÜRSOY²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1406397>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
ismailtozlu@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
18.12.2023

Kabul Tarihi / Accepted
15.03.2024

Öz

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için genel geçer yönetmeliklerdeki en temel ilke yapısal düzensizliklerden kaçınmaktır. Ancak yapıların tasarımında mimari nedenlerle yapısal düzensizlikler sıklıkla ortaya çıkmaktadır. Günümüzde özellikle ticari amaçlarla geniş kullanım alanı oluşturma kaygısıyla maalesef düşey taşıyıcı elemanlarda süreksizlik oluşması (B3 düzensizliği) en sık rastlanan yapısal düzensizliklerden biridir. Diğer taraftan çoğunlukla dükkân katı olarak kullanılan giriş katlarında bu durum meydana gelse de derslik, toplantı salonları vb. geniş mekanlar tasarlamak için üst katlarda da düşey taşıyıcı eleman süreksizliği oluşabilmektedir. Yapı güvenliğinin sağlanabilmesi için özellikle düzensizlik içeren yapıların davranışın doğru bir şekilde dikkate alınması gerekmektedir. Bu çalışmada gerekli hallerde kolon süreksizliğinin yapıda en uygun olarak hangi konumda oluşturulabileceği sorusunun cevabı araştırılmıştır. Bu amaçla 7 katlı betonarme bir binada, zemin kattan üst katlara ve dış akstan iç akslara doğru B3 düzensizliği konumu değiştirilerek toplam 12 adet bina modeli oluşturulmuştur. Bina modellerinin SAP2000 programı yardımıyla doğrusal olmayan tek modlu itme analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan B3 düzensizliği durumu için en uygun konum hakkında bazı öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: B3 düzensizliği, doğrusal olmayan analiz, itme analizi, performans analizi .

Abstract

The most basic principle in general codes for earthquake-resistant building design is to avoid structural irregularities. However, structural irregularities frequently occur in the design of buildings due to architectural reasons. Today, unfortunately, with the concern of creating a wide usage area, especially for commercial purposes, discontinuity in vertical load-bearing elements (B3 irregularity) is one of the most common structural irregularities. On the other hand, although this situation occurs on the ground storeys, which are mostly used as shop storeys, vertical structural element discontinuity may also occur on the upper storeys to design large spaces such as classrooms, meeting rooms, etc. To ensure building safety, the behaviour of structures, especially those containing irregularities, must be considered correctly. In this study, the answer to the question of which position in the structure can most appropriately meet the column discontinuity requirement was sought. For this purpose, 12 building models were created by changing the B3 irregularity location from the ground storey to the upper storeys and from the outer axis to the inner axes in a 7-storey RC building. Nonlinear single-mode pushover analyses of models were performed in SAP2000, and some suggestions are presented about the most appropriate position for the B3 irregularities.

Keywords: B3 irregularity, nonlinear analysis, performance analysis, pushover analysis.

¹Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye.
ismailtozlu@karabuk.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-0512-3803.

²Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye.
sgursoy@karabuk.edu.tr, Orcid.org/0000-0001-8133-0906.

1. GİRİŞ

Deprem etkileri altında yapıların oldukça karmaşık olan gerçek davranışı mühendislik hesaplamaları için bilimsel çalışmalara dayandırılarak basite indirgenmektedir. Yapısal düzensizlikler gerçek yapısal davranışı daha da karmaşık hale getirdiğinden matematiksel model oluşturulurken yapılan kabullerdeki hata mertebelerini daha da arttırmaktadır. Bu nedenle yürürlükteki yönetmeliklerde en temel yapısal tasarım ilkeleri arasında yapısal düzensizliklere ilişkin bilgiler bulunmaktadır. Ancak yapıların işlevsel olabilmesi için yapısal düzensizliklerle sıklıkla karşılaşmaktadır. Uygulamada en sık karşılaşılan düzensizlik durumlarından biri düşey taşıyıcı eleman süreksizliğidir. Bu nedenle bu tür düzensizlik içeren yapıların davranışını anlamak büyük önem arz etmektedir.

1 Ocak 2019'da yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) yapısal performansın belirlenmesinde belirli şartlarla dayandırarak birçok analiz yöntemi sunmaktadır (TBDY, 2019). Yönetmelik hesap yöntemlerini, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler olarak iki grupta toplamakla birlikte B3 düzensizliği olması halinde doğrusal olmayan yöntemlerin kullanılması zorunlu tutulmuştur. Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinden tek modlu itme yöntemi pratikliği nedeniyle yönetmelik şartlarına göre uygun olan türdeki binalar için sıklıkla tercih edilmektedir.

Teknik literatürden statik ve dinamik itme analizleri kullanılarak birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Bunlar kısaca aşağıdaki gibi özetlenmektedir. farklı kat yüksekliklerine sahip betonarme binalarda yapılan statik itme analizleri sonucunda, kat yüksekliği artışına bağlı olarak deprem performanslarının azaldığı ve dolgu duvarların hesapları oldukça etkilediği ve dikdörtgen yük altında elde edilen kapasite eğrilerinin üçgen yükten elde edilene göre, zaman tanım alanında dinamik analizinden elde edilen kapasite eğrilerine daha yakın olduğu ifade edilmiştir. (Korkmaz, 2005; Korkmaz ve Uçar, 2006; Korkmaz, 2006). Kat planları aynı olan 5 katlı zayıf kat düzensizliği içeren betonarme çerçeve sistemli yapıların *Kapasite Spektrumu Yöntemi* ve *Deplasman Katsayıları Yöntemi* ile performans seviyeleri araştırılmıştır. Sonuç olarak zayıf kat düzensizliği olan yapıların özellikle 1. kat kolonlarındaki plastik mafsallı dönmelerinin ve kat ötelemelerinin artmasına bağlı olarak sismik kapasitelerinin azaldığı vurgulanmıştır (Uçar ve Düzgün, 2007). İnel ve ark. (2007) 1975 yılındaki Türk deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış 4 ve 7 katlı 14 yapı üzerinde statik itme analizleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak düşük yatay dayanım nedeniyle büyük deplasman istemlerinin oluştuğunu, özellikle enine donatı aralığının yetersiz olduğu durumlarda öngörülen güvenlik seviyelerinin karşılanamadığını vurgulamışlardır. Korkmaz (2007) 10 katlı betonarme çerçeve sistemli bir yapının farklı çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmesi durumunda doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleri ile yapısal davranışları incelemiştir. Sonuç olarak çelik çapraz elemanlarla yapılan güçlendirmenin kapasiteyi en az iki kat arttırdığını ifade etmiştir. Hasgül ve İrtəm (2011), depremin asal eksenlerinin yansırı ara doğrultuda etkimesi hali için farklı plan ve enkesit geometrisine bağlı yapısal performansın değişimini araştırarak en olumsuz durumunu belirlemişlerdir. Bu amaçla ortogonal akslara sahip olan 3 katlı düzenli 4 betonarme binayı, asal eksenlerinin yansırı çok sayıda ara deprem doğrultusu için artımsal statik itme analizleri altında incelemiştir. Yapısal çözümlerden elde edilen sonuçlar, kritik deprem doğrultularının belirlenmesinde plan geometrisinin kare veya dikdörtgen olmasının ve kolon enkesitinin kare veya dikdörtgen olmasının etkili olduğunu göstermiştir. Korkmaz ve ark. (2011) yumuşak kat düzensizliğine sahip 10 katlı 16 farklı betonarme perdeli yapıların statik itme analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen bulgulardan alt kat yüksekliği arttıkça kapasitenin azaldığını ve dolgu duvarların alt katlarda olmaması durumunda rijitliği azalmasına bağlı olarak deprem davranışının olumsuz olarak etkilendiğini ifade etmişlerdir. Coşkan ve Yüksel (2013), statik itme analizi ile donatı korozyonunun performansa etkisini araştırmışlardır. Korozyonun mafsallaşma durumunu değiştirdiğini ve kapasiteyi önemle oranda düşürdüğümü ifade etmişlerdir. Uçar ve Düzgün (2013), artımsal itme analizi altında İzmir'deki yapısal stoğu yansıtan 30 adet gerçek yapı için hasar görebilirlik eğrilerini çıkarmışlardır. Elde

edilen sonuçlardan, binanın taşıyıcı elemanlarında ilk plastik şekil değiştirmeler meydana geldikten sonra, modal yer değiştirmelerinin artan değerleri için binanın hızlı bir şekilde akma taban kesme kuvveti kapasitesine erişmesine bağlı olarak her bina sınıfı için *Hafif Hasar* ve *Orta Hasar* seviyelerine ait hasar görebilirlik eğrilerinin birbirine daha yakın olduğunu belirtilmiştir. Tekin ve Gürbüz (2015), 1998 öncesi ve sonrası inşa edilen yapılardan oluşan iki grup için hasar görebilirlik eğrileri çıkarmışlardır. Elde edilen sonuçlardan, 1998 sonrası yapılan yapıların daha sünek davrandığı ve kapasitelerinin diğer gruptan daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Uçar ve Merter (2015) betonarme çerçevelerin statik itme analizi ile farklı deprem seviyeleri için plastik enerji tüketim istemlerini araştırmışlardır. Sonuçlar, şiddetli depremler etkisinde kesit kapasitelerinde önemli bir azalma olmaksızın doğrusal olmayan şekil değiştirmenin gerekliliğini ortaya koymuştur. Öncü ve Yön (2016) çalışmalarında, statik ve dinamik itme analizi sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda belirli bir yer değiştirme değerine kadar sonuçlar aynı olsa da belirli bir noktadan sonra farklılaştığını ifade etmişlerdir. Işık (2016) çalışmasında, bir okul binası için beton sınıfının performans etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak beton sınıfının artmasıyla taban kesme kuvveti ve buna bağlı olarak çatı yer değiştirmesi değişse de performans sonuçlarında büyük değişiklikler meydana gelmediği belirtmiştir. Apostolska ve ark. (2016) ve Işık ve ark. (2016) çalışmalarında zayıf kat etkisinde performansın oldukça düştüğünü ortaya koymuşlardır. Meral ve İnel (2016), Denizli şehri ve çevresinde 1975 ve 1998 Türk deprem yönetmeliklerine göre tasarlanmış yaklaşık 500 konut türü binayı incelemişlerdir. Dolgu duvar katkısı, yumuşak kat ve kapalı çıkma düzensizliklerinin performans etkisini ortaya koymuşlardır. Işık ve Özdemir (2017), normal kat yüksekliğinin değişiminin performans etkisi araştırmışlardır. Sonuç olarak, kat yüksekliklerinde farklılık olmamasının performans üzerinde olumlu etkisi olduğunu ifade etmişlerdir. Sümer (2017) çalışmasında, ABAQUS programı yardımıyla yüksek dayanımlı beton ile üretilen kirişlerin etkili plastik mafsal boyunu araştırmıştır. Sonuç olarak literatürdeki formüllerle hesaplanan sonuçların yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin mafsal uzunluğunun belirlemede yetersiz kaldığını belirtmiştir. Karaşin ve Işık (2017) çalışmalarında, bir binanın farklı beton sınıfları kullanılarak inşa edilmesi halinde yapısal performansını araştırmışlardır. Sonuç olarak katlar arası beton dayanımı değişen yapılarda deprem güvenliğinin daha düşük çıktığını belirtmişlerdir. Balkaya ve ark. (2017) çalışmalarında, tünel kalıp sistemli binalarda çelik çaprazlar kullanarak yapısal performansın artırılabilceği ortaya koymuşlardır. Gürbüz ve Tekin (2017), 341 adet betonarme konut türü yapıdan oluşturulan 11 grup yapı için hasar görebilirlik eğrilerini çıkarmışlardır. Sonuç olarak taşıyıcı sistemde betonarme perde duvarlara yer verilmesinin yapı rijitliğini önemli ölçüde artırdığını ve perde+çerçeve sistemlerin ağır hasar riskini azaltmakta oldukça etkili olduğunu vurgulamışlardır. Doğru ve Arslan (2017), bir okul yapısının farklı zemin türlerine göre performansını araştırmışlardır. Sert zeminden yumuşak zemine doğru gittikçe talep yer değiştirmesinin dolayısıyla da hasar seviyelerinin arttığını belirtilmiştir. Türkay ve Güler (2017), bir okul binasının doğrusal ve doğrusal olmayan itme analizi sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak doğrusal olmayan hesapta plastik mafsal oluşmasıyla birlikte artan kapasiteye bağlı olarak taban kesme kuvveti değerinin doğrusal hesaptan elde edilene göre 2 kat büyük olduğunu belirtmişlerdir. Bikçe ve Bayrak (2018) çalışmalarında, dolgu duvarların taban kesme kuvveti değerini %40'a kadar etkilediğini ortaya koymuşlardır. Yüksel ve Sakcalı (2018), korozyon etkisinin yapısal performans etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak korozyon düzeyine göre statik itme eğrisinin hem tepe yer değiştirmesi hem de taban kesme kuvveti bakımından önemli derecede değişime uğrayarak kapasite kayıpları olduğunu belirtmişlerdir. Koçer ve ark. (2019) çalışmalarında, korozyona uğramış kolonların kapasitelerinin büyük ölçüde düştüğünü ortaya koymuşlardır. Mert ve Nzapfakumunsi (2019), T şeklindeki yapıların performansını incelemişlerdir. Elde edilen bulgulardan T şekli binaların performanslarının dikdörtgen binalara göre daha düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Severcan ve Sinani (2019), 8 katlı betonarme bir yapının performans sonuçlarını 2007 deprem yönetmeliği ve Eurocode-8 için karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak 2007 Türk deprem yönetmeliğinin daha güvenli tarafta kaldığını belirtmişlerdir.

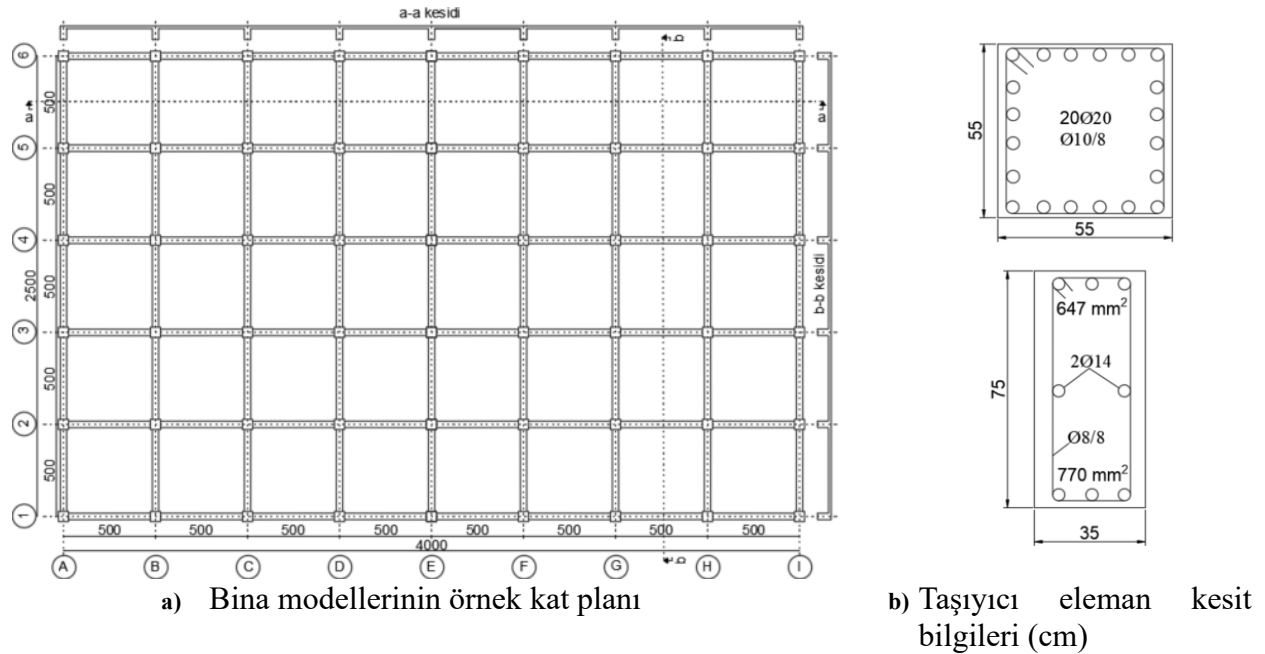
TBDY'nin yürürlüğe girmesinden sonra yapılan çalışmalarda, Dalyan ve Şahin (2019), 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerini 5 katlı bir konut yapısının performans analizini inceleyerek karşılaştırmışlardır. Etkin kesit rijitliklerine bağlı olarak hâkim periyot değerlerindeki artış ile daha az deprem yükü olmasına rağmen TBDY'deki hasar sınırlarındaki değişimler nedeniyle TBDY'nin daha olumsuz sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır. Aydın ve Boru (2020) çalışmalarında, katlar arası rijitlik farkı oluşturmadan yerleştirilen çelik X çaprazların performansı arttırdığını ortaya koymuşlardır. Işık ve ark. (2020) çalışmalarında, bina oturma alanı ve kat sayısı değişiminin performansa etkisini araştırmışlardır. Bina oturma alanı ve kat sayısı arttıkça periyot, yer değiştirme ve hedef yer değiştirme değerlerinin arttığını ifade etmişlerdir. Dok ve ark. (2020), EC-8, 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerindeki etkin rijitliklere göre betonarme çerçevelerin kapasitelerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, farklı yönetmeliklere göre aynı yapı için farklı değerlendirmeler oluşabileceğini ifade etmişlerdir. Güneysi ve ark. (2020), betonarme binaların çelik levha perde duvarlarla güçlendirilmesi durumunu araştırarak bu yöntemle güçlendirilmiş yapıların yatay yük taşıma kapasitelerindeki artışı ortaya koymuşlardır. Işık ve ark. (2020) çalışmalarında, eğimli arazilerde inşa edilen yapıların performansını incelemişlerdir. Sonuç olarak artan eğimle birlikte kolon yüksekliklerinin azalmasının performansı olumsuz etkilediğini vurgulamışlardır. Özer ve Yüksel (2020, 2021, 2022) çalışmalarında, bağ kirişi modelleme yöntemlerinin performansa etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak, normal donatılı ve çift bağ kirişli modeller daha sünek davranış gösterirken, çapraz donatılı modelin daha fazla yatay yük taşıdığını belirtmişlerdir. Jamal ve Yüksel (2021), TBDY ve ASCE 41-17 yönetmeliklerini tek açıklıklı farklı kat sayılarındaki betonarme yapılar için karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak yük miktarına, etkin rijitliklere ve plastik mafsallara göre sonuçların değiştiğini ortaya koymuşlardır. Kasap (2021), statik ve dinamik itme analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır. Sonuç olarak statik itme analizinden elde edilen yatay yer değiştirmelerinin daha büyük olduğu belirtilmiştir. 2007 ve 2019 Türk deprem yönetmeliklerinin konut türü yapılar için karşılaştırıldığı çalışmaların sonucunda etkin kesit rijitliklerinden dolayı yönetmelikler arasında farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 2019 yönetmeliğinin daha düşük performans sonucu verdiği ifade edilmiştir (Sarı ve Ulutaş, 2021; Çaycı ve Eldemir, 2021). Toplu ve Kirtel (2021), taban yalıtımlı binalardaki statik itme analizi ile zaman tanım alanında analiz sonuçlarının oldukça benzeştiğini ifade etmişlerdir. Akpınar ve ark. (2021) çalışmalarında, bir hastane binasının betonarme perdelerle ve sürtünme tipi sönümleyicilerle güçlendirilmesini incelemişlerdir. İki yöntemle de başarılı sonuçlar elde edilse de montaj hızı ve uygulama kolaylığı bakımından sönümleyici kullanmanın daha avantajlı olduğunu belirtmişlerdir. Işık ve ark. (2022) çalışmalarında, asma katların yapısal performans üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koymuşlardır. Işık (2022) çalışmasında, etriye miktarının performansa etkisini araştırmıştır. Sonuç olarak, etriye oranının artmasıyla kapasitelerin önemli miktarda arttığını vurgulamıştır. Boru ve Aydın (2022), çeşitli çelik çapraz tiplerinin performansa etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak X ve K tipi çaprazların dayanım ve rijitlik açısından öne çıktığını belirtmişlerdir. Usta (2022) ve Karasin ve ark. (2022) çalışmalarında, bölme duvarların yapısal performansa etkilerini araştırmışlardır. Birim hacim ağırlığı düşük bölme duvarların kullanılmasının performansa katkısı ortaya koyulmuştur. Etili (2022), rijit bodrum perdelerin performansa etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda performans üzerinde, bodrum perdelerinden çok yapısal geometrinin etkili olduğu vurgulanmıştır. Akın ve Kanas (2023), sünek olmayan betonarme bir yapının performansı için dolgu duvarların hesaba katılmaması durumunda sonuçlardaki sapmaları ortaya koymuşlardır. Altınay ve Erdem (2023), doğrusal olmayan itme analizi ile bir kamu binasının performansını incelemişlerdir. Sonuç olarak, beton basınç dayanımının düşük olması ve bazı kolonlarda yetersiz boyuna donatı alanı ile sarılma bölgelerinde yeterli sıkılaştırmaların yapılmamasından kaynaklı hedef performans seviyelerine ulaşamadığını belirtmişlerdir.

Teknik literatür çalışmalarından da görüldüğü gibi itme analizleri, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analize göre, pratikliği nedeniyle 2000'li yıllardan günümüze kadar sıklıkla kullanılmış ve kullanılmaya devam etmektedir. Bu çalışmada, çeşitli nedenlerle oluşturulan kolon

süreksizliğinin yapısal davranışa etkisi doğrusal olmayan tek modlu itme analizi ile incelenmiştir. Kolon süreksizliğinin olduğu bölge, dış akstan kat merkezine ve zemin kattan üst katlara doğru değiştirilerek bina modelleri oluşturulmuştur. Uygulanan itme analizleri sonucu elde edilen bulgulardan, zorunluluk durumunda kolon süreksizliği için tercih edilebilecek en uygun konum hakkında bazı sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

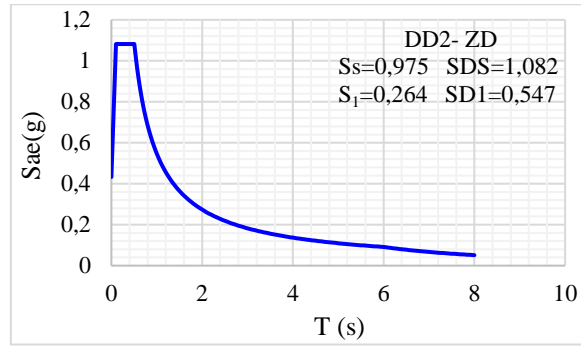
2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada incelenen konut türü binanın kat planı ve taşıyıcı eleman kesit özellikleri Şekil 1'de verilmektedir. 7 kattan oluşan binanın kat yükseklikleri eşit ve 3m'dir. Söz konusu binada kullanılan beton sınıfı C35 ve donatı sınıfı B420C'dir. Tüm kolonlar için kenar uzunlukları 55 cm, boyuna donatı 20Ø20, etriye Ø10/8'dir. Tüm kirişlerin genişlikleri 35 cm ve yükseklikleri 75 cm'dir. Ayrıca kat kirişlerinin her iki ucu için üst donatı alanı 647 mm², alt donatı alanı 770 mm² ve sargı donatısı Ø8/8'dir. Tüm yapısal elamanlar için beton örtü kalınlığı (paspayı) 35 mm olarak dikkate alınmıştır. Kolon ve kirişler çubuk eleman olarak, kalınlıkları 15 cm olan döşemeler ise alan eleman olarak modellenmiştir. Ayrıca TBDY'de önerilen etkin kesit rijitlikleri dikkate alınmış, düğüm noktalarının tam rijit birleşim olduğu ve zemin kat kolonlarının temele ankastre bağlantılı kabul edilmiştir. Döşemelerin sabit yük değeri 2.12 kN/m², hareketli yük değeri 2 kN/m² ve kirişler için duvar yükü 3.25 kN/m alınmıştır. TBDY'e göre betonarme hesaplar Sta4-Cad, doğrusal olmayan tek modlu itme analizleri ise SAP2000 programıyla gerçekleştirilmiştir. Betonarme ve performans hesaplarında kullanılan tasarım spektrumu Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Bina Modellerinin Örnek Kat Planı Ve Taşıyıcı Elemanlarının Kesit Bilgileri

3 aksı boy kesitindeki kolon isimlendirmesi ile oluşturulan model isim matrisinde sırasıyla C₁₂, C₁₄, C₁₅, C₃₂, C₃₄, C₃₅, C₅₂, C₅₄, C₅₅, C₇₂, C₇₄, C₇₅ kolonları kaldırılarak 12 farklı kolon süreksizliği içeren bina modelleri oluşturulmuştur (bkz. Şekil 3). İncelenen binanın plan şekline göre olduğu gibi kolon süreksizliği için en dış aksın seçilmesi durumunda hesap yapılmayan doğrultuda oldukça büyük konsol kirişler meydana geleceğinden en dış akslarda kolon süreksizliği durumu tercih edilmemiştir. Model isimlendirmesi, kırmızı renkle gösterilen kaldırılan elemanın adına göre yapılmıştır. İsim matrisinde verilmeyen diğer tüm kolonlar her bir modelde mevcuttur. Oluşturulan bina modelleri x doğrultusunda tek modlu itme analizine göre değerlendirilmiştir. Böylelikle kolon süreksizliğinin dış akslardan merkeze ve zemin kattan üst katlara taşınması durumunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. Tasarım Spektrumu

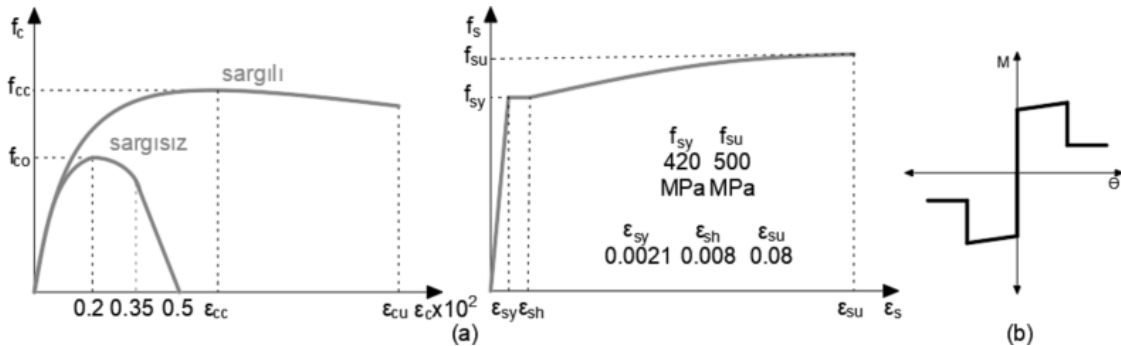
C ₇₁	C ₇₂	C ₇₃	C ₇₄	C ₇₅			
C ₆₁	C ₆₂	C ₆₃	C ₆₄	C ₆₅			
C ₅₁	C ₅₂	C ₅₃	C ₅₄	C ₅₅			
C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₄₅			
C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	C ₃₅			
C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅			
C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅			

C ₇₁	C ₇₂	C ₇₃	C ₇₄	C ₇₅
C ₆₁	C ₆₂	C ₆₃	C ₆₄	C ₆₅
C ₅₁	C ₅₂	C ₅₃	C ₅₄	C ₅₅
C ₄₁	C ₄₂	C ₄₃	C ₄₄	C ₄₅
C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄	C ₃₅
C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅
C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅

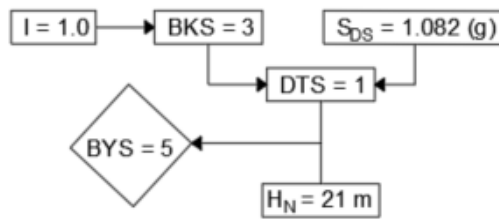
Şekil 3. Bina Modellerinin 3 Aksı Kolon İsim Matrisi

2.1. İtme Analizi ve Deplasman Talebi

İtme analizinde, malzemeler için TBDY’de önerilen davranış modelleri kullanılmıştır (bkz. Şekil 4a). Yığılı plastik mafsal davranışı için SAP2000 programında önerilen model kullanılmıştır (bkz. Şekil 4b). TBDY’ye göre tek modlu itme analizinin uygulanabilmesi için hâkim moda ilişkin etkin kütle katılım oranının 0.70’ten büyük olması ve burulma düzensizliğinin olmaması gerekmektedir. Tablo 1’de 12 model için periyot değerleri ve x doğrultusundaki etkin kütle katılım oranları verilmiştir. Ayrıca TBDY’ye göre tek modlu itme analizi için *Bina Yükseklik Sınıfına* (BYS \geq 5) bağlı olarak verilen uygulama sınırının kontrolü de Şekil 5’te verilmektedir.



Şekil 4. (a) Malzeme modelleri, (b) plastik mafsal davranış modeli



Şekil 5. Tek Modlu İtme Analizi için BYS Kontrolü

Tablo 1. Modal Analiz Sonuçları ve Yer Değiştirme Talepleri

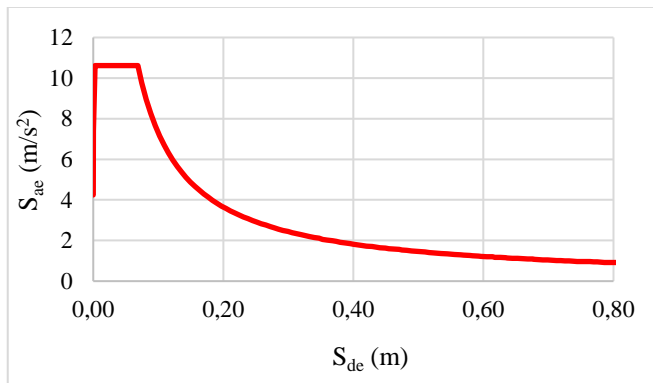
Bina Modelleri	T (s)		Kütle Katılım Oranı		$\phi_{\text{çatı}} (m)$	$\Sigma M_{\text{etkin}}(kNs^2/m)$	$\Gamma (1/m)$	$d_{\text{talep}}(m)$	$d_{\text{gerçek}} (m)$
	Hesap Doğrultuları								
	Y-Y	X-X	Y	X	X				
C ₁₂	0,73640	0,71580	0,8346	0,83758	0,015043	7273.850	84,6259	0,115	0,146
C ₁₄	0,73638	0,71580	0,8348	0,83756	0,015043	7273.676	84,6055	0,090	0,115
C ₁₅	0,73637	0,71580	0,8348	0,83757	0,015043	7273.763	84,6008	0,089	0,113
C ₃₂	0,73621	0,71557	0,8334	0,83632	0,015048	7262.907	84,5313	0,091	0,116
C ₃₄	0,73620	0,71556	0,8335	0,83632	0,015049	7262.907	84,5409	0,088	0,112
C ₃₅	0,73619	0,71556	0,8336	0,83632	0,015049	7262.907	84,5448	0,088	0,112
C ₅₂	0,73563	0,71502	0,8333	0,83608	0,015056	7260.823	84,5462	0,086	0,109
C ₅₄	0,73562	0,71502	0,8333	0,83608	0,015056	7260.823	84,5512	0,083	0,106
C ₅₅	0,73562	0,71502	0,8333	0,83608	0,015056	7260.823	84,5529	0,082	0,104
C ₇₂	0,73519	0,71460	0,8336	0,83639	0,015065	7263.515	84,5807	0,081	0,103
C ₇₄	0,73518	0,71462	0,8336	0,83637	0,015059	7263.342	84,5790	0,079	0,101
C ₇₅	0,73518	0,71462	0,8336	0,83637	0,015057	7263.342	84,5793	0,077	0,098

Spektral ivme-yer değiştirme grafiği Şekil 6a'da, kapasite eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile elde edilen eğri ve spektral ivme-yer değiştirme (S_a - S_d) eğrilerinden yer değiştirme talebinin hesabı Şekil 6b'de verilmektedir. Kuvvet yer değiştirme eğrisinin koordinat dönüşümü için kullanılan denklemlerde (bkz. Denklem 1 ve 2) a_1 tek serbestlik dereceli sistem (TSD) için sözde ivmeyi, V_t kapasite eğrisi ordinat değerlerini, m_t toplam etkin kütle, d_1 TSD için spektral yer değiştirmeyi, ϕ 1. mod çatı modal yer değiştirmesini, Γ modal katkı çarpanını göstermektedir. S_{de} hesabı Denklem 3 ile yapılmıştır.

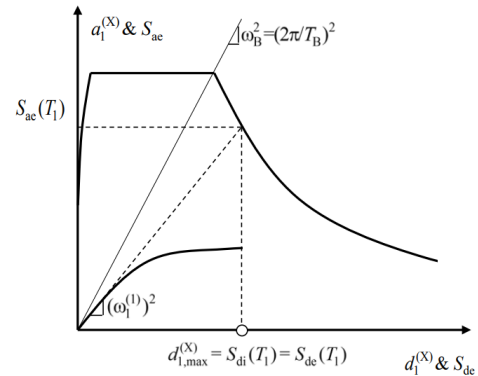
$$a_1 = \frac{V_t}{\Sigma m_t} \quad (1)$$

$$d_1 = \frac{u}{\phi * \Gamma} \quad (2)$$

$$S_d = \frac{T^2}{4 * \pi^2} * g * S_{ae}(T) \quad (3)$$



(a)



(b)

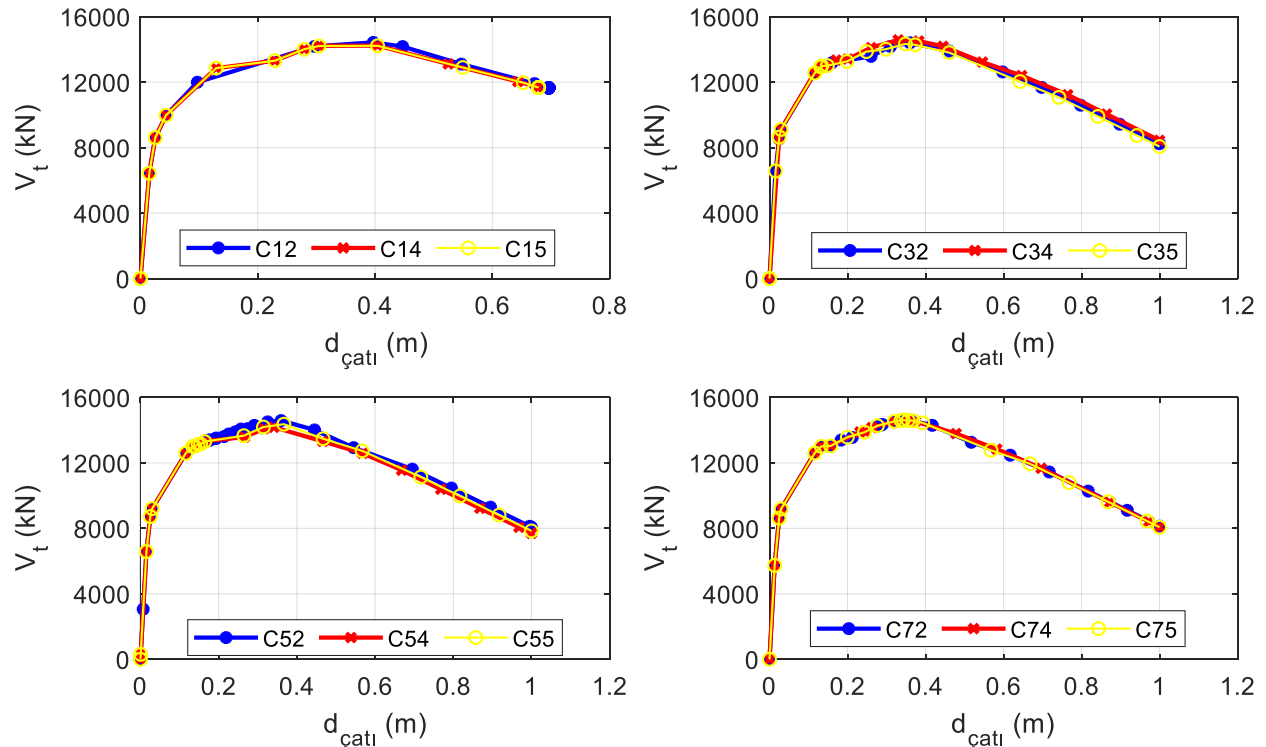
Şekil 6. (a) Spektral ivme-yer değiştirme grafiği, (b) yer değiştirme talebinin belirlenmesi (TBDY, 2019)

Doğrusal olmayan itme analizi ile elde edilen kapasite eğrileri Şekil 7'de, modellerin maksimum kapasite durumundaki göçme mekanizmaları ise Şekil 8'de verilmektedir. Kapasite eğrileri incelendiğinde toplam kapasitesi en düşük olan modellerin, zemin kattaki kolonların kaldırılmasıyla düzensiz hale getirilen binalardan elde edildiği görülmüştür. Düzensizlik konumu dış akslardan iç akslara doğru kaydırıldıkça toplam kapasite az miktarda artsa da birbirine oldukça

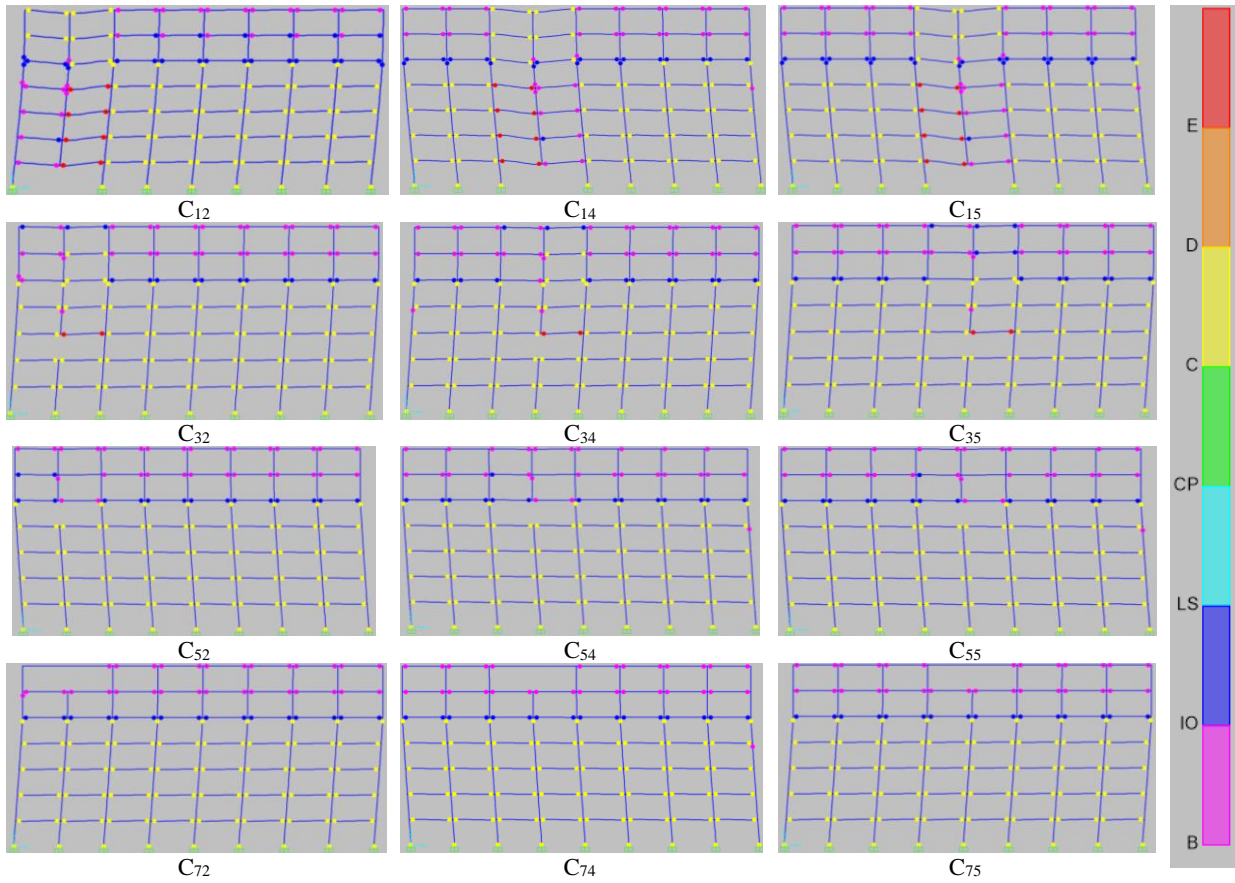
Yakın sonuçlar elde edilmiştir. Kapasite eğrilerinin başlangıç eğimleri arasındaki fark oldukça küçük olsa da talep spektrumunun (S_{ae} - S_{de}) uzun periyottan köşe periyot değerine yaklaştıkça eğimin hızlı bir şekilde değişmesinden dolayı TSD sistem için elde edilen yer değiştirme talebi (d_1) arasındaki fark artmıştır. Gerçek talep yer değiştirme değeri için modal katkı çarpanı ve modal çatı yer değiştirme değerleri hesaba katılınca fark daha da belirginleşmiştir. Göçme mekanizmaları incelendiğinde düzensizlik durumu üst katlara çıktıkça, üst katlardan gelen toplam yükün azalmasına bağlı olarak kolonun oturduğu kirişlerdeki hasar mertebeleri azalmıştır. Ayrıca B3 düzensizliğinin dış akslardan iç akslara kaydırılması göçme mekanizmasında dikkate değer bir değişiklik oluşturmamıştır.

2.2. Yer Değiştirme Talebi Altında Yapısal Davranış

Bina modellerinin, hasar durumlarını incelemek için hesaplanan performans noktalarına kadar itilmiştir (bkz. Şekil 9). B3 düzensizliğinin konumu dış akstan merkeze ve zemin kattan üst katlara doğru ilerledikçe yer değiştirme talebinin azaldığı görülmüştür. Performans noktasındaki hasar mertebeleri ve dağılımları Şekil 10'da verilmiştir. Ayrıca düzensizlik içeren 3 aksı kirişleri ve zemin kat kolonlarının hasar dağılımları yüzdeler olarak Tablo 2'de verilmektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde en olumsuz durumun kolon süreksizliğinin zemin kat dış aksında olduğu modelde (C12) olduğu görülmüştür. C12 modelinde tüm zemin kat kolonlarının alt ucunda hasarlar meydana gelmiştir. Zemin kat içinde kolon süreksizliği aks merkezine yaklaştırıldığında sadece kenar kolonda hasar meydana gelirken, kirişlerin %23'ü, C12 modelindeki kirişlere göre hemen kullanım (IO) performans düzeyinin altına inmiştir. Üst katlar için ise düzensizlik konumu merkeze yaklaştığında performans artışı gözlenmiştir. Ancak bu durum zemin kat için daha belirgin olarak görülmüştür. Düzensizlik durumu zemin kattan üst katlara doğru ilerledikçe hasar almış kiriş sayısında ve hasar mertebelerinde düşüş olduğu görülmüştür. Bu durumun alt katta devam etmeyen kolonun oturduğu kirişler için, düzensizlik konumun üst katlardan zemin katlara doğru taşınması durumunda, üst katlardan gelen kümülatif kolon eksenel yükü ile alakalı olduğu söylenebilir (bkz. Şekil 11). Sonuç olarak B3 düzensizliği içeren yapısal tasarım gerekliliği olduğunda, kolon süreksizliğinin aks merkezlerine yakın ve mümkünse üst katlarda oluşturulmasının yapısal performansı arttıracığı görülmüştür.



Şekil 7. Kapasite eğrileri

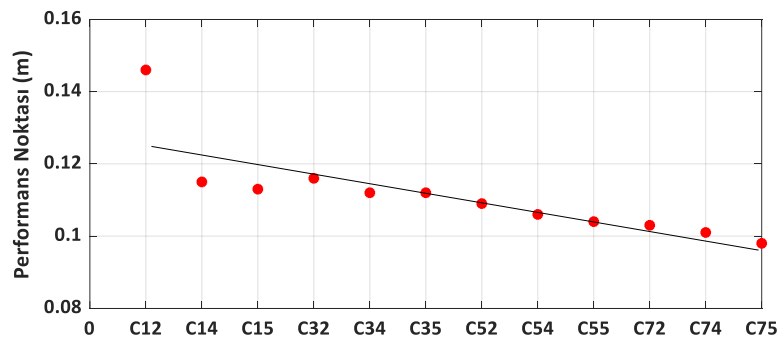


Şekil 8. Kapasite Durumu Altındaki Göçme Mekanizmaları

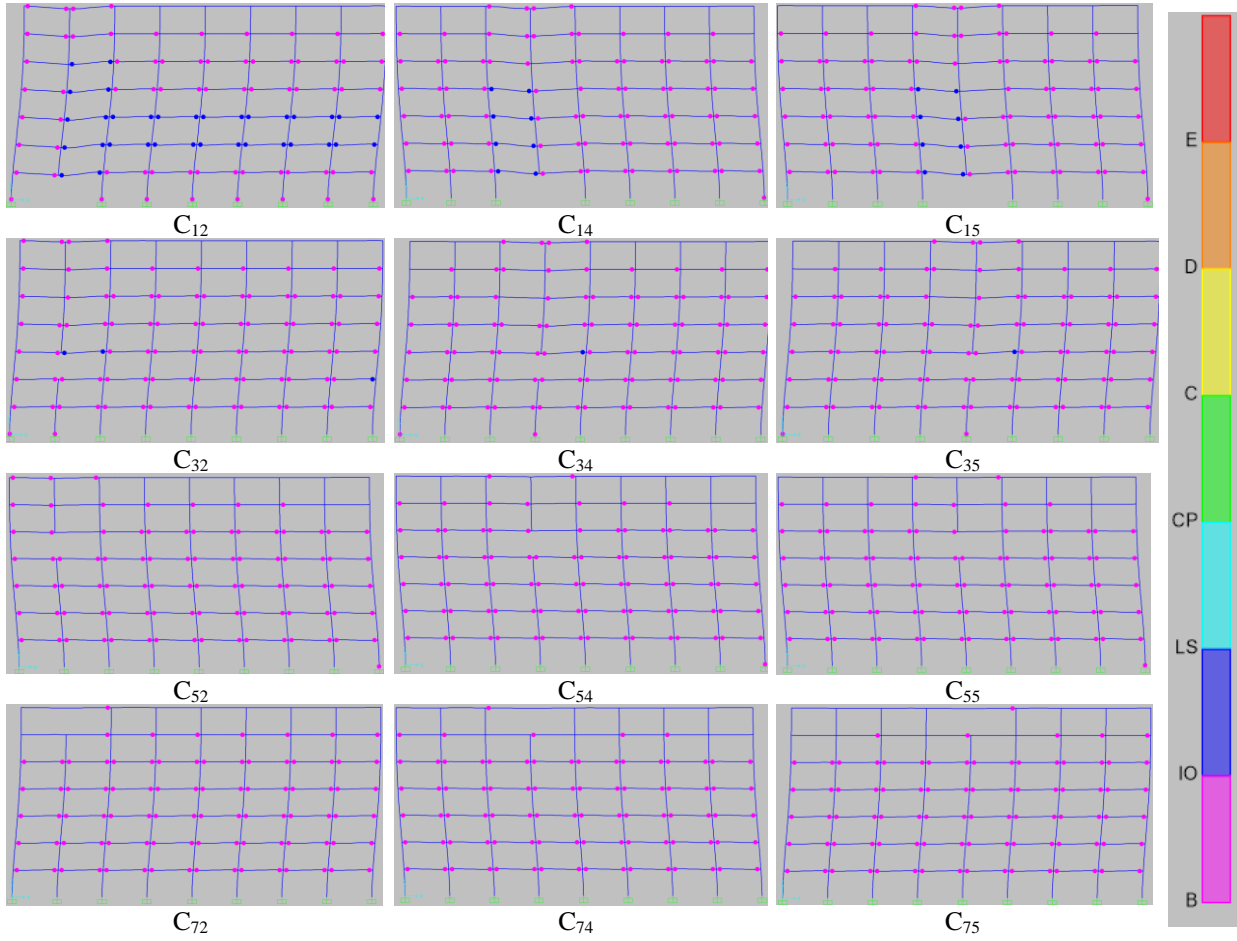
Tablo 2. 3-3 Aksı Kirişleri ve Zemin Kat Kolonlarının Hasar Dağılımları (%)

Model	Kirişler			Zemin Kat Kolon	
	Hasarsız	<IO	IO-LS	Hasarsız	B-IO
C ₁₂	11	59	30	0	100
C ₁₄	11	82	7	87,5	12,5
C ₁₅	11	82	7	87,5	12,5
C ₃₂	11	86	4	78	22
C ₃₄	11	88	2	78	22
C ₃₅	11	88	2	78	22
C ₅₂	16	84	0	89	11
C ₅₄	16	84	0	89	11
C ₅₅	16	84	0	89	11
C ₇₂	13	87	0	100	0
C ₇₄	16	84	0	100	0
C ₇₅	16	84	0	100	0

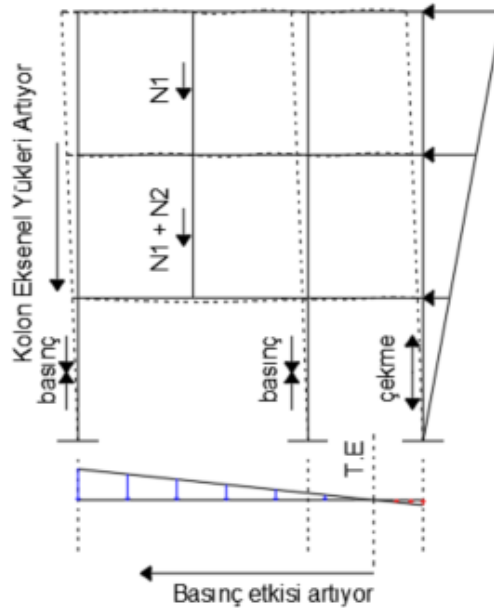
IO: Hemen Kullanım LS: Can Güvenliği



Şekil 9. Yer Değiştirme Talebi



Şekil 10. Performans Noktasına Kadar İtilen Binaların 3-3 Aksı Hasar Mertebeleri ve Dağılımları



Şekil 11. Tek Modlu İtme Etkisindeki Yapısal Davranış

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapısal tasarımda esas, mümkün olduğunca düzenli ve basit yapısal sistemlerin seçilmesi olsa da kullanım amacı nedeniyle zaman zaman düzensiz binaların tasarım gerekliliği ortaya çıkabilmektedir. Depremler sırasında oldukça karmaşık davranış sergileyen binaların taşıyıcı sistem kurgusundaki düzensizlikler, davranışlarını daha da karmaşık hale getirmekle beraber performansta azalmalara da neden olmaktadır. Kolon süreksizliği (B3 düzensizliği) uygulamada, özellikle ticari amaçlarla kullanılan zemin katlarda en sık rastlanan düzensizlik türlerinden biridir. Bu çalışmada mimari nedenlerden dolayı kolon süreksizliği yapılması durumunda, bina içindeki en uygun konum belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla dış akstan iç akslara ve zemin kattan üst katlara doğru kolon süreksizliği içeren bina modelleri oluşturulmuştur. Teknik literatürde deprem etkileri altındaki yapısal davranışın ortaya konmasında pratik bir yöntem olan itme analizleri sıklıkla kullanıldığından, bu çalışmada yapısal çözümler doğrusal olmayan tek modlu itme analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Yapısal çözümlerden, uygulama gerekliliği durumunda en uygun B3 düzensizliği konumu için aşağıda bazı sonuçlar ve öneriler sunulmaktadır.

- Yapısal çözümlerden en olumsuz durumun C12 modelinde meydana geldiği görülmüştür. Söz konusu modelde 3-3 aksı kirişlerinin %30'u IO performans seviyesini aşmışken, zemin kat için düzensizlik konumu iç aksa kaydırıldığında (C14, C15) bu değer %7'ye düşmüştür. Ayrıca C12 modelindeki zemin kat kolonlarının tamamının (%100) alt ucunda hasarlar meydana gelmişken C14 ve C15 modellerinde ise bu değer %13 olarak elde edilmiştir.
- Üst katlarda düzensizlik içeren modellerde düzensizlik konumu aks merkezine yaklaştığında hasar almış kiriş yüzdesi azalsa da bu durum zemin katta olduğu kadar performans sonuçlarını etkilememiştir.
- B3 düzensizliğinin konumu dış akslardan iç akslara kaydırıldıkça yapısal performansta artış olduğu, özellikle zemin katta düzensizlik durumu olan modeller için bu durumun oldukça önem arz ettiği görülmüştür.
- Kolon süreksizliğinin en üst katta olduğu modellerde tüm kolonların elastik bölgede ve tüm kiriş hasarlarının IO düzeyinin altında kaldığı görülmüştür.
- B3 düzensizliğinin zemin katta olduğu bina modelleri için en elverişsiz performans durumları gözlenmiştir. Buna karşın üst katlara doğru kolon süreksizliği kaydırıldığında performansta az miktarda iyileşmeler olduğu görülmüştür.
- Yapısal çözümlerden elde edilen bulgulara göre zorunlu hallerde B3 düzensizliği yapılması isteniyorsa, daha iyi bir yapısal performans için, özellikle zemin katta oluşturulacak, kolon süreksizliğinin mümkün oldukça aks ortasına yakın yapılması önerilmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Akın, E., & Kanas, E. (2023). Collapse capacity assessment of non-ductile open ground story reinforced concrete frame. *Turkish Journal of Engineering*, 7(2), 157-165. <https://doi.org/10.31127/tuje.1071965>
- Akpınar, E., Özenir, A., & Akanji, S. T. (2021). Tipik betonarme bir hastane yapısının güçlendirilmesinde betonarme perde ve sürtünmeli sönümleyici güçlendirme alternatiflerinin karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (32), 928-939. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1042760>
- Altınay, M. K., & Erdem, R. T. (2023). Mevcut betonarme bir kamu binasının taşıyıcı sistem güvenliğinin TBDY-2018'e göre araştırılması. *Journal of Science, Technology and Engineering Research*, 4(2), 112-123. <https://doi.org/10.53525/jster.1361250>
- Apostolska, R., Necevska-Cvetanovska, G., Bojadzieva, J. & Gjorgjievska, E. (2016). Seismic performance assessment of soft-story RC frame buildings. *Journal of International Environmental Application and Science*, 11(3), 241-248.
- Aydın, E., & Boru, E. (2020). Betonarme bir çerçevenin farklı yerleşim düzenlerine sahip merkezi çelik çaprazlarla güçlendirilmesi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 8(2), 286-294. <https://doi.org/10.21541/apjes.572750>
- Balkaya, C., Karagoz, İ., & Gunal, İ. (2017). Improving torsional rigidity and seismic performance of tunnel form building structures. *International Journal of Engineering Technologies IJET*, 3(3), 124-134. <https://doi.org/10.19072/ijet.307537>
- Bikçe, M., & Bayrak, O. F. (2018). Analyzing the effect of infill walls on a RC structure. *Disaster Science and Engineering*, 4(1), 32-39.
- Boru, E., & Aydın, E. (2022). The effect of different steel brace types on reinforced concrete frame system retrofit. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 11(2), 118-124. <https://doi.org/10.46810/tdfd.1078643>
- Coşkan, S., & Yüksel, İ. (2013). Çerçevelerde donatı korozyonunun taşıyıcı sistem davranışına etkileri. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 5(3), 77-88.
- Çaycı, B. T., & Eldemir, O. (2021). TBDY-2018 ve DBYBHY-2007 deprem yönetmelikleri performans seviyelerinin karşılaştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(4), 1386-1397. <https://doi.org/10.21923/jesd.876935>
- Dalyan, İ., & Şahin, B. (2019). Mevcut betonarme bir binanın 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre deprem yükleri altındaki taşıyıcı sistem performansının değerlendirilmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1(2), 134-147. <https://doi.org/10.46464/tdad.631998>
- Dogru, M., & Arslan, G. (2017). Seismic performance of a RC school building considering different soil classes. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics* (1), 146-153.

- Dok, G., Öztürk, H., Demir, A., Çağlar, N. (2020). Investigation of effective bending rigidity considering different code approaches. *Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management*, 1(1), 35-48.
- Etlı, S. (2022). Rijit bodrum perdelerinin TBDY 2018 ile tasarlanan az katlı yapılardaki etkisi üzerine bir inceleme. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(2), 712-720. <https://doi.org/10.29137/umagd.1092841>
- Güneyisi, E., Baker, R., & Erdoğan, A. (2020). Seismic response of reinforced concrete frames with steel plate shear walls. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 21(3), 374-388. <https://doi.org/10.18038/estubtda.677039>
- Gürbüz, A., & Tekin, M. (2017). Farklı tip betonarme binalar için geliştirilmiş hasar tahmin yöntemleri. *Teknik Dergi*, 28(4), 8051-8076. <https://doi.org/10.18400/tekderg.334196>
- Hasgöl, U., & İrtem, E. (2011). Betonarme binaların kritik deprem doğrultularının belirlenmesinde farklı plan ve enkesit geometrisinin etkisi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 45-58.
- Işık, E. (2016). Effects of material strength on structural performance of damaged RC buildings. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 6(1), 22-25. <https://doi.org/10.17678/beujst.96498>
- Işık, E. (2022). Investigation of the contribution of the reinforcement tie to the seismic behavior of reinforced-concrete columns. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 12(1), 21-26. <https://doi.org/10.17678/beuscitech.1067376>
- Işık, E., & Özdemir, M. (2017). Normal kat yüksekliğinin farklı olması durumunda yapı performansının incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 98-106. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.297906>
- Işık, E., Karasin, İ. B., & Öncü, M. E. (2022). The effect of slab discontinuities on structural performance caused by mezzanine. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 13(1), 111-126. <https://doi.org/10.24012/dumf.1080070>
- Işık, E., Karasin, İ. B., & Ulu, A. E. (2020). Eğimli zeminlerde inşa edilen betonarme binaların deprem davranışlarının incelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (20), 162-170. <https://doi.org/10.31590/ejosat.757763>
- Işık, E., Özdemir, M., & Kutanis, M. (2016). Farklı zemin kat yüksekliklerinin yapı performansına etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 445-454.
- Işık, E., Sayın, N., & Ulu, A. E. (2020). The effects of changing story number and structural footprint area on building performance in reinforced-concrete buildings. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 10(1), 30-34. <https://doi.org/10.17678/beuscitech.725367>
- İnel, M., Bilgin, H., & Özmen, H. B. (2007). Orta yükseklikteki betonarme binaların deprem performanslarının afet yönetmeliğine göre tayini. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(1), 81-89.

- Jamal, R., & Yüksel, B. (2021). TBDY 2018 ve ASCE 41-17'e göre doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile yapı sistemlerinin performans analizinin elde edilmesi ve karşılaştırması. *El-Cezeri*, 8(1), 432-444. <https://doi.org/10.31202/ecjse.808585>
- Karasin, İ. B., & Öncü, M. E. (2022). Farklı dolgu tipleri için çerçevelerin itme analizi ile kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (39), 91-96. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1144414>
- Karasin, İ. B., & Işık, E. (2017). Impact on the building performance of subsequently cast concrete. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 7(1), 7-11. <https://doi.org/10.17678/beuscitech.305748>
- Kasap, T. (2021). Evaluation of earthquake behaviour of reinforced concrete frame buildings by nonlinear methods. *Sciennovation*, 2(2), 27-35.
- Koçerusta, P. (2022). Investigation of seismic behavior of buildings with different infill wall materials. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 11(2), 82-88. <https://doi.org/10.46810/tdfd.1107332>
- Koçer, M., Öztürk, M., & Boğa, A. R. (2019). Analytical study on the effect of corrosion to the construction performance. *Natural and Engineering Sciences*, 4(1), 11-20. <https://doi.org/10.28978/nesciences.522364>
- Korkmaz, A. (2005). Kapasite spektrumu yöntemi ile betonarme çerçeve yapıların performans noktalarının belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 20(2), 19-34.
- Korkmaz, A. (2006). Nonlinear push over analysis for high rise R/C frame structures. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University* (011), 87-100.
- Korkmaz, A., & Uçar, T. (2006). Betonarme binaların deprem davranışında dolgu duvar etkisinin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(1), 101-108.
- Korkmaz, K. A. (2007). Çelik çapraz elemanlarla güçlendirilen betonarme yapıların deprem davranışlarının incelenmesi. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 8(2), 191-201.
- Korkmaz, K. A., Uçar, T., & Düzgün, M. (2011). Yapısal düzensizlikleri olan betonarme yapıların deprem davranışlarının değerlendirilmesi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 22(2), 123-138. <https://doi.org/10.7240/mufbed.62985>
- Meral, E., & İnel, M. (2016). Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaların yapısal parametre özelliklerinin değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 468-477.
- Mert, N., & Nzapfakumunsi, A. (2019). Seismic design evaluation of t shaped irregular RC building plans by using pushover analysis. *Sakarya University Journal of Science*, 23(2), 259-268. <https://doi.org/10.16984/saufenbilder.471209>
- Öncü, M. E., & Şahin Yön, M. (2016). Betonarme binaların deprem davranışlarının artımsal dinamik analiz yöntemiyle değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(1), 23-31.

- Özer, Ö., & Yüksel, B. (2020). Farklı betonarme bağ kirişi modellerinin TBDY (2018)'e göre yapı performansına etkisi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25(3), 1169-1188. <https://doi.org/10.17482/uumfd.777897>
- Özer, Ö., & Yüksel, B. (2021). Deprem yüklerinin tamamının betonarme perde duvarlarla karşılandığı binalarda bağ kirişi modellerinin yapı performansına etkisi. *El-Cezeri*, 8(1), 346-362. <https://doi.org/10.31202/ecjse.807608>
- Özer, Ö., & Yüksel, B. (2022). Deprem etkilerinin betonarme çerçeveler ile bağ kirişli betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalarda bağ kirişi modellerinin yapı performansına etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 10(1), 161-179. <https://doi.org/10.21923/jesd.876725>
- SAP2000, (2020). Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc. (CSI) Berkeley, CA, USA
- Sarı, O., & Ulutaş, H. (2021). Mevcut konut türü betonarme bir binanın deprem güvenliğinin incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1129-1144. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.906844>
- Severcan, M. H., & Sinani, B. (2019). Mevcut betonarme yapıların deprem performansının analizi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 936-947. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.598151>
- Sta4-CAD (2021). "Structural analysis for computer aided design", ver.14.1. www.sta.com.tr
- Sümer, Y. (2017). Determining plastic hinge length of high-performance RC beams. *academic platform-Journal of Engineering and Science*, 5(2), 39-47. <https://doi.org/10.21541/apjes.297049>
- TBDY (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, 30364 Sayılı Resmî Gazete.
- Tekin, M., & Gurbuz, A. (2015). Seismic fragility curves for 1 and 2 stories R/C buildings. *International Journal of Engineering Technologies IJET*, 1(2), 88-94. <https://doi.org/10.19072/ijet.105709>
- Toplu, E., & Kırtel, O. (2021). Sismik taban yalıtımlı yapılarda zaman tanım alanında analiz ve artımsal tek modlu itme yöntemlerinin karşılaştırılması. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(2), 123-131. <https://doi.org/10.46810/tdfd.897951>
- Türkay, A., & Güler, K. (2017). The design and earthquake performance assessment of a school building. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 1(2), 27-37.
- Uçar, T., & Düzgün, M. (2007). Betonarme yapıların sismik performansının değerlendirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 9(2), 63-76.
- Uçar, T., & Düzgün, M. (2013). Betonarme binalar için artımsal itme analizi esaslı analitik hasar görebilirlik eğrilerinin oluşturulması. *Teknik Dergi*, 24(118).

- Uçar, T., & Merter, O. (2015). Farklı deprem düzeyleri için betonarme çerçevelerin plastik enerji istemlerinin belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 101-113. <https://doi.org/10.17714/gufbed.2015.05.009>
- Yüksel, İ., & Sakcalı, G. B. (2018). Zemin katı korozyona maruz kalmış bir binanın performans değerlendirmesi. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B- Teorik Bilimler*, 6(-), 152-162.



Research Article / Araştırma Makalesi

SOLUTION OF A MULTI-OBJECTIVE LINEAR PROGRAMMING PROBLEM HAVING ROUGH INTERVAL COEFFICIENTS USING ZERO-SUM GAME

KABA ARALIKLI KATSAYILARA SAHİP ÇOK AMAÇLI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA PROBLEMİNİN SIFIR TOPLAMLI OYUN İLE ÇÖZÜMÜ

Gizem TEMELCAN ERGENECOSAR¹

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1447939>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar
temelcan.gizem@gmail.com.

Received / Geliş Tarihi
06.03.2024

Accepted / Kabul Tarihi
03.04.2024

Abstract

In this paper, a set of compromise solutions is found for the multi-objective linear programming with rough interval coefficients (MOLPRIC) problem by proposing a two-phased algorithm. In the first phase, the MOLPRIC problem is separated into single-objective LPRIC problems considering the number of objective functions, and the rough optimal solution of each LPRIC problem is found. In the second phase, a zero-sum game is applied to find the rough optimal solution. Generally, the weighted sum method is used for determining the trade-off weights between the objective functions. However, it is quite inapplicable when the number of objective functions increases. Thus, the proposed algorithm has an advantage such that it provides an easy implementation for the MOLPRIC problems having more than two objective functions. With this motivation, applying a zero-sum game among the distinct objective values yields different compromise solutions.

Keywords: Compromise solution, game theory, multi-objective linear programming problem, rough interval coefficient.

Öz

Kaba sayılardan oluşan aralıklara sahip katsayılar içeren, çok amaçlı doğrusal programlama (MOLPRIC) problemi için bir çözüm önerisinde bulunulmuştur. Bu çalışmada ele alınan probleme uzlaşmacı çözümler kümesi önerilmiş olup çözüm algoritması iki aşamalı olarak düzenlenmiştir. İlk aşamada, MOLPRIC probleminin barındırdığı amaç fonksiyonlarının sayısı dikkate alınarak her bir tek amaçlı LPRIC kaba optimal çözümü bulunmuştur. İkinci aşamada ise MOLPRIC probleminin kaba optimal çözümünü bulmak üzere sıfır toplamlı oyundan yararlanılmıştır. Çok amaçlı problemlerin çözüm sürecinde amaç fonksiyonları arasındaki ödünleşim ağırlıklarının belirlenmesinde genellikle ağırlıklı toplam yöntemi kullanılmaktadır. Ancak amaç fonksiyonlarının sayısı arttığında bu geleneksel yöntem uygulamada zorluk çıkarabilmektedir. Dolayısıyla önerilen algoritmanın özgünlüğü, ikiden fazla amaç fonksiyonuna sahip MOLPRIC problemlerine kolay uygulanabilir olmasıdır. Bu motivasyonla, farklı amaç değerleri arasında sıfır toplamlı oyunun uygulanması, farklı uzlaşık çözümlerin bulunmasını sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çok amaçlı doğrusal programlama problemi, kaba sayılı aralık, oyun teorisi, uzlaşık çözüm.

¹Beykoz Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
temelcan.gizem@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-1885-0674.

1. INTRODUCTION

Linear Programming (LP) is a type of mathematical programming problem generally used in decision-making and optimization. It deals with finding unique or alternative optimal solutions under linear constraints and aims to maximize or minimize a linear objective function. LP has a wide application area such as economy, industry, marketing, military, transportation, and technology. When the parameters of an LP problem are crisp numbers, classical methods are used to find the solution. However, the data collected from real life may contain some errors or have uncertainty arising from lack of information, these parameters and the variables cannot be expressed precisely. Therefore, it is more appropriate to represent these variables and parameters by randomness, fuzziness, or roughness.

Pawlak (1982) presented an approach as an alternative to the fuzzy theory and tolerance theory and coined a term *rough set*. Rough set theory expresses the vagueness by defining a boundary region of a set, and accordingly, a vague concept is represented by a pair of precise concepts known as lower and upper approximations. The lower approximation includes all elements that are surely in the vague concept whereas the upper approximation contains all elements that possibly belong to the concept. The rough concept has a great importance in areas such as medicine (Fibak & Pawlak, 1986; Pawlak et al., 1986), data mining (Munakata, 1997), uncertainty reasoning (Düntsche & Gediga, 1998), civil engineering (Arciszewski & Ziarko, 1999), pattern recognition (Mitatha et al., 2003), rule extraction (Apolloni et al., 2006), data envelopment analysis (Xu et al., 2009), knowledge reduction (Li et al., 2013), transportation (Akilbasha et al., 2017; Das et al., 2016; Roy et al., 2018), decision analysis (El-Feky & Abou-El-Enien, 2019; Singh & Huang, 2020), feature selection (Zhao et al., 2020), and granular computing (Velázquez-Rodríguez et al., 2020). Rough concept is applied to the linear fractional programming (Omran et al., 2016; Khalifa, 2018b) and quadratic programming (Saad et al., 2014) problems, game theory (Ammar & Brikaa, 2019; Brikaa et al., 2021), and multi-criteria decision-making (Greco et al., 2001; Tanackov et al., 2022).

In some real-life problems, the complexity of the social and economic environment and trade-offs between these environments require the consideration of multiple objective functions, which is known as a multi-objective programming problem. Since there is more than one objective function in a multi-objective problem, an optimal solution is found for each of these objectives. However, the aim is to find a single optimal solution for a multi-objective problem. In other words, the found solution may not satisfy all the objectives to the same satisfaction degree. Thus, the concept of optimal solution is replaced by the concept of non-dominant solution or non-inferior solution in multi-objective programming problems, and it would be useful to generate a set of compromise solutions to offer them to the decision maker (DM).

The rough concept is also applied to multi-objective programming, and it is called rough multi-objective programming problem (Youness, 2006). Tao and Xu (2012) presented a general model for a rough multiple-objective programming problem and established an application for a solid transportation problem. In the study, compromise solutions were found by using the interactive fuzzy satisfying method and proposed the rough simulation-based genetic algorithm for solving the rough multiple objective solid transportation problem. Atteya (2016) focused on characterizing and solving the rough multiple objective programming problems and contributed to the data mining process confined only to the “post-processing stage”. They investigated a multiple-objective programming problem that had a rough decision set, and all the objectives were crisp functions. Hamzehee et al. (2016) presented a set of multi-objective programming problems in a rough environment. They studied that all the quadratic objective functions were crisp, and the feasible region was a rough set. To find solutions to rough multi-objective programming problems, they used a scalarization method. Khalifa (2018a) considered a multi-objective nonlinear programming problem having rough intervals in the constraints. The problem was converted into

two classical multi-objective nonlinear programming problems which are the lower and the upper approximation problems, and these were solved by using the weighting method. Garg and Rizk-Allah (2021) studied the solution of the multi-objective transportation problems taking the transportation cost and demand of the product as rough interval coefficients. Their proposed approach exploited the merits of the weighted sum method to find the non-inferior solutions.

This paper aims to find compromise solutions for the multi-objective linear programming with rough interval coefficients (MOLPRIC) problem. In the study, to deal with partially unknown or ill-defined parameters and variables, rough intervals proposed by Robolledo (2006), which are a particular case of rough sets since the rough sets could not represent continuous values, are utilized. To find the compromise solutions for the MOLPRIC problem, a two-phased algorithm is proposed. In the first phase, the MOLPRIC problem is divided into single-objective LPRIC problems according to the number of objective functions. The rough optimal solution of each LPRIC problem, if it exists, is found by applying the method proposed in (Hamzehee et al., 2014). In the second phase, the approach proposed in (Temelcan, 2023) is used to find the rough optimal solution by applying a zero-sum game. The proposed algorithm can contribute to the literature by providing ease of implementation when there are more than two objective functions. Accordingly, while it is quite applicable to use the weighted-sum or scalarization method in two-objective MOLP problems, finding the appropriate combination of the weights between more than two objective functions will be difficult. With this motivation, applying a zero-sum game among the distinct objective values yields finding compromise solutions. Therefore, it can be presented as the originality of the paper that a set of compromise solutions for a multi-objective linear programming problem including rough interval coefficients can be found using a zero-sum game to determine the weights.

The framework of this paper is presented as follows. The preliminaries including the rough set concept, linear programming problem, and their shared usages are given in Section 2. The solution algorithm for the MOLPRIC problem is explained in detail in two separate phases in Section 3. Illustrative numerical examples are given in Section 4. Finally, the conclusion and future studies are declared in Section 5.

2. PRELIMINARIES

In this section, some definitions taken from (Hamzehee et al., 2014) and (Temelcan, 2023), are given of the rough set concept, linear programming problem, and their shared use.

Definition 1. Consider an LP with interval coefficients (LPIC) problem as follows:

$$\max \sum_{j=1}^n [\underline{c}_j, \bar{c}_j] x_j \quad (1.a)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n [\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}] x_j \leq [\underline{b}_i, \bar{b}_i], \quad i = 1, \dots, m \quad (1.b)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (1.c)$$

where $[\underline{c}_j, \bar{c}_j]$ is the coefficients (profit for *max*; cost for *min*) of objective function, $[\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}]$ and $[\underline{b}_i, \bar{b}_i]$ are parameters of constraints and all these coefficients are closed intervals on real numbers. $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ is the vector of decision variables.

The best optimal solution to the LPIC problem (1) is obtained by solving the following LP problem:

$$LP_{best}: \\ \max \sum_{j=1}^n \bar{c}_j x_j \quad (2.a)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n \underline{a}_{ij} x_j \leq \bar{b}_i, \quad \forall i \quad (2.b)$$

$$x_j \geq 0, \quad \forall j \quad (2.c)$$

where the problem has the maximum value range inequalities (constraints) and the most favorable value (objective function) (Hamzehee et al., 2014).

The worst optimal solution to the LPIC problem (1) is found by solving the following LP problem:

$$LP_{worst}: \\ \max \sum_{j=1}^n \underline{c}_j x_j \quad (3.a)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij} x_j \leq \underline{b}_i, \quad \forall i \quad (3.b)$$

$$x_j \geq 0, \quad \forall j \quad (3.c)$$

where the problem has the minimum value range inequalities (constraints) and the least favorable value (objective function) (Hamzehee et al., 2014, p.1182).

According to LP_{best} and LP_{worst} problems, the solution of LPIC problem (1) can be found considering the following cases:

- If each LP_{best} and LP_{worst} problem has optimal solution, then LPIC problem (1) has a finite bounded optimal range,
- If the solution of LP_{worst} problem is unbounded, then LP_{best} problem has an unbounded solution,
- If the solution of LP_{best} problem is infeasible, then LP_{worst} problem has an infeasible solution.

Definition 2. Let A be a qualitative value, A_* and A^* are lower and upper approximation (closed) intervals of A , respectively. $A = (A_*, A^*)$ is called a rough interval if the following properties are satisfied:

- If $x \in A_*$, then $x \in A$ (i.e. x is surely in A),
- If $x \notin A^*$, then $x \notin A$ (i.e. x is not surely in A),
- If $x \in A^*$, then x is probably in A .

It is important to note that the lower approximation interval must be defined inside of the upper approximation interval, i.e. $A_* \subseteq A^*$, however, they are not complements of each other.

Definition 3. Consider an LP with rough interval coefficients (LPRIC) problem as

$$\max \sum_{j=1}^n ([\underline{c}_j^l, \underline{c}_j^u], [\overline{c}_j^l, \overline{c}_j^u]) x_j \quad (4.a)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n ([\underline{a}_{ij}^l, \underline{a}_{ij}^u], [\overline{a}_{ij}^l, \overline{a}_{ij}^u]) x_j \leq ([\underline{b}_i^l, \underline{b}_i^u], [\overline{b}_i^l, \overline{b}_i^u]), \quad i = 1, \dots, m \quad (4.b)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (4.c)$$

where $([\underline{c}_j^l, \underline{c}_j^u], [\overline{c}_j^l, \overline{c}_j^u])$, $([\underline{a}_{ij}^l, \underline{a}_{ij}^u], [\overline{a}_{ij}^l, \overline{a}_{ij}^u])$, and $([\underline{b}_i^l, \underline{b}_i^u], [\overline{b}_i^l, \overline{b}_i^u])$ are rough interval coefficients of the objective function and the constraints, respectively, and $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ is the vector of decision variables.

Consider the following LPIC problem:

$$\max \sum_{j=1}^n [\underline{c}_j^l, \underline{c}_j^u] x_j \quad (5.a)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n [\underline{a}_{ij}^l, \underline{a}_{ij}^u] x_j \leq [\underline{b}_i^l, \underline{b}_i^u], \quad i = 1, \dots, m \quad (5.b)$$

$$x_j \geq 0, \quad \forall j. \quad (5.c)$$

If the optimal range of the LPIC problem (5) exists, then it is also the surely optimal range $[\underline{z}^{l*}, \underline{z}^{u*}]$ of the LPRIC problem (4).

Similarly, consider the LPIC problem as

$$\max \sum_{j=1}^n [\overline{c}_j^l, \overline{c}_j^u] x_j \quad (6.a)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n [\overline{a}_{ij}^l, \overline{a}_{ij}^u] x_j \leq [\overline{b}_i^l, \overline{b}_i^u], \quad i = 1, \dots, m \quad (6.b)$$

$$x_j \geq 0, \quad \forall j. \quad (6.c)$$

If the optimal range of the LPIC problem (6) exists, then it is also the possibly optimal range $[\overline{z}^{l*}, \overline{z}^{u*}]$ of the LPRIC problem (4) (Osman et al., 2011).

As a result, the rough interval $([\underline{z}^{l*}, \underline{z}^{u*}], [\overline{z}^{l*}, \overline{z}^{u*}])$ is called the rough optimal range of the LPRIC problem (4). Moreover, the optimal solution of each corresponding LP problem of the LPRIC problem which its optimal value belongs to $[\underline{z}^{l*}, \underline{z}^{u*}]$, $([\overline{z}^{l*}, \overline{z}^{u*}])$ is called a completely (rather) satisfactory solution of the LPRIC problem.

Definition 4. Considering Definition 1 and Definition 3, we can construct the following LP problems:

Surely Best LP: LP_{SBest}

$$\max \sum_{j=1}^n \underline{c}_j^u x_j \quad (7.a)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n \underline{a}_{ij}^l x_j \leq \underline{b}_i^u, \quad \forall i \quad (7.b)$$

Surely Worst LP: LP_{SWorst}

$$\max \sum_{j=1}^n \underline{c}_j^l x_j \quad (8.a)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n \underline{a}_{ij}^u x_j \leq \underline{b}_i^l, \quad \forall i \quad (8.b)$$

Possibly Best LP: LP_{PBest}

$$\max \sum_{j=1}^n \overline{c}_j^u x_j \quad (9.a)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n \overline{a}_{ij}^l x_j \leq \overline{b}_i^u, \quad \forall i \quad (9.b)$$

Possibly Worst LP: LP_{PWorst}

$$\max \sum_{j=1}^n \overline{c}_j^l x_j \quad (10.a)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n \overline{a}_{ij}^u x_j \leq \overline{b}_i^l, \quad \forall i \quad (10.b)$$

where $x_j \geq 0 \forall j$. The solution set of these LP problems is written as

$$LP_{PWorst} \subset LP_{SWorst} \subset LP_{PBest} \subset LP_{SBest}. \quad (11)$$

For proof, please check the study (Hamzehee et al., 2014, p.1184).

Definition 5. Consider a Multi-Objective LP with rough interval coefficients (MOLPRIC) problem as

$$\max z_k = \sum_{j=1}^n ([\underline{c}_{kj}^l, \underline{c}_{kj}^u], [\overline{c}_{kj}^l, \overline{c}_{kj}^u]) x_j, \quad k = 1, \dots, q \quad (12.a)$$

s.t.

$$\sum_{j=1}^n ([\underline{a}_{ij}^l, \underline{a}_{ij}^u], [\overline{a}_{ij}^l, \overline{a}_{ij}^u]) x_j \leq ([\underline{b}_i^l, \underline{b}_i^u], [\overline{b}_i^l, \overline{b}_i^u]), \quad i = 1, \dots, m \quad (12.b)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (12.c)$$

where $([\underline{c}_{kj}^l, \underline{c}_{kj}^u], [\overline{c}_{kj}^l, \overline{c}_{kj}^u])$, $([\underline{a}_{ij}^l, \underline{a}_{ij}^u], [\overline{a}_{ij}^l, \overline{a}_{ij}^u])$, and $([\underline{b}_i^l, \underline{b}_i^u], [\overline{b}_i^l, \overline{b}_i^u])$ are rough interval parameters of the objective functions and the constraints, respectively, and $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ is the vector of decision variables.

It is seen that the MOLPRIC problem (12) has q –LPRIC problems, so there are $2q$ -LPIC problems, and $4q$ -LP problems accordingly. Since each parameter in each LPRIC problem belongs to the upper approximation interval or lower approximation interval of its rough intervals, different LPIC problems emerge.

Definition 6. According to the properties of a rough interval, the components of each rough interval coefficient are sorted as

$$\overline{c_{kj}^l} \leq \underline{c_{kj}^l} \leq \underline{c_{kj}^u} \leq \overline{c_{kj}^u}$$

$$\overline{a_{ij}^l} \leq \underline{a_{ij}^l} \leq \underline{a_{ij}^u} \leq \overline{a_{ij}^u}$$

$$\overline{b_i^l} \leq \underline{b_i^l} \leq \underline{b_i^u} \leq \overline{b_i^u}$$

for all i, j , and k .

3. SOLUTION ALGORITHM FOR MOLPRIC PROBLEM

The solution process is separated into two main phases and each phase is explained using the following steps.

3.1. First Phase

In this phase, the MOLPRIC problem (12) is separated into q –LPRIC problem for each objective function, and the optimal rough solution of each LPRIC problem, if there exists, is found by applying the method proposed in (Hamzehee et al., 2014). The following steps are iterated for q –LPRIC problems, independently, as follows:

Step 0. Consider a MOLPRIC problem as given in (12).

Step 1. Separate the MOLPRIC problem into q –LPRIC problem for each objective function.

Step 2. Construct each LPRIC problem of the MOLPRIC problem as given in (4). Here, the decision variables belong to X^{S^+} which is the set of variables of which at least one of the coefficients is a rough interval. Moreover, the variables in this set are sign restricted as $x_j \geq 0$ ($j = 1, \dots, n$), for details check (Hamzehee et al., 2014).

Step 3. Find possibly optimal range $[\overline{z_k^{l*}}, \overline{z_k^{u*}}]$ by solving the LPIC problem as in (6). If the LPIC problem (6) is infeasible, go to Step 5.

Step 4. Find surely optimal range $[\underline{z_k^{l*}}, \underline{z_k^{u*}}]$ by solving the LPIC problem given in (5).

Step 5. There are three possible cases for an LPRIC problem:

- If (5) and (6) have optimal ranges, then the LPRIC problem has a rough optimal range as $([\underline{z}^{l*}, \underline{z}^{u*}], [\overline{z}^{l*}, \overline{z}^{u*}])$.
- If the LPIC problem (5) has an unbounded range, then the LPRIC problem has an unbounded range.
- If the LPIC problem (6) is infeasible, then the LPRIC problem is infeasible.

In the first phase, the algorithm is iterated from Step 2 to Step 5 for each LPRIC problem, as explained at the beginning.

3.2. Second Phase

In this phase, a rough optimal range of the MOLPRIC problem (12) is found by applying the game theory approach proposed in (Temelcan, 2023) using the study (Temelcan et al., 2020). Distinct zero-sum games are constructed taking the satisfactory solutions as players and their objective function values as strategies. After solving each game, weights are found, and they are used to

form a single-objective LP problem to evaluate the bounds of the rough optimal range of the MOLPRIC problem.

Step 6. Construct a payoff matrix such that rows are filled with elements taking each solution of LP_{SBest} problems, and columns are their corresponding objective function values.

Step 7. Find the weights by solving the zero-sum game. Then, construct a single-objective LP problem multiplying the weights by the corresponding objective functions of LP_{SBest} problems, and solve.

Step 8. Find the compromise rough range of the MOLPRIC problem as $([\underline{z}_1^{l*}, \underline{z}_1^{u*}], [\overline{z}_1^{l*}, \overline{z}_1^{u*}])$.

In this phase, these steps are applied for each LP problem, that is LP_{SWorst} , LP_{PWorst} , and LP_{PBest} problems. Payoff matrices are constructed via the solutions of each LP problem, and the weights are found. These weights are utilized to form a single-objective LP problem. Then distinct optimal solutions are found by solving each weighted single-objective LP problem. Each optimal solution, that is exactly four points, is recorded to determine the compromise rough optimal range of the MOLPRIC problem (12).

To represent the process of the algorithm, a flowchart is given in Figure 1.

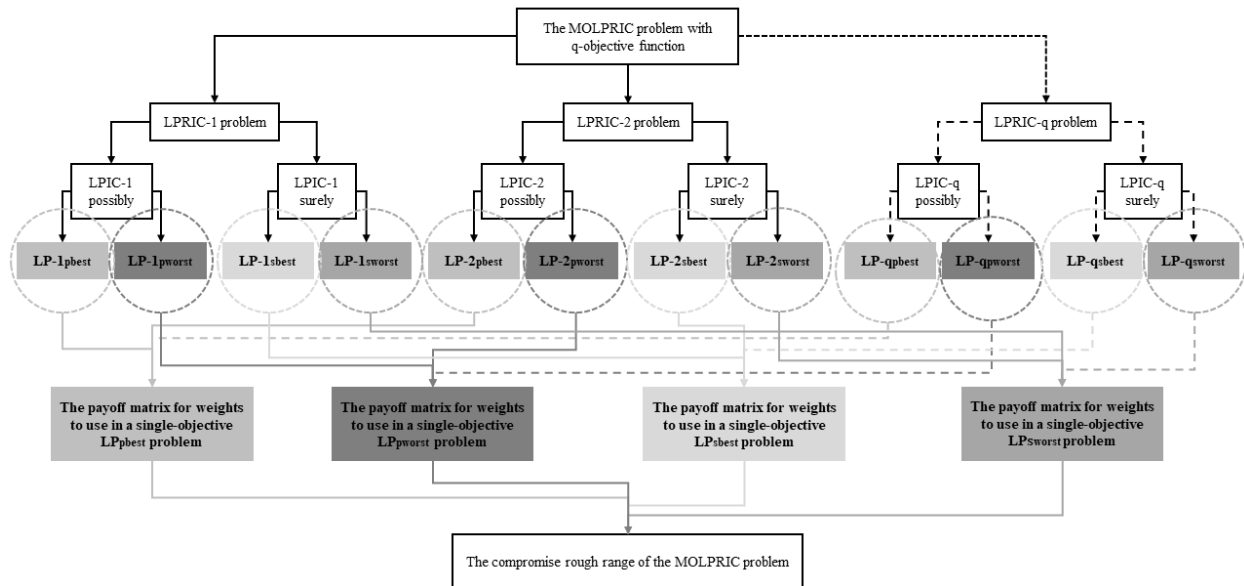


Figure 1. Flowchart of The Solution Algorithm for A MOLPRIC Problem

To obtain several compromise solutions, we can apply different techniques in the second phase. One of these techniques is making all the entries of the payoff matrix positive. This means that if there is any negative term in any cell of the payoff matrix, find a value making that term positive and add it to all entries, and thus we can construct a positive payoff matrix. Then we can solve the zero-sum game. Another technique is taking the ratio of rows. Another technique is proposed in the study Sivri et al. (2019) taking the ratio of rows. After obtaining a positive payoff matrix, we can take the ratio of each term in the first row to its corresponding term in the second row. This technique decreases the number of rows by one.

It is seen that the proposed algorithm has an ease of implementation for multi-objective problems. While it is quite applicable to use the weighted-sum method in two-objective MOLP problems, finding the appropriate combination of the weights between more than two objective functions

will be challenging. Accordingly, applying a zero-sum game among the distinct objective values would yield finding compromise rough solutions.

4. NUMERICAL EXAMPLES

Example 4.1. Consider a MOLPPRIC example modified from the study Sivri et al. (2019). Since the example in (Sivri et al., 2019) is a crisp LP problem, the coefficients of the objective functions and left-hand side parameters are prepared to provide symmetry. Accordingly, the lower approximation intervals are symmetric by one unit while the upper approximation intervals are symmetric by two units. Similarly, the crisp numbers on the right-hand side of the constraints are arranged to remain within the lower approximation interval. The upper approximation interval is designed by taking widths of five units from the left and right sides of the lower approximation interval.

$$\begin{aligned} \text{Max } z_1 &= ([-2,0], [-3,1])x_1 + ([1,3], [0,4])x_2 \\ \text{Max } z_2 &= ([1,3], [0,4])x_1 + ([0,2], [-1,3])x_2 \end{aligned}$$

s.t.

$$\begin{aligned} ([-2,0], [-3,1])x_1 + ([2,4], [1,5])x_2 &\leq ([20,25], [15,30]) \\ ([0,2], [-1,3])x_1 + ([2,4], [1,5])x_2 &\leq ([25,30], [20,35]) \\ ([3,5], [2,6])x_1 + ([2,4], [1,5])x_2 &\leq ([40,50], [35,55]) \\ ([2,4], [1,5])x_1 + ([0,2], [-1,3])x_2 &\leq ([25,35], [20,40]) \\ x_1, x_2 &\geq 0. \end{aligned}$$

The following phases are applied to find the rough optimal range of the MOLPRIC problem.

First phase: The MOLPRIC problem is separated into two LPRIC problems according to the number of objective functions. Therefore, the first LPRIC problem is obtained by taking the objective function z_1 and the constraints, which is labeled as LPRIC₁. From the LPRIC₁ problem, an LPIC_{1P} problem is formed as

$$\text{Max } [-3,1]x_1 + [0,4]x_2$$

s.t.

$$\begin{aligned} [-3,1]x_1 + [1,5]x_2 &\leq [15,30] \\ [-1,3]x_1 + [1,5]x_2 &\leq [20,35] \\ [2,6]x_1 + [1,5]x_2 &\leq [35,55] \\ [1,5]x_1 + [-1,3]x_2 &\leq [20,40] \\ x_1, x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

and it has a possibly optimal range whereas another LPIC_{1S} problem is

$$\text{Max } [-2,0]x_1 + [1,3]x_2$$

s.t.

$$\begin{aligned} [-2,0]x_1 + [2,4]x_2 &\leq [20,25] \\ [0,2]x_1 + [2,4]x_2 &\leq [25,30] \\ [3,5]x_1 + [2,4]x_2 &\leq [40,50] \end{aligned}$$

$$[2,4]x_1 + [0,2]x_2 \leq [25,35]$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

and it has a surely optimal range.

To find the possibly optimal range, the LPIC_{1P} problem is divided into the following LP problems:

$$LP_{PWorst}$$

$$Maxz_1^l = -3x_1$$

s.t.

$$x_1 + 5x_2 \leq 15$$

$$3x_1 + 5x_2 \leq 20$$

$$6x_1 + 5x_2 \leq 35$$

$$5x_1 + 3x_2 \leq 20$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

and

$$LP_{PBest}$$

$$Maxz_1^u = x_1 + 4x_2$$

s.t.

$$-3x_1 + x_2 \leq 30$$

$$-x_1 + x_2 \leq 35$$

$$2x_1 + x_2 \leq 55$$

$$x_1 - x_2 \leq 40$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

where $\overline{z_1^l}$ and $\overline{z_1^u}$ are the lower and upper bounds of the possibly optimal range of LPRIC₁. By solving the LP_{PWorst} problem, the optimal solution is found as $x_1 = 0, x_2 = 0$ and optimal value is $\overline{z_1^l} = 0$. The optimal solution of LP_{PBest} problem is $x_1 = 6,667, x_2 = 41,667$ and optimal value is $\overline{z_1^u} = 173,333$.

Similarly, for finding the surely optimal range, the LPIC_{1S} problem is separated into two LP problems as follows:

$$LP_{SWorst}$$

$$Maxz_1^l = -2x_1 + x_2$$

s.t.

$$4x_2 \leq 20$$

$$2x_1 + 4x_2 \leq 25$$

$$5x_1 + 4x_2 \leq 40$$

$$4x_1 + 2x_2 \leq 25$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

and

$$LP_{SBest}$$

$$Max \underline{z}_1^u = 3x_2$$

s.t.

$$-2x_1 + 2x_2 \leq 25$$

$$2x_2 \leq 30$$

$$3x_1 + 2x_2 \leq 50$$

$$2x_1 \leq 35$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

where \underline{z}_1^l and \underline{z}_1^u are the lower and upper bounds of the surely optimal range of LPRIC₁. By solving the LP_{SWorst} problem, the optimal solution is found as $x_1 = 0, x_2 = 5$ and optimal value is $\underline{z}_1^l = 5$. The optimal solution of LP_{SBest} problem is $x_1 = 2,5, x_2 = 15$ and optimal value is $\underline{z}_1^u = 45$.

The same process is iterated for the second LPRIC problem, labeled as LPRIC₂, which is obtained taking the objective function z_2 and the same constraints. Therefore, the optimal solution of

- LP_{PWorst} problem is (0,0) and the optimal value is 0,
- LP_{PBest} problem is (6,67 , 41,67) and the optimal value is 151,67,
- LP_{SWorst} problem is (6,25 , 0) and the optimal value is 6,25,
- LP_{SBest} problem is (16,67 , 0) and the optimal value is 50.

For both LPRIC problems, the completely and rather satisfactory solutions, and the rough optimal range are presented in Table 1.

Second phase: Payoff matrices are constructed to determine weights for finding single-objective LP problems. One of these payoff matrices is shown in detail below.

The first payoff matrix is constructed taking the optimal solutions of LP_{SWorst} problems and their objective function values. The weights of \underline{z}_1^l and \underline{z}_2^l are found by solving the zero-sum game. The payoff matrix and the weights are shown in Table 2.

Table 1. Results for LPRIC Problems of the MOLPRIC Problem

Results for LPRIC ₁	
Possibly optimal range	$[\underline{z}_1^l, \overline{z}_1^u] = [0, 173,33]$
Surely optimal range	$[\underline{z}_1^l, \underline{z}_1^u] = [5,45]$
Rough optimal range	$([\underline{z}_1^l, \underline{z}_1^u], [\overline{z}_1^l, \overline{z}_1^u]) = ([5,45], [0,173.33])$
Rather satisfactory solutions	(0,0) (6,67 , 41,67)
Completely satisfactory solutions	(0,5) (2,5 , 15)
Results for LPRIC ₂	
Possibly optimal range	$[\underline{z}_2^l, \overline{z}_2^u] = [0, 151,67]$
Surely optimal range	$[\underline{z}_2^l, \underline{z}_2^u] = [6,25, 50]$
Rough optimal range	$([\underline{z}_2^l, \underline{z}_2^u], [\overline{z}_2^l, \overline{z}_2^u]) = ([6,25, 50], [0, 151,67])$
Rather satisfactory solutions	(0,0) (6,67 , 41,67)
Completely satisfactory solutions	(6,25 , 0) (16,67 , 0)

Table 2. The Payoff Matrix of Lower Bounds of Surely Optimal Range

	\underline{z}_1^l	\underline{z}_2^l
(0,5)	5	0
(6,25, 0)	-12,5	6,25
weights	0,26	0,74

The weights are used to find the lower bound of the surely optimal solution of the MOLPRIC problem. Therefore, the objective function of the following LP problem is constructed by multiplying the weights by the corresponding objective functions, and the constraints are taken from the LP_{SWorst} problem:

$$\max \underline{z}^l = 0,26(-2x_1 + x_2) + 0,74x_1$$

s. t.

$$\begin{aligned} 4x_2 &\leq 20 \\ 2x_1 + 4x_2 &\leq 25 \\ 5x_1 + 4x_2 &\leq 40 \\ 4x_1 + 2x_2 &\leq 25 \\ x_1, x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

is solved and the completely satisfactory solution is found as $(x_1, x_2) = (4,167, 4,167)$ and lower bound of surely optimal range is $\underline{z}^{l*} = 2$.

Similarly, the other payoff matrix is constructed taking the optimal solutions of LP_{SBest} problems and their objective function values. The weights of \underline{z}_1^u and \underline{z}_2^u are found via zero-sum game. This payoff matrix and the weights are shown in Table 3.

A single-objective LP problem is constructed using the weights in the objective function and taking the same constraints of LP_{SBest} problems. As a result, the completely satisfactory solution is $(x_1, x_2) = (6,67, 15)$ and the upper bound of the surely optimal range is 48,9.

Table 3. The Payoff Matrix of The Upper Bound of The Surely Optimal Range

	\underline{z}_1^u	\underline{z}_2^u
(2,5, 15)	45	37,5
(16,67, 0)	0	50
weights	0,22	0,78

Since the rather satisfactory solution (0,0) is identical, the weights of \bar{z}_1^u and \bar{z}_2^u are found 0, and thus the lower bound of the possibly optimal range is 0. Moreover, the other rather satisfactory solution is (6,67, 41,67), and it is identical, their values in the objective functions \bar{z}_1^u and \bar{z}_2^u are the same. Thus, whichever has the higher objective function value, that function takes the weight 1, that is, the weight of \bar{z}_2^u is 1. As a result, the rather satisfactory solution is $(x_1, x_2) = (6,67, 41,67)$ and the upper bound of the possibly optimal range is 151,67.

Consequently, the compromise rough range of the MOLPRIC problem is found as $([\underline{z}_1^{l*}, \underline{z}_1^{u*}], [\bar{z}_1^{l*}, \bar{z}_1^{u*}]) = ([2, 48,9], [0, 151,67])$. The completely satisfactory solutions are (4,167, 4,167) and (6,67, 15) whereas the rather satisfactory solutions are (0,0) and

(6,67 , 41,67). It is seen from the comparison with the study (Sivri et al., 2019) that all the crisp compromise solutions they found are contained in the lower approximation of the compromise rough range found above. It can also be expressed that the width of the ranges constructed at the modification determines the width of the possibly optimal range of the rough range.

Example 4.2. Consider the MOLPPRIC example solved in the study (Garg & Rizk-Allah, 2021):

$$\begin{aligned} \text{Max } z_1 &= ([1,3], [0,5])x_1 + ([1,2], [1,3])x_2 \\ \text{Max } z_2 &= ([3,5], [2,6])x_1 + ([2,6], [1,7])x_2 \end{aligned}$$

s.t.

$$\begin{aligned} ([2,3], [1,3])x_1 + ([2,4], [1,5])x_2 &\leq ([7,9], [5,10]) \\ ([2,3], [1,5])x_1 + ([1,2], [0,6])x_2 &\leq ([5,8], [3,9]) \\ x_1, x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

In the first phase, the MOLPRIC problem is divided into two LPRIC problems, and these LPRIC problems are solved to find the possibly and surely optimal solutions. Table 4 presents the possibly and surely optimal solutions for each LPRIC problem.

According to Table 4, the completely satisfactory solutions of LPRIC problems 1 and 2 are (1,1), (3,5 , 1) and (1,667 , 0), (0 , 4,5), respectively. On the other hand, the rather satisfactory solutions of LPRIC problems 1 and 2 are found (0 , 0,5), (9,1) and (0,6 , 0), (0,10) and the first phase is finalized.

Table 4. The Possibly and Surely Optimal Solutions of Distinct LPRIC Problems

LPRIC problem 1	
Possibly optimal solution	
$LP_{PWorst}: z = x_2$	$LP_{PBest}: z = 5x_1 + 3x_2$
$x_1 = 0 \quad x_2 = 0,5$	$x_1 = 9 \quad x_2 = 1$
Surely optimal solution	
$LP_{SWorst}: z = x_1 + x_2$	$LP_{SBest}: z = 3x_1 + 2x_2$
$x_1 = 1 \quad x_2 = 1$	$x_1 = 3,5 \quad x_2 = 1$
LPRIC problem 2	
Possibly optimal solution	
$LP_{PWorst}: z = 2x_1 + x_2$	$LP_{PBest}: z = 6x_1 + 7x_2$
$x_1 = 0,6 \quad x_2 = 0$	$x_1 = 0 \quad x_2 = 10$
Surely optimal solution	
$LP_{SWorst}: z = 3x_1 + 2x_2$	$LP_{SBest}: z = 5x_1 + 6x_2$
$x_1 = 1,667 \quad x_2 = 0$	$x_1 = 0 \quad x_2 = 4,5$

For the second phase, the optimal solutions of each LP problem and their objective function values are taken in the cells of payoff matrices. These payoff matrices and their weights are given in Table 5.

Table 5. Payoff Matrices and The Weights

LP_{SWorst}	$x_1 + x_2$	$3x_1 + 2x_2$	LP_{SBest}	$3x_1 + 2x_2$	$5x_1 + 6x_2$
(1,1)	2	5	(3,5,1)	12,5	23,5
(1,667,0)	1,667	4	(0,4,5)	9	27
Weights	1	0	Weights	1	0

LP_{PWorst}	x_2	$2x_1 + x_2$	LP_{PBest}	$5x_1 + 3x_2$	$6x_1 + 7x_2$
(0,0,5)	0,5	0,5	(9,1)	48	61
(0,6,0)	0	1,2	(0,10)	30	70
Weights	1	0	Weights	1	0

As a result, a compromise rough optimal range of the MOLPRIC problem can be found as $\left(\left[\underline{z}_1^{l*}, \underline{z}_1^{u*} \right], \left[\overline{z}_1^{l*}, \overline{z}_1^{u*} \right] \right) = ([2,12.5], [0.5,48])$ where the completely satisfactory solutions are (3,5,1) and (1,1) and the rather satisfactory solutions are (9,1) and (0,0,5). Since the study (Garg and Rizk-Allah, 2021) used the weighted sum method, they suggested a set of compromise solutions. However, the proposed algorithm produced a solution that matches one of their solutions. For the comparison, it can be put forward that constructing different payoff matrix structures such as taking ratios of the rows or normalization of the values generates different compromise solutions.

5. CONCLUSION

The algorithm proposed in this paper helps to find a set of compromise solutions for the multi-objective linear programming with rough interval coefficients (MOLPRIC) problem. To find a compromise solution, a two-phased algorithm is constructed. In the first phase, the MOLPRIC problem is separated into single-objective LPRIC problems under the number of objective functions. The rough optimal solution of each LPRIC problem, if exists, is found by applying the method proposed in (Hamzehee et al., 2014). The second phase works using the game theory approach. Here, the approach proposed in (Temelcan, 2023) is used to find the rough optimal solution by applying a zero-sum game. Since there is a MOLPRIC problem, it would be possible to determine the players (objective functions) and their strategies (objective function values). The solution of the game gives the weight of each objective function, and thus the weighted sum method is used for determining the trade-offs between the objective functions.

The advantage of the proposed algorithm can be presented when the number of objective functions increases. It is quite applicable to use the weighted-sum method in two-objective MOLP problems, finding the appropriate combination of the weights between more than two objective functions will be difficult. In this case, the proposed algorithm provides an easy implementation for finding a compromise solution to the MOLPRIC problems having more than two objective functions.

Limitations of the study can be given as the difficulty of finding the solution in the case of negative or mixed rough intervals. Thus, searching different algorithms to solve any MOLPRIC problems and comparing their results can be a subject for further research. Application of the proposed algorithm to real-world problems can also lead to further considerations.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were complied with in the study.

REFERENCES

- Akilbasha, A., Natarajan, G., & Pandian, P. (2017). Solving transportation problems with mixed constraints in rough environment. *Int J Pure Appl Math*, 113(9), 130–138.
- Ammar, E. S., & Brikaa, M. G. (2019). On solution of constraint matrix games under rough interval approach. *Granular Computing*, 4, 601–614. doi:10.1007/s41066-018-0123-4.
- Apolloni, B., Brega, A., Malchiodi, D., Palmas, G., & Zanaboni, A. M. (2006). Learning rule representations from data. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 36(5), 1010–1028.
- Arciszewski, T., & Ziarko, W. (1999). Adaptive expert system for preliminary design of wind bracings in steel skeleton structures. In *Second Century of the Skyscraper* (pp. 847–855). Springer.
- Atteya, T. E. M. (2016). Rough multiple objective programming. *European Journal of Operational Research*, 248(1), 204–210.
- Brikaa, M. G., Zheng, Z., & Ammar, E. S. (2021). Rough set approach to non-cooperative continuous differential games. *Granular Computing*, 6, 149–162. doi:10.1007/s41066-019-00179-1.
- Das, A., Bera, U. K., & Maiti, M. (2016). A profit maximizing solid transportation model under a rough interval approach. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 25(3), 485–498.
- Düntsch, I., & Gediga, G. (1998). Uncertainty measures of rough set prediction. *Artificial Intelligence*, 106(1), 109–137.
- El-Feky, S. F., & Abou-El-Enien, T. H. M. (2019). Hybrid algorithm for rough multi-level multi-objective decision making problems. *Ingenierie Des Systemes d'Information*, 24(1), 1–17. doi:10.18280/isi.240101
- Emam, O. E., Fathy, E., & Abohany, A. A. (2016). An interactive model for fully rough three level large scale integer linear programming problem. *International Journal of Computer Applications*, 155(12), 1–11.
- Fibak, J., Pawlak, Z., Słowiński, K., & Słowiński, R. (1986). Rough sets based decision algorithm for treatment of duodenal ulcer by HSV. *Biological Sciences*, 34, 227–249.
- Garg, H., & Rizk-Allah, R. M. (2021). A novel approach for solving rough multi-objective transportation problem: development and prospects. *Computational and Applied Mathematics*, 40(4), 149.
- Greco, S., Matarazzo, B., & Slowinski, R. (2001). Rough sets theory for multicriteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 129(1), 1–47.
- Hamzehee, Ali, Yaghoobi, M. A., & Mashinchi, M. (2014). Linear programming with rough interval coefficients. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 26(3), 1179–1189.
- Hamzehee, A., Yaghoobi, M. A., & Mashinchi, M. (2016). A class of multiple objective mathematical programming problems in a rough environment. *Scientia Iranica*, 23(1), 301–315.

- Khalifa, H. A. (2018a). Study on multi-objective nonlinear programming in optimization of the rough interval constraints. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 29(4), 407–413. doi:10.22068/ijiepr.29. 4. 407.
- Khalifa, H. A. (2018b). On solutions of linear fractional programming problems with rough-interval coefficients in the objective functions. *Journal of Fuzzy Mathematics*, 26(2), 415–422.
- Li, J., Mei, C., & Lv, Y. (2013). Incomplete decision contexts: approximate concept construction, rule acquisition and knowledge reduction. *International Journal of Approximate Reasoning*, 54(1), 149–165.
- Mitatha, S., Dejhan, K., Cheevasuvit, F., & Kasemsiri, W. (2003). Some experimental results of using rough sets for printed Thai characters recognition. *International Journal of Computational Cognition*, 1(4), 109–121.
- Munakata, T. (1997). Rough control: a perspective. In *Rough Sets and Data Mining* (77–88).
- Omran, M., Emam, O. E., & Mahmoud, A. S. (2016). On solving three level fractional programming problem with rough coefficient in constraints. *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*, 12(6), 1–13.
- Osman, M. S., Lashein, E. F., Youness, E. A., & Atteya, T. E. M. (2011). Mathematical programming in rough environment. *Optimisation*, 60(5), 603–611. doi:10.1080/02331930903536393.
- Pawlak, Zdzisław. (1982). Rough sets. *International Journal of Computer & Information Sciences*, 11(5), 341–356.
- Pawlak, Z., Słowiński, K., & Słowiński, R. (1986). Rough classification of patients after highly selective vagotomy for duodenal ulcer. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24(5), 413–433.
- Rebolledo, M. (2006). Rough intervals—enhancing intervals for qualitative modeling of technical systems. *Artificial Intelligence*, 170(8-9), 667-685.
- Roy, S. K., Midya, S., & Yu, V. F. (2018). Multi-objective fixed-charge transportation problem with random rough variables. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 26(06), 971–996. doi:10.1142/S0218488518500435.
- Saad, O. M., Emam, O. E., & Sleem, M. M. (2014). On the solution of a rough interval bi-level multi-objective quadratic programming problem. *International Journal of Engineering Innovation and Research*, 3(6), 803–809.
- Singh, P., & Huang, Y. P. (2020). A four-way decision-making approach using interval-valued fuzzy sets, rough set and granular computing: a new approach in data classification and decision-making. *Granular Computing*, 5, 397–409. doi:10.1007/s41066-019-00165-7
- Sivri, M., Kocken, H. G., Albayrak, I., & Akin, S. (2019). Generating a set of compromise solutions of a multi objective linear programming problem through game theory. *Operations Research and Decisions*, 29(2), 77–88.

- Tao, Z., & Xu, J. (2012). A class of rough multiple objective programming and its application to solid transportation problem. *Information Sciences*, 188, 215–235.
- Tanackov, I., Badi, I., Stević, Ž., Pamučar, D., Zavadskas, E. K., & Bausys, R. (2022). A Novel Hybrid Interval Rough SWARA–Interval Rough ARAS Model for Evaluation Strategies of Cleaner Production. *Sustainability*, 14(7). doi:10.3390/su14074343.
- Temelcan, G., Albayrak, I., Kocken, H., & Sivri, M. (2020). Solving Fuzzy Multi-objective Linear Programming Problems Using Multi-player Zero-Sum Game. *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems*, 1483–1490. Springer.
- Temelcan, G. (2023). A solution algorithm for finding the best and the worst fuzzy compromise solutions of fuzzy rough linear programming problem with triangular fuzzy rough number coefficients. *Granular Computing*, 8(3), 479-489.
- Velázquez-Rodríguez, J. L., Villuendas-Rey, Y., Yáñez-Márquez, C., López-Yáñez, I., & Camacho-Nieto, O. (2020). Granulation in rough set theory: a novel perspective. *International Journal of Approximate Reasoning*, 124, 27–39.
- Xu, J., Li, B., & Wu, D. (2009). Rough data envelopment analysis and its application to supply chain performance evaluation. *International Journal of Production Economics*, 122(2), 628–638.
- Youness, E. A. (2006). Characterizing solutions of rough programming problems. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 1019–1029. doi:10.1016/j.ejor.2004.05.019
- Zhao, J., Liang, J.-M., Dong, Z.-N., Tang, D.-Y., & Liu, Z. (2020). Accelerating information entropy-based feature selection using rough set theory with classified nested equivalence classes. *Pattern Recognition*, 107, 107517.



USING ELLIPTIC CURVE CRYPTOGRAPHY FOR AUTHENTICATION AND KEY EXCHANGE IN CONSTRAINED INTERNET OF THINGS NETWORKS*

KISITLI NESNELERİN İNTERNETİ AĞLARINDA ELİPTİK EĞRİ ŞİFRELEMENİN DOĞRULAMA VE ANAHTAR KARŞILAŞTIRMA AŞAMASINDA KULLANILMASI

İbrahim KARATAŞ¹

Selim BAYRAKLI²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1439890>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar
hbayrakli@hho.msu.edu.tr

Received / Geliş Tarihi
19.02.2024

Accepted / Kabul Tarihi
07.04.2024

Abstract

It is anticipated that billions of objects will be interconnected with the rise of the Internet of Things, leading to the evolution of the Internet for the upcoming generation. Various applications have been created in different sectors such as health, logistics, industry, and military in recent years. The techniques created for IoT are still in a nascent stage and encounter numerous hurdles. The primary concern is the security issue. These devices are a significant target due to the numerous conveniences offered by the Internet of Things. These gadgets will maintain continuous communication with one other (M2M) and with people (M2H). It is crucial to ensure the safe transmission of key information about people and the environment throughout this communication. Today's security approaches cannot be integrated into Internet of Things networks because of constraints such as limited RAM, ROM ratio, low bandwidth, poor computing power, and low energy supply. The DTLS protocol, created by IETF, utilizes symmetric encryption and may not be suitable for Class-0 and Class-1 devices that require asymmetric encryption. This study examines the security measures in place and the data is securely exposed to the internet using Elliptic Curve Cryptography, then compared with other studies.

Keywords: Cryptography, encryption, elliptic curve, internet of things, security.

Öz

Nesnelerin İnternetinin ortaya çıkmasıyla birlikte milyarlarca nesnenin birbirine bağlanacağı ve gelecek nesil için İnternetin evrimine yol açacağı öngörülmektedir. Son yıllarda sağlık, lojistik, endüstri ve askeri gibi farklı sektörlerde çeşitli uygulamalar oluşturulmuştur. İoT için oluşturulan teknikler henüz başlangıç aşamasındadır ve çok sayıda engelle karşılaşmaktadır. Bunların başında güvenlik sorunu gelmektedir. Nesnelerin İnterneti tarafından sunulan sayısız kolaylık nedeniyle bu cihazlar önemli bir hedeftir. Bu aygıtlar birbirleriyle (M2M) ve insanlarla (M2H) sürekli iletişim halinde olacaktır. Bu iletişim boyunca insanlar ve çevre hakkında önemli bilgilerin güvenli bir şekilde iletilmesini sağlamak çok önemlidir. Günümüzün güvenlik yaklaşımları, sınırlı RAM, ROM oranı, düşük bant genişliği, zayıf hesaplama gücü ve düşük enerji kaynağı gibi kısıtlamalar nedeniyle Nesnelerin İnterneti ağlarına entegre edilememektedir. IETF tarafından oluşturulan DTLS protokolü simetrik şifreleme kullanmaktadır ve asimetrik şifreleme gerektiren Sınıf-0 ve Sınıf-1 cihazlar için uygun olmayabilir. Bu çalışma, mevcut güvenlik önlemlerini incelemekte ve verilerin Eliptik Eğri Kriptografisi kullanılarak güvenli bir şekilde internete maruz kalmasını sağlamakta, ardından diğer çalışmalarla karşılaştırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Eliptik eğri, güvenlik, nesnelerin interneti, kriptografi, şifreleme.

*This publication is derived from the Master's thesis of İbrahim KARATAŞ, Maltepe University, Institute of Graduate Studies in Sciences, Computer Engineering Program.

¹Ozden Cengiz Anatolian High School, İstanbul, Türkiye.
ikaratas2515@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-5558-3691.

²Turkish National Defence University, Air Force Academy, Department of Computer Engineering, İstanbul, Türkiye.
hbayrakli@hho.msu.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-3115-6721.

1. INTRODUCTION

With advancing technology, wireless sensor networks have emerged, consisting of sensor nodes that communicate with each other over short distances via wireless connectivity and perform many customized tasks such as collecting, processing and transmitting data. These structures are equipped with limited resources (amount of Random Access Memory-RAM, Read Only Memory-ROM, battery capacity and processing power) and usually have one or more base stations; they are used in a wide range of applications from healthcare to construction, chemistry to environmental monitoring, surveillance of battlefields, factory automation to remote control of homes.

The concept of the Internet of Things (IoT) has emerged with the idea that everything possible can be connected to the internet and therefore to each other. This network, called the internet of the next generation, is formed by the integration of many technologies, including sensor structures, communication, networking, and intelligent information processing technologies (Aloul et al., 2015). In this network structure, which will connect billions of devices, information will be collected through sensors and transferred to the internet environment, where it will be processed and used in various decision-making structures. These devices, which will be used so widely, will have to cope with many security threats found on the traditional internet due to limitations such as processing power, battery life, bandwidth, etc. Therefore, the most important obstacle to the development of the Internet of Things is the security problem. Considering that a lot of sensitive information will be carried over these networks and devices, it will be better understood how sensitive security is. This need for security increases, especially in healthcare and military applications. For example, the insulin pump used in the health sector is one of the best examples of this situation. The insulin pump regularly measures the patient's sugar level and injects the required amount of insulin into the patient when necessary, ensuring that the blood sugar level is at the desired level. In addition, these devices are connected to the internet and send the patient's sugar measurements as a report. It is clear that if such devices are not secured, they can have major consequences.

There are some conditions that are necessary to ensure security in communication between two nodes. These are data confidentiality, data integrity, source authentication, data timeliness, key authentication, and service continuity. The methods used on the traditional internet to ensure these conditions are not possible due to the limitations of wireless sensor devices. Therefore, either separate protocols and new encryption techniques need to be developed for these devices, or existing technologies need to be mitigated. Security services such as authentication and key management are critical to the communication process in wireless sensor networks. In today's traditional networks, such as the Internet, public key cryptography (PKC) allows the use of many security services and protocols (e.g., Secure Socket Layer-SSL, IPsec, and Transport Layer Security-TLS) to ensure secure communication. For example, many security services and protocols (e.g. SSL, IPsec, TLS) often utilize public key cryptography for the distribution of symmetric keys and multi-user authentication messages. However, these public key encryption-based security methods have not yet been fully implemented on resource-constrained sensor devices for the reasons mentioned.

In 1985, Neal Koblitz and Victor Miller first proposed elliptic curve cryptology. Elliptic Curve Cryptology (ECC) is based on the difficulty of the discrete logarithm problem. It provides the same level of security as RSA, but with a much lower key length. For this reason, significant work has been done on the use of ECC in resource-constrained devices.

The aim of this study is to ensure that the limited devices in the Internet of Things (IoT) communicate with each other (Machine-to-Machine - M2M) and with humans (Machine-to-

Human - M2H) and exchange data in a secure manner. In doing so, constraints such as processing power, energy consumption, RAM, and ROM capacity are taken into account, and a method is proposed. It has been observed in studies that, especially in the handshake phase (authentication and key management) of Data Block Transport Layer Security (DTLS), limited devices are overloaded and problems arise in ensuring security. In this study, elliptic curve encryption is used to enable nodes to authenticate each other and exchange keys, and it is shown that asymmetric encryption can be used in resource-constrained nodes. In addition, the developed elliptic curve encryption libraries, RSA, and symmetric encryption methods are compared in terms of the amount of memory (RAM and ROM) they use. The study was implemented and evaluated in a Cooja simulation environment on the Contiki operating system.

The paper is organized as follows: Section 2 discusses the importance of security in the Internet of Things and the general aspects of security. In Section 3, some of the similar studies in the literature on the subject are mentioned. Section 4 summarizes the topic of elliptic curve encryption. Section 5 summarizes the structure and security protocols of the Internet of Things. Section 6 describes the use of the simulation environment in the authentication phase of elliptic curve encryption. And finally, Section 7 provides information about the results obtained.

2. INTERNET OF THINGS AND SECURITY

Devices in the Internet of Things must be connected to each other and to the Internet to perform tasks like sensing the environment, communicating, collecting information, and processing the obtained data. The Internet of Things has the ability to acquire, transmit, and process information from end nodes (Li & Xu, 2017). Having these important features raises the security problem to the highest level, according to the sensitivity of the information carried through sensor networks. This makes it mandatory to ensure the security of these sensor nodes, which are frequently used, especially in the military and health fields. Overcoming the security problem, which is seen as the biggest obstacle in the development of the Internet of Things, is essential for the widespread adoption of IoT.

The security vulnerability arising from the inherent system limitations of sensor nodes cannot be overcome with the security mechanisms available on the traditional Internet. These devices can expose important information (personal, military, health, etc.) carried through them in the event of an attack due to the lack of security mechanisms. This shows that these devices, which lack encryption and authentication, can easily fall into the hands of others. Figure 1 shows the structure and general working logic of the Internet of Things.

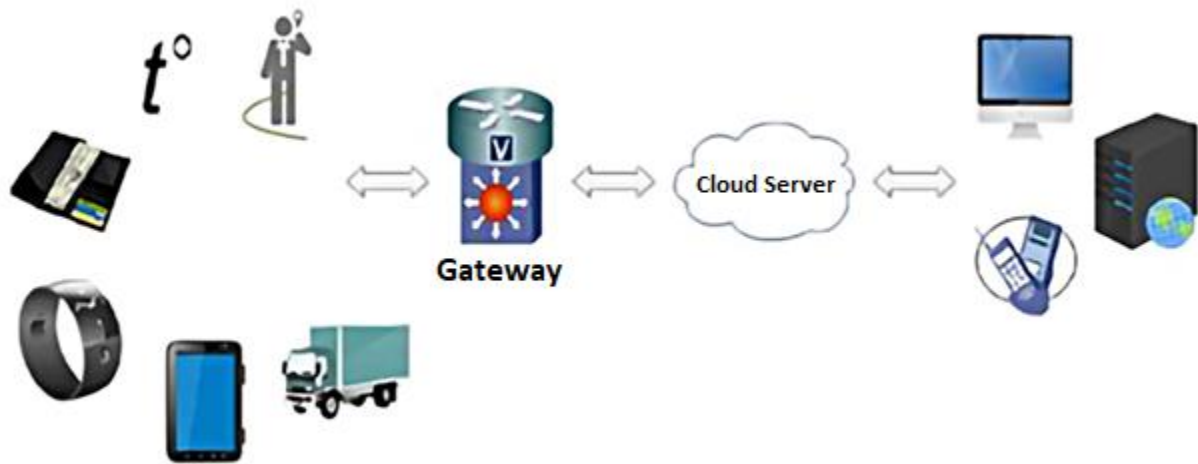


Figure 1. Structure of the Internet of Things Ecosystem

However, on the Internet of Things, many devices lack the resources to ensure secure data communication. These devices are currently in use and continue to exchange data without security measures. In their 2014 study, Bornmann et al. classified these devices in Table 1 according to the amount of RAM and ROM they have (Bormann et al. 2014).

Table 1. Classification of Energy-Constrained Devices

Class	RAM	ROM
Class-0	<<10 KB	<<100 KB
Class-1	~ 10 KB	~100 KB
Class-2	~ 50 KB	~250 KB

The classification of these devices determines which security mechanism to use on which class of device. Class-2 devices can easily integrate currently used security methods. It has sufficient resources for CoAP at the application layer, and DTLS is used for transmission layer security. However, Class-1 and Class-0 devices do not have the resources to fully support these protocols. Especially the handshake phase (authentication and handshake management) in the DTLS protocol at the transmission layer consumes a significant amount of resources, and therefore Class-0 and Class-1 devices cannot use this security protocol. An intervention at this stage to reduce the processing intensity will secure communication between these resource-constrained devices.

2.1. Security

Security ensures that unauthorized persons cannot intercept data while it is being transmitted from one end to the other, or if intercepted, the data remains incomprehensible to third parties. In order to say that security is ensured, the issue needs to be addressed in all its dimensions, as shown in Figure 2.

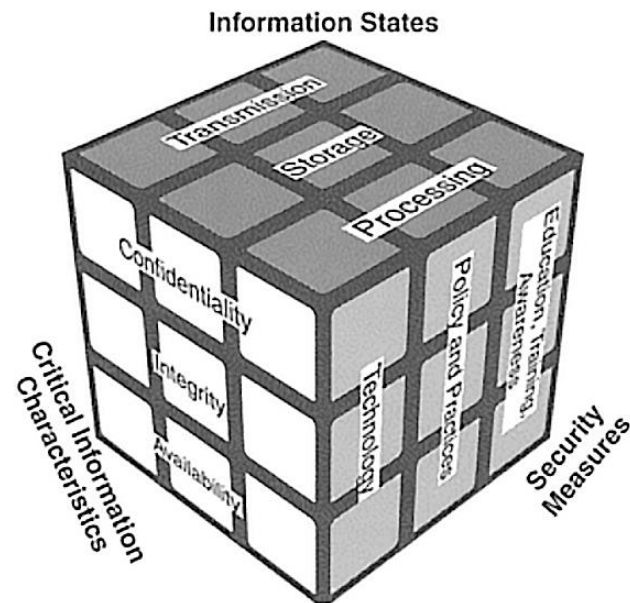


Figure 2. McCumber Cube (McCumber, 2004)

Confidentiality is the prevention of unauthorised access to information. Both the storage phase and the transmission phase should ensure the confidentiality of information. The McCumber model states that information should be encrypted both during storage and transmission (McCumber, 2004).

Integrity means that the content of the information cannot be changed during storage or transmission, and its integrity is preserved. A hash function ensures the integrity of the information by creating a short fingerprint (summary) of the data. This function creates a short fingerprint (summary) of the data, and when the data is changed, it is understood that it has been changed since this fingerprint will not be valid. Let h be a hash function and x be data. The summary of the data is $y = h(x)$. Here, y is stored in a secure location, but x is not. If the message x is modified, then the hash function of the message x_1 is taken: $y = h(x_1)$. In this case, $y \neq y$ indicates that the message content has been modified. In order to check that the data has not been altered during the storage phase, fingerprints are calculated from time to time, and it is checked that it has not been altered. Examples of hash functions are MD5, SHA-1, and HAVAL (Stinson, 2005).

Authorized persons can access data whenever they need it. Information is in a state of constant change and therefore must be constantly accessible. Even in the event of system damage, it must be repaired and made operational as quickly as possible. Extra security equipment and software, such as firewalls and proxy servers, can protect against downtime and inaccessible data due to malicious actions such as denial of service (DoS) attacks and network intrusions.

In addition to these three important elements, requirements such as data timeliness, service integrity, heterogeneity, and key management need to be met. Messages transmitted in the network must be new and not repeated to ensure data timeliness. To ensure this, each message on the network is timestamped. Service integrity is the ability to securely collect data from nodes without corruption. Heterogeneity is the ability of devices with different features developed by manufacturers on the Internet of Things to communicate with each other. Key management: In the Internet of Things, devices need to exchange some parameters between each other to ensure the security of the data. Simplified key management and minimum energy-consuming key distribution methods should be used for these security mechanisms.

3. LITERATURE REVIEW

Liu & Ning (2008) presented TinyECC, an open source software for elliptic curve-based public key cryptography in wireless sensor networks that can be tuned according to different applications as the resources of the resource-constrained device allow. TinyECC can be tuned according to requirements such as memory usage, runtime, and resource consumption. Due to resource consumption, the study was carried out on the Wismote node. This work integrates three standard elliptic curve algorithms: the Elliptic Curve Diffie Hellman Key Agreement Algorithm (ECDH), the Elliptic Curve Digital Signature Algorithm (ECDSA), and the Elliptic Curve Integrated Encryption Scheme (ECIES).

Szzechowiak et al. (2008) showed in NanoECC that elliptic curve cryptology can be used for resource-constrained devices. However, according to the results obtained, it is still not completely satisfactory. However, the MICA2 (8-bit/7.3828 MHz ATmega128L) and Tmote Sky (16-bit/8.192 MHz MSP-430) nodes yielded the most effective results.

In the study by Zhao & Ge (2013), security problems and solutions in the three-tier system architecture of the Internet of Things are mentioned. Among these security measures, key management and algorithms in the sensing layer, security routing protocol authentication, and access control are also emphasized. Researchers have attempted to overcome the security problems in devices with limited resources using Internet of Things technology by employing symmetric and asymmetric encryption techniques. It is revealed that the security problem is not a single-layer problem but a problem of all layers.

Santos et al. (2015) stated that the security problem poses the biggest obstacle in the development of IoT and that limited processing and memory capacity do not support standard security mechanisms. In the developed architecture, the use of Data Block Transport Layer Security (DTLS) is enabled by using a third-party device called the Internet of Things Security Support Provider (IoTSSP) for mutual authentication and communication on constrained devices.

In Lithe (Low Load CoAP Security in IoT) by Raza et al. (2013), a study on the application of DTLS and CoAP to the Internet of Things was carried out. In addition, they proposed a DTLS header compression scheme that significantly reduces energy consumption. This header compression mechanism did not affect end-to-end security. Simultaneously, the DTLS operation significantly reduced the number of exchanged bytes. The Contiki operating system was used for the DTLS-based implementation. The results show significant gains in packet size, energy consumption, processing time, and network response time when the compressed DTLS mechanism is activated.

There is an increasing need for utilizing suitable cryptographic methods in embedded applications inside an IoT setting with several connected intelligent devices, as indicated by the research conducted by Aazam et al. (2016).

IoT devices in the study by Nakagawa & Shimojo (2017) typically perform both IoT and device activities and face limitations in resources, which hinders the integration of security controls on these devices. The authors suggested an agent-based security approach to prevent unauthorized access to physical devices by malevolent users, which involved separating the IoT function from the device function. This project aims to separate IoT functionalities from devices and integrate them into a cloud environment. The authors of the article suggested an architectural framework for IoT agents where virtual replicas of IoT devices operate in a cloud setting.

In the study titled Security for Internet of Things Technology published by Görmüş et al. (2017), the current protocols considered for the Internet of Things are introduced, and the security vulnerabilities that may occur are examined for each layer. It is stated that protocols such as 6LoWPAN, 6TISCH, and CoAP should be designed with an understanding that security is at the forefront.

4. CRYPTOLOGIC METHODS

Cryptology is a Greek word meaning secret writing. The basis of cryptology is that two people communicating through an insecure channel, as in Figure 3, cannot understand what is happening even if a third party intercepts the message.

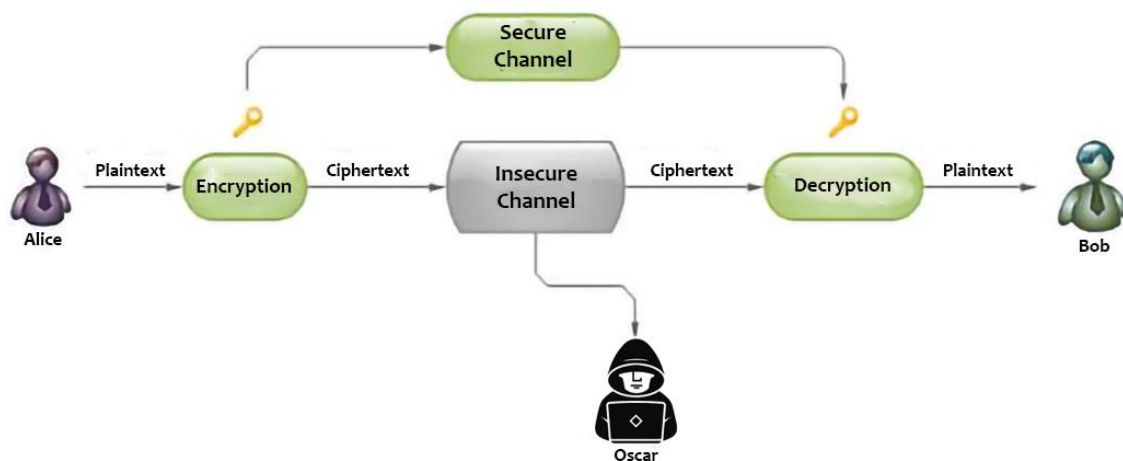


Figure 3. Encryption over Insecure Channel

A cryptosystem is a group of 5 definitions (P,C,K,E,D) satisfying the following conditions;

1. P; finite set of possible plaintexts,
2. C; finite set of possible ciphertexts,
3. K is the finite set of all possible keys,
4. $\forall k \in K$, according to the encryption rule there are $e_k \in E$ and $d_k \in D$. $e_k : P \rightarrow C$ and $d_k : C \rightarrow P$ are functions. Thus $d_k(e_k(x)) = x$ for $\forall x \in P$.

Here, the plaintext x is encrypted using the e_k function and decrypted using the d_k function. By the way, it is obvious that the e_k function is one-to-one. Otherwise, there is no inverse of the function, and the decryption cannot be performed (Stinson, 2005).

4.1. Elliptic Curve Cryptography

Elliptic curve cryptography is an asymmetric cryptosystem based on the algebraic topology of elliptic curves over finite fields. The reliability of ECC is based on the difficulty of solving the elliptic curve discrete logarithm problem. It can be used in many areas, such as key agreements and digital signatures. An elliptic curve is a curve defined over the set of real numbers that satisfies the general equation $y^2 = x^3 + ax + b$ for the real numbers x and y . For this general equation, each value of a and b gives a different curve (Trappe & Washington, 2005).

The numbers a and b in this equation are real numbers, and the equation $x^3 + ax + b$ must have $4a^3 + 27b^2 \neq 0$ to have no multiple roots. Compared to a public-key cryptosystem, elliptic curve cryptography uses a shorter key length for the same level of security. Elliptic curve cryptography can provide the same level of security as RSA with a 1536-bit key size, but with a much shorter

160-bit key. This is very useful for embedded systems and smartphones. Here is how the elliptic curve algorithm works:

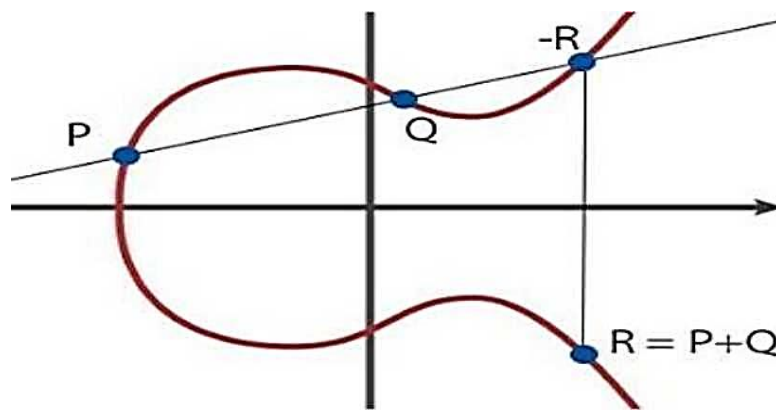


Figure 4. Summation of Two Points on an Elliptic Curve (Orhon, 2015)

p is a prime exponential number, and F_p is a finite field containing p elements. The result of any operation defined on this set is also an element of this field (mod p). The elliptic curve discrete logarithm problem is to find the unique solution k , where $0 \leq k \leq p-1$ to the equation $Q=kP$. This is given an elliptic curve E in the domain F_p and two points P and Q on it. Let $Q = kP$ when $P, Q \in EF(a,b)$ and $k < p$. While it is relatively easy to calculate Q given k and P , it is really hard to calculate k given Q and P (Trappe & Washington, 2005; Bozkurt, 2005).

Here P and Q are two points on the curve, and a line drawn from these points must intersect the curve at a third point, $-R$. The symmetry of the point $-R$ with respect to the x -axis is also a point R on the curve. In this case, we obtain $P+Q = R$, as shown in Figure 2.9. When this process is repeated k times, another point on the curve is obtained. Knowing the starting point P and the number of times this process has been executed makes it easy to obtain the point Q , which is why this is considered a nice trapdoor function. But once P and Q are known, k is almost impossible to get.

4.1.1 Elliptic Curve Diffie Hellman key exchange algorithm

The Elliptic Curve Diffie-Hellman Key Exchange Algorithm is a key exchange protocol that allows two parties to agree on a key using elliptic curve encryption over an insecure channel. It works as follows:

i. Key Production Phase

- The sender and receiver agree on the parameters p,a,b,G,n,h .
- The private keys d_s and d_r are chosen randomly in the range $[1,n-1]$.
- The public keys are $e_s = d_sG$ and $e_r = d_rG$.

ii. Calculation of the Private Key

- The sender calculates $K = (x_k, y_k) = d_s e_r$.
- The receiver calculates $L = (x_l, y_l) = d_r e_s$.
- $D_{s e_r} = d_s d_r G = d_r d_s G = d_r e_s$
- Thus $K=L$ and $x_k = x_l$.
- The private key is x_k (Franco, 2024).

The elliptic curve encryption method significantly reduces the load caused by asymmetric encryption in Diffie-Hellman key exchange. Especially in the use of symmetric and asymmetric encryption methods together, which we call hybrid systems, the key exchange problem arising from symmetric encryption will be overcome with a very small load with the elliptic curve Diffie-Hellman key exchange protocol, and problems such as computation, memory, and battery, especially in resource-limited devices, will be overcome. This can provide a solution to the problem of secure communication on the Internet of Things in this respect.

5. THE STRUCTURE OF THE INTERNET OF THINGS

IoT will become a part of people's daily lives as the communication and networking capabilities of smart devices and physical objects expand. These devices are devices that work in cooperation with each other, with the ability to collect and process information for the benefit of people and make decisions when appropriate. As the IoT network structure is shown in Figure 5, sensor devices in many different areas are connected to the internet through different gateways in a wired or wireless manner.

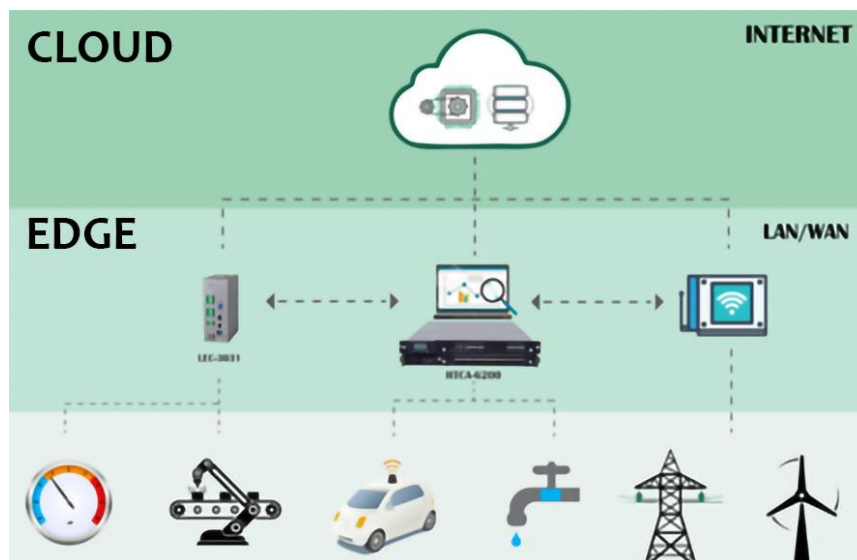


Figure 5. Internet of Things Network Structure (Huawei, 2023)

Using IoT technology means opening up all our personal privacy to the internet, allowing unprecedented access to and information collection about us. This shows how important security is. Security is a multi-dimensional problem. It covers many aspects, from the physical protection of the device to the encryption of the information inside the device, harmonisation of devices belonging to different companies, and ensuring that the system is always operational. The part we are interested in within the scope of this thesis is the encrypted delivery of data to the other party during transmission.

The following conditions should be taken into consideration when designing a safe structure:

- 1- Technical factors: detection technique, communication method, network technology
- 2- Security protection; information confidentiality, transmission security, privacy protection (Li & Xu, 2017).

5.1. Constrained Application Protocol (CoAP)

Constrained Application Protocol (CoAP) is an application layer protocol developed by the Internet Engineering Task Force (IETF) for machine-to-machine (M2M) communication on resource-constrained devices. It is a variant of the widely used synchronous internet protocol HTTP. Similar to HTTP, it offers a REST interface but is more system-constrained. In the Internet of Things, nodes are generally 8-bit microcontrollers with a limited amount of RAM and ROM and a high packet loss rate in constrained networks such as 6LoWPAN (low-power wireless personal area networks over IPv6). CoAP has been developed to meet specific requirements such as low power, simplicity, and multiple communications in resource-constrained environments while easily interfacing with HTTP for integration with the web.

Constrained networks such as 6LoWPAN support fragmenting IPv6 packets into small link layer perimeters, but this causes serious problems in packet forwarding. One of the main reasons for designing CoAP is to reduce the need for fragmentation by keeping the message size small. The main features of CoAP are:

- 1- The Web protocol fully meets the M2M requirement in constrained environments.
- 2- Supports one-way and multi-way communication.
- 3- Communicates with asynchronous message exchange.
- 4- Reduced head load and complexity.
- 5- Provides simple proxy and caching capacity.
- 6- Provides reliable connection structure thanks to Datagram Transport Layer Security (DTLS) (Shelby et al., 2014).

CoAP's interactive model is similar to HTTP's client/server structure. However, the M2M interaction structure in CoAP allows devices to act as both servers and clients. CoAP reduces implementation complexity (code size) and bandwidth because it has been developed for constrained networks. This reduction in resource utilization helps to increase reliability (by reducing fragmentation at the link layer) and reduce latency in lossy networks. (Chavan & Nighot, 2014).

CoAP uses a REST service structure similar to HTTP. Because data size and application speed are important, using this structure provides a significant advantage. It must also optimize the data size and ensure reliable communication to overcome the disadvantage of limited devices. On the other hand, CoAP supports URI and REST methods such as GET, POST, PUT, and DELETE. To overcome the weakness of the insecure nature of the UDP (User Datagram Protocol) protocol, CoAP has defined a retransmission mechanism and a resource discovery mechanism. (Chen, 2014).

DTLS encrypts CoAP messages at the transport layer. It is the UDP-based version of TLS used on the traditional Internet. Securing DTLS means securing CoAP as well. Four types of security mechanisms are defined for CoAP. These are NoSec, PreSharedKey, RawPublicKey, and Certificate modes. (Shelby ve ark., 2014).

5.2. Datagram Transport Layer Security (DTLS)

The Transport Layer Security (TLS) protocol secures network traffic, ensuring data integrity and confidentiality between the two communicating ends. The TLS protocol consists of two layers: the TLS Registration Protocol and the TLS Handshake. However, TLS must operate over a reliable transmission channel such as TCP. The DTLS protocol ensures communication security for applications that use UDP as the transmission layer.

Security protocols in Internet of Things applications generally target small, low-power, remotely controllable sensors and components. The DTLS protocol is a transmission layer protocol based on TLS that provides equal security services such as confidentiality, authentication, and integrity protection. Since TLS works over TCP, it does not have to deal with problems such as packet loss and packet ordering. In DTLS, the handshake mechanism has to deal with packet loss, reordering, and retransmission. In DTLS, the initial authentication of nodes, key agreement, and data protection take place over a secure channel.

Datagram transmission does not guarantee the sequential transmission or reliability of data. The DTLS protocol preserves these properties for application data. For applications such as media over the Internet, Internet telephony, or games, UDP is used for communication due to the delay sensitivity of the data transmitted (Rescorla et al., 2022).

The DTLS protocol is a protocol that manages packet loss due to UDP, provides packet reordering at the receiving end, and operates on lower frames.

5.3. IPv6 in Low Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN)

The IETF created the 6LoWPAN protocol as an adaptation layer for devices with the IEEE 802.15.4 physical layer to be included in the Internet (Figure 6). It works as an adaptation layer between the IEEE 802.15.4 layer and the IPv6 layer. The maximum transfer size (MTU) that the IEEE physical layer can send is 127 bytes, and the minimum transfer size (MTU) that IPv6 packets can send is 1280 bytes, making the use of an adaptation layer mandatory. For this reason, the 6LoWPAN layer was developed to compress IP packets into small pieces and transmit them by compressing them. The features of the 6LoWPAN protocol are as follows:

- 1- Minimal code and memory usage required by the Internet of Things,
- 2- Long battery life,
- 3- Efficient IP and TCP/UDP header compression,
- 4- Supports 16 and 64-bit 802.15.4 addressing,
- 5- Automatic network configuration with neighbor discovery method,
- 6- Single, multiple communication and broadcast support,
- 7- Low power and cost requirement,
- 8- Header compression, fragmentation and concatenation of IPv6 packets (Li & Xu, 2017).

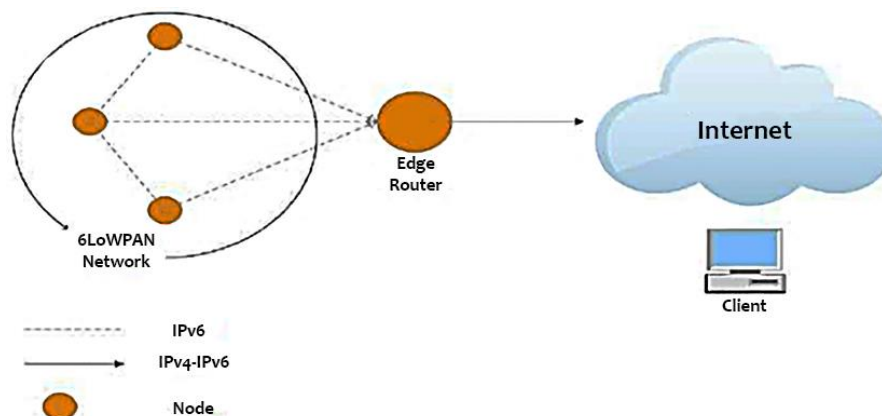


Figure 6. Structure of 6LoWPAN Networks

6. AUTHENTICATION USING ELLIPTIC CURVE IN A SIMULATION ENVIRONMENT

The Cooja simulator on the Contiki operating system installed on the virtual machine is used to realize the use of the elliptic curve encryption algorithm in the Internet of Things environment. The low cost of the Contiki operating system for internet communication is an important feature for resource-constrained devices in the Internet of Things. It has IPv6 and IPv4 support. It also supports 6LoWPAN, RPL, and CoAP protocols developed for the Internet of Things. Contiki applications are written in the standard C language. The Cooja simulator allows for simulating the code before writing it to the hardware (Karataş & Bayraklı, 2020).

6.1. Introduction of the System

In this paper, authentication and key exchange based on elliptic curve encryption are implemented to solve the security problem on the Internet of Things. Asynchronous UDP was chosen as the transmission protocol because the TCP protocol imposes a heavy load on the system, which is a major problem for resource-constrained devices. The DTLS protocol was used to ensure secure communication. For DTLS, the open-source TinyDTLS library was preferred (Bergmann, 2017). The elliptic curve digital signature algorithm and Diffie-Hellman key exchange algorithm are activated during the handshake phase to reduce the overhead caused by asymmetric encryption. This study aims to demonstrate the use of elliptic curve encryption for resource-constrained devices in the Internet of Things and the ability of nodes to communicate end-to-end. Figure 7 illustrates the general structure of the study.

6.2. Node Selection

Since elliptic curve encryption and the DTLS protocol consume a large amount of RAM and ROM and impose a heavy load on the processor, it is important to choose the node to be used. Considering the code size, the Skymote node and the Z1 node have low RAM and ROM amounts, so we used the Wismote node in our study and simulated it with the TinyDTLS library using the Cooja simulation program. Table 2 shows the memory amounts of the nodes.

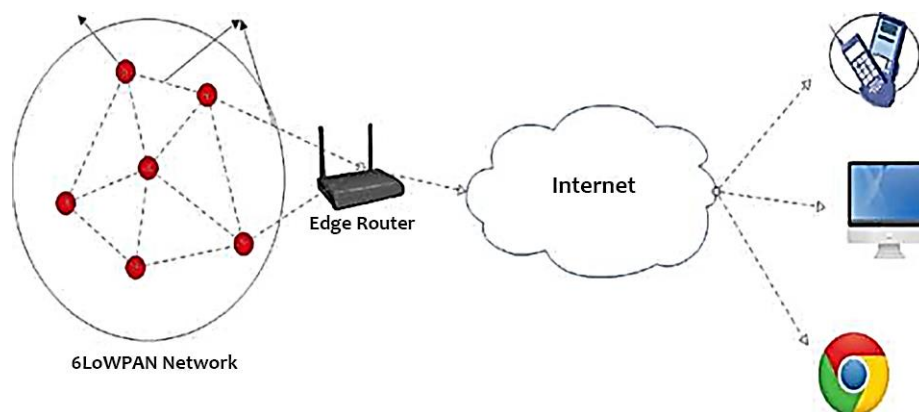


Figure 7. General Structure of the Study

Table 2. Memory Values of Sensor Nodes

	Skymote	Z1mote	Wismote
Ram	10KB	8KB	16KB
Rom	48KB	92KB	128KB
Microcontroller	MSP430	MSP430	MSP430

6.3. Client-Server Communication with DTLS Elliptic Curve Encryption

Figure 8 shows the design of the handshake phase and key exchange simulation using the TinyDTLS library with the Wismote node in the Cooja simulator. The communication phase of the nodes starts with the Hello Client message of the client, which is the first flow. This message contains session ID, header compression method, and password blocks. In response to this message, the server sends a Hello Confirmation Request message in the second flow. A session information message called a cookie is included in this message to provide security against DoS attacks. In the third flow, the client sends the first message again by adding the cookie file, and communication starts. In the 4th flow, the server requests its own information with the Hello Server message, the information required to verify its identity with the Certificate message, its own public key information with the Server Key Exchange message, and the information required to verify the identity of the other party with the Certificate Request message. In the 5th flow message, the client transmits to the server the information needed to verify its identity with the Certificate message, its own public key with the Client Key Exchange message, and the information needed to verify the identity of the other party with the Certificate Confirmation message. The end message completes the authentication and key exchange process.

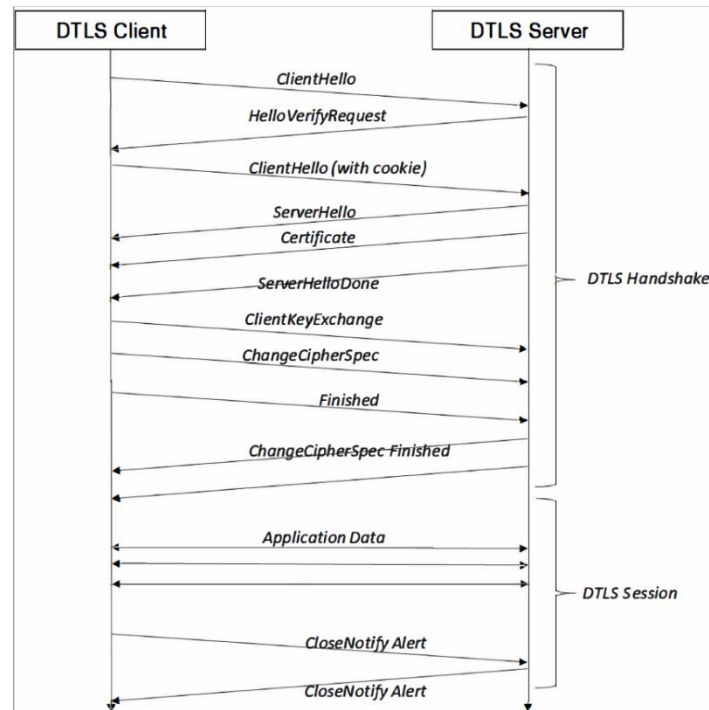


Figure 8. DTLS Handshake Phase Architecture (Microsoft, 2021)

Sensor devices (nodes) in the Internet of Things environment are severely resource-constrained. Therefore, the resource constraints of sensor devices in the Internet of Things environment make it

crucial to consider this aspect in studies. Especially asymmetric encryption algorithms impose a serious burden on the system and consume a significant amount of RAM, ROM, and processor power, and the devices cannot fulfill the purpose for which they were produced. For this reason, the amount of RAM and ROM usage and the amount of energy consumed by the sensor device were measured in this study.

The memory occupied by the compiled code directly affects the type of node we will use. Table 3 shows the amount of memory occupied by the TinyDTLS code used in the study.

Table 3. RAM and ROM Requirements of the System

Text	Data	Bss	Dec	File
83885 byte	422B	10140B	94447B	Client
83227 byte	346B	9628B	93201B	Server

From the data shown, we can see the amount of memory used. The values given are in bytes. The application obtains the amount of ROM used from the "Text+Data" data. The amount of RAM used is obtained from the value "Data+Bss." In this case, the amount of RAM used by the client is 84307 bytes, and the amount of ROM is 10562 bytes. The server uses 83573 bytes of ROM and 9974 bytes of RAM.

The handshake phase of DTLS is the most resource-intensive phase. Especially the authentication and key exchange phases consume significant resources. The handshake phase consumes significantly different amounts of memory in symmetric and asymmetric encryption. Table 4 shows the amount of memory consumed in the handshake phase.

Table 4. Memory Consumption in Elliptic Curve and Symmetric Encryption Modes

Phase	Server	Client	Total
DTLS-SE	69B	129B	198B
DTLS-ECE	408B	441B	849B

Even if the elliptic curve method is used in asymmetric encryption, it significantly consumes memory and burdens the processor. It poses a significant problem, especially for Class-0 and Class-1 devices.

6.4. Energy Consumption

The Powertrace library was used to calculate the power consumption of the application implemented in the simulation environment. Using the relevant method of this library, the CPU cycles of the Wismote nodes at 10-second intervals and their corresponding energy consumption were obtained, as shown in Tables 5 and 6, respectively.

Table 5. Number of Processor Cycles Obtained from Nodes with 10 s Interval

CPU	LPM	TX	RX
223	196.212	270	126.677
1.208	818.580	1.425	752.565
2.046	1.375.614	2.375	1.308.646
2.998	2.013.722	3.394	1.865.354
4.203	2.812.932	4.755	2.743.367
5.357	3.603.987	6.112	3.533.275
6.713	4.521.397	7.607	4.449.186

Table 6. The amount of energy consumed by the Wismote node in mW

CPU	LPM	TX	RX	Toplam
0,00128069551	0,80920193816	0,00147572525	0,81377863687	1,6257369957
0,00108956634	0,72425476956	0,00123518857	0,72301568039	1,449565912
0,00123778896	0,8296670625	0,00132490226	0,72383090048	1,5560606542
0,00272521604	0,8285285222	0,00176957015	1,14159118292	1,9745824267
0,00156673918	0,8391316407	0,00176436936	1,02703719435	1,8694999435
0,00150042906	1,19281510301	0,00194379673	1,19088610556	1,9871454343

The CPU value shown in Table 5 indicates the total CPU cycles; LPM indicates the total number of cycles in low power mode; TX indicates the total number of cycles in the transmit state; and RX indicates the total number of cycles in the receive state. The power consumption value in mW is calculated using the formula given below.

The values in Table 6 are calculated using the formula in (1). The energy value given in the formula is the cycle difference between the two runs, and the voltage value is the voltage (3 volts) at which the node is powered. The RTIMER value was obtained with the method added to the code and is 34962. The Wismote node consumes an average energy of 1,6 mW.

$$Energy\ Value = \frac{Energy_{est}Value * Voltage\ Value}{RTIMER_{SECOND} * Execution\ Time} \quad (1)$$

Asymmetric encryption significantly increases not only the code size but also the number of messages exchanged during the DTLS phase. However, since elliptic curve encryption significantly reduces the code size compared to other asymmetric encryption methods, the idea of using it on resource-constrained nodes has emerged, and studies have focused on this. However, elliptic curve encryption proves ineffective on Class-0 and Class-1 devices, even when used. Even the TinyECC code (Liu & Ning, 2008), one of the most important studies on this subject, was not run on Sky and Z1 nodes but on the Wismote node by throttling various resources. Compared to other studies, the TinyDTLS code (Bergmann, 2017) seems to work effectively. However, the Contiki operating system and other protocols use a significant amount of code, highlighting the

need for a more efficient elliptic curve method. Especially for Class-0 devices, optimizing the code is necessary to provide end-to-end encrypted communication. Figure 9 shows the comparison of the studies according to the amount of RAM and Rom used.

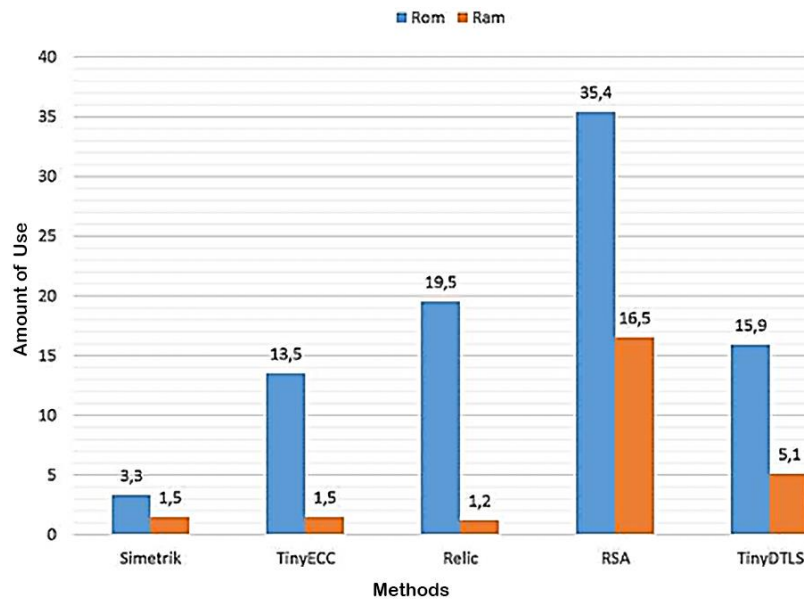


Figure 9. RAM and ROM Usage of Elliptic Curve Studies with SC and RSA

Although elliptic curve encryption reduces resource consumption compared to other asymmetric encryption methods, symmetric encryption consumes much fewer resources. Especially when compared to RSA, there is a large amount of gain. However, using asymmetric encryption is necessary for the communication of devices connected to the Internet of Things, which is inherent in the Internet of Things. In addition, as the structure grows, the disadvantage of symmetric encryption due to the number of keys becomes apparent. In an environment with N nodes, symmetric encryption requires a total of $N(N-1)$ keys for each node to communicate with other nodes. In asymmetric encryption, each node has a public and a secret key, and the total number of keys is $2N$. This shows how difficult it is to use symmetric encryption when the number of nodes reaches millions. The researchers found that the TinyECC library was the most effective among the elliptic curve encryption methods used. It has been shown that the elliptic curve encryption method, which is considerably faster and less resource-consuming than other asymmetric encryption methods, can be applied to resource-constrained devices if it is emphasized.

7. CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this study, secure communication is realized using the elliptic curve encryption method at the DTLS layer in the nodes to provide end-to-end communication on resource-constrained devices in the Internet of Things in the Cooja simulation environment. The SHA2 hashing algorithm is used to ensure data integrity. Even if someone intercepts the data, it will be meaningless without a key. In addition, the hash algorithm provides protection against data modification and replay attacks. In this way, it is shown that elliptic curve encryption can be used on resource-constrained devices. Simulation results are presented, and it is shown that asymmetric encryption does not work effectively on resource-constrained devices, especially on Class-0 and Class-1 devices. In this study, the Sky node and Z1 node, which have severe resource constraints, could not be used for the reasons mentioned, and the Wismote node was preferred. However, in the Internet of Things, it is seen as a necessity to integrate asymmetric encryption methods in order for devices to be connected to the Internet at any time and to communicate end-to-end with other devices. For this

reason, studies have shown that elliptic curve encryption imposes a serious burden on wireless sensor devices unless optimization is performed.

Comparisons of memory usage were made for some of the developed libraries. The amount of memory used by some of the developed libraries was compared. The TinyECC library was found to be the most efficient elliptic curve encryption method, and its dynamic structure allows for the desired optimizations to be made. In future studies, some improvements to the method are aimed at reducing the energy consumption of resource-constrained sensors.

Contribution of Authors

Authors contributed equally to the article.

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The study complied with research and publication ethics.

REFERENCES

- Aazam, M., St-Hilaire, M., Lung, C.-H., & Lambadaris, I. (2016). PRE-Fog: IoT trace based probabilistic resource estimation at Fog. *13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*.
- Aloul, F., Zualkernan, I., & Mahmoud, R. (2015). Internet of things (IoT) security: Current status, challenges and prospective measures. *10th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST)*, (336-341). Londra.
- Bergmann, O. (2017). *Eclipse tinydtls*. Retrieved February 10, 2024 from Eclipse Foundation: <https://projects.eclipse.org/projects/iot.tinydtls>
- Bormann, C., Ersue, M., & Keranen, A. (2014). *Terminology for Constrained-Node Networks*. Internet Engineering Task Force (IETF).
- Bozkurt, Ö. (2005). *Eliptik Eğri Şifreleme Kullanarak Güvenli Soket Katmanı Protokolünün Gerçekleşmesi ve Performansının Değerlendirilmesi*. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chavan, A., & Nighot, M. (2014). Secure CoAP Using Enhanced DTLS for Internet of Things. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*. 78, 646-651.
- Chen, X. (2014). *Constrained Application Protocol for Internet of Things*. Retrieved February 10, 2024 from <https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-14/ftp/coap.pdf>
- Franco, J. (2024). *20-CS-6053 - Network Security*. Retrieved February 10, 2024 from University of Cincinnati Electrical Engineering & Computer Science: <http://gauss.eecs.uc.edu/Courses/c6053/lectures/PDF/elliptic.pdf>

- Görmüş, S., Aydın, H., & Ulutaş, G. (2017). Nesnelerin interneti teknolojisi için güvenlik: var olan mekanizmalar, protokoller ve yaşanan zorlukların araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4), 1247-1272.
- Huawei. (2023). *Edge Networking*. Retrieved February 10, 2024 from Huawei Community Forums: <https://forum.huawei.com/enterprise/en/edge-networking/thread/690495115774279680-667213860102352896>
- Karataş, İ., & Bayraklı, S. (2020). Contiki İşletim Sisteminde Cooja Simulatörü Kullanılarak Örnek Bir Nesnelerin İnterneti Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 19, 763-769.
- Li, S., & Xu, L. (2017). *Securing the Internet of Things*. Syngress.
- Liu, A., & Ning, P. (2008). TinyECC: A configurable library for elliptic curve cryptography in wireless sensor networks. *7th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'08)*. Washington DC.
- McCumber, J. (2004). *Assessing and Managing Security Risk in IT Systems*. Auerbach Publications.
- Microsoft. (2021, 07 04). *Chapter 3: Functional description of Azure RTOS NetX Secure DTLS*. Retrieved February 10, 2024 from Microsoft Learn: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/rtos/netx-duo/netx-secure-dtls/chapter3>
- Nakagawa, I., & Shimojo, S. (2017). IoT Agent Platform Mechanism with Transparent Cloud Computing Framework for Improving IoT Security. *IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*.
- Orhon, N. (2015, 06 17). *Computer Engineering Department Seminar #60*. Retrieved February 10, 2024 from Yaşar Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü: <https://ce.yasar.edu.tr/en/2015/06/neriman-gamze-orhon-elliptic-curve-cryptography-and-efficient-implementations-june-17th-2015-friday/>
- Raza, S., Shafagh, H., Hewage, K., Hummen, R., & Voigt, T. (2013). Lite: Lightweight Secure CoAP for the Internet of Things. *IEEE Sensors Journal*, 3711-3720.
- Rescorla, E., Tschofenig, H., & Modadugu, N. (2022). *The Datagram Transport Layer Security (DTLS) Protocol Version 1.3*. Internet Engineering Task Force (IETF).
- Santos, G., Guimaraes, V., Rodrigues, G., Granville, L., & Tarouco, L. (2015). A DTLS-based Security Architecture for the Internet of Things. *20th IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)*, 809-815.
- Shelby, Z., Hartke, K., & Bormann, C. (2014). *The Constrained Application Protocol (CoAP)*. Internet Engineering Task Force (IETF).
- Stinson, D. (2005). *Cryptography: Theory and Practice*. Chapman and Hall/CRC.
- Szczechowiak, P., Oliviera, L., Collier, M., & Dahab, R. (2008). NanoECC: Testing the Limits of Elliptic Curve Cryptography. *Sensor Networks*, 305-320.

Trappe, W., & Washington, L. (2005). *Introduction to Cryptography with Coding Theory*. Pearson.

Zhao, K., & Ge, L. (2013). A Survey on the Internet of Things Security. *9th International Conference on Computational Intelligence and Security*, (663-667). Leshan.



Araştırma Makalesi / Research Article

MİKRODALGA IŞIMANIN BAZI 1,3-BENZOKSAZOL-2(3H)-ON HİBRİT BİLEŞİKLERİN SENTEZİ ÜZERİNE ETKİSİ

EFFECT OF MICROWAVE IRRADIATION ON THE SYNTHESIS OF SOME 1,3-BENZOXAZOL-2(3H)-ON HYBRID COMPOUNDS

Fatih YILMAZ¹

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1434905>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
fyilmaz@erdogan.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
10.02.2024

Kabul Tarihi / Accepted
17.04.2024

Öz

Bu çalışmada, birçok doğal bileşiğin yapısında bulunan kumarin ile isatin içeren benzoksazol hibrit bileşiklerin sentezi üzerine mikrodalga ışımının etkileri incelenmiştir. Çalışmada elde edilen 9 hibrit bileşiğin sentezi daha önce çalışma grubumuz tarafından geleneksel yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada farklı olarak bu 9 bileşik, hem ev tipi hem de monomod mikrodalga cihazı kullanılarak zaman, verim, saflık derecesi, enerji ve çözücü kullanımı yönlerinden karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, mikrodalga ışım ile gerçekleştirilen sentezin önemli ölçüde daha az çözücü ve enerji gereksinimine ihtiyaç duyduğu, verim ve saflık derecesi yönünden de avantajlar sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Benzoksazol, isatin, kumarin, mikrodalga, yeşil kimya.

Abstract

In this work, the effects of microwave irradiation on synthesis of benzoxazole hybrid compounds containing coumarin and isatin, which are found in the structure of many natural compounds, were examined. The synthesis of 9 hybrid compounds obtained in the study was previously carried out by our research group using the traditional method. In this study, these 9 compounds were compared in terms of time, efficiency, purity, energy and solvent usage using both a home type and a monomode microwave device. As a result of these evaluations, it has been found that microwave synthesis requires significantly less solvent and energy and provides advantages in terms of efficiency and purity.

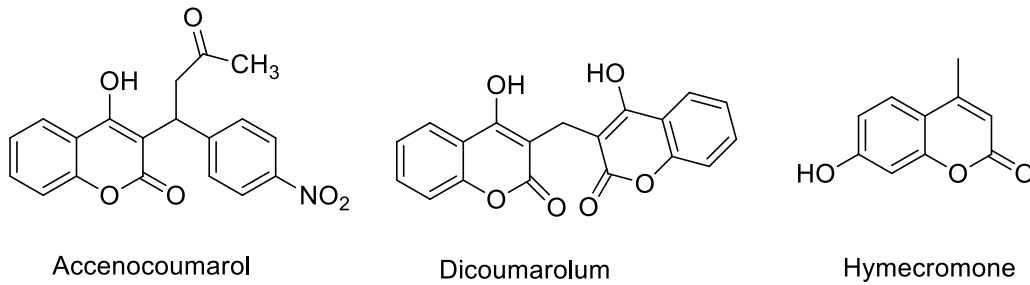
Keywords: Benzoxazole, isatin, coumarin, microwave, green chemistry.

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Rize, Türkiye
fyilmaz@erdogan.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-6666-3566.

1.GİRİŞ

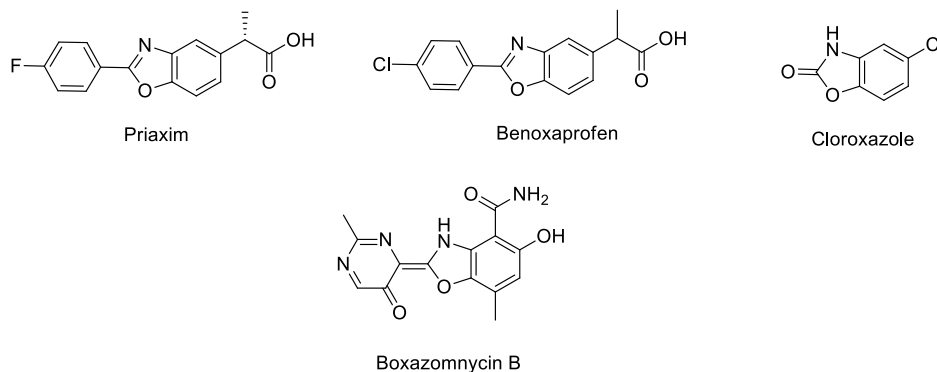
Geleneksel ısıtmada kimyasal reaksiyonlar ceketli ısıtıcı, kum banyosu, yağ banyosu ya da klasik düz ısıtıcılarda gerçekleştirilir. Bu tür tekniklerin kullanılmasıyla reaksiyonlar uzun süre ve yüksek enerji gerektirmektedir. Ayrıca bölgesel aşırı ısınmaya bağlı olarak reaktif ve üründe bozunma meydana gelebilmekte, bu da düşük reaksiyon verimine ve saflaştırma zorluklarına neden olmaktadır. Bu nedenle günümüzde kimyasal reaksiyonların ısıtılmasında basitliği, reaksiyon veriminin artırması ve seçiciliğinin yüksek olması nedeniyle mikrodalga ışımaya tekniği kullanılmaktadır. Bundan dolayı, mikrodalga ışımaya tekniği birçok biyolojik aktif bileşiğin sentezi için bir araç haline gelmiştir (Kahveci ve ark., 2014; Kappe, 2004).

Kumarin türevlerinin sentezi ve biyolojik değerlendirilmesi ile ilgili literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Çünkü bu bileşiklerin, birçok doğal bileşiğin yapısında bulunmasının yanında, antibakteriyel, antifungal, antikanser ve antioksidan gibi önemli özellikler gösterdiği bilinmektedir (Kahveci ve ark., 2017; Mentşe ve ark., 2024; Prusty & Kumar, 2020; Yılmaz ve ark., 2020; Yılmaz ve ark., 2019). Klinik onaylı kumarin türevi olan acenocoumarol, dicoumarolum ve hymecromone bileşiklerinin yapıları Şekil 1 de verilmiştir (Yılmaz & Faiz, 2018). İstatin, moleküllerin hem doğal hem de sentetik yapısı için muhteşem bir yapı iskeletine sahiptir. Bu moleküller antikanser, antibiyotik ve antidepresan gibi ilaç tedavisinde kullanılmakta ve bunların dışında da birçok klinik uygulamaya sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı, İstatin ve türevleri sergilediği geniş spektrumlu biyolojik özellikleri nedeniyle dikkat çekmiştir (Elsaman ve ark., 2022; Gencer ve ark., 2014; Güner ve ark., 2022; Nath ve ark., 2020; Raju ve ark., 2023; Yılmaz ve ark., 2019).



Şekil 1. Acenocoumarol, Dicoumarolum ve Hymecromone Bileşiklerinin Yapıları

Benzoksazol türevleri, yeni biyolojik bileşiklerin sentezinde yaygın olarak kullanılmaları nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmüştür. Çok çeşitli biyolojik özellikleri nedeniyle medisinale kimyada önemli bir heterohalka haline gelmişlerdir. Priaxim ve Benoxaprofen (antiinflamatuar ilaçlar olarak), Boxazomnycin B (antibiyotik olarak) ve Chlorxazole (kas gevşetici olarak) gibi benzoksazol çekirdeğine sahip çok sayıda ilaç piyasada bulunmaktadır (Şekil 2) (Kakkar ve ark., 2018; Kaur ve ark., 2018; Yılmaz ve ark., 2020).



Şekil 2. Ticari Olarak Satılan Bazı Benzoksazol Türevi İlaçlar

Bu çalışmada daha önce sentezini gerçekleştirdiğimiz kumarin ve isatin içeren 1,3-benzoksazol-2(3H)-on hibrit bileşikler (Yılmaz ve ark., 2020) hem geleneksel hem de mikrodalga ışımaya teknikleriyle elde edilmiştir. Mikrodalga sentez hem mono mod hem de ev tipi mikrodalga cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar zaman ve verim yönünden karşılaştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmalar sırasında kullanılan kimyasal malzemeler Merck, Aldrich ve Alfa Easer firmalarından sağlanmış, kullanılan çözücüler ise yerli (Isolab) ve yurt dışı (Merck ve Sigma) kaynaklardan temin edilmiştir. Sentez çalışmaları CEM Discover monomod ve Arçelik marka MD 823 model ev tipi mikrodalga cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen bileşiklerin erime noktaları, Stuart SMP30 erime noktası tayin cihazında tayin edilmiştir. Çalışmamız sırasında tüm reaksiyonlar, İTK (İnce Tabaka Kromatografisi) plakalarda kontrol edilerek reaksiyon süreleri tespit edilmiş ve sonuç bileşiklerinin saflığı yine İTK ile kontrol edilmiştir.

2.1. 1,3-Benzoksazol-2-one (1) Bileşiğinin Sentezi

Bu ürün, 2-amino fenol ve ürenin konsantre HCl içerisinde reaksiyonuyla elde edilmiştir (Yılmaz ve ark., 2020). 0,01 mol 2-aminofenol, 10 mL konsantre HCl ve 0,05 mol üre karışımı sırasıyla 1.5 saat 140°C'de ve 2.5 saat 170°C'de geri soğutucu altında ısıtıldı. Oluşan karışım soğutuldu ve üzerine 30 mL su ilave edildi. Elde edilen karışım oda sıcaklığında 1 saat daha karıştırıldı. Ardından, NH₃ ile nötrleştirildi. Çöken ürün süzülüp bol suyla yıkanıp kurutuldu. Ardından, etanol ile kristallendirilerek saflaştırıldı.

Verim: 1,23 g, 92%; E. N.: 135 -136°C, (135°C (Safakish ve ark., 2017)).

2.2. Etil (2-okso-1,3-benzoksazol-3(2H)-il) Asetat (2) Bileşiğinin Sentezi

Bu ürün literatürdeki yöntemle göre sentezlenmiştir (Yılmaz ve ark., 2020). Yuvarlak dipli bir balon içerisinde, 0,01 mol 1 nolu bileşik ve 0,012 mol etil bromoasetat bileşiği aseton (50 mL) içerisinde çözüldü. Ardından 0,03 mol susuz K₂CO₃ ilave edilip 1 gece oda sıcaklığında karıştırıldı. Oluşan ürün su ilavesiyle çöktürüldü. Çöken ürün süzülüp kurutuldu. Etanol ile kristallendirilerek saflaştırıldı.

Verim: 1,91 g, 86%; E.N.: 90 -91°C, (89 °C (Safakish ve ark., 2017)).

2.3. 2-(2-Okso-1,3-benzoxazol-3(2H)-il) Asetohidrazid (3) Bileşiğinin Sentezi

Bu ürün literatürdeki yöntemle göre sentezlenmiştir (Yılmaz ve ark., 2020). Yuvarlak dipli balon içerisine 0,01 mol 2 nolu bileşik 25 mL etanol ile çözüldü. Üzerine 0,025 mol hidrazin hidrat ilave edilip 3 saat geri soğutucu altında kaynatıldı. Daha sonra, karışım soğutulup oluşan ürün çöktürüldü. Çöken ürün süzülüp kurutuldu. Etanol ile kristallendirilerek saflaştırıldı.

Verim: 1,49 g, %72 E.N.: 215 -217 °C, (215 °C (Safakish ve ark., 2017)).

2.4. 4a-f Bileşiklerinin Sentezi

Bu bileşikler literatürdeki yöntemle göre sentezlenmiştir (Kahveci ve ark., 2015). Yuvarlak dipli bir balon içerisinde, 0,5 ml piridin içeren 50 mL etanol çözücüsünde salisilaldehit türevi (0,01 mol) ve Meldrum asid (1,58 g, 0,011 mol), 6 saat boyunca geri soğutucu altında kaynatıldı. Reaksiyon tamamlandıktan sonra (ince tabaka kromatografisiyle kontrol edildi, etil asetat:hekzan, 4:1),

çözücü düşük basınç altında uçuruldu. Elde edilen katı kısım suyla yıkandıktan sonra, oluşan ürün etanol-su (3:2) karışımında kristallendirilerek saflaştırıldı.

2.4.1. 2-Okso-2H-kromen-3-karboksilik asit (4a):

Verim: 1,40 g, 73%; E.N.: 189 -190 °C, (188 °C(Kahveci ve ark., 2015)).

2.4.2. 6-Kloro-2-okso-2H-kromen-3-karboksilik asit (4b):

Verim: 2,48 g, 76%; E.N.: 194 -195 °C, (193 °C (Baraldi ve ark., 2004)).

2.4.3. 6-Bromo-2-okso-2H-kromen-3-karboksilik asit (4c):

Verim: 1,81 g, 67%; E.N.: 195 -196 °C, (194 °C-196°C (Kahveci ve ark., 2015)).

2.4.4. 6,8-Dikloro-2-okso-2H-kromen-3-karboksilik asit (4d):

Verim: 1,77 g, 69%; E.N.: 222 -223 °C (220 -224°C (Creaven ve ark., 2006)).

2.4.5. 7-Dietilamino-2-okso-2H-kromen-3-karboksilik asit (4e):

Verim: 1,94 g, 75%; E.N.: 232-233 °C (230-232 °C (Danko ve ark., 2011)).

2.4.6. 8-Metoksi-2-okso-2H-kromen-3-karboksilik asit (4f):

Verim: 1,96 g, 75%; E.N.: 215-216 °C (214-216 °C (Shults ve ark., 2010)).

2. 5. 5a-f Bileşiklerinin sentezi

Bu bileşikler literatürdeki yöntemlere göre sentezlenmiştir (Kahveci ve ark., 2015). Yuvarlak dipli bir balon içerisine 5,95 g (0,05 mol) 1H-benzotriazol ve 75 mL CH₂Cl₂ konuldu. Bir süre oda sıcaklığında karıştırıldıktan sonra 1,08 mL (0,015 mol) SOCl₂ ilave edilip 30 dakika daha oda sıcaklığında karıştırıldı. Ardından 0,01 4a-f bileşiği ilave edilip 12 saat oda sıcaklığında karıştırıldı. Çöken kısım süzülüp sıcak suyla yıkanarak ürün ile birlikte çöken tuz ve 1H-benzotriazol bileşiğinin fazlası üründen ayrıldı. Kalan katı kısım etilalkol ile kristallendirilerek saflaştırıldı.

2.5.1. 3-(1H-Benzotriazol-1-ilkarbonil)-2H-kromen-2-on (5a):

Verim: 2,10 g, 73%; E.N.: 179-180 °C (176-177 °C (Kahveci ve ark., 2015)).

2.5.2. 3-(1H-Benzotriazol-1-ilkarbonil)-6-kloro-2H-kromen-2-on (5b):

Verim: 2,21 g, 63%; E.N.: 248-249 °C (248- 249 °C (Kahveci ve ark., 2015)).

2.5.3. 3-(1H-Benzotriazol-1-ilkarbonil)-6-bromo-2H-kromen-2-on (5c):

Verim: 2,51 g, 68%; E.N.: 250-251 °C (250-251°C (Creaven ve ark., 2006)).

2.5.4. 3-(1H-Benzotriazol-1-ilkarbonil)-6,8-dikloro-2H-kromen-2-on (5d):

Verim: 2,35 g, 65%; E.N.: 263-264°C (263-264°C (Danko ve ark., 2011)).

2.5.5. 3-(1*H*-Benzotriazol-1-ilkarbonil)-7-dietilamino-2*H*-kromen-2-on (5e):

Verim: 2,45 g, 68%; E.N.: 210-211°C (210-211°C (Danko ve ark., 2011)).

2.5.6. 3-(1*H*-Benzotriazol-1-ilkarbonil)-8-metoksi-2*H*-kromen-2-on (5f):

Verim: 2,47 g, 68%; E.N.: 236-237°C (236-237 °C (Yılmaz ve ark., 2019)).

2.6. 6a-f Bileşiklerinin Sentezi**2.6.1. Klasik yöntem**

Klasik yöntem ile sentez, literatürdeki yöntemle göre gerçekleştirilmiştir (Safakish ve ark., 2017). Yuvarlak tabanlı bir balona 2-(2-okso-1,3-benzoxazol-3(2*H*)-il)asetohidrazid (3) (0,01 mol) ve 5a-f (0,011 mol) bileşiği mutlak etanol (40 mL) içinde bir süre oda sıcaklığında karıştırıldı. Karışım 8 saat boyunca geri soğutucu altında kaynatıldı. Reaksiyonun tamamlandığı ince tabaka kromatografisi (Etilasetat/Hekzan 3:1) ile kontrolü sağlandı. Reaksiyonun tamamlanmasının ardından çöken ürün süzülüp kuruldu ve ardından sıcak etanol ile iyice yıkanarak saflaştırıldı.

2.6.2. Mikrodalga yöntem (Ev tipi mikrodalga)

2-(2-Okso-1,3-benzoxazol-3(2*H*)-il)asetohidrazid (3) (0,01 mol) ve 5a-f (0,011 mol) bileşiği mutlak etanol (20 mL) içinde bir süre oda sıcaklığında karıştırıldı. Ardından, karışıma ev tipi mikrodalga fırında 5 dakika süreyle 300 W mikrodalgaya ışına uygulandı. Daha sonra karışım bir süre soğumaya bırakıldı ve tekrar 5 dakika süreyle 300 W mikrodalgaya ışına uygulandı (çözücü miktarı azaldığı için 10 mL etanol ilave edildi). Reaksiyonun tamamlandığı ince tabaka kromatografisi (Etilasetat/Hekzan 3:1) ile kontrolü sağlandı. Reaksiyonun tamamlanmasının ardından çöken ürün süzülüp kuruldu ve ardından sıcak etanol ile iyice yıkanarak saflaştırıldı.

2.5.3. Mikrodalga yöntem (Mono mod mikrodalga)

Mutlak etanol içinde (10 mL), 2-(2-okso-1,3-benzoxazol-3(2*H*)-il)asetohidrazid (3) (0,01 mol) ve 5a-f bileşiği (0,011 mol), kapalı kaptaki 300W, 120 °C ve 5 dakika süreyle (tutma süresi) basınç kontrolü altında mikrodalgaya ışına uygulandı. Reaksiyonun tamamlandığı ince tabaka kromatografisi (Etilasetat/Hekzan 3:1) ile kontrolü sağlandı. Reaksiyonun tamamlanmasının ardından çöken ürün süzülüp kuruldu ve ardından sıcak etanol ile iyice yıkanarak saflaştırıldı.

2-Okso-N'-[(2-okso-1,3-benzoksazol-3(2*H*)-il)asetil]-2*H*-kromene-3-karbohidrazid (6a):
E.N.: 300°C-301°C (Yılmaz ve ark., 2020).

6-Kloro-2-Okso-N'-[(2-okso-1,3-benzoksazol-3(2*H*)-il)asetil]-2*H*-kromene-3-karbohidrazid (6b):
E.N.: 322-323 °C (Yılmaz ve ark., 2020).

6-Bromo-2-Okso-N'-[(2-okso-1,3-benzoksazol-3(2*H*)-il)asetil]-2*H*-kromene-3-karbohidrazid (6c):
E.N.: 327-328 °C (Yılmaz ve ark., 2020).

6,8-Dikloro-2-Okso-N'-[(2-okso-1,3-benzoksazol-3(2*H*)-il)asetil]-2*H*-kromene-3-karbohidrazid (6d):
E.N.: 317-318 °C (Yılmaz ve ark., 2020).

7-Dietilamino-2-Okso-N'-[(2-okso-1,3-benzoksazol-3(2*H*)-il)asetil]-2*H*-kromene-3-karbohidrazid (6e):
E.N.: 283-284 °C (Yılmaz ve ark., 2020).

8-Methoksi-2-Okso-N'-[(2-okso-1,3-benzoksazol-3(2H)-il)asetil]-2H-kromene-3-karbohidrazid (6f): E.N.: 326-327 °C (Yılmaz ve ark., 2020).

2.7. 7a–c Bileşiklerinin Sentezi

2.7.1. Klasik yöntem

Klasik yöntem ile sentez, literatürdeki yönteme göre gerçekleştirilmiştir (Yılmaz ve ark., 2020). 2-(2-Okso-1,3-benzoxazol-3(2H)-il)asetohidrazid (3) (0,01 mol) ve isatin türevi (0,011 mol) bileşik, 0,5 mL konsantre asetik asit içeren mutlak etanol (45 mL) içinde 5 saat süreyle gerisoğutucu altında kaynatıldı. Reaksiyonun tamamlandığı ince tabaka kromatografisi ile kontrol edildi (Etilasetat/Hekzan 3:1). Karışım daha sonra bir behere alınarak oda sıcaklığına gelene kadar bekletildi. Çöken ürün süzülüp, kurutuldu ve ardından sıcak etanol ile yıkanarak saflaştırıldı.

2.7.2. Mikrodalga yöntem (Ev tipi mikrodalga)

2-(2-Okso-1,3-benzoxazol-3(2H)-il)asetohidrazid (3) (0,01 mol) ve isatin türevi (0,011 mol) bileşik, 0,5 mL konsantre asetik asit içeren mutlak etanol (25 mL) içinde bir süre oda sıcaklığında karıştırıldı. Ardından, karışıma ev tipi mikrodalga fırında 5 dakika süreyle 300 W mikrodalgaya ışına uygulandı. Daha sonra karışım bir süre soğumaya bırakıldı ve tekrar 5 dakika süreyle 300 W mikrodalgaya ışına uygulandı (çözücü miktarı azaldığı için 10 mL etanol ilave edildi). Reaksiyonun tamamlandığı ince tabaka kromatografisi ile kontrol edildi (Etilasetat/Hekzan 3:1). Karışım daha sonra bir behere alınarak oda sıcaklığına gelene kadar bekletildi. Çöken ürün süzülüp, kurutuldu ve ardından sıcak etanol ile yıkanarak saflaştırıldı.

2.7.3. Mikrodalga yöntem (Mono mod mikrodalga)

2-(2-Okso-1,3-benzoxazol-3(2H)-il)asetohidrazid (3) (0,01 mol) ve isatin türevi (0,011 mol) bileşik, mutlak etanol (10 mL) içerisinde kapalı kaptaki 300W, 120 °C ve 5 dakika süreyle (tutma süresi) basınç kontrolü altında mikrodalgaya ışına uygulandı. Reaksiyonun tamamlandığı ince tabaka kromatografisi ile kontrol edildi (Etilasetat/Hekzan 3:1). Reaksiyonun tamamlanınca, karışım bir behere alınıp oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Çöken ürün süzülüp, kurutuldu ve ardından sıcak etanol ile yıkanarak saflaştırıldı.

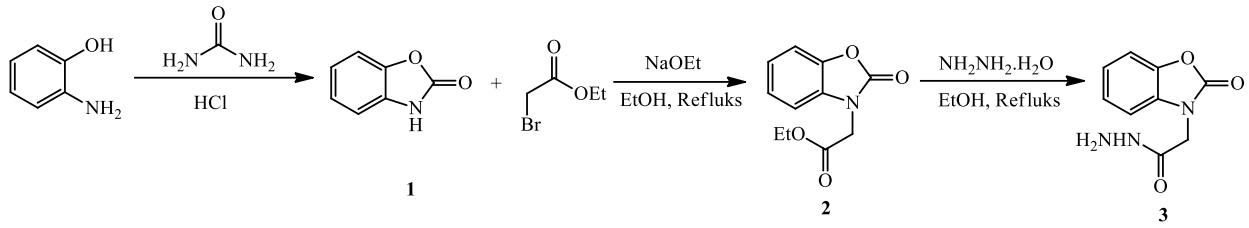
2-(2-Okso-1,3-benzoksazol-3(2H)-il)-N'-[2-oxo-1,2-dihidro-3H-indol-3-iliden] asetohidrazid (7a): E.N.: 223-224 °C (Yılmaz ve ark., 2020).

N'-[5-Kloro-2-okso-1,2-dihidro-3H-indol-3-iliden]-2-(2-okso-1,3-benzoksazol-3(2H)-il)asetohidrazid (7b): E.N.: 239-240 °C (Yılmaz ve ark., 2020).

N'-[5-Bromo-2-okso-1,2-dihidro-3H-indol-3-iliden]-2-(2-okso-1,3-benzoksazol-3[2H]-il)asetohidrazid (7c): E.N.: 256-257 °C (Yılmaz ve ark., 2020).

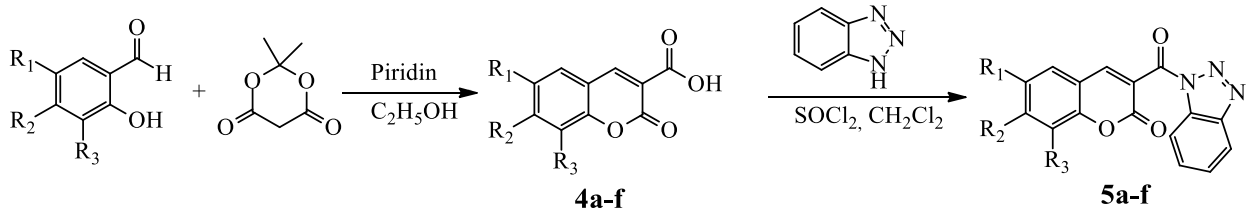
3. TARTIŞMA

İlk olarak, 2-aminofenol ile ürenin reaksiyonundan 1,3-benzoksazol-2-on (1) bileşiğinin sentezi gerçekleştirilmiştir. Bu bileşiğin ester türevini (2) elde etmek için, 1 nolu bileşik etil bromoasetat ile reaksiyona sokulmuştur. 2-(2-Okso-1,3-benzoksazol-3(2H)-il)asetohidrazit (3) bileşiği, bileşik 2 ile hidrazin hidratin reaksiyonundan elde edilmiştir (Şekil 3) (Yılmaz ve ark., 2020).



Şekil 3. 2-(2-Okso-1,3-benzoksazol-3(2H)-il)asetohidrazit (3) Nolu Bileşiğin Sentezi

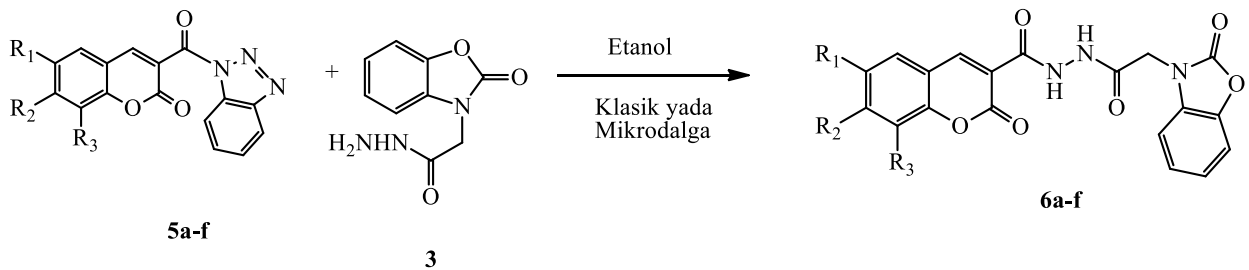
Bir sonraki adımda ise, 3-(1*H*-benzotriazol-1-ilkarbonil)-2*H*-kromen-2-on türevi bileşiklerin (5a-f) eldesi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Meldrum asidi ve salisilik aldehyitlerin 1 mL piridin içeren etanol içindeki reaksiyonundan kumarin-3-karboksilik asitler (4a-f) sentezlenmiştir. Literatür taramamız, benzotriazol grubunun kolay ayrılan bir grup olduğunu ve bu nedenle sentetik uygulamalar için birçok avantaj sunduğunu göstermiştir (Kahveci ve ark., 2015). Bu nedenle, 5a-f bileşiklerinin sentezi, 4a-f bileşiklerinin 1*H*-benzotriazol diklorometan içerisinde reaksiyonuyla elde edilmiştir (Şekil 4).



a: R₁:H, R₂:H, R₃:H, **b:** R₁:Cl, R₂:H, R₃:H, **c:** R₁:Br, R₂:H, R₃:H, **d:** R₁:Cl, R₂:H, R₃:Cl,
e: R₁:H, R₂:N(Et)₂, R₃:H, **f:** R₁:H, R₂:H, R₃:OCH₃

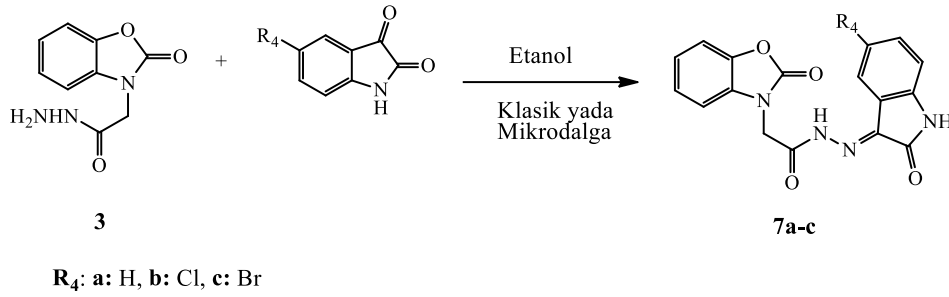
Şekil 4. 5a-f Bileşiklerinin Sentezi

Son basamakta ise hedeflenen moleküllerin sentezi gerçekleştirilmiştir. Bunun için, benzoksazol türevleri, 3 nolu bileşik ve 5a-f bileşiklerinin mutlak etanol içindeki reaksiyonundan Benzoksazol-kumarin hibrit bileşiklerinin (6a-f) eldesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. 6a-f Bileşiklerinin Sentezi

Ardından, 3 nolu bileşik isatin türevleriyle etkileştirilerek schiff bazı oluşum reaksiyonuyla benzoksazol-isatin hibritlerinin (7a-c) sentezi gerçekleştirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. 7a-c Bileşiklerinin Sentezi

Hedeflenen bileşiklerin sentezi, hem geleneksel ve hem de mikrodalga ısıtma yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Mikrodalga yöntemi, ev tipi mikrodalga ve monomod mikrodalga cihazları kullanılarak gerçekleştirildi. Elde edilen sonuçlar, mikrodalga yönteminin klasik yöntemle göre saflık, reaksiyon süresi ve verim açısından avantajlara sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca monomod mikrodalga cihazı kullanılarak gerçekleştirilen yöntem, ev tipi mikrodalga cihazı kullanılarak yapılan yöntemle göre daha yüksek saflık derecesi, kısa reaksiyon süresi, daha düşük enerji gereksinimi ve daha yüksek verim sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1. de karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Klasik ve Mikrodalga Isıtma Yöntemlerinin Verim ve Zaman Yönünden Karşılaştırılması

Bileşik	Verim(%)			Zaman		
	Klasik Yöntem	Ev tipi Mikrodalga	Monomod Mikrodalga	Klasik Yöntem (saat)	Ev tipi Mikrodalga (dakika)	Monomod Mikrodalga (dakika)
6a	75	76	90	8	10 (2x5)	5
6b	62	71	89	8	10 (2x5)	5
6c	74	79	90	8	10 (2x5)	5
6d	65	80	84	8	10(2x5)	5
6e	76	81	83	8	10 (2x5)	5
6f	72	75	87	8	10 (2x5)	5
7a	83	81	93	5	5	5
7b	72	73	77	5	5	5
7c	79	85	85	5	5	5

Her üç yöntem ile elde edilen ürünlerin saflık dereceleri, hem ince tabaka kromatografisi hem de erime noktası kontrolüyle kontrol edilmiştir. Monomod mikrodalga ile elde edilen ürünlerin 1 defa 20 ml etanol ile yıkanarak saflaştırılması sonucunda, diğer yöntemlerle elde edilen ürünlerden daha saf (ince tabaka kromatografisi kontrolü sonucu) ve literatür ile uyumlu erime noktalarına sahip bileşikler elde edildiği görülmüştür. Ev tipi mikrodalga cihazıyla ve klasik yöntemle elde edilen ürünlerin saflaştırılmasında ise 20 mL etanol ile 2-3 kez yıkanarak saf ve literatür ile uyumlu erime noktasına sahip ürünler elde edilmiştir. Reaksiyon için ve saflaştırma için kullanılan çözücü kullanımları düşünüldüğünde monomod mikrodalga cihazı kullanımının daha çevreci bir yöntem olduğu açıkça görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2. de verilmiştir.

Tablo 2. Klasik ve Mikrodalga Isıtma Yöntemlerinin Çözücü Kullanımı Yönünden Karşılaştırılması

Bileşik	Reaksiyon asnasında (mL)			Saflaştırma için (mL)		
	Klasik Yöntem	Ev tipi Mikrodalga	Monomod Mikrodalga	Klasik Yöntem	Ev tipi Mikrodalga (dakika)	Monomod Mikrodalga
6a	50	30	10	40 (2x20)	40 (2x20)	20
6b	50	30	10	40 (2x20)	40 (2x20)	20
6c	50	30	10	40 (2x20)	40 (2x20)	20
6d	50	30	10	40 (2x20)	40 (2x20)	20
6e	50	30	10	60 (3x20)	60 (3x20)	20
6f	50	30	10	40 (2x20)	40 (2x20)	20
7a	40	35	10	40 (2x20)	40 (2x20)	20
7b	40	35	10	60 (3x20)	40 (2x20)	20
7c	40	35	10	60 (3x20)	60 (3x20)	20

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, daha önce çalışma grubumuz tarafından klasik yöntemle sentezi gerçekleştirilen isatin ve kumarin içeren benzoksazol hibrit bileşiklerin sentezi literatürde ki yöntemden farklı olarak ev tipi ve monomod mikrodalga cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hem ev tipi hem de monomod mikrodalga cihazının kullanımı, geleneksel ısıtmaya göre elde edilen ürün verimi, saflığı, reaksiyon süresi ve kullanılan enerji açısından avantaj sağlamıştır. Monomod mikrodalga cihazında, ortama gelen mikrodalga ışınların doğrudan gelmesinden dolayı, ev tipi mikrodalga cihazıyla gerçekleştirilen senteze göre verim ve saflık derecesi açısından önemli avantajlar sağlamıştır. Ayrıca, monomod mikrodalga cihazıyla gerçekleştirilen sentezler, ev tipi mikrodalga cihazı kullanımına göre daha az çözücü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda, monomod mikrodalga cihazıyla elde edilen ürünlerin daha saf olmasından dolayı saflaştırma için kullanılan çözücü miktarında daha az kullanıldığı görülmüştür. Bundan dolayı, bu tür bileşiklerin sentezi için daha önce geliştirilen klasik yöntemle göre, monomod mikrodalga cihazı kullanılarak daha hızlı, verimli, çevreci ve ekonomik bir şekilde sentezi bu çalışmayla gerçekleştirilmiştir. Monomod mikrodalga cihazı kullanılarak bu tür bileşiklerin sentezinin gerçekleştirilmesiyle, hem daha ekonomik, daha çevreci ve aynı zamanda çok daha kısa sürede ve saf ürünler elde edilebildiği bu çalışmada gösterilmiştir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Baraldi, P. G., Bovero, A., Fruttarolo, F., Preti, D., Tabrizi, M. A., Pavani, M. G., & Romagnoli, R. (2004). DNA minor groove binders as potential antitumor and antimicrobial agents. In *Medicinal Research Reviews*, 24(4), 475–528.
- Creaven, B. S., Egan, D. A., Kavanagh, K., McCann, M., Noble, A., Thati, B., & Walsh, M. (2006). Synthesis, characterization and antimicrobial activity of a series of substituted coumarin-3-carboxylatosilver(I) complexes. *Inorganica Chimica Acta*, 359(12), 3976–3984.

- Danko, M., Szabo, E., & Hrdlovic, P. (2011). Synthesis and spectral characteristics of fluorescent dyes based on coumarin fluorophore and hindered amine stabilizer in solution and polymer matrices. *Dyes and Pigments*, 90(2), 129–138.
- Elsaman, T., Mohamed, M. S., Eltayib, E. M., Abdel-aziz, H. A., Abdalla, A. E., Munir, M. U., & Mohamed, M. A. (2022). Isatin derivatives as broad-spectrum antiviral agents: the current landscape. *Medicinal Chemistry Research*, 31(2), 244–273.
- Gencer, N., Sonmez, F., Demir, D., Arslan, O., & Kucukislamoglu, M. (2014). Synthesis, Structure-Activity Relationships and Biological Activity of New Isatin Derivatives as Tyrosinase Inhibitors. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 14 (12), 1450-1462.
- Güner, A., Bektaş, H. & Menteşe, E. (2022). Novel Coumarin Derivatives Containing a Triazole Moiety: A Study on Synthesis, Cytotoxicity, Membrane Dysfunction, Apoptosis, Cell Cycle, and Antiangiogenic Effects. *Anti-cancer agents in Medicinal Chemistry*, 13, 2429-2438.
- Kahveci, B. (2005). Synthesis of 4-Amino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazole-5-ones and their Isatin-3-imine Derivatives. *Molecules*, 10(2), 376–382.
- Kahveci, B., Karaali, N., Yılmaz, F., & Menteşe, E. (2014). An efficient synthesis of some new bisbenzimidazoles via microwave technique. *Turkish Journal of Chemistry*, 38(3), 423–429.
- Kahveci, B., Yılmaz, F., Menteşe, E., & Ülker, S. (2015). Microwave-assisted synthesis of some new coumarin derivatives including 1,2,4-triazol-3-one and investigation of their biological activities. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, 51(5), 447–456.
- Kahveci, B., Yılmaz, F., Menteşe, E., & Ülker, S. (2017). Design, Synthesis, and Biological Evaluation of Coumarin–Triazole Hybrid Molecules as Potential Antitumor and Pancreatic Lipase Agents. *Archiv Der Pharmazie*, 350(8), 1–9.
- Kakkar, S., Kumar, S., Narasimhan, B., Lim, S. M., Ramasamy, K., Mani, V., & Shah, S. A. A. (2018). Design, synthesis and biological potential of heterocyclic benzoxazole scaffolds as promising antimicrobial and anticancer agents. *Chemistry Central Journal*, 12(1), 1–12.
- Kappe, C. O. (2004). Controlled Microwave Heating in Modern Organic Synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 43(46), 6250–6284.
- Kaur, A., Pathak, D. P., Sharma, V., & Wakode, S. (2018). Synthesis, biological evaluation and docking study of a new series of di-substituted benzoxazole derivatives as selective COX-2 inhibitors and anti-inflammatory agents. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 26(4), 891–902.
- Menteşe, E., Çalışkan, N., Bilgin Sökmen, B., & Akyüz, G. (2024). Synthesis and Biological Evaluation of Coumarin-Amino Acid-Benzotriazole Conjugates. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 50, 191-200.
- Nath, R., Pathania, S., Grover, G., & Akhtar, M. J. (2020). Isatin containing heterocycles for different biological activities: Analysis of structure activity relationship. *Journal of Molecular Structure*, 1222, 1-58.
- Prusty, J. S., & Kumar, A. (2020). Coumarins: antifungal effectiveness and future therapeutic scope. *Molecular Diversity*, 24(4), 1367–1383.

- Raju, R., Chidambaram, K., Chandrasekaran, B., Bayan, M. F., Kumar Maity, T., Alkahtani, A. M., & Chandramoorthy, H. C. (2023). Synthesis, pharmacological evaluation, and molecular modeling studies of novel isatin hybrids as potential anticancer agents. *Journal of Saudi Chemical Society*, 27(2), 101598.
- Safakish, M., Hajimahdi, Z., Zabihollahi, R., Aghasadeghi, M. R., Vahabpour, R., & Zarghi, A. (2017). Design, synthesis, and docking studies of new 2-benzoxazolinone derivatives as anti-HIV-1 agents. *Medicinal Chemistry Research*, 26(11), 2718–2726.
- Shults, E. E., Bondarenko, S. P., Shakirov, M. M., Bagryanskaya, I. Y., & Tolstikov, G. A. (2010). Synthesis of 7-(furan-2-yl)-7,8,10,10a-tetrahydro-6H-benzo[c]-chromen-6,9(6aH)-diones. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 46(11), 1709–1718.
- Yilmaz, F. & Faiz, Ö. (2018). Microwave-Assisted Synthesis and Biological Evaluation of Some Coumarin Hydrazides. *Turkish Journal of Chemical Society Section A.*, 5(2), 551-568.
- Yilmaz, F., Menteşe, E., & Sökmen, B. B. (2020). Synthesis and biological evaluation of some 1,3-benzoxazol-2(3H)-one hybrid molecules as potential antioxidant and urease inhibitors. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, 58(1), 260–269.
- Yılmaz, F., Menteşe, E., & Baltaş, N. (2019). Synthesis and Biological Evaluation of Some Succinimide Hybrid Molecules. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 45(6), 575–584.



İSTANBUL TİCARET ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

İstanbul Commerce University Journal of Science

<http://dergipark.org.tr/ticaretfbid>



Research Article / Araştırma. Makalesi

A HERBAL TREATMENT METHOD FOR BREAST CANCER: ANTITUMOR EFFECT OF MOMORDICA CHARANTIA

MEME KANSERİNE BİTKİSEL TEDAVİ YÖNTEMİ:
MOMORDICA CHARANTIA'NIN ANTİTÜMÖR ETKİSİ

Murat IHLAMUR¹

**Kübra KELLEÇİ²
Emrah Şefik ABAMOR⁴**

Melisa ÖZKAN³

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1356139>

Corresponding Author/ Sorumlu Yazar
kubragkelleci@gmail.com

Received / Geliş Tarihi
06.09.2023

Accepted / Kabul Tarihi
09.05.2024

Abstract

Using plant-based treatment approaches and herbal medicines is getting attention these days to avoid the side effects of the current treatment methods for cancer. According to the literature, bitter melon extract exhibits cytotoxic effects against cancer by affecting the hormonal pathways. Therefore, in this research, the effects of the bitter melon extract with its combination of different concentrations of drugs were investigated against different cell lines (MCF-7, MDA-MB-231, RAW 264.7, J774). Both hormone-positive and negative breast cancer cell lines were used and the obtained data were compared with the literature. As a result, when exposed to bitter melon extract, the hormone-positive breast cancer cell line MCF-7 exhibits more cytotoxic effects compared to the triple hormone-negative breast cancer cell line MDA-MBA-231. For the combination of drugs along with the bitter melon extract; the highest cytotoxicity was observed with Tamoxifen.

Keywords: Breast cancer, cancer treatment, Momordica charantia, phytotherapy.

Öz

Kanserde mevcut tedavi yöntemlerinin yan etkilerinden korunmak için bitki bazlı tedavi yaklaşımları ve bitkisel ilaçların kullanımı günümüzde dikkat çekmektedir. Literatüre göre acı kavun ekstraktı hormonal yolları etkileyerek kansere karşı sitotoksik etki göstermektedir. Bu nedenle bu çalışmada acı kavun ekstraktının farklı konsantrasyonlarda ilaç kombinasyonu ile farklı hücre hatlarına (MCF-7, MDA-MB-231, RAW 264.7, J774) karşı etkileri araştırıldı. Hem hormon pozitif hem de negatif meme kanseri hücre hatları kullanıldı ve elde edilen veriler literatürle karşılaştırıldı. Sonuç olarak; Acı kavun ekstraktına maruz bırakıldığında, hormon pozitif meme kanseri hücre dizisi MCF-7, üçlü hormon negatif meme kanseri hücre dizisi MDA-MBA-231 ile karşılaştırıldığında daha fazla sitotoksik etki sergiler. Kudret narı ekstraktı ile birlikte kullanılan ilaçların kombinasyonu için en yüksek sitotoksiste Tamoksifen ile gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Fitoterapi, kanser tedavisi, meme kanseri, Momordica charantia.

¹Biruni University, Department of Electronics and Automation, İstanbul, Türkiye.
ihlamurmurat@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-0458-5638.

²Yıldız Technical University, Department of Bioengineering, İstanbul, Türkiye.
kubragkelleci@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-9409-2254.

³Yıldız Technical University, Department of Bioengineering, İstanbul, Türkiye.
melisaozk1@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-5899-6037.

⁴Yıldız Technical University, Department of Bioengineering, İstanbul, Türkiye.
esabamor@gmail.com, Orcid.org/0000-0002-9174-4528.

1. INTRODUCTION

Cancer; it can be caused by external factors such as uncontrolled proliferation of cells, carcinogens, radiation, and chemicals, or internal factors such as genetic mutations and DNA damage (Ihlamur et al.,2024a; Ihlamur et al.,2024b). Breast cancer is one of the most common cancer types among women worldwide and can cause a significant amount of deaths per year. However, in the early stages of breast cancer, approximately 70% of the patients can be cured with proper treatment. Chemotherapy and radiotherapy can significantly damage and kill cancer cells. Due to the side effects of the therapies used today, it is crucial to develop new treatment strategies that can be both effective and safe at the same time (Ihlamur et al.,2022; Zengin et al.,2022).

Since natural plants do not show any side effects, their use has gained importance in the development of new alternative treatments against cancer (Alkabban et al. 2022). To date, it has been observed that plant extracts such as *Taraxacum officinale* (Mir et al.,2013), *Uncaria tomentosa* (De Paula et al.,2015), *Astragalus membranaceus* (Zhou et al.,2018), *Ocimum sanctum* (Flegkas et al.,2018), *Allium sativum* (Shareef et al.,2016), *Punica granatum* (Kelleci,2023), ginger (Ibrahim et al.,2022), green tea (Cheng et al.,2020), and bitter melon (Weng et al.,2013) have been the subject of research for the treatment of breast cancer. These plants have various active components such as secondary metabolites, phenolic acids, flavonoids, tannins, anthocyanin, etc. that can be used in the treatment of cancer (Shobha et al.,2015). These active agents obtained from plants can exhibit anticancer activity. In addition, recent studies also show that using plant-based active agents with a combination of drugs against cancer can increase the efficiency of anticancer drugs.

It has been reported that dandelion (*Taraxacum officinale*) extract affects the growth of breast cancer cells dependent on extracellular receptor kinases on the MCF-7 / AZ cell line (Sigstedt et al.,2008). Another study proved that the anti-carcinogenic effect of *Taraxacum officinale* was due to the presence of compounds such as phenyl acetyl, 4-hydroxyphenylacetyl, 4-hydroxyphenylglyoxyl (Mir et al.,2013). Cat's claw (*Uncaria tomentosa*) bark extract has been reported to affect the growth of MCF-7 cell line through anti-proliferative effect (Riva et al.,2001) Cat's claw has been reported to cause apoptosis because it contains anti-proliferative alkaloids such as pteropodine, uncarine, oxindole and isopteropodine (De Paula et al.,2015; Pilarski et al.,2010). They also reported that the extract has anti-proliferative, anti-inflammatory and anti-mutagenic properties due to the activation of caspase-3, which also shows a cytostatic effect (De Martino et al.,2006). Goat thistle (*Astragalus membranaceus*) contains toxic components such as trihydroxyoctahydroindolizidine, a lysosomal inhibitor of α -mannosidase, which is used to treat breast cancer and suppress tumor growth (Zhou et al.,2018). It induces cell proliferation and apoptosis of *Astragalus membranaceus* (Wang et al.,2015). A study reported that *Astragalus membranaceus* extract inhibited cell proliferation of MCF-7, MDA-MB-231 and SK-BR-3 cell lines and reduced p-PI3K, p-Akt, p-GSK-3 β and p-mTOR enzyme levels has been reported (Zhou et al.,2018). Holy basil (*Ocimum sanctum*) has been reported to inhibit MDA-MB-435 breast cancer cell migration by targeting vascular endothelial growth factors. (Flegkas et al.,2018). Garlic (*Allium sativum*) exhibits anticancer properties by stimulating macrophages and lymphocytes, as it contains high amounts of polysulphide and sulphite. It is also known that it contains a sulfur-binding substance called Ajoene, which delays the progression of cancer (Shareef et al.,2016).

Momordica charantia, also known as bitter melon or bitter gourd, is a vegetable that can be easily found in the tropics, Asia, South America and Africa. It has been used as a traditional herbal medicine among the public for decades due to its beneficial effects on human health. *Momordica charantia* is known to have antidiabetic, anticarcinogenic, antiviral and anti-inflammatory properties thanks to its bioactive components (steroids, alkaloids, flavonoids, proteins, etc.) (Bortolotti et al. 2019). These metabolites induce apoptosis in breast cancer cells by affecting

related hormonal pathways. The most important factor in exhibiting antimutagen and antioxidant properties of bitter melon is that it has rich phenolic compounds, especially gallic acid (Budrat and Shotipruk, 2008). One study reported that a bioactive triterpene isolated from *Momordica charantia* extract induced apoptotic death in breast cancer cell lines (MCF-7 and MDA-MB-231) (Weng et al., 2013). It is known to be effective against breast cancer thanks to the Cucurbitan type triterpenoids it contains (Sur et al. 2020; Güneş et al. 2019). In a study, these triterpenes were isolated and proved to have cytotoxic effects against different cell lines of breast cancer (MDA-MB-231 and MCF-7). Also kuguoside A; momordicosin I, F1 and K; It has been reported that goyaglycoside-b and goyaglycoside-b reduce cell viability and proliferation, while eleostearic acid, RNase MC2 and MAP30 inhibit cell growth and cause apoptosis (Raina et al. 2016). Another study investigated the efficacy of MCE treatment in MCF-7 and MDA-MB-231 breast cancer cells and primary human breast epithelial cells. As a result, it was reported that cell apoptosis increased and a serious decrease in cell proliferation occurred (Ray et al., 2010). In a study investigating the cytotoxicity of bitter melon extract against cervical cancer, it was determined that it was 98% at 120 µg/ml concentration and 0% at 80 µg/ml concentration for HeLa cells. In SiHa cells, it was reported to be 0% at 140 µg/ml and 70% at 180 µg/ml (Fongmoon, 2013). It has been reported that bitter melon fruit and its extract exhibit a high antiproliferative activity in HeLa cells (Deshmukh et al., 2014). In another study, it was reported that the concomitant use of MCE with doxorubicin (DOX) increased the proliferation effect in colon cancer, HT-29 cells, and MDCK cells and decreased the expression of multidrug resistance (Kwatra et al., 2013). All these studies show that MCE increases the effectiveness of chemical drugs used in cancer treatment, positively affects bioavailability, and exhibits anticancer effects.

It is expected that the use of natural plant extracts in addition to existing anticancer drugs in cancer treatment will have beneficial effects. Therefore in this study, bitter melon extract, which is known to be rich in flavonoids was combined with two different anticancer drugs (Tamoxifen and Proleukin) to investigate its anticarcinogenic activity on breast cancer cell lines (hormone positive: MCF-7, hormone negative: MDA-MBA-231). RAW 264.7 macrophage cells and L929 fibroblast cells were used to detect non-toxic concentrations of bitter melon extract. Proleukin and Tamoxifen are drugs used for immunotherapy and are approved for use against cancer (Debela et al. 2021; Amaria et al. 2015). The effects of the extract alone and in combination with drugs have been observed through *in vitro* experiments to prove our claim.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. The Extraction of *M. Charantia*

For the extraction, *M. charantia* plant was taken and washed under distilled water. The seeds were removed, and the microwave was used for 20 minutes to remove the excess water. The 8 grams of remaining dusted bitter melon and 50 ml methanol solution were mixed. The mixture was left for incubation for 6 days in the dark. After that, filtration paper (Whatman No.1) was used, as a result, a mixture of extract and methanol was obtained. To separate the extract from the mixture, methanol was evaporated. Therefore, the bitter melon extract was ready to be used for further experimentation (Sultana et al. 2009).

2.2. Preparation of Cell Culture

Human breast cancer cells (MCF-7 and MDA-MB-231) and macrophage cell lines (J774 and RAW 264.7) were obtained from the cryobank at Yildiz Technical University Cell Culture Laboratory (İstanbul, Turkey). Breast cancer cells were cultured in DMEM/F12 medium and other cell lines were cultured with RPMI-1640 (Gibco) medium. Additionally, Fetal Bovine Serum

(FBS) (Sigma), 1% L-glutamine, and 1% penicillin-streptomycin were added to the medium. After that, cells were incubated in the incubator that contained 5% CO₂, at under 37°C. The cell growth was observed each day under the inverted microscope. The number of passages of the cell cultures that were used in the experiment is between 10-15.

Once the cells reached the necessary growth, MCF-7 and MDA-MBA-231 cell lines were gathered in an enzymatic way while J774 and RAW 264 cell lines were centrifuged for 5 minutes at 1000 rpm and 25°C in a physical way. After that, cells were seeded using a 96-well plate. Each well had 1x10⁵ cell/ml and they were supplemented with colorless DMEM/F12 medium with 10% FBS solution. The plates were incubated for 24 hours (Gallet et al. 2004).

2.3. Cell Viability Analysis

To determine the cytotoxic effects of the bitter melon extract and its combination with drugs, a 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) assay was conducted. Extract (10 µg/ml, 20 µg/ml, 40 µg/ml, 80 µg/ml, 100 µg/ml), drug (10 µg/ml, 20 µg/ml, 40 µg/ml, 80 µg/ml, 100 µg/ml) and the combination of extract-drug (40 µg/ml extract ve 10 µg/ml, 20 µg/ml, 40 µg/ml, 80 µg/ml, 100 µg/ml drug) were added to the plate wells where cells were seeded with the colorless medium. Each well had 1x10⁵ cells inside. Afterward, the plates were left for incubation for 48 hours inside the incubator with 5% CO₂ and 37°C. Then, 10 µl MTT (10 mg/ml) solution was added to each well. After incubation for 3 hours under the same conditions, 100 µl DMSO (Dimethyl sulfoxide) was added to each well, and plates were kept in the dark for 30 minutes so that the reaction could occur. The cell viability was measured under a UV-Vis Spectrometer under 570 nm wavelength (Ghasemi et al. 2021). Every experiment group was tested 3 times and the mean of it was calculated. The cell viability was measured by using equation 1 given below and the graphics were obtained.

$$\text{Cell viability (\%)} = (\text{sample absorbance/control absorbance}) * 100 \quad (1)$$

2.4. Statistical Analysis

All experimental data were presented as the mean ± standard deviation and each experiment was performed at least three times. The statistical analyses were performed by one-way ANOVA using SPSS version 25.0 (SPSS, IL, USA). Values of $p < 0,05$ were considered statistically significant.

3. RESULTS AND DISCUSSION

It is approved many previous studies in the literature that plants have active components that can suppress cancer pathways. The secondary metabolites, phenolic acids, tannins, anthocyanin, etc. can be used in the design of new treatments against cancer. Based on this knowledge in the literature, in this research, bitter melon extract and its combination with different cancer drugs in various concentrations were used to determine its effects against breast cancer. The extract was prepared by using the maceration method. To determine the cytotoxic effects of bitter melon extract, J774, and RAW 264.7 macrophage cell lines were used. To observe its killing activity against breast cancer cells, MCF-7 and MDA-MB-231 breast cancer cell lines were used.

In addition, the most suitable and efficient combination of bitter melon extract-drug (Tamoxifen, Proleukin) formulations were determined which can be used for *in vivo* studies for the treatment of breast cancer. For this purpose, first of all, the most suitable extract concentration was determined and then its combination of different concentrations of drugs was investigated to determine the most efficient one.

The percentage of cell viability is given in the figures. For each figure, the percentage of cell viability is taken as 100% and the rate of cell viability of other groups was determined according to the positive control group. After the incubation for 48 hours, MTT cell viability analysis was conducted, and the groups were compared with each other by their cell viability percentage. The cell viability analysis of the J774 and RAW 264.7 when they are exposed to the different concentrations of the extract is given in Figure 1.

The highest killing activity is observed in the group where 100 $\mu\text{g/ml}$ bitter melon concentration is used. Therefore, this concentration was not evaluated. The results of the experiment are consistent with the literature. For the 40 $\mu\text{g/ml}$ concentration of bitter melon extract, 108,02 % cell viability is observed for the J774 cell line while the percentage slightly increased to 109,44 % for the RAW 264,7 cell line according to the MTT test which was conducted 24th hours after the incubation.

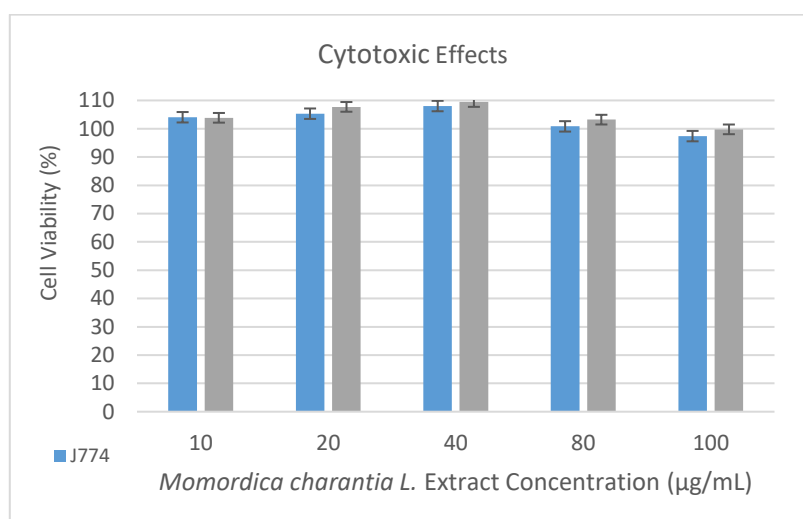


Figure 1. The Cytotoxic Effects of The Bitter Melon Extract Against J774 and RAW 264,7 Cell Lines

The viability of the breast cancer cells when they are exposed to the bitter melon extract is given in Figure 2. As can be seen in the figure given above, the cancer cell viability is decreased as the concentration of the extract decreases. When 40 $\mu\text{g/ml}$ concentration of the bitter melon extract is used against MCF-7 breast cancer cell lines, after incubation for 48 hours, it is determined that the percentage of cell viability is 80,26%. When the same concentration of bitter melon extract is applied to the MDA-MB-231 breast cancer cell line, the cell viability is observed as 81,06% after the 48th hour.

The cell viability analysis at the 48th hour of J774 and RAW 264,7 macrophage cell lines is given in Figure 3. For the 40 $\mu\text{g/ml}$ concentration of Tamoxifen, 79,89% cell viability is observed for the J774 cell line while the percentage is 80,57% for the RAW 264,7 cell line. For the 40 $\mu\text{g/ml}$ concentration of Proleukin, 81,69% cell viability is observed for the J774 cell line while the percentage is 82,31% for the RAW 264.7 cell line.

The results of the cell viability analysis of the MCF-7 breast cancer cell line at the 48th hour, when exposed to Tamoxifen and Proleukin, are given in Figure 4. For the 40 $\mu\text{g/ml}$ concentration of Tamoxifen, 62,03% cell viability is observed while the 40 $\mu\text{g/ml}$ concentration of Proleukin exhibited 65,18% viability. The results of the cell viability analysis of the MDA-MB-231 breast cancer cell line at the 48th hour, when exposed to Tamoxifen and Proleukin, are given in Figure 4.

For the 40 µg/ml concentration of Tamoxifen, 65.96% cell viability is observed while the 40 µg/ml concentration of Proleukin exhibited 68,13% viability.

In this research, the highest cytotoxicity is observed with a 40 µg/ml concentration of the extract. Therefore, the drug combinations were applied with this concentration. The cell viability of J774 and RAW 264,7 cell lines, when exposed to the Tamoxifen and Proleukin drugs at the 48th hour, is given in Figure 5. For the 40 µg/ml bitter melon extract-40 µg/ml concentration of Tamoxifen, 81,85% cell viability is observed in the J774 cell line while the RAW 264.7 cell line showed 82,03% viability.

For the 40 µg/ml bitter melon extract-40 µg/ml concentration of Proleukin, 83,4 7% cell viability is observed in the J774 cell line while RAW 264,7 showed 84% cell viability. The drugs used for the treatment of breast cancer are used to kill cancer cells. However, they have some disadvantages such as; when the drugs are applied alone, they show cytotoxic effects and they are not efficient enough. Therefore, studies show that combining drugs with plant extracts can increase the efficiency of the anti-cancer effects of the drugs while decreasing their cytotoxicity. The results of this research also support this hypothesis.

The results of the cell viability analysis of the MCF-7 breast cancer cell line at the 48th hour, when exposed to Tamoxifen and Proleukin, are given in Figure 6. For the 40 µg/ml bitter melon extract-40 µg/ml concentration of Tamoxifen, 44,03% cell viability is observed while 40 µg/ml bitter melon extract-40 µg/ml Proleukin, showed 48,02% cell viability at 48th hour. The results of the cell viability analysis of the MDA-MB-231 breast cancer cell line at the 48th hour, when exposed to Tamoxifen and Proleukin, are given in Figure 6. For the 40 µg/ml bitter melon extract-40 µg/ml concentration of Tamoxifen, 47,36% cell viability is observed while 40 µg/ml bitter melon extract-40 µg/ml Proleukin, showed 52,96% cell viability.

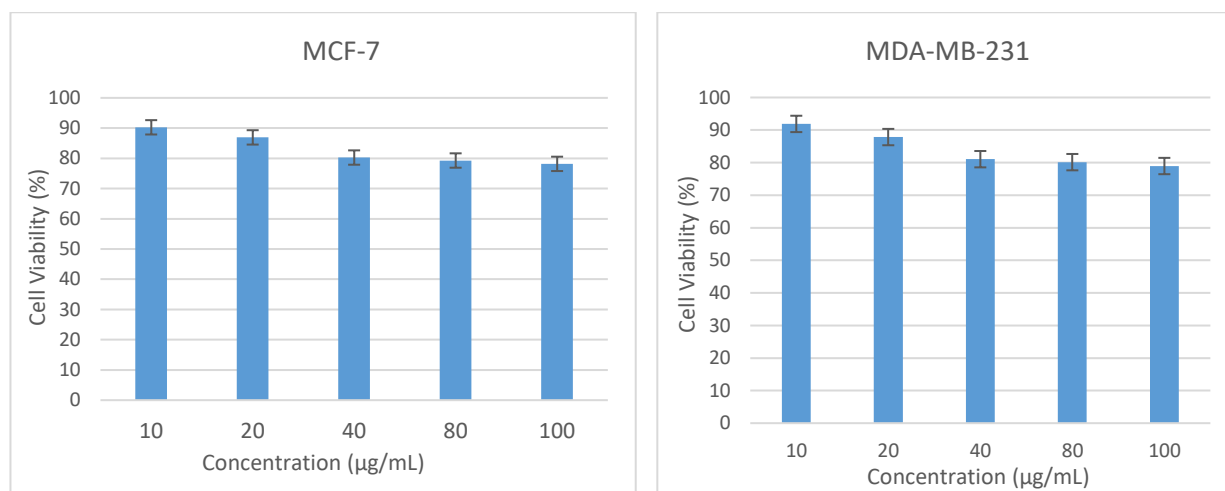


Figure 2. The Cytotoxicity Analysis of Bitter Melon Extract Against Breast Cancer Cells

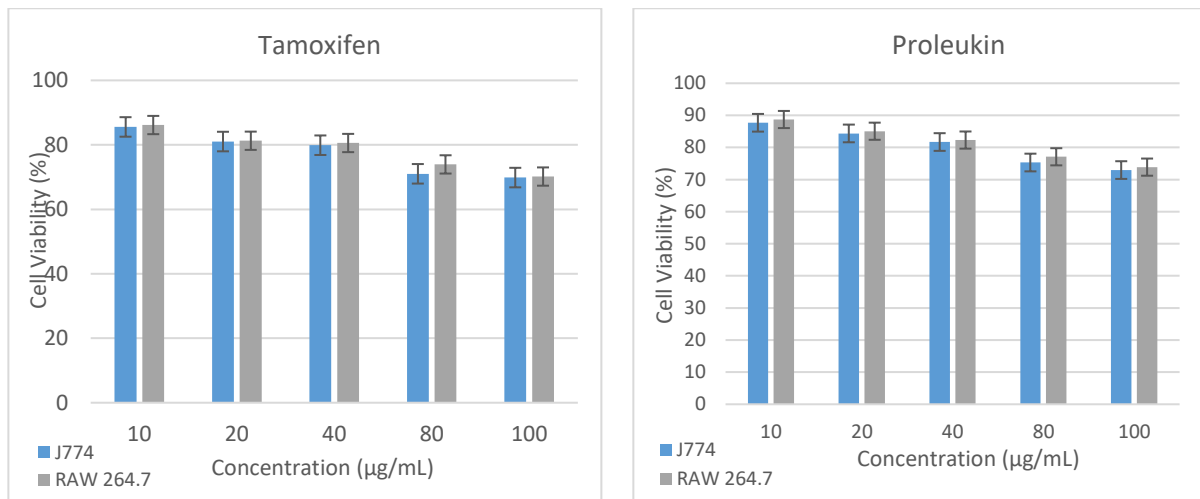


Figure 3. The Cytotoxicity of Tamoxifen and Proleukin Against J774 and RAW 264,7 Cell Lines

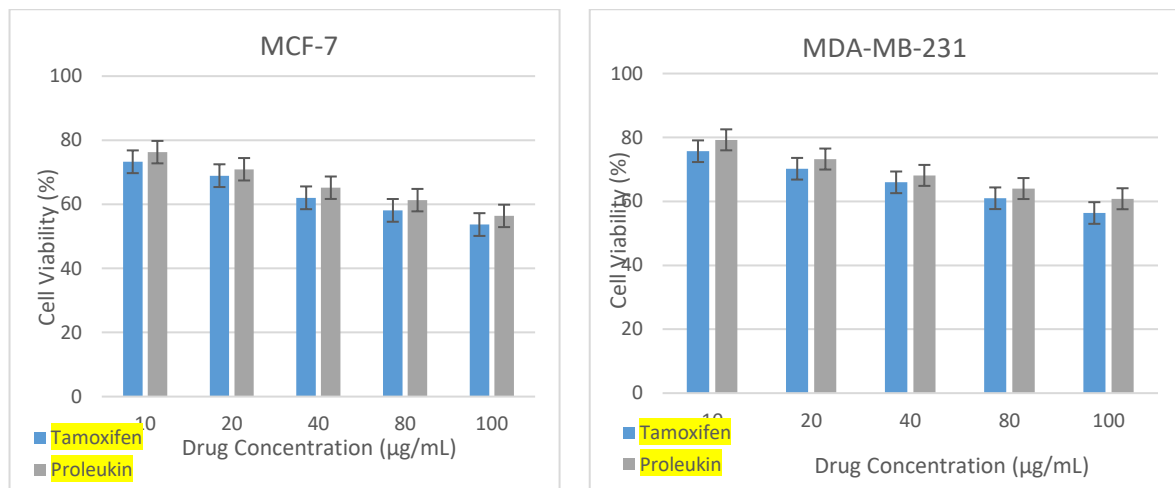


Figure 4. The Cytotoxic Effect of Tamoxifen and Proleukin Cancer Drugs Against MCF-7 and MDA-MB-231 Breast Cancer Cell Line

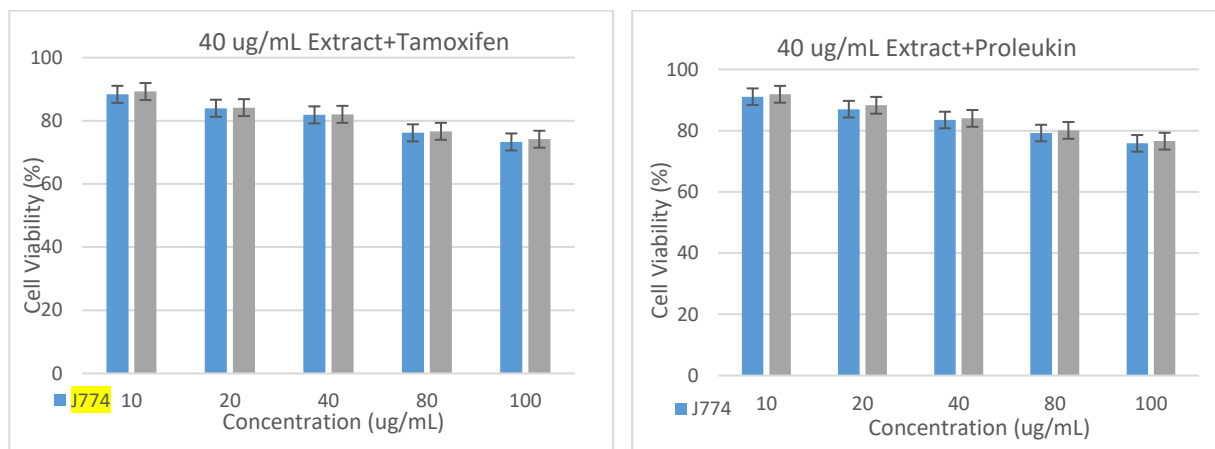


Figure 5. The Cytotoxic Effect of Tamoxifen And Proleukin Cancer Drugs Against J774 and RAW 264,7 Cell Line

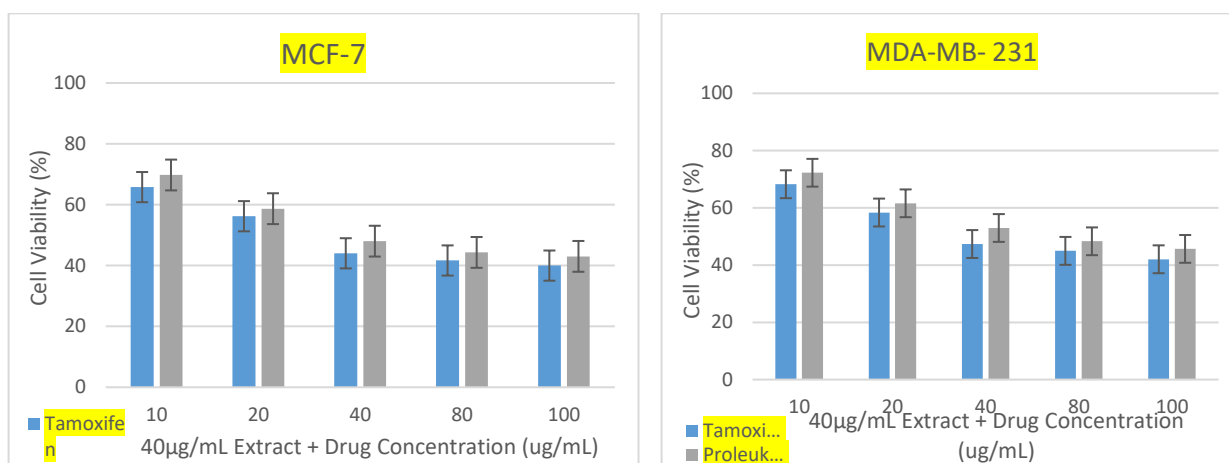


Figure 6. The Cytotoxic Effect of Tamoxifen and Proleukin Cancer Drugs Against MCF-7 and MDA-MB- 231 Cancer Cell Line.

In this research, the bitter melon extract was obtained by the maceration method. The extract was applied to 4 different cell lines. As a result of the cytotoxicity analysis, the bitter melon extract did not exhibit any cytotoxic effects against J774 and RAW 264.7 macrophage cell lines. Cell viability has increased when exposed to bitter melon extract with 10, 20, 40, and 80 $\mu\text{g/ml}$ concentrations. However, for the 100 $\mu\text{g/ml}$ concentration of bitter melon, the extract showed cytotoxic effects.

MCF-7 and MDA-MB-231 breast cancer cell lines were exposed to 40 $\mu\text{g/ml}$ concentration of bitter melon extract alone and it was observed that the extract can kill cancer cells, however, this rate was not high. In addition, the cytotoxic effects of the extract were higher against hormone receptor-positive cell line MCF-7 when compared to the triple-negative MDA-MD-231 cell line. The metabolites in bitter melon could affect the MCF-7 cell line more and this could be responsible for this difference.

Additionally, the effects of the combination of a bitter melon extract with breast cancer drugs, Tamoxifen and Proleukin, were investigated. High mortality rates in cancer cells were observed when exposed to the combination of bitter melon extract and anti-cancer drugs. The combination of 40 $\mu\text{g/ml}$ extract and 40 μg Tamoxifen exhibits the highest cytotoxic effect against MCF-7 and MDA-MB-231 breast cancer cell lines.

When Tamoxifen and Proleukin were compared, 40 μg Tamoxifen with 40 $\mu\text{g/ml}$ extract had the highest cytotoxic effect against MCF-7 cancer cell lines. The reason for this is due to the specific molecules inside bitter melon that can cause apoptosis by inhibiting the estrogen signaling pathway. As a result, it was observed that the combination of extract and Tamoxifen can induce apoptosis, cell growth, and proliferation.

4. CONCLUSION

In this research, the highest cytotoxic effect was observed against positive breast cancer cell lines due to the bitter melon metabolites. In addition, the bitter melon extract also exhibits cytotoxic effects against triple-negative cancer cell lines. However, the extract did not show any toxic effects on healthy cells. Therefore, it is clear that the bitter melon extract can be an effective new agent when combined with drugs against breast cancer due to its anticancer effects. even though the extract on its own was not sufficient enough for treatment. However, it was observed that; when combined with drugs, bitter melon extract can increase the effectiveness of the drugs. As a result,

it is promising to use bitter melon extract-drug combinations to design new treatment approaches with new drug formulations against breast cancer.

Further studies are needed to know the exact cause of the increased cell inhibition. Bioactive compounds, especially phenols, in the extract, should be identified with high-tech devices such as HPLC and MS. Identified compounds should be retested in MCF-7 as well as MDA-MB-231 breast cancer cell lines to determine their cytotoxicity. Developed formulations must be adapted on a large scale. It is also essential to determine the therapeutic index and detect toxic symptoms by performing animal experiments.

Contribution of The Authors

Kübra KELLEÇİ and Murat IHLAMUR contributed to the concept, design, and to the writing of the manuscript. Melisa ÖZKAN and Murat IHLAMUR contributed to the conduct of the experiments. Murat IHLAMUR, Melisa ÖZKAN and Kübra KELLEÇİ contributed to the literature search and preparation of figures. Emrah Şefik ABAMOR is a supervisor. The article has been read and approved by all authors.

Declaration of Interest statement

The authors declare no conflict of interest.

Funding

The author(s) reported there is no funding associated with the work featured in this article.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were complied with in the study.

REFERENCES

- Akihisa, T., Higo, N., Tokuda, H., Ukiya, M., Akazawa, H., Tochigi, Y., ... & Nishino, H. (2007). Cucurbitane-type triterpenoids from the fruits of *Momordica charantia* and their cancer chemopreventive effects. *Journal of natural products*, 70(8), 1233-1239.
- Alkabban, F. M., & Ferguson, T. (2022). Breast cancer. Updated 7 August 2021. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- Amaria, R. N., Reuben, A., Cooper, Z. A., & Wargo, J. A. (2015). Update on use of aldesleukin for treatment of high-risk metastatic melanoma. *ImmunoTargets and therapy*, 4, 79.
- Bortolotti, M., Mercatelli, D., & Polito, L. (2019). *Momordica charantia*, a nutraceutical approach for inflammatory related diseases. *Frontiers in pharmacology*, 10, 486.
- Budrat, P., & Shotipruk, A. (2008). Extraction of phenolic compounds from fruits of bitter melon (*Momordica charantia*) with subcritical water extraction and antioxidant activities of these extracts. *Chiang Mai J Sci*, 35(1), 123-130.
- Cheng, Z., Zhang, Z., Han, Y., Wang, J., Wang, Y., Chen, X., ... & Wu, Z. (2020). A review on anti-cancer effect of green tea catechins. *Journal of functional foods*, 74, 104172.

- De Martino, L., Martinot, J. L. S., Franceschelli, S., Leone, A., Pizza, C., & De Feo, V. (2006). Proapoptotic effect of *Uncaria tomentosa* extracts. *Journal of ethnopharmacology*, 107(1), 91-94.
- De Paula, L. C. L., Fonseca, F., Perazzo, F., Cruz, F. M., Cubero, D., Trufelli, D. C., ... & Del Giglio, A. (2015). *Uncaria tomentosa* (cat's claw) improves quality of life in patients with advanced solid tumors. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 21(1), 22-30.
- Debela, D. T., Muzazu, S. G., Heraro, K. D., Ndalama, M. T., Mesele, B. W., Haile, D. C., ... & Manyazewal, T. (2021). New approaches and procedures for cancer treatment: Current perspectives. *SAGE open medicine*, 9, 20503121211034366.
- Deshmukh, S. R., Dhas, Y. K., & Patil, B. A. (2014). Comparative account on medicinal importance of *Momordica charantia* and its endophytes. *World J Pharm Res*, 3, 632-40.
- Flegkas, A., Milosević Ifantis, T., Barda, C., Samara, P., Tsitsilonis, O., & Skaltsa, H. (2019). Antiproliferative activity of (-)-rabdosiin isolated from *Ocimum sanctum* L. *Medicines*, 6(1), 37.
- Fongmoon, D. (2013). Antioxidant Activity and Cytotoxicity of Bitter Melon (*Momordica charantia* L.) Extract Cultured in Lampang Thailand. *NU. International Journal of Science*, 10(2), 18-25.
- Gallet, M., Sévenet, N., Dupont, C., Brazier, M., & Kamel, S. (2004). Breast cancer cell line MDA-MB 231 exerts a potent and direct anti-apoptotic effect on mature osteoclasts. *Biochemical and biophysical research communications*, 319(2), 690-696.
- Ghasemi, M., Turnbull, T., Sebastian, S., & Kempson, I. (2021). The MTT assay: utility, limitations, pitfalls, and interpretation in bulk and single-cell analysis. *International journal of molecular sciences*, 22(23), 12827.
- Güneş, H., Alper, M., & Çelikoğlu, N. (2019). Anticancer effect of the fruit and seed extracts of *Momordica charantia* L.(Cucurbitaceae) on human cancer cell lines. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 18(10), 2057-2065.
- Ibrahim, M. I., Wafaa, D. M., & El Nady, G. H. (2022). Ginger Extract as Potent Anti-Cancer Agent against Breast Cancer. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 13(12), 139-143.
- Ihlamur, M., Başarı, H., Zengin, Y., & Abamor, E. Ş. (2022). Evaluation Of Immunostimulant/Cytotoxic Activity Of Human Breast Cancer Prepared By Different Antigen Preparation Methods With Adjuvants Combination. *Süleyman Demirel University Faculty of Arts and Science Journal of Science*, 17(1), 96-110.
- Ihlamur, M., Akgül, B., Zengin, Y., Korkut, Ş. V., Kelleci, K., & Abamor, E. Ş. (2024a). The mTOR Signaling pathway and mTOR Inhibitors in cancer: Next-generation inhibitors and approaches. *Current Molecular Medicine*.
- Ihlamur, M., Kelleci, K., Zengin, Y., Allahverdiyev, M. A., & Abamor, E. F. (2024b). Applications of Exosome Vesicles in Different Cancer Types as Biomarkers. *Current Molecular Medicine*, 24(3), 281-297.

- Kelleci, K. (2023). *In vitro* Anticarcinogenic, Antiparasitic and Antimicrobial Effects of *P. granatum* Extract. *Biology Bulletin Reviews*, 13(Suppl 3), S264-S269.
- Kobori, M., Ohnishi-Kameyama, M., Akimoto, Y., Yukizaki, C., & Yoshida, M. (2008). α -Eleostearic acid and its dihydroxy derivative are major apoptosis-inducing components of bitter melon. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 56(22), 10515-10520.
- Kwatra, D., Venugopal, A., Standing, D., Ponnuram, S., Dhar, A., Mitra, A., & Anant, S. (2013). Bitter melon extracts enhance the activity of chemotherapeutic agents through the modulation of multiple drug resistance. *Journal of pharmaceutical sciences*, 102(12), 4444-4454.
- Mir, M. A., Sawhney, S. S., & Jassal, M. M. S. (2013). Qualitative and quantitative analysis of phytochemicals of *Taraxacum officinale*. *Wudpecker Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2(1), 1-5.
- Pilarski, R., Filip, B., Wietrzyk, J., Kuraś, M., & Gulewicz, K. (2010). Anticancer activity of the *Uncaria tomentosa* (Willd.) DC. preparations with different oxindole alkaloid composition. *Phytomedicine*, 17(14), 1133-1139.
- Raina, K., Kumar, D., & Agarwal, R. (2016, October). Promise of bitter melon (*Momordica charantia*) bioactives in cancer prevention and therapy. In *Seminars in cancer biology* (Vol. 40, pp. 116-129). Academic Press.
- Ray, R. B., Raychoudhuri, A., Steele, R., & Nerurkar, P. (2010). Bitter melon (*Momordica charantia*) extract inhibits breast cancer cell proliferation by modulating cell cycle regulatory genes and promotes apoptosis. *Cancer Research*, 70(5), 1925-1931.
- Riva, L., Coradini, D., Di Fronzo, G., De Feo, V., De Tommasi, N., De Simone, F., & Pizza, C. (2001). The antiproliferative effects of *Uncaria tomentosa* extracts and fractions on the growth of breast cancer cell line. *Anticancer Research*, 21(4A), 2457-2461.
- Ru, P., Steele, R., Nerurkar, P. V., Phillips, N., & Ray, R. B. (2011). Bitter melon extract impairs prostate cancer cell-cycle progression and delays prostatic intraepithelial neoplasia in TRAMP model. *Cancer prevention research*, 4(12), 2122-2130.
- Shareef, M., Ashraf, M. A., & Sarfraz, M. (2016). Natural cures for breast cancer treatment. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 24(3), 233-240.
- Shobha, C. R., Vishwanath, P., Suma, M. N., Prashant, A., Rangaswamy, C., & Gowdappa, B. H. (2015). *In vitro* anti-cancer activity of ethanolic extract of *Momordica charantia* on cervical and breast cancer cell lines. *Int J Health Allied Sci*, 4(4), 210-210.
- Sigstedt, S. C., Hooten, C. J., Callewaert, M. C., Jenkins, A. R., Romero, A. E., Pullin, M. J., ... & Steelant, W. F. (2008). Evaluation of aqueous extracts of *Taraxacum officinale* on growth and invasion of breast and prostate cancer cells. *International Journal of Oncology*, 32(5), 1085-1090.
- Sultana, B., Anwar, F., & Ashraf, M. (2009). Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. *Molecules*, 14(6), 2167-2180.

- Sur, S., & Ray, R. B. (2020). Bitter melon (*Momordica charantia*), a nutraceutical approach for cancer prevention and therapy. *Cancers*, 12(8), 2064.
- Wang, S., Tang, L., & Chen, F. (2015). Astragaloside III from *Astragalus membranaceus* antagonizes breast cancer growth. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 12(3), 183-186.
- Weng, J. R., Bai, L. Y., Chiu, C. F., Hu, J. L., Chiu, S. J., & Wu, C. Y. (2013). Cucurbitane triterpenoid from *Momordica charantia* induces apoptosis and autophagy in breast cancer cells, in part, through peroxisome proliferator-activated receptor γ activation. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013.
- Zengin, Y., Ihlamur, M., & Başarı, H. (2022). Immunostimulant/cytotoxic effect of cardamom extract with adjuvant combination on breast cancer cell line. *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 229-234.
- Zhou, R., Chen, H., Chen, J., Chen, X., Wen, Y., & Xu, L. (2018). Extract from *Astragalus membranaceus* inhibit breast cancer cells proliferation via PI3K/AKT/mTOR signaling pathway. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18, 1-8.



Research Article / Araştırma Makalesi

GEOTHERMAL ENERGY BASED HYDROGEN ENERGY STORAGE AND CHARGING STATION SYSTEM

JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLI HİDROJEN ENERJİ DEPOLAMA VE ŞARJ İSTASYONU SİSTEMİ

Fikret KAYA¹

Onur AKAR²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1479631>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar
onur.akar@marmara.edu.tr

Received / Geliş Tarihi
06.05.2024

Accepted / Kabul Tarihi
20.05.2024

Abstract

Since the beginning of the 21st century, with the increase in energy demand, the governments of the countries have had to face the increase in the consumption of limited energy resources and environmental pollution. Conventional energy sources are dependent on fossil fuels, which are rapidly declining and have many impacts such as global warming, pollution and high costs. Renewable energy sources (RES) constitute an alternative to energy sources in the future. However, one of the most important disadvantages of RES is that energy is not available continuously and at all times. For the continuous transfer of energy, the sources must be used in conjunction with energy storage systems. Hydrogen energy storage systems (HESS) and their integration into the grid with RES have the greatest potential for energy generation and storage. It controls the grid demand to increase energy sustainability. This paper is based in Aydın, a province rich in geothermal energy resources and focuses on hydrogen energy production and storage with geothermal. Thus, an important alternative for sustainability and a clean environment has been put on the agenda and useful and efficient results have been achieved for energy storage systems.

Keywords: Fast charging station, geothermal energy, hydrogen storage, RES.

Öz

21.yüzyılın başında itibaren enerji talebinin ve tüketiminin artışı ile bilim insanları, dünyamızın enerji kaynaklarının çok sınırlı olduğu ve enerji tüketiminin sınırlı kaynakları tükettiği ve dünyayı kirlettiği sorunuyla yüzleşmek zorunda kaldılar. Geleneksel enerji kaynakları fosil yakıtlara dayalı olup, hızlı çalışmalarını yenilenememelerinin yanı sıra küresel ısınma, kirlilik ve yüksek maliyet gibi birçok etkiye sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) gelecek vaat eden alternatiflerdir. Ancak YEK 'in en büyük sınırlamalarından biri, sürekli olmayan enerji sağlamaları ve çoğuna her zaman ulaşılamamasıdır. Sürekli güç sağlamak için bu enerji kaynaklarının enerji depolama sistemleriyle entegre edilmesi gerekmektedir. Hidrojen enerjisi depolama sistemleri (HydESS) ve bunların YEK'ler ile şebekeye entegrasyonu, enerji üretimi ve depolaması için en büyük potansiyele sahiptir. Enerji sürdürülebilirliğini artırmak için şebeke talebini kontrol eder. Bu makale jeotermal enerji kaynağı olarak zengin bir il olan Kütahya'da yapılmış olup jeotermal ile hidrojen enerjisi üretimine ve depolanmasına odaklanmaktadır. Böylece sürdürülebilirlik ve temiz çevre için önemli bir alternatif gündeme alınmış olup enerji depolama sistemleri için faydalı ve verimli sonuçlara ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrojen depolama, jeotermal enerji, şarj istasyonu, YEK.

¹Marmara University, Department of Electrical and Electronic Engineering, İstanbul, Türkiye.
fikretkaya@marun.edu.tr, Orcid.org/0009-0003-5832-2766.

²Marmara University, Technical Sciences Vocational School, Department of Electronic and Automation, İstanbul, Türkiye.
onur.akar@marmara.edu.tr, Orcid.org/0000-0001-9695-886X.

1. INTRODUCTION

As a precursor to economic expansion, energy is essential for modern economic and social growth. The recent increase in energy demand and environmental issues are two of the world's defining global challenges. Fossil fuels are the most widely used conventional energy source in the last century and have a major impact on climate and environmental pollution. Sulfur oxide and nitrogen oxide gases produced from the burning of fossil fuels cause air pollution and acid rain, as well as carbon dioxide, a greenhouse gas that contributes significantly to global warming. Moreover, fossil fuels will run out in the next few years. Therefore, RESs with different technologies are being investigated based on their sustainability and cost-effectiveness. One of the major limitations of RESs is that they provide intermittent energy, and most of them are not always available (Valverde et al., 2016). Hydrogen energy storage is one of the most recent techniques for storing surplus energy generated during off-peak hours. Considered the energy source of the future and the subject of much research, hydrogen is recognized as an alternative energy source rather than a conventional one. For hydrogen to be used as an energy source in the future, it is essential to solve the economic and technical problems in the production, storage, and transportation processes using RES technologies. Stored hydrogen can also be used as fuel for hydrogen-powered vehicles to generate electricity during peak hours (Luo et al., 2015).

In the literature, studies have been conducted on the sizing of hydrogen storage systems using MATLAB simulation algorithm (Kavadias et al., 2018). They investigated the integration of a hydrogen storage system into an offshore wind farm designed to mitigate the negative effects of wind energy (Recalde Melo & Chang-Chien, 2014). An integrated storage system based on CCPP with wind energy and hydrogen storage system is designed (Gao et al., 2014). It is stated that intermittent solar and wind renewable energy sources can be integrated with coal-fired CCPP using hydrogen (Kamal et al., 2016). A design for a hybrid standalone system combining a hydrogen storage system, wind turbines, electrolyzers and PV panels is presented (Trifkovic et al., 2014). Focused on a storage system consisting of a metal hydrogen accumulator and an alkaline electrolyzer (Gonzatti & Farret, 2016). Management techniques for stored hydrogen energy are examined experimentally and theoretically (Valverde et al., 2016). A microgrid system combining wind and hydrogen energy in Scotland is simulated, and the results are interpreted (Valverde-Isorna et al., 2016). They used methane as a synthetic natural gas, evaluating the requirements of the electrolysis process in energy-to-gas technology (Bailera et al., 2017). Briefly cover recent developments in projects and technologies based on hydrogen fuel and provide a description of the advantages of using renewable energy sources for sustainable hydrogen production (Mulla et al., 2020). Considered the future energy sector in the Leshukonsky region based on wind energy and producing up to 100 tons of "green" hydrogen per year, which will reduce harmful emissions in the region and ensure regional development (Elistratov & Denisov, 2023). Alkaline (AEC), proton exchange membrane (PEMEC), and solid oxide electrolysis cell (SOEC), offering expert opinions on the future capital cost, lifetime and efficiency of these three electrolysis technologies (Schmidt et al., 2017). Canan and Ibrahim compare in detail the economic, environmental, social, and technical performance and reliability of different hydrogen production sources and systems and some hydrogen storage options (Acar & Dincer, 2019). Proposes the use of electrolyzers to produce hydrogen from excess energy, using the existing Spanish natural gas network for storage (Brey, 2021). In order to contribute to the hydrogen energy economy in China, renewable energy sources were evaluated with the fuzzy AHP-fuzzy TOPSIS method. With this new approach, uncertainties in decision-making processes can be eliminated and alternative options can be evaluated comprehensively (Liu et al., 2023). The competition between renewable and nuclear energy sources for hydrogen production is elucidated. Furthermore, a comprehensive economic model, the Taiwan General Equilibrium Model-Clean Energy (TAIGEM-CE) model, is used for production forecasting. Analytical results based on certain assumptions reveal that the most promising way to produce hydrogen is to use wind energy, while geothermal energy claims to be

the most sensitive to external investment as a power source for hydrogen production. According to the assumptions made in this study, nuclear energy is not as competitive as most renewable energy sources in terms of hydrogen production (Lee, 2012). The first presents a brief summary of existing and emerging hydrogen production technologies, followed by a comparative evaluation of the cost and environmental aspects of hydrogen production based on different energy sources (Ghazvini et al., 2019). Discussed a new hydrogen production technique combining an electrolytic cell with photovoltaics and proposed this combination as one of the most promising methods in terms of stability and efficiency (Jeon & Min, 2012). Presented a study on hydrogen production and liquefaction based on geothermal energy and made an economic analysis. This study proposed seven different configurations for hydrogen production and liquefaction (Yilmaz et al., 2012). Studied the variation of the efficiency of the electrolysis process and other parameters by increasing the feed water temperature with geothermal energy. In order for hydrogen production to be a truly green process, both the electricity to be used in electrolysis and the heat required for the feed water were met by geothermal energy (Kanoglu, 2016). The technical and economic analysis of a hybrid system consisting of grid-connected, renewable energy sources (solar and wind energy) was carried out using the HOMER Pro program as a simulation to meet the energy needs of the electric vehicle charging station at Batman University West Raman Campus (Yilmaz et al., 2023). The safety risks of electric vehicles, hydrogen-fueled vehicles, and fuel cell vehicles and how they are energized are examined (Demir, 2022).

In this study, using the HOMER program, the costs of using different storage tools, such as hydrogen storage and battery electric storage, to store some of the energy obtained from a geothermal power plant were analyzed, and the optimum choice was made. During the energy exchange with the grid, the costs and operating conditions of the system were analyzed. In this study, the feeding of electric vehicle fast charging stations with electrical energy obtained from geothermal energy and stored with different types of energy storage techniques is seen as an innovation in the literature. It is thought that this paper will be a reference source for future studies. The remainder of this paper is organized as follows: In Chapter 2, the system units are explained, and the methodology of the study is presented. The findings and graphs are explained in Section 3, and the results are presented in Section 4.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. System Information

In order to meet the electricity demand with non-conventional sources instead of conventional sources, the system in Figure 1 has been established. Part of the energy obtained from the geothermal power plant will be stored as hydrogen to run the fuel cell, and the other part will be stored as electricity to meet the electrical energy demand of the grid. The economic and electrical results of the two systems, hydrogen storage and electricity storage in the battery, are compared to meet the energy demand at peak times.

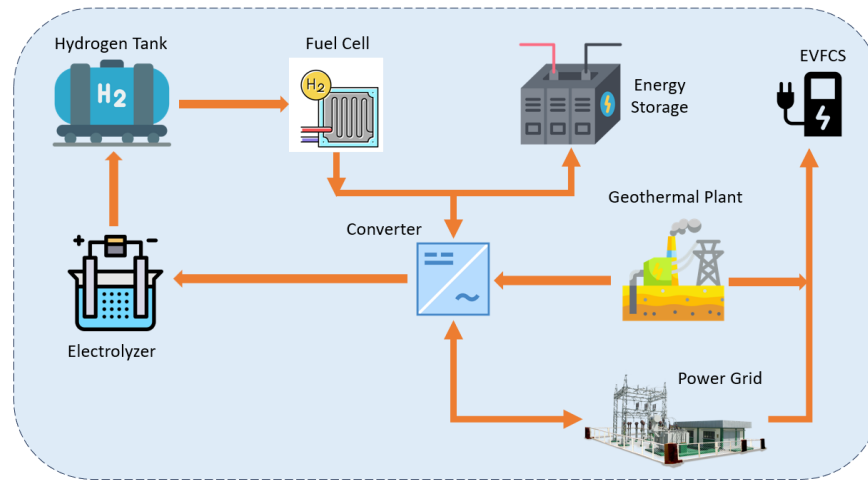


Figure 1. System Schematic

Figure 2 shows the map of Bozdagan ($37^{\circ}49,6'$ N, $28^{\circ}17,5'$ E) district of Aydın province in the Aegean Region of Turkey, which has been identified as an important reserve area in terms of geothermal power plant potential. The research and data obtained are for a district with a population of 33650. The consumption values of Bozdoğan district, which were determined as the load, were obtained from the analysis reports of ADM Electricity Distribution company at the end of 2023. As a result of the calculations made using this data, the daily energy requirement of the region is 310.442,27 kWh, and the daily peak value is 45.644,55 kW.



Figure 2. Project Location Map Information

As it is known, HOMER is used to analyze the physical behavior of the power system and its life cycle cost, which includes the installation or capital cost and the operating cost over the entire lifetime of the power plant in question. At this point, the design of the project was modeled using HOMER software, as shown in Figure 3.

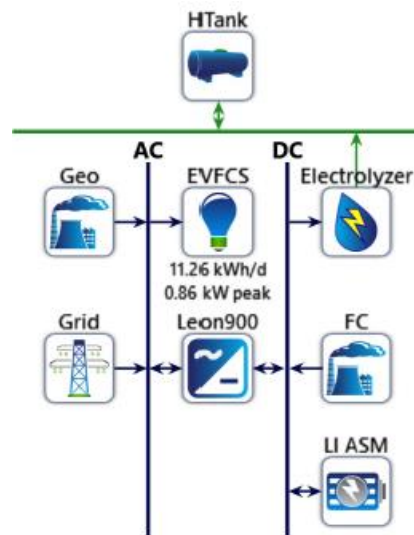


Figure 3. System Configuration

2.2. System Units

2.2.1. System converter

Conversions between AC and DC voltages take place through converters. A converter is needed to maintain the flow of energy between the DC and AC components of the system. The converter efficiency of this system is assumed to be 90%. (Lau et al., 2010). The cost of the converter used in the system is 800000₺, the replacement cost is 800000₺ and the operation and maintenance costs are 20000₺/year.

2.2.2. Elektrolyzer

An electrolyzer produces hydrogen through the process of electrolysis, a well-known electrochemical process for the production of hydrogen by converting electrical energy into chemical energy. Electrolysis is the process of using electricity to split water into hydrogen and oxygen (Khadem et al., 2017). The cost of the electrolyzer, which is assumed to have 90% efficiency in the system, is 600000₺, the replacement cost is 520000, and the operation and maintenance cost is 10000₺/year and included in the simulation.

2.2.3. System geothermal power plant

Geothermal energy is a renewable energy source based on the use of the heat of magma deep in the earth, which can be used in different areas around the world. Our country can only utilize 6,3% of the available geothermal potential. The fact that CO_2 , NO_x , SO_x emissions are very low in modern power plants based on geothermal energy makes the use of this resource in electrical energy production attractive (Karakoulidis et al., 2011). In the system, a geothermal power plant capable of generating 725 kW of electricity is considered to be used.

2.2.4. System hydrogen tank

The simplest method for storing the hydrogen obtained in the electrolyzer is the use of a hydrogen tank. Hydrogen is stored as compressed gas in a hydrogen tank (Gospodinova et al., 2019). The cost of the tank is calculated as 400000₺, the renovation cost is 400000₺, and the and the operation

and maintenance cost is 300000₺. 0 kg, 100 kg, and 1000 kg were preferred as tank sizes and included in the simulation. The reason for this is to find the best choice that can be integrated.

2.2.5. System grid connection

The grid connection is the system component that allows the system to meet the needs of the load by selling electricity to the load in cases where the energy produced by the system cannot meet the needs of the load or to generate income by selling the excess electricity produced by the system to the grid (Güven et al., 2021). In the case of purchasing electricity from the grid, the cost for 1 kWh is 1,40₺, and in the case of selling electricity to the grid, the profit is accepted as 1,20₺ for 1 kWh and included in the simulation.

2.2.6. System Fuel Cell

An electrochemical device that continuously converts the chemical energy of fuel and oxidant into electrical energy and heat as long as the fuel and oxidant are fed to the electrodes is called a fuel cell. A fuel cell consisting of an electrolyte membrane sandwiched between two electrolyte membrane catalyst-coated electrodes (anode and cathode) is shown in Figure 4. Hydrogen passes through one electrode, and oxygen passes through the other electrode. Fuel cells are basically the reverse of electrolysis-hydrogen Hydrogen fuel cells are very efficient and produce only water as a by-product, but they are expensive to obtain (“Fuel Cells: Current Technology Challenges and Future Research Needs,” 2013). In the anode section, hydrogen gas releases electrons and oxidizes them, forming ions. At the cathode, oxygen reacts with electrons from the electrodes and H^+ ions from the electrolyte and from water. Here water is the waster product and taken out from the cell. Equations (1)-(3) express the chemical reactions taking place at the anode and cathode. (Khadem et al., 2017).

Anode equation:



Cathode equation:



In the system, the cost of the fuel cell with 250 kW of energy generation capacity is simulated as 20000000₺, the replacement cost is 15000000₺, and the operation and maintenance cost per hour is 5000₺.

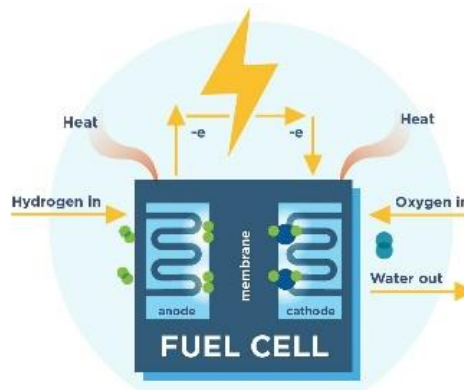


Figure 4. A Typical Fuel Cell

2.2.7. System battery

A battery is a system component that converts electrical energy into chemical energy, stores it, and, when necessary, obtains electrical energy from chemical energy and meets the need. Batteries store energy as DC voltage (Salihoglu et al., 2019). The preferred battery in the system is a 100-kWh lithium-ion battery. The cost of the battery is simulated as 400000₺ the renewal cost as 400000₺ and the annual operation and maintenance cost as 20000₺.

2.2.8. System electric vehicle fast charging station

Fast charging stations are used in places where energy needs to be supplied urgently, in places with heavy traffic flow, and in recreational facilities. This type of charging station is considered safe as it is produced with special protection elements. The classification of these EVFCS with average power values ranging between 50 and 150 kW according to the levels of charging units is shown in Figure 5 (Kaya & Akar, 2024). It is assumed that the fast-charging stations used consume 960 kWh of power for 24 hours.

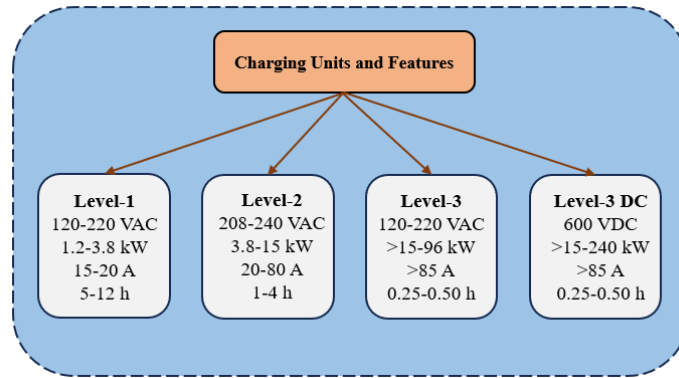


Figure 5. Electric Vehicle Charging Station Units Specifications

2.3. Economic Parameters of The System

To calculate the economic results of the prepared system, many financial measures such as initial costs, net current costs (NPC), capital recovery factor (CRF), electricity costs (COE) and annual savings are used. The following equations (4)-(6) are used to calculate these criteria (Rahman et al., 2021).

$$CRF(i, N_{project}) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (4)$$

$$NPC = \frac{C_{ann}}{CRF(i, N_{project})} \quad (5)$$

$$COE = \frac{C_{ann}}{L_{AC} + L_{DC} + E_g} \quad (6)$$

Where;

C_{ann} is the total annualized cost,
 i is the interest rate,
 N is the number of years,

$N_{project}$ is a project life time,
 L_{AC} is the AC primary load server per year,
 L_{DC} is the primary load served per years,
 E_g is total grid sales.

3. FINDINGS AND DISCUSSION

Figure 6 shows the images and values generated after running the HOMER program, representing the optimal electrical and economic results for both the hydrogen storage and battery storage energy storage. When the network purchase and sale prices are examined in Figure 6a, the sales price of the energy obtained from the hydrogen stored in the hydrogen tank is higher than the energy obtained from the energy stored in the battery; therefore, it is not preferred. When the energy cost graph is examined in Figure 6b, it is seen that energy production costs increase more when an 800 kg hydrogen tank and more than one battery are used. In Figure 6c, the increase is proportional to the increase in cases in which both hydrogen tanks and batteries are used most intensively in geothermal electricity production. In Figure 6d, electricity production from fuel cells is only efficient when a 400 kg hydrogen tank is used. When daily sales charts are examined in Figure 6e, it is seen that they show a similar distribution in every period of the year, with a value of 0,50. In Figure 6f, energy sales to the grid occurred only in January, and there were no sales to the grid in other months. In Figure 6g, the monthly electricity production reached its highest level in January and showed a similar change in the other months. When the net financial return is examined in Figure 6h, the system provides a total annual profit of approximately 4,5 billion ₺. In Figure 6i, monthly AC load value is between 0,3-0,65 kW on average in all time periods of the year. When battery usage was examined in Figure 6j, 100% usage was achieved for every period of the year.

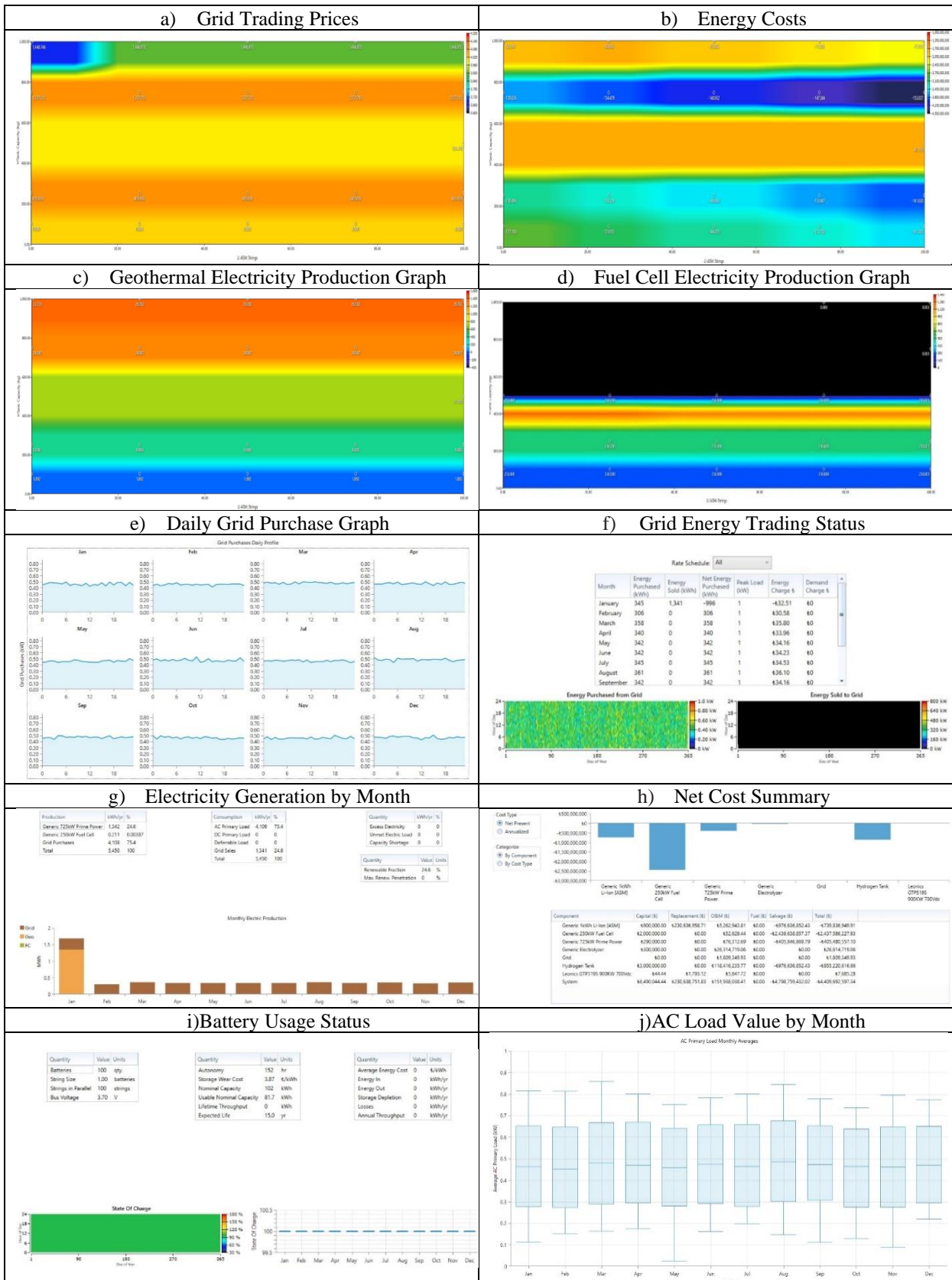


Figure 6. Economic and Technical Results of The Simulation

4. CONCLUSIONS

In this study, using meteorological data for Bozdoğan district of Aydın province, which is a region rich in geothermal resources, the electricity produced with geothermal energy sources is both produced hydrogen and stored in the tank as hydrogen and stored as electricity in the battery. It was examined in cases of need. The study was designed using a hydrogen storage tank, electric vehicle fast charging stations as an electric load, a geothermal power plant for energy generation, an electrolyzer, a battery for electricity storage, a fuel cell to generate electricity from stored hydrogen, a converter, and a grid for electrical energy conversions. The most economical value of the study was found to be 4.409.692.597,34₺. The system, which has an annual operating hour of 4289 hours per year, operates for an average of 11,75 hours per day. The electrical energy produced was found to be 11342 kWh per year. As a result of the widespread use of energy conversion systems, their importance in terms of a clean world and sustainability is better understood and implemented day by day. It is seen that energy conversions have beneficial results in terms of both cost and efficiency.

Contribution of The Authors

The authors declared that they contributed equally to this paper.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Statement of Research and Publication Ethics

Research rules and publication ethics were followed in the study.

REFERENCES

- Acar, C., & Dincer, I. (2019). Review and evaluation of hydrogen production options for better environment. *Journal of Cleaner Production*, 218, 835–849.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.046>
- AlRafea, K., Fowler, M., Elkamel, A., & Hajimiragha, A. (2016). Integration of renewable energy sources into combined cycle power plants through electrolysis generated hydrogen in a new designed energy hub. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(38), 16718–16728.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.06.256>
- Bailera, M., Kezibri, N., Romeo, L. M., Espatolero, S., Lisbona, P., & Bouallou, C. (2017). Future applications of hydrogen production and CO₂ utilization for energy storage: Hybrid Power to Gas-Oxycombustion power plants. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(19), 13625–13632. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.02.123>
- Brey, J. (2021). Use of hydrogen as a seasonal energy storage system to manage renewable power deployment in Spain by 2030. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(33), 17447–17457.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.04.089>
- Demir, A. (2022). Hybrid, battery electric and fuel-cell vehicles trend and assessment of safety obligations. *İstanbul Commerce University Journal of Science*, 21(41), 136–155.
<https://doi:10.55071/ticaretfd.1096211>

- Elistratov, V., & Denisov, R. (2023). Development of isolated energy systems based on renewable energy sources and hydrogen storage. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(70), 27059–27067. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.03.122>
- Fuel cells: current technology challenges and future research needs. (2013). *Choice Reviews Online*, 51(03), 51–1512. <https://doi.org/10.5860/choice.51-1512>
- Gao, D., Jiang, D., Liu, P., Li, Z., Hu, S., & Xu, H. (2014). An integrated energy storage system based on hydrogen storage: Process configuration and case studies with wind power. *Energy*, 66, 332–341. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.095>
- Ghazvini, M., Sadeghzadeh, M., Ahmadi, M. H., Moosavi, S., & Pourfayaz, F. (2019). Geothermal energy use in hydrogen production: A review. *International Journal of Energy Research*. <https://doi.org/10.1002/er.4778>
- Gonzatti, F., & Farret, F. (2016). Mathematical and experimental basis to model energy storage systems composed of electrolyzer, metal hydrides and fuel cells. *Energy Conversion and Management*, 132, 241–250. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.035>
- Gospodinova, D., Milanov, K., Minchev, M., & Dineff, P. (2019). Techno-economic feasibility analysis of nearly-zero hybrid energy system for the city of Sofia in Bulgaria. 2019 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BULEF). <https://doi.org/10.1109/bulef48056.2019.9030697>
- Güven, A. F., & Mete, M. K. (2021). Feasibility Study and Economic Analysis of On Grid Hybrid Energy System for Balıkesir Province Erdek. *Engineer and Machinery*, 63(706), 138-158. <https://doi.org/10.46399/muhendismakina.1085748>
- Jeon, H. S., & Min, B. K. (2012). Solar-hydrogen Production by a Monolithic Photovoltaic-electrolytic Cell. *Journal of Electrochemical Science and Technology*, 3(4), 149–153. <https://doi.org/10.5229/jecst.2012.3.4.149>
- Kanoglu, M. (2016). Geothermal Energy Use In Hydrogen Production. *Journal of Thermal Engineering*, 2(2). <https://doi.org/10.18186/jte.58324>
- Karakoulidis, K., Mavridis, K., Bandekas, D., Adoniadis, P., Potolias, C., & Vordos, N. (2011). Techno-economic analysis of a stand-alone hybrid photovoltaic-diesel-battery-fuel cell power system. *Renewable Energy*, 36(8), 2238–2244. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.12.003>
- Kavadias, K., Apostolou, D., & Kaldellis, J. (2018). Modelling and optimization of a hydrogen-based energy storage system in an autonomous electrical network. *Applied Energy*, 227, 574–586. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.050>
- Kaya, F., & Akar, O. (2024). Short Circuit Effects on HV Feeders of Optimally Located Electric Vehicle Fast Charging Stations. *IEEE Access*, 12, 47842–47853. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3383433>
- Khadem, T., Billah, S. M. B., Barua, S., & Hossain, M. S. (2017). HOMER based hydrogen fuel cell system design for irrigation in Bangladesh. In 2017 4th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE) (pp. 445-449). Dhaka, Bangladesh: IEEE. doi: 10.1109/ICAEE.2017.8255397

- Lau, K., Yousof, M., Arshad, S., Anwari, M., & Yatim, A. (2010). Performance analysis of hybrid photovoltaic/diesel energy system under Malaysian conditions. *Energy*, 35(8), 3245–3255. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.04.008>
- Lee, D. H. (2012). Toward the clean production of hydrogen: Competition among renewable energy sources and nuclear power. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(20), 15726–15735. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.04.124>
- Liu, R., & Solangi, Y. A. (2023). An Analysis of Renewable Energy Sources for Developing a Sustainable and Low-Carbon Hydrogen Economy in China. *Processes*, 11(4), 1225. <https://doi.org/10.3390/pr11041225>
- Luo, X., Wang, J., Dooner, M., & Clarke, J. (2015). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*, 137, 511–536. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>
- Mulla, R., & Dunnill, C. W. (2020). From Renewable Energy to Renewable Fuel: A Sustainable Hydrogen Production. *Energy and Earth Science*, 3(2), p49. <https://doi.org/10.22158/ees.v3n2p49>
- Rahman, M. M., Ghazi, G. A., Al-Ammar, E. A., & Ko, W. (2021). Techno-economic analysis of hybrid PV/wind/fuel-cell system for EVCS. 2021 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE). <https://doi:10.1109/icecce52056.2021.9514084>
- Recalde Melo, D. F., & Chang-Chien, L. R. (2014). Synergistic Control Between Hydrogen Storage System and Offshore Wind Farm for Grid Operation. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 5(1), 18–27. <https://doi.org/10.1109/tste.2013.2272332>
- Salihoglu, N. K., Teksoy, A., & Altan, K. (2019). Determination of Biogas Production Potential from Cattle and Cattle Wastes: Example of Balikesir Province. *Nigde Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 8(1), 31-47.
- Schmidt, O., Gambhir, A., Staffell, I., Hawkes, A., Nelson, J., & Few, S. (2017). Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(52), 30470–30492. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.10.045>
- Trifkovic, M., Sheikhzadeh, M., Nigim, K., & Daoutidis, P. (2014). Modeling and Control of a Renewable Hybrid Energy System With Hydrogen Storage. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 22(1), 169–179. <https://doi.org/10.1109/tcst.2013.2248156>
- Valverde-Isorna, L., Ali, D., Hogg, D., & Abdel-Wahab, M. (2016). Modelling the performance of wind–hydrogen energy systems: Case study the Hydrogen Office in Scotland/UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1313–1332. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.044>
- Valverde, L., Pino, F., Guerra, J., & Rosa, F. (2016). Definition, analysis and experimental investigation of operation modes in hydrogen-renewable-based power plants incorporating hybrid energy storage. *Energy Conversion and Management*, 113, 290–311. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.036>

- Valverde, L., Rosa, F., Bordons, C., & Guerra, J. (2016). Energy Management Strategies in hydrogen Smart-Grids: A laboratory experience. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(31), 13715–13725. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.05.279>
- Yilmaz, C., Kanoglu, M., Bolatturk, A., & Gadalla, M. (2012). Economics of hydrogen production and liquefaction by geothermal energy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(2), 2058–2069. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.06.037>
- Yilmaz, M. S., Rida T, M., & Ozhan, D. (2023). Meeting the Charging Station Energy Needs Using Hybrid Energy Systems at Batman University West Raman Campus: Technical and Economic Analysis. *Journal of Scientific Technology and Engineering Research*. <https://doi:10.53525/jster.1342770>



Research Article / Araştırma Makalesi

FRACTIONAL ORDER-BASED PID CONTROLLER DESIGN WITH GENETIC ALGORITHM (FOPID-GA) FOR AIRCRAFT LANDING GEAR SHOCK ABSORBER MECHANISM

UÇAK İNİŞ TAKIMI AMORTİSÖR MEKANİZMASI İÇİN KESİR DERECELİ PID KONTROLÖRÜN GENETİK ALGORİTMA (FOPID-GA) İLE TASARIMI

Idriss DAGAL¹

Bilal EROL²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1479499>

Corresponding Author / Sorumlu Yazar
idrissdagal@beykent.edu.tr

Received / Geliş Tarihi
06.05.2024

Accepted / Kabul Tarihi
27.05.2024

Abstract

Deterioration conditions of the runway surface (deep track, cracking, raveling, and potholes) and contaminants greatly affect the landing performance of the aircraft. In this research study, an optimal fractional order proportional integral and derivative controller (FOPID-GA) is designed with a genetic algorithm for the smooth operation of aircraft landing gear systems. To prove the effectiveness, performance, and accuracy of the proposed approach, a comparative study of the new technique and the traditional controllers such as PID, PID-TD, FOPID-TD, and PID-GA controllers was conducted on the MATLAB/Simulink platform. The simulation results clearly show that the proposed FOPID-GA controller outperforms the existing controllers in terms of performance, and damping accuracy. The effectiveness of the FOPID-GA controller is evaluated through simulation studies, demonstrating its potential to enhance aircraft landing gear performance and safety under adverse conditions.

Keywords: FOPID controller, landing, MATLAB/Simulink, runway, performance.

Öz

Hava araçlarına yönelik pist yüzlerinde meydana gelen bozulmalar (derin iz, çatlama, çökme ve çukurlar) ve kirletici yabancı maddeler uçağın iniş performansını büyük ölçüde etkiler. Bu çalışmada, uçak iniş takımı sistemlerinin sorunsuz çalışması için genetik algoritma kullanılarak, optimal kesirli dereceli oransal integral ve türev kontrolör (FOPID-GA) tasarlanmıştır. Önerilen yaklaşımın etkinliğini, performansını ve doğruluğunu göstermek amacıyla, PID, PID-TD, FOPID-TD ve PID-GA kontrolörleri gibi geleneksel kontrolörlerin MATLAB/Simulink platformu üzerinde karşılaştırmalı bir çalışması yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, önerilen FOPID-GA denetleyicinin performans ve sönümlenme doğruluğu açısından mevcut geleneksel kontrolörlerden daha iyi performans gösterdiğini açıkça göstermektedir. FOPID-GA kontrolörünün etkinliği simülasyon çalışmaları ile irdelenmiş, olumsuz koşullar altında uçak iniş takımı performansını ve güvenliğini artırma potansiyeli gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: FOPID kontrolörü, iniş, MATLAB/Simulink, performans, pist.

¹Beykent University, Faculty of Engineering-Architecture, Department of Electrical Engineering, İstanbul, Türkiye. idrissdagal@beykent.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-2073-8956.

²Yıldız Technical University, Faculty of Applied Sciences, Control and Automation Engineering, İstanbul, Türkiye. berol@yildiz.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-1810-6500.

1. INTRODUCTION

The condition of the road surface is one of the factors affecting driver comfort, working rate, service capability, and road safety. Although many studies have newly been supervised to examine the impact of different road characteristics on traffic flow performance, most of them have not focused on the effect of road roughness regarding the operating speeds. Road bumpiness is determined as road roughness and is a globally acknowledged measure for assessing pavement condition and concerns about the circumstances noticed by road operators (Yu et al., 2023). Thus, research (Loprencipe et al., 2017) examines the effect of road roughness on speed qualities for different road sections under changed stream stages and different approaches are used to evaluate the road roughness. (Kamaraddinovich et al., 2022) states that pavement roughness is one of the most critical indicators of transportation and operational status. Road roughness doesn't have a major impact not only on comfort, safety, and speed but also on transportation costs, the lifespan of roads and vehicles, and fuel consumption. Therefore, it is essential to monitor and evaluate the effect of irregularities on road pavement surfaces (Loprencipe et al., 2019a). Moreover, (Sandamal & Pasindu, 2022) declares that roads need to be kept in suitable condition to meet the transportation demands of pastoral communities. In the thought, a correctly defined road unevenness assessment technique will reduce the operational risks of the airport, extend the life of aircraft landing gear, and improve the pavement protection decision-making process, which collectively together will completely help the whole sustainability of the airport (Tian et al., 2021). For this reason, an accurate and appropriate evaluation of airport pavement surface quality is essential to confirm the presence of any randomness that may adversely affect flight operations. In addition, a deteriorating runway can increase the maintenance costs of aircraft runways and landing gear and shorten their service life due to an increase in dynamic loads and fatigue incidents on the structural elements of the aircraft (Loprencipe et al., 2019b). Research has been initiated to control the pavement profile to minimize casualties and other fundamental problems produced by irregular pavement profiles (Arora et al., 2020).

To solve these mentioned road roughness problems, some controller techniques are required to mitigate the recurrent issues related to pavement unevenness. Therefore, in current studies, many researchers considered the PID controller tuning technique with reference as the most famous approach where (Kumar & Rana, 2023) proposes a novel PID-based Fuzzy controller for an extremely nonlinear active suspension system. Due to the variation of the road surface, (Huang & Lin, 2003) proposes an adaptive fuzzy sliding mode controller to suppress the oscillation of the sprung mass position. For the same purpose as the active suspension system, (Mahmoodabadi & Nejadkourki, 2020) utilizes an optimal fuzzy adaptive robust PID controller. (Jamal et al., 2021) investigated a new method with static output feedback for non-linear suspension systems. Moreover, (Munawwarah & Yakub, 2021) combines linear quadratic regulator PID-LQR and Fuzzy-PID controller to maximize ride comfort by maintaining the wheels of the car and the road surface in contact. Some dynamic problems such as external disturbances, nonlinearity, and parametric uncertainties cause limitations to the control performance, (Aela et al., 2022) proposes a united adaptive radial-based neural network system with the backstepping controller to overcome the related dynamic issues. This research, (Robert et al., 2022) works on fuzzy control of an active suspension system based on a quarter-car model which performs better in terms of body acceleration and displacement as compared to the existing techniques. (Hsiao & Wang, 2022) design a self-tuning fuzzy sliding mode controller for the evaluation of ride comfort by incorporating a damper into a quarter car for its active suspension systems. Moreover, (Li et al., 2024) introduces a fractional order PID control approach. This, (Gao & Li, 2022) proposes tuning parameters of the fractional order PID-LQR controller for random pavement simulation. Thus, (Hu et al., 2024) provides work on fractional order PID controllers for control and optimization basis nonlinear suspension systems. Research (Lee et al., 2022), used deep reinforcement learning for the car suspension system to solve the optimal control problems. In our research paper which aims

to reduce or minimize the disturbances of rough roads, we design a novel fractional order PID-based genetic algorithm controller (FOPID-GA). In this study, we propose a Fractional Order-based Genetic Algorithm (FOPID-GA) controller design for the aircraft landing gear shock absorber mechanism. The FOPID-GA controller aims to enhance the damping characteristics of the shock absorber system, improving its ability to handle varying surface conditions and contaminants. Through the integration of fractional order control and genetic algorithm optimization, the proposed controller offers improved robustness and adaptability, crucial for maintaining safe and efficient aircraft landings in challenging environments. The effectiveness of the FOPID-GA controller is evaluated through simulation studies, demonstrating its potential to enhance aircraft landing gear performance and safety under adverse conditions. The design of a PID controller often leads to a nonconvex optimization problem. This is because the optimization landscape can have multiple local minima, making it challenging to find the global optimum using traditional optimization methods. Genetic algorithms are well-suited for this type of problem because they perform a global search and can effectively navigate complex, nonconvex spaces. The genetic algorithm's capability to effectively navigate the nonconvex optimization landscape is a key factor in achieving superior controller performance.

1.1. Contributions of The Paper

The fractional order proportional integral and derivative-based genetic algorithm (FOPID-GA) is presented in this work to reduce disturbance effects during landing caused by road roughness or bad runway. In aviation safety and comfort are two prominent things that should be taken care of while carrying passengers onboard. The recurrent problems related to safety are mostly due to the pilot performance, the runway situation (road roughness), and the aircraft operating systems. By the objective (cost) function of the genetic algorithm using the integral of time weight absolute error (ITAE) and FOPID controller parameters setting, the proposed FOPID-GA controller has been regulated to ensure the stability, performance of the system under the roughness road conditions. The main contributions of the paper encompass:

- Tuning simplicity of genetic algorithm with FOPID parameters
- Incorporation of the combined FOPID-GA to damp down the important fluctuation or unwanted roughness road effects
- Enhancement of stability, safety, and comfort of the system
- Superiority evidence of the proposed FOPID-GA controller over existing PID, PID-TD, FOPID-TD, and PID-GA controllers
- Proving effectiveness and reliability of genetic algorithm and FOPID controller.

This research work is organized as follows: Section 1, the introduction part; section 2, aircraft landing gear and suspension system; section 3, controller modeling; section 4, results and discussion, and finally conclusion section 5.

2. AIRCRAFT LANDING GEAR AND SUSPENSION SYSTEMS

2.1. Description of Cessna 182 Airplane Landing Runway

The safe and successful landing of an aircraft during its ended flight path is based on many factors such as the pilot's skills and handling performance, the adverse wind, and the runway conditions. Many airport runway surfaces have been made from appropriate road specifications. However, roughness is one of the factors that road and airport conditions diverge. The International roughness index (IRI) (Emery et al., 2015), is defined as the riding comfort measurement mainly used and identified for roads. Comparatively, the runway roughness is the vibrations of the cockpit

and the extreme g-forces based on the fatigue on the aircraft structure (airframe) and other factors. The smoothness or roughness of the airport runway is free of bumps and unwanted that can prejudice safe operations, leading to the destruction of the aircraft structure due to fatigue. Aircraft suspension systems are primarily used to absorb expended energy during landing. They experienced the less dampening impact of surface unevenness caused by the energy magnitude addressed during landing. The Cessna 182 aircraft landing scheme is presented in Figure 1.

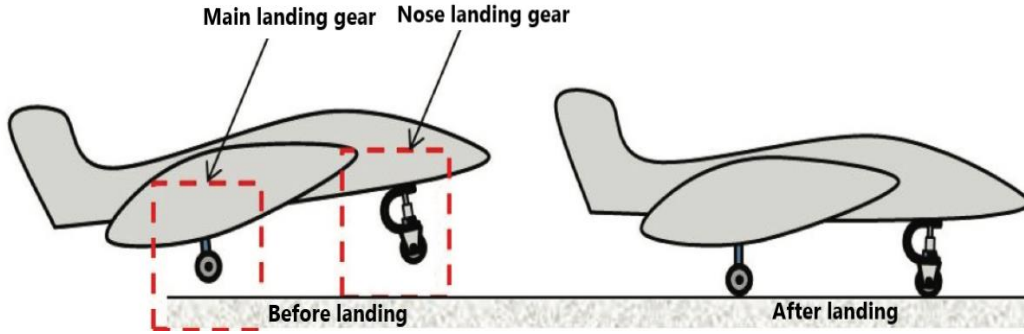


Figure 1. Aircraft Landing Gear Shock Absorber System

2.2. Mathematical Modeling of Aircraft Landing Gear System

The shock absorber is the passive element of the landing gear. It has two chambers, lower and upper chambers. They are connected by orifices. The lower and upper-bottom chambers are filled with oil and the rest of the upper chamber's volume is filled with nitrogen gas. The absorber system has both spring and damping features. The shock absorber compresses due to the landing mechanism and the runway irritation and the oil flows through the orifice from the lower chamber to the upper chamber. The shock struck extends and the oil flows through the orifice during the stored energy release. The compression and expansion of bouncing effects continue until the entire landing gear energy disperses.

The dynamic equilibrium of the two masses is presented in Figure 2. By using Newton's second law of motion, we describe the dynamics of Equations (1) and (2) as follows:

$$m_1 \ddot{x}_1 = -F_a - F_d - F_q \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = F_a + F_d + F_g + F_q \quad (2)$$

Where F_a and F_d are the spring and damping forces of the shock absorber respectively. F_g is the ground supporting force and F_q is the active control force. These are the forces involved in the landing gear's physical nonlinear mechanisms. The aircraft fuselage mass to which the aerodynamic lift is applied is m_1 and the aircraft landing gear tyre mass is m_2 . The forces involved in the landing gear's physical mechanisms exhibit nonlinearity due to factors such as variable stiffness, damping characteristics, and the nonlinear behavior of materials under different load conditions.

Landing gear physical nonlinearity forces are expressed in (3), (4) and (5).

- Damping Force

$$F_d = \frac{1}{2} \rho \frac{A^3}{\xi^2 A_0^2} \quad (3)$$

- Spring Force

$$F_a = P_0 A \left[\frac{1}{1 - \frac{y_1 - y_2}{y_0}} \right]^n \quad (4)$$

- Active Control Force

$$F_q = k_a Q + k_b Q |Q| \quad (5)$$

$$\text{with } Q = C_d W x \sqrt{\frac{|P_s - P_l|}{\rho}} \quad (6)$$

Where W defines the gradient area of the servo valve port and x is the servo valve displacement. k_a and k_b are the characteristic constants. C_d represents a non-dimensional discharge coefficient. A is the piston cross-sectional area, and A_0 represents the orifice area.

ξ is an orifice discharge coefficient. ρ is the oil mass density. y_0 is the gas cylinder length. The displacement $y_1 - y_2$ represents the shock absorber stroke. Q denotes the flow quantity, P_s is the oil reservoir pressure, P_l is the pressure difference between lower and upper chambers, and P_0 is the initial pressure, and n is the gas constant value (mostly it takes the value of 1.1).

2.3. Aircraft Suspension Systems

Before take-off and after landing, crew and passenger comfort and safety are at the forefront of the flight requirements. Therefore the landing gear systems should be designed properly so that the vertical energy of the touch-down is absorbed. The design should take into consideration the hard landing situations that might occur in some circumstances. Although landing gear systems are too cumbersome and complex, the part called the shock absorber is designed to reduce damping disturbances. Some active and semiactive suspension mechanisms are also used to solve the frequent bouncing due to road roughness and reduce fuselage vibration effects. Landing gear assembly consists of a strut attached to the fuselage which is linked to the ground via the wheels with tires situated on an axle (Thota et al., 2008). The controller is used to get satisfactory damping performance of the landing gear, if the controller fails to operate, the active dampers become unstable. Due to their structure flexibility, active dampers can be tuned as compared to passive dampers. The aircraft landing gear is modeled as shown in Figure 2. The assembly is composed of the subsystems which are tyre system and suspension system. The tyre system is the wheel mass m_2 , whereas the suspension system represents the spring-mass m_1 . The wheel's pneumatic compressibility is denoted by k_2 . The aircraft simulation parameters are depicted in Table 1.

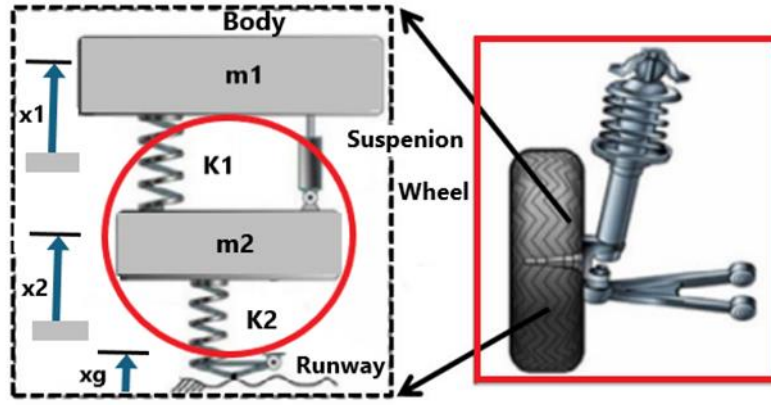


Figure 2. Landing Gear System Assembly (Provatas & Ipsakis, 2023)

$$(m_1 s^2 + c_1 s + k_1)X_1(s) - (c_1 s + k_1)X_2(s) = 0 \quad (3)$$

$$-(c_1 s + k_1)X_1(s) + (m_2 s^2 + c_1 s + k_1 + k_2)X_2(s) = k_2 Y(s) \quad (4)$$

$$R_1(s) = \begin{vmatrix} 0 & -(c_1 s + k_1) \\ k_2 & (m_2 s^2 + c_1 s + k_1 + k_2) \end{vmatrix} = k_2 (c_1 s + k_1) \quad (5)$$

The aerodynamic force coefficients are expressed in equations 4, 5, and 6.

$$R_2(s) = \begin{vmatrix} (m_1 s^2 + c_1 s + k_1) & -(c_1 s + k_1) \\ -(c_1 s + k_1) & (m_2 s^2 + c_1 s + k_1 + k_2) \end{vmatrix} \\ = (m_1 s^2 + c_1 s + k_1)(m_2 s^2 + c_1 s + k_1 + k_2) - (c_1 s + k_1)^2 \quad (6)$$

To determine the characteristics polynomial and the transfer function, we use the determinant method, where $R_1(s)$ and $R_2(s)$ are the numerator and the denominator of the transfer function (general case) respectively.

Table 1. Aircraft Numerical Simulation Parameters (Sivaprakasam, 2016)

Description	Symbol	Value	Units
Aircraft fuselage mass	m_1	8800	Kg
Landing gear tire mass	m_2	260	Kg
Landing gear shock strut stiffness	k_1	4,08e5	N/m
Landing tire stiffness	k_2	4,08e5	N/m
Landing gear shock strut damping coefficient	c_1	41944	N.s/m
Landing tire damping coefficient	c_2	37411	N.s/m

3. CONTROLLER MODELING

3.1. FOPID Controller Design

Fractional Order Proportional Integral and derivative (FOPID) is one of the conventional PID controller types which is considered a sophisticated control approach used for modern control systems. It provides an additional degree of freedom and two factors of integral and derivative

denoted λ, μ respectively. Besides FOPID controller enhances the existing PID stability, and effectiveness by the fractional calculus concepts based on uncertainties of different variables of the systems with dynamics and nonlinear characteristics. The fractional order components of the FOPID controller give extra flexibility in the dynamic behavior of the intricate systems. The FOPID controller besides enhancing the performance of the PID controller, provides faster response, expands the margin stability limits, and reduces overshooting. The FOPID controller's basic structure is based on fractional calculus, which studies derivatives and integrals of non-integer orders. It adapts control actions based on the system's behavior by incorporating fractional-order proportional, integral, and derivative components. Compared to the Integral-Only PID (IO-PID) controller, the addition of non-integer integral-differential orders to the traditional PID controller gains is an improvement that enhances the capabilities of the control system. The FOPID controller diagram is depicted in Figure 3.

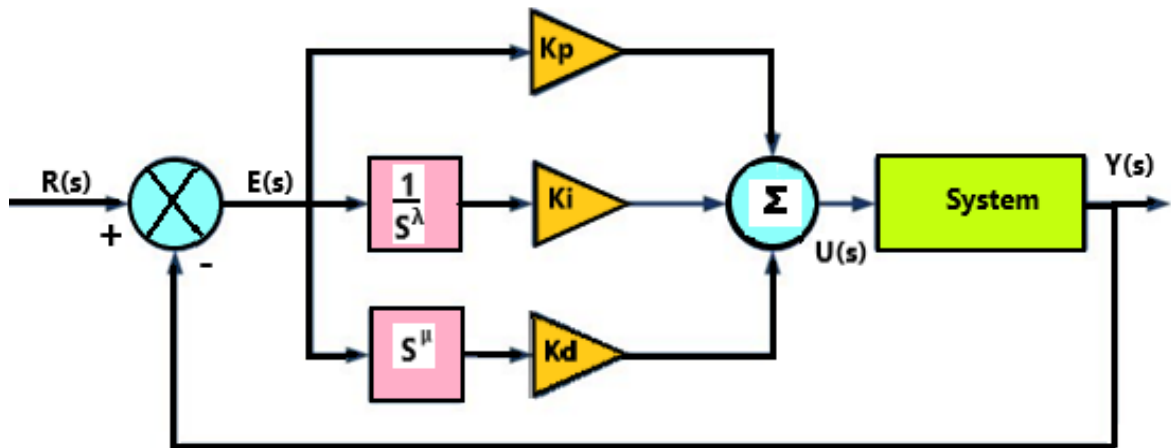


Figure 3. FOPID Controller Scheme

The transfer function equations of the FOPID controller are given as follows:

$$u(t) = K_i D^{-\lambda} e(t) + K_p e(t) + K_d D^\mu e(t) \tag{7}$$

$$C(s) = \frac{U(s)}{R(s)} = K_p + \frac{K_i}{s^\lambda} + K_d s^\mu \tag{8}$$

The controller gain of fractional order integral-differential operators $k_p, k_i, k_d, \{\lambda, \mu\}$, are the five independent tuning knobs of a typical controller structure. The controller structure becomes the conventional PID controller in parallel structure for, $\lambda = 1$ and $\mu = 1$. The whole system overview diagram is shown in Figure 4.

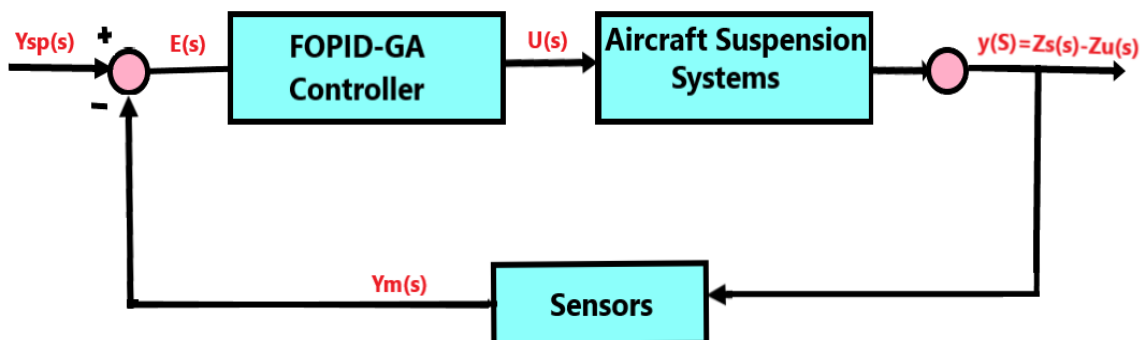


Figure 4. Overview of The Proposed FOPID-GA Design System

During sudden load demand or some external disturbances, the design controller dynamic response should provide fast relaxation time with the least peak overshoot and undershoot values. Previous works give proven evidence that numerous bio-inspired algorithms are used to find optimum gain values of the controller. In this paper, the FOPID-GA controller is proposed to optimize the controller gain values with cost function by using ITAE. Proportional integral and derivative (PID) (Nagarkar et al., 2011), Proportional integral and derivative with time delay (PID-TD) (George et al., 2022), Proportional integral and derivative with genetic algorithm (PID-GA) (Nie et al., 2020), Fractional Order Proportional Integral and derivative with time delay (FOPID-TD) (Suseno et al., 2021), and the proposed Fractional Order Proportional Integral and derivative with genetic algorithm (FOPID-GA) controllers parameters are presented in Table 2, and Table 4.

Table 2. PID and FOPID parameters

Parameters	PID	FOPID	PID-TD	FOPID-TD
K _p	5,8	9	5,8	9
K _I	0,8	2	0,8	2
K _d	0,7	1,5	0,7	1,5
λ	---	0,5	---	0,5
μ	---	0,35	---	0,35
α	---	---	24e-3	5e-3

3.2. Genetic Algorithm

A genetic algorithm (GA) is defined as an evolutionary algorithm simulating the natural selection method and inheritance to get an optimum result. It has a fast convergence speed and tracks a global optimal solution which makes it an efficient optimization algorithm. Many researchers use GA using various variants to improve its performance and solve different complex problems. In this paper, we use the genetic algorithm to complement the FOPID controller for the road hump applied to aircraft landing gear suspension systems. This was very promising in improving the road roughness in a short duration. In the genetic algorithm design with chromosome structure, the population is initiated randomly with 50 individuals, and other parameters are presented in Table 4 and a comparative of all the controllers based on the transfer function step response is presented in Table 3. By the objective (cost) function of a genetic algorithm using the integral of time weight absolute error (ITAE) and FOPID controller parameters. The genetic algorithm code was written in the MATLAB workspace and linked to the FOPID controller from the Simulink platform. The FOPID parameters such as k_p , k_d , k_i , λ , and μ are sensed directly from the code. The pseudo-code of the proposed FOPID-GA controller is presented as follows:

3.2.1. Pseudo code of FOPID-GA controller

```

% Population Initialization
-Identify the number of population (P= 50);
-Define the parameters ( $k_p, k_d, k_i, \lambda, \mu$ );
% GA options
-Define the objective function
  obj_fn = optimization_FOPID ( $k_p, k_d, k_i, \lambda, \mu$ );
-Select individuals based on their fitness values,
  if the random individual value is less than the selected parents;
  otherwise, return;
-Perform crossover to generate new parents;
-Apply the FOPID parameters;

```

- Perform mutation with certain probability;
- Compare the new fitness values with the previous values;
- % Cost function
- Define the cost function

$$\text{Cost_fn} = \text{optimization_FOPID}(k_p, k_d, k_i, \lambda, \mu);$$
- Combine the parameters of parents to produce a new generation;
- Change randomly the value of $(k_p, k_d, k_i, \lambda, \mu)$;
- Verify the performance criteria;
- Condition verified;
- end.

Table 3. The Quantitative Comparison of Different Approaches

Controller Type	Overshoot	Settling time	Rised time	Peak time
PID	5%	10s	4,5s	4,5s
PID-TD	2,2%	5s	2s	2s
PID-GA	0,3%	3s	1,8s	1,8s
FOPID-TD	0,8%	1,5s	1,5s	1,5s
FOPID-GA	0,1%	1,5s	1,2s	1,2s

3.3. PID Controller Design

The proportional integral and derivative (PID) controller is very simple and easy to design, it is generally used in modern industrial applications where various devices are tuned. The dynamics of the PID controller are depicted in Figure 2. The PID controller is used to evaluate the landing gear system and its derived other nature-inspired algorithms. Ziegler-Nichols method is used for the tuning process.

PID controller is defined by Equation 9.

$$G_C = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (9)$$

G_C is the controller input and $e(t)$ is the error function in Equation 10, which is the difference between the feedback signal and the reference signal. These signals are measured by sensors located at the landing gear system. K_p , K_i , and K_d are proportional gain, integral gain, and differential gain respectively.

$$e(t) = \dot{r}(t) - (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) \quad (10)$$

The movement of the landing gear servo valve is expressed in Equation 11. The measured signal is the specific output of the system we are monitoring and controlling, here in our problem, the displacement of the landing gear and the error signal is the difference between the desired setpoint and the measured signal, which drives the control action to achieve the desired system performance.

$$l_{disp} = K_p \{r(t) - [\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)]\} + K_i \{r(t) - [x_1(t) - x_2(t)]\} + K_d \{r(t) - [\ddot{x}_1(t) - \ddot{x}_2(t)]\} \quad (11)$$

Table 4. Genetic-Based PID and FOPID Parameters

Parameters	PID-GA	FOPID-GA
Kp	5,8	9
KI	0,8	2
Kd	0,7	1,5
λ	---	0,5
μ	---	0,35
Low bound (lb)	[0 0 0]	[0 0 0]
Upper bound (μ b)	[200 200 200]	[200 200 200]
Number of variable (no_var)	3	3
Number of iteration	25	25
Size of population	50	50

4. RESULTS AND DISCUSSION

In this simulation, the Cessna aircraft model is investigated which has its parameters in Table 1. The design controller consists of the FOPID controller and the tuned genetic algorithm where parameters are in Table 4. The tuned genetic algorithm is implemented with an optimized cost function using the ITEA. The performance of the proposed Fractional Order Proportional Integral and Derivative-based Tuning Genetic Algorithm (FOPID-GA) controller was evaluated against several other controllers through simulation studies. As seen in Figure 6, the FOPID-GA controller offers reduced settling time and overshoot, indicating improved transient response characteristics compared to the other controllers.

The closed loop system with FOPID-GA controller demonstrated overall better response characteristics. Due to its superior performance, the FOPID-GA controller was selected for further testing under challenging conditions. A simulated road roughness given in Figure 7 (a), although not realistic, was created to impose a challenging condition on the system and measure the enhancement provided by the controller. To maintain clarity and conciseness, only the response of the FOPID-GA controller under the simulated road roughness condition was presented in this paper. Providing the behavior of all controllers would have been impractical and would have significantly increased the length of the paper. The results of the simulation under road roughness conditions show that the closed-loop system with the proposed FOPID-GA controller outperformed the passive system, which does not incorporate any controller effects as seen in Figure 7. The simulation figures demonstrate the effectiveness of the FOPID-GA controller in improving ride comfort and control stability during aircraft landing. The system model used for the controller design in this study is based on the dynamics of the aircraft landing gear suspension system. The model incorporates the physical properties and forces acting on the landing gear, including:

Spring-Damper System: The landing gear is typically modeled as a spring-damper system where the spring represents the elastic components (such as tires and struts) and the damper represents the shock absorbers.

Aircraft Dynamics: The model also incorporates the dynamics of the aircraft during landing, such as vertical motion and the interaction between the landing gear and the runway surface.

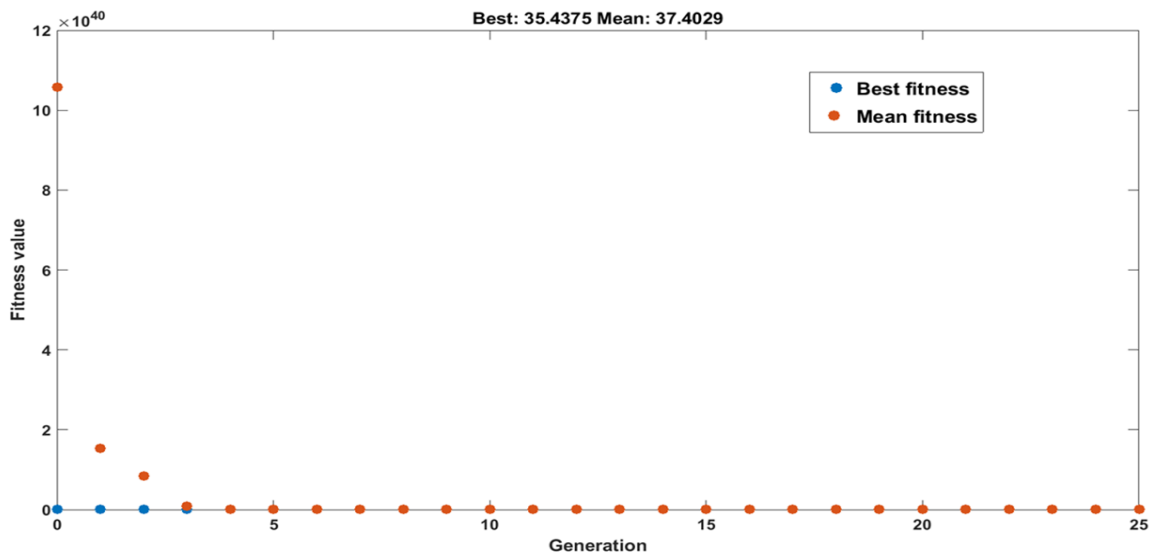


Figure 5. Genetic Algorithm (GA) Fitness Feature with Best Fitness Convergence Starting from Zero and Coinciding with The Mean Fitness at The Third (3rd) Iteration Out of 25 Generations

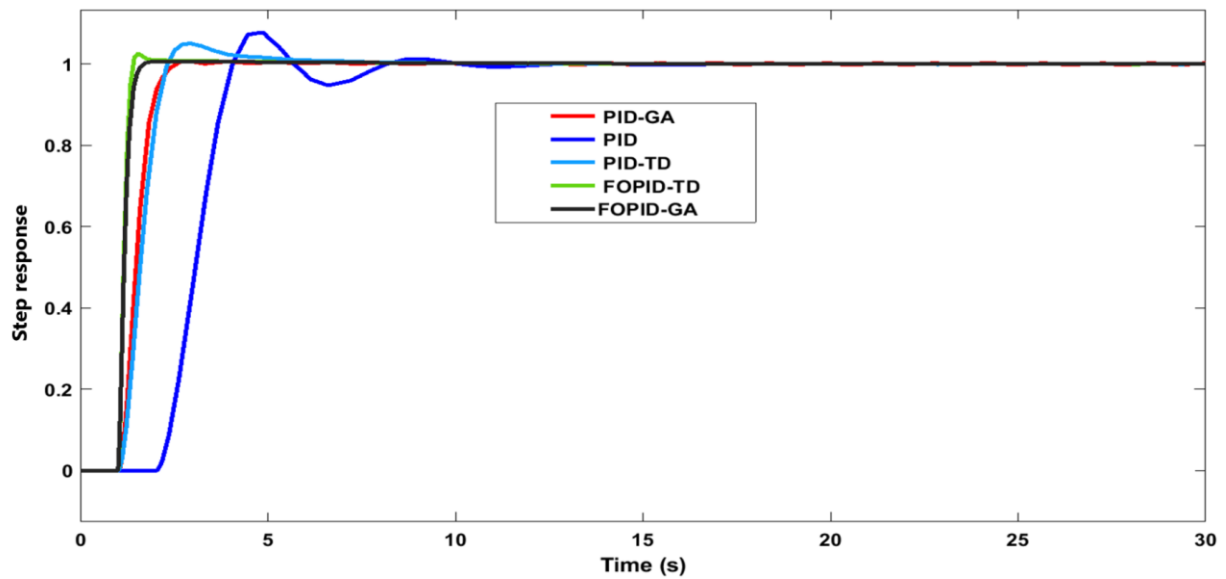


Figure 6. The Proposed FOPID-GA Controller Works Quite Better and Provides Better Results with Smaller Settling Time, and Overshoot

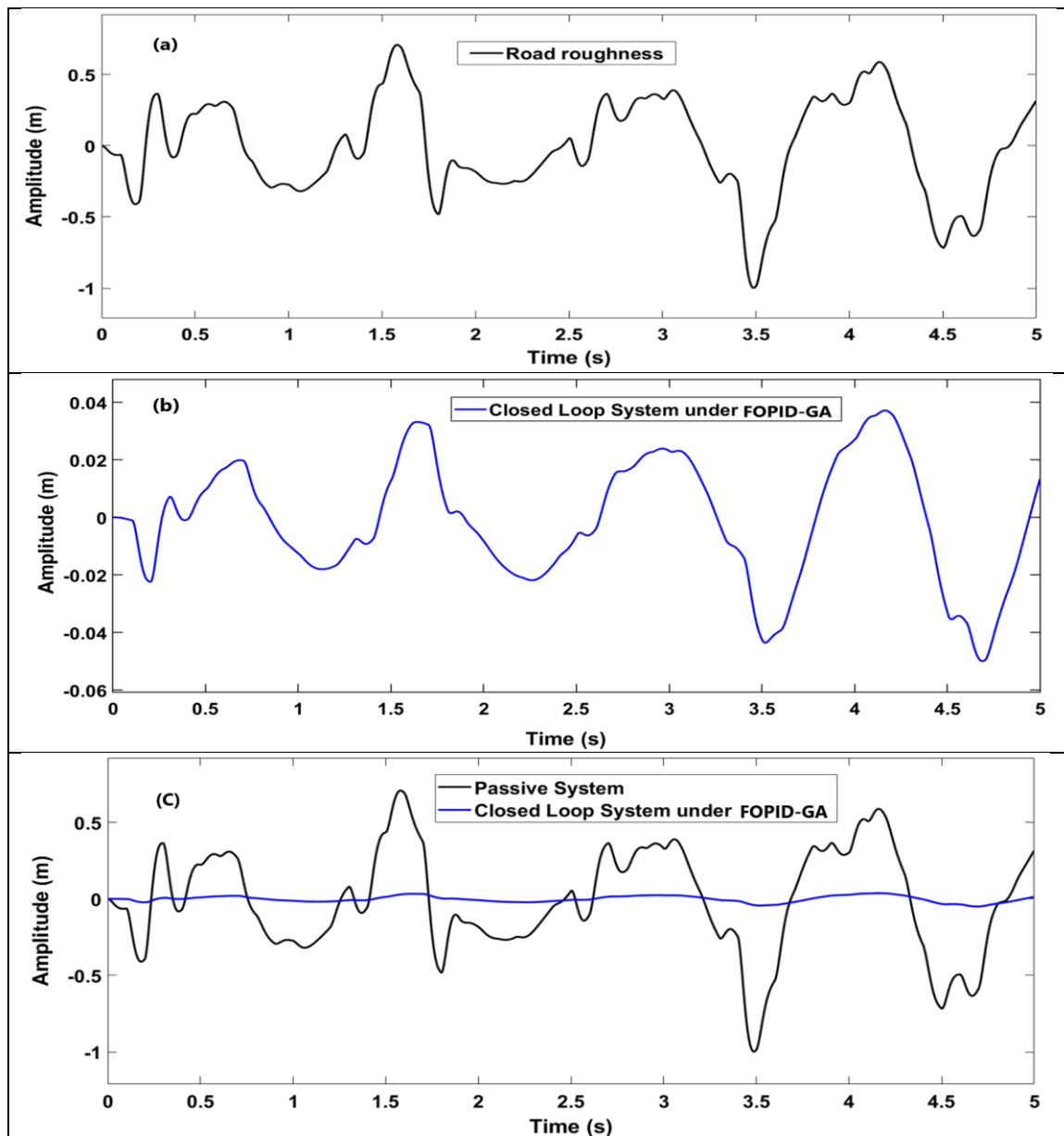


Figure 7. Under The Road Roughness Condition, The Proposed FOPID-GA Controller Shows A Smooth and Good Fluctuation Reduction (c).

5. CONCLUSION

In this study, we have presented a reasonably good approach for reducing roughness fluctuations experienced by aircraft during landing through the development of a Fractional Order Proportional Integral and Derivative-based Tuning Genetic Algorithm (FOPID-GA) controller. The proposed FOPID-GA controller has demonstrated significant improvements in ride comfort, and overall performance compared to other controllers and the passive system.

The superior performance of the FOPID-GA controller can be attributed to the genetic algorithm's optimization capabilities. Genetic algorithms are powerful tools for searching large and complex solution spaces, enabling the identification of optimal or near-optimal controller parameters that enhance overall system performance. By exploring a wide range of potential solutions and iteratively refining them, the genetic algorithm effectively adapts the FOPID controller to achieve the desired damping characteristics and enhancement.

Future research could focus on further optimization of the FOPID-GA controller to address additional challenges in aircraft landing gear systems. Potential areas for exploration include the integration of machine learning techniques to enhance the controller's adaptability to varying conditions, the application of the controller to different types of aircraft and landing scenarios, and the development of hybrid control strategies that combine the strengths of genetic algorithms with other optimization methods.

Funding

No funding has been acknowledged for this work.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no potential conflict of interest for this manuscript.

Ethical Approval

Not applicable to this manuscript.

Informed Consent

Not applicable to this manuscript.

Authors Contributions

Idriss Dagal: Design; writing review; editing and funding.

Bilal Erol: Investigating and editing the original draft.

Data Availability Statement

There is no available data for this submission.

REFERENCES

- Abeygunawardhana, C., Sandamanl, K., & Pasindu, H. R., (2020). Identification of the impact of road roughness on speed patterns for different roadway segments. *Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)*, 425-430.
- Aela, A.M., Kenne, J-P., & Mintsa, H.A., (2022). Adaptive neural network and nonlinear electrohydraulic active suspension control system. *Journal of Vibration and Control*,28, 243-259.
- Arora, M.K., Patel, M.R., &Titiksh, A., (2020). Pavement roughness conditions evaluation: A literature review. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 8(X), 257-265.
- Emery, S., Hefer, A., & Horak, E., (2015). Roughness of Runways and Significance of Appropriate Specifications and Measurement. *Proceedings of the 11th Conference*. 16-19.
- Gao, J., & Li, H., (2023). Tuning Parameters of the Fractional Order PID-LQR Controller for Semi-Active Suspension. *Electronics*,19(12),4115.
- Hsiao, C. Y., & Wang, Y. H., (2022). Evaluation of ride comfort for active suspension system based on self-tuning fuzzy sliding mode control. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 20(4),1131-1141.

- Hu, Y., Liu, J., Wang, Z., & Zhang, J., (2024). Research on Electric Oil-Pneumatic Active Suspension Based on Fractional-Order PID Position Control. *Sensors*,5(24), 1644.
- Huang, S. J., & Lin, W. C., (2003). Adaptive fuzzy controller with sliding surface for vehicle suspension control. *IEEE transactions on fuzzy systems*, 4(11),550-559.
- Jamal, M., Chaibi, R., Tissir, H., & Mohamed, O., (2021). Static output feedback stabilization of TS fuzzy active suspension systems. *Journal of Terramechanics*,97, 19-27.
- Kamaraddinovich, K.S., Azamat o'g'li, I.J., & Bekjonovich, T. M., (2022). Assessment of the roughness of road pavements. 6(97)-1, 137-140. Retrieved May 01, 2024 from <https://cyberleninka.ru/article/n/assessment-of-the-roughness-of-road-pavements>.
- Kumar, V., & Rana, K. P. S., (2023). A novel fuzzy PID controller for a nonlinear active suspension system with an electro-hydraulic actuator, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*.4(45), 189.
- Lee, D., Jin, S., & Lee, C., (2022).Deep reinforcement learning of semi-active suspension controller for vehicle ride comfort. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*,1(72),327-339.
- Li, G., Xu, H., Ruan, Z., &Liu, Q., (2024). Design and performance evaluation of a novel fractional order PID control strategy for vehicle semi-active suspension. *Advances in Mechanical Engineering*,4(16),16878132241241435.
- Loprencipe, G., Zoccali, P., & Cantisani, G., (2019a). Effects of vehicular speed on the assessment of pavement road roughness *Applied Sciences*,9,1783.
- Loprencipe G., Zoccali, P., (2019b). Comparison of methods for evaluating airport pavement roughness. *International Journal of Pavement Engineering*, 20,782-791.
- Loprencipe G., Zoccali, P., (2017). Ride quality due to road surface irregularities: Comparison of different methods applied on a set of real road profiles. *MDPI*,7(5), 59.
- Mahmoodabadi, M. J., & Nejadkourki, N., (2020). Optimal fuzzy adaptive robust PID control for an active suspension system. *J. Mech. Eng.*, 20(3), 1-11.
- Munawwarah, S., & Yakub, F., (2021). Control analysis of vehicle ride comfort through integrated control devices on the quarter and half car active suspension systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 235(5),1256-1268.
- Nagarkar, M., Vikhe, G. J., Borole, K. R., & Nandedkar, V. M., (2011). Active control of quarter car suspension system using linear quadratic regulator. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. 3,364-372.
- Nie, Z. Y., Yi-Min, Z., Qing-Guo, W., & Rui-Juan, Li., (2020). Fractional-order PID controller design for time-delay systems based on modified Bode's ideal transfer function. *IEEE Access*. 8,103500-103510.
- Provatas, V., & Ipsakis, D., (2023). Design and Simulation of a Feedback Controller for an Active Suspension System: A Simplified Approach. *MPDI Processes*. 11, 2715.

- Robert, J., Kumar, P. S., Nair, S. T., & Moni, D. H. S., (2022). Fuzzy control of active suspension system based on the quarter car model. *Materials Today: Proceedings*, 66, 902-908.
- Sandamal, K., & Pasindu, H.R., (2022). Applicability of smartphone-based roughness data for rural road pavement condition evaluation. *International journal of pavement engineering*. 23,663-672.
- Sivaprakasam, S., (2016). Active landing gear behavior on heavy landing. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*. 9,34-39.
- Sivaprakasam, S., Selvakumaran, T., & Baskaran J., (2021). Investigation of random runway effect on landing of an aircraft with active landing gears using a nonlinear mathematical model. *Journal of Vibro Engineering*, 23, 1785-1799.
- Shutnan, W. A., & Abdalla, T.Y., (2018). Artificial Immune System based Optimal Fractional Order PID Control Scheme for Path Tracking of Robot manipulator. *International Conference on Advances in Sustainable Engineering and Applications (ICASEA)*. 19-24.
- Tian, Y., Liu, S., Liu, E., & Xiang, P., (2021). Optimization of international roughness index model parameters for sustainable runway. *Sustainability*,13,2184.
- Thota, P., Krauskopf, B., & Lowenberg, MH., (2008). Shimmy in a nonlinear model of an aircraft nose landing gear with non-zero rake angle. *EUROMECH Nonlinear Dynamics Conference*, St. Petersburg, Russia.
- Yu, Q., Fang, Y., Wix, R., (2023). Evaluation framework for smartphone-based road roughness index estimation systems. *International Journal of Pavement Engineering*, 24(1),2183402.



Araştırma Makalesi / Research Article

ARAÇ SÜSPANSİYON SİSTEMLERİ İÇİN KONTROLCÜ ALTINDA POTANSİYEL ENERJİ KAZANIMI ANALİZİ

CONTROLLER-BASED POTENTIAL ENERGY GAIN ANALYSIS FOR VEHICLE SUSPENSION SYSTEMS

Bilal EROL¹

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1481959>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
berol@yildiz.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
10.05.2024

Kabul Tarihi / Accepted
23.05.2024

Öz

Günümüzde elektrikli ve hibrit elektrikli araçlara olan ilgi yükselen bir ivme ile artmaktadır. Bu araçlara olan ilginin temelinde gerek iklim değişikliğiyle mücadele ve gerekse de karbon emisyonlarının azaltılması önemli bir rol oynamaktadır. Ulaşımın hava kirliliğine ve küresel ısınmaya ciddi oranda doğrudan etkilediği düşünüldüğünde, elektrikli araçlara geçiş bu zararlı emisyonları önemli ölçüde azaltabilecektir. Daha temiz ve daha sürdürülebilir bir gelecek için elektrikli ve hibrit elektrikli araçlar geniş çapta desteklenmektedir. Bu araçlardaki enerji optimizasyonu konusu direk olarak menzil değerini etkilediğinden oldukça önemli hale gelmiştir. Araçlarda enerji geri kazanımı, enerji verimliliğini artırmak ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak dolayısıyla da çevresel etkiyi azaltmak için hayati önem taşır. Enerji geri kazanımlı süspansiyon sistemi, araçtaki enerji toplama yeteneğini artırarak araçları daha sürdürülebilir ve çevre dostu hale getirmektedir. Bu çalışmada araç süspansiyon sistemlerinde aktif bir kontrolcü altında, kazanılabilecek enerji analizi detaylı olarak farklı yol ve araç koşullarında ele alınmıştır. Araştırmada ilk olarak farklı yol profillerinin yolcu konforuna etkisini azaltan süspansiyon sistemi için optimal bir kontrolcü tasarlanmıştır. Ayrıca, bu kontrolcü altında enerji geri kazanımı simüle edilip, analizi yapılarak farklı koşulların potansiyel enerji kazanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif süspansiyon sistemi, enerji geri kazanımı analizi, optimal kontrolcü tasarımı, rejeneratif süspansiyon sistemi.

Abstract

Interest in electric and hybrid electric vehicles is increasing rapidly. This interest is driven by the need to combat climate change and reduce carbon emissions. Given the significant direct impact of transportation on air pollution and global warming, the transition to electric vehicles has the potential to significantly reduce these harmful emissions. Electric and hybrid electric vehicles are widely supported for a cleaner and more sustainable future. Energy optimization in these vehicles is crucial as it directly affects their range. Energy recovery in vehicles is vital for increasing energy efficiency, reducing reliance on fossil fuels, and consequently, minimizing environmental impact. The regenerative suspension system enhances energy harvesting capabilities, making vehicles more sustainable and environmentally friendly. In this study, energy analysis under active control of the vehicle suspension system is discussed in detail under different road and vehicle conditions. In the research firstly an optimal controller is developed for the suspension system to enhance passenger comfort by reducing the effects of road roughness. Furthermore, energy recovery was simulated and analyzed under this controller to investigate the effect of different conditions on potential energy gain.

Keywords: Active suspension system, energy harvesting analysis, optimal controller design, regenerative suspension system.

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
berol@yildiz.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-1810-6500.

1. GİRİŞ

Elektrikli ve hibrit elektrikli araçlardaki teknoloji geliştirme çalışmalarının artan bir ivme ile devam ettiği bu dönemde, bu araçların içten yanmalı motorlu araçların yerini almaya başlamıştır. Yakın gelecekte özellikle belli ülkelerde dizel araçların kullanımının engellenmesi ile beraber elektrikli araç kullanım oranlarının çok daha hızlı bir şekilde yükselmesi beklenmektedir. Elektrikli araçların kullanımındaki beklenen artış bu tür araçlardaki iki önemli kısıt olarak tanımlanan şarj süresi ve araç menzili konusundaki çalışmaların yoğunlaşmasına sebep olmuştur. Bir elektrikli aracı şarj etmek, özellikle standart ev tipi şarj cihazları kullanıldığında, geleneksel içten yanmalı motorlu bir araca kıyasla çok daha uzun sürebilir. Hızlı şarj istasyonları şarj sürelerini azaltabilir, ancak bunlar da hem yaygın değil hem de geleneksel benzin istasyonları kadar uygun olmayabilir. Ayrıca çoğu elektrikli aracın sürüş menzilin, benzinli araçlara göre hala sınırlı olması başka bir endişe kaynağıdır. Farklı elektrikli araç modelleri için menzil ve şarj süreleri incelendiğinde, bu tip araçlarda enerji geri kazanımının çok büyük bir öneme sahip olduğu net bir şekilde görülmektedir. Bu sebeple araç menzilin artırılması ve şarj sürelerinin kısaltılmasında önemli rol oynayan araçta kullanılan enerjinin geri kazanımının optimizasyonu da dikkat çekici bir çalışma konusu haline gelmiştir.

Enerji geri kazanımı, yakıt tüketimine katkı sağlayarak, araçlarda menzilin uzamasına doğrudan etki edip, özellikle elektrikli ve hibrit elektrikli araçlarda pazar genişlemesini olumlu katkı sunmakla beraber daha geniş kitle tarafından tercih edilmesine neden olabilecek etkili bir yaklaşımdır. Araçlarda enerji geri kazanımı üzerine son on yılda literatüre kazandırılmış çok çeşitli çözümler bulunmaktadır. Bunların başında rejeneratif frenleme, rejeneratif süspansiyon, tekerlek ve lastiklerden enerji geri kazanımı gibi teknolojiler çalışmalarda yer edinmektedir (Bai & Liu, 2021; Hosseini ve ark., 2023). Rejeneratif frenleme, elektrikli ve hibrit araçlarda enerji verimliliği ve menzil açısından önemli avantajlar sunan önemli bir çalışmadır (Bai & Liu, 2021; Jerrelind ve ark., 2021; Hamada & Orhan, 2022; Hosseini ve ark., 2023; Caban ve ark., 2023). Araçlarda kinetik enerji, fren balataları ve tekerlek arasında ısıya dönüşmektedir. Bu tür araçlarda trafiğin yoğun olduğu durumlarda kaybedilen enerji miktarı da oldukça fazla olmaktadır. Boşa harcanan bu kinetik enerjiyi depolamak rejeneratif frenleme teknolojisinin temel çıkış noktasıdır. Bu teknoloji sayesinde araç frenleme sırasında kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür, bu enerji de daha sonra kullanmak için aracın bataryasında depolanır. Menzil uzatılmasına katkı sağlamak adına başvurulmuş bir diğer yöntem ise tekerleklerden ve lastiklerden enerji geri kazanımı üzerinedir. Bu çalışma bir aracın tekerleklerinin hareketinden kaynaklanan mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine dönüştürülmesi üzerinedir (Maurya ve ark., 2018; Pei ve ark., 2021; Hosseini ve ark., 2023).

Sürüş esnasında yol bozukluklarından kaynaklı aracın dikey yönde hareketlenmesiyle, oluşan titreşim enerjisini ısıya dönüştürerek titreşimleri bastıran geleneksel süspansiyon sistemlerinin aksine, enerji geri kazanımı özelliğine sahip rejeneratif süspansiyon sistemleri, boşa harcanan enerjiyi elektriğe dönüştürebilir. Bu durumda rejeneratif süspansiyon sistemi, sarf edilen enerjinin geri kazanımına yönelik başvurulabilecek yenilikçi bir teknoloji olarak literatürde yer edinmektedir. Aktif geri kazanımlı süspansiyon sistemi, sadece sürüş konforunu ve araç sürüş güvenirliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda enerji verimliliği ve sürdürülebilirliğe de doğrudan katkıda bulunmaktadır. Yolda karşılaşılan çukur ve titreşimlerden enerjiyi kullanarak, sistem bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür ve bu elektrik enerjisini aracın çeşitli bileşenlerini, örneğin klimayı çalıştırmak veya sensörlerle donatılmış araçta bu sensörler için kullanılabilir hale getirir. Bu rejeneratif süreç, aracın genel enerji tüketimini ve fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmaya yardımcı olur ve böylece çevre dostu hale gelir. Bundan dolayıdır ki son zamanlarda bu alanda yapılan çalışma sayısı da katlanarak artmaktadır.

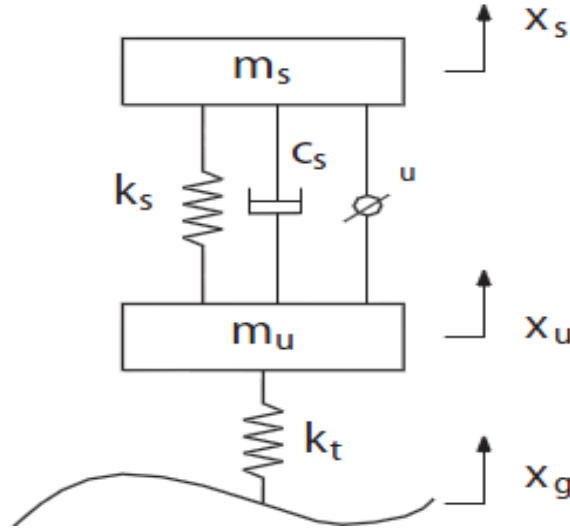
Süspansiyon sistemini en genel haliyle bir yay ve damperden oluşan, tekerlek ile şaft arasında bağlantıyı sağlayan mekanik düzenek olarak tanımlayabiliriz. Burada yay ve damperin temel görevi araç gövdesini taşımak ve yoldan gelebilecek titreşimleri sönmüleyerek sürüş konforunu ve yol tutuş kabiliyetini arttırmaktır. Bir yay ve damperin paralel bağlanmasıyla meydana gelen pasif süspansiyon sistemleri, süspansiyon sistemlerinin en temel halini teşkil etmektedir. Aktif ve yarı aktif süspansiyon sistemleri son 30 yılda kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır (Savaresi ve ark., 2010; Aly & Salem, 2013). Elektronik malzemelerin, algılayıcıların yetkinliklerinin artmasıyla daha akıllı süspansiyon sistemleri üretilmeye başlanmıştır. Bu da beraberinde daha karmaşık yapıya ve bilhassa daha fazla ek enerji tüketimine sebep olmaktadır. Bundan dolayıdır ki pasif elemanlar ile tasarlanan süspansiyon sistemleri, her ne kadar yoldan gelen bozucuların anlık değişimlerine dinamik bir cevap verememekte ve performans ölçütlerinin istenilen seviyelerin altında olmasına neden olsa da, basit yapısı, yüksek güvenilirliği ve düşük maliyeti nedeniyle otomotiv endüstrisinde halen kullanılmaktadır.

Geleneksel süspansiyon sistemleri sürüş konforunu sağlamak adına, pasif sistemlerde enerjiyi boşa harcanmakta (Mirzaei & Hassannejad, 2007), aktif sistemlerde ilaveten üretilen enerji de tüketilmektedir (Els ve ark., 2007; Sun ve ark., 2010; Savaresi ve ark., 2010; Moradi ve ark., 2019). Bundan dolayıdır ki, enerjinin önem arz ettiği uygulamalarda hem pasif hem de aktif süspansiyon sistemleri enerji açısından elverişsizdir. Bu süspansiyon sistemlerinin yanında, aktif enerji verimli rejeneratif süspansiyon sistemleri, süspansiyon sisteminin yalnızca gelişmiş dinamik performansını sağlamakla kalmayıp aynı zamanda boşa harcanan titreşim enerjisini de elektriğe dönüştürebilme yetkinliğinden dolayı son yıllarda bilhassa elektrikli ve hibrit elektrikli araçlar üzerine olan araştırmalarda büyük ilgi görmüştür (Zhang ve ark., 2017; Abdelkareem ve ark., 2018a; Xie ve ark., 2019; Lv ve ark., 2020; Bai & Liu, 2021; Galluzzi ve ark., 2021; Qin ve ark., 2022; Azmi ve ark., 2023). Rejeneratif süspansiyon sistemlerinde, kullanılacak uygun optimizasyona da bağlı olarak güç kaynağında depolanan voltaj seviyesi, aktif kontrol ve enerji yenileme modları arasında ne zaman geçiş yapılacağını belirler (Abdelkareem ve ark., 2018a; Azmi ve ark., 2023). Burada eğer güç kaynağındaki gerilim seviyesi indüklenen gerilimden yüksekse, sistem aktif kontrol modunda çalışır, aksi takdirde rejenerasyon moduna geçer. Böylelikle engebeli arazilerde sürüş konforu ve yol tutuş kabiliyeti sağlanırken, bir miktar enerji de geri kazanılmış olur. Kullanılacak uygun optimizasyon tekniğine de bağlı olarak, rejeneratif süspansiyon sistemleriyle geleneksel olanlara kıyasla daha verimli sonuçlar almak mümkündür (Qin ve ark., 2022). Sonuç olarak süspansiyon titreşimlerinden geri kazanılan enerji, aküyü şarj etmek ve araç alternatörüne ek olarak elektrik yüklerini beslemek için veya gelişmiş sensör ağı ile donatılmış araçlarda bu sensörler için kullanılabilir (Abdelkareem ve ark., 2018a).

Araçlarda, süspansiyon sistemi, tekerlek ile yol yüzeyi arasındaki etkileşimi etkin bir şekilde yöneterek hem güvenliği hem de konforu sağlamada kritik bir rol oynar. Süspansiyon sistemi, yoldan gelen titreşimlerin, araç içerisine olumsuz etkilerini minimize ederek yolcular için konforlu bir sürüş sağlarken, sürüş güvenliğini de korumaya yardımcı olarak genel araç performansını artırır. Dolayısıyla taşıtta güvenlik ve konforun sağlanması için taşıtın süspansiyon sistemleri görevlerini eksiksiz olarak yerine getirmesi gerekmektedir. Bunun sağlanması adına öncelikle süspansiyon sisteminin uygun bir şekilde modellenmesi ve daha sonra bu model üzerinden performans kriterleri baz alınarak uygun kontrolör ile desteklenip bozucu etkisinin azaltılması sağlanmalıdır. Bu çalışmada amaç, ilk hedef doğrultusunda farklı yol profillerinin yolcu konforuna etkisini azaltmak adına çeyrek taşıt süspansiyon sistemi için optimal kontrolcü tasarımı geliştirilmiştir. Literatürden farklı olarak bu çalışmanın devamında, araç süspansiyon sistemlerinde aktif bir kontrolcü altında, kazanılabilecek enerji analizi detaylı olarak farklı yol ve araç koşullarında ele alınmıştır. Ayrıca, bu kontrolcü altında enerji geri kazanımı simüle edilip, analizi yapılarak farklı koşulların potansiyel enerji geri kazanımı üzerindeki etkisi irdelenmiştir.

2. ÇEYREK TAŞIT SÜSPANSİYON SİSTEMİ

Araç süspansiyon sistemleri, 1960'lardan beri hem akademik hem de endüstri araştırmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Başlangıçta, mühendisler pasif süspansiyon sistemleri üzerinde çalışmıştır, bu sistemler temelde yay ve sönümlenme bileşenlerinin paralel bağlantılarından oluşmaktadır. Pasif süspansiyon sistemleri olarak adlandırılan bu sistemler, sabit elemanlara dayandığından, farklı yol koşullarına uyum sağlayamamakla beraber uygulama alanı bakımından ciddi kısıtlamalar barındırmaktadır. Yol uyarılarına daha iyi dinamik bir yanıt sağlamak için bir üzerindeki eyleyiciyle doğrudan uygulanacak kuvvet sayesinde araç gövdesinde yol yüzeyindeki değişimler sonucunda indüklenen enerjinin ayarlanabilmesi mümkün kılınmaktadır. Elektronik tabanlı aktif süspansiyon sistemleri 1980'lerin sonlarında kullanılmaya başlanmıştır. O zamana kadar, kontrol alanındaki gelişmelerin kullanılması, aktif süspansiyon sistemlerinde önemli iyileştirmelere yol açmıştır.



Şekil 1 Çeyrek Taşıt Aktif Süspansiyon Sisteminin Temel Yapısı

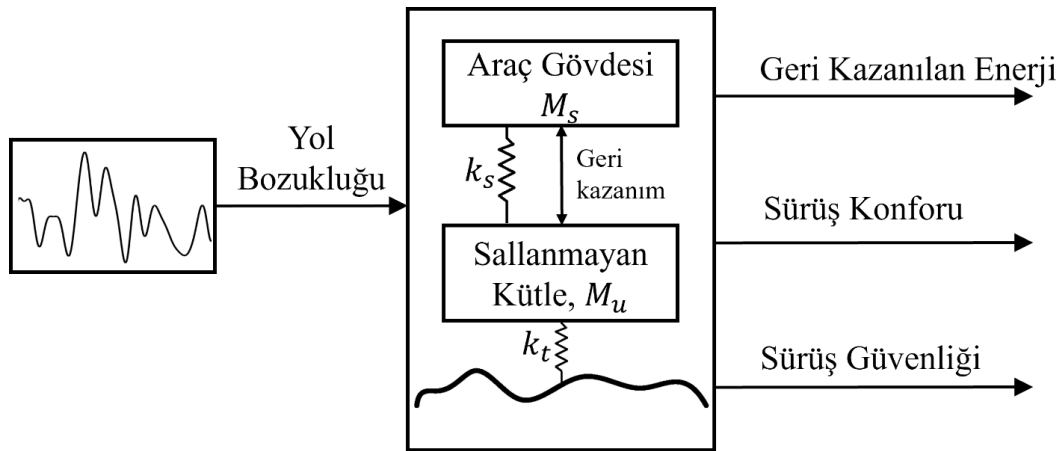
İki serbestlik derecesine sahip çeyrek taşıt süspansiyon sistemi Şekil 1’de gösterilen yapıya sahiptir. Süspansiyon sistemi, araç gövdesi, m_s , ile sallanmayan kütle, m_u , arasında bulunmaktadır. Burada k_s süspansiyon yay sabiti, k_t tekerlek yay sabiti, c_s süspansiyonda kullanılan damperin sönüm oranı, x_g , x_u ve x_s sırasıyla yol, tekerlek ve şase konumlarını ifade etmektedir. u ise aktif süspansiyon sistemlerinde, yay ile dampere paralel bağlanan harici eyleyicidir. Çeyrek taşıt aktif süspansiyon sistemine ilişkin dikey yönlü hareket denklemleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$\begin{aligned} m_u \ddot{x}_u &= k_t(x_g - x_u) - k_s(x_u - x_s) - c_s(\dot{x}_u - \dot{x}_s) - u, \\ m_s \ddot{x}_s &= k_s(x_u - x_s) + c_s(\dot{x}_u - \dot{x}_s) + u \end{aligned} \quad (1)$$

Süspansiyon sistemlerinin performans iyileştirmesi problemlerinde üç çıkış üzerine işlem yapılmaktadır. Bunlar aracın dikey ivmelenmesi \ddot{x}_s , süspansiyonun sapma miktarı $|x_s - x_u|$ ve araç gövdesinin hareketi x_s şeklindedir. Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra sistemin durum uzay gösterimi Denklem 3’te gösterildiği gibi elde edilmektedir.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \dot{x}_s \\ \dot{x}_u \\ \ddot{x}_s \\ \ddot{x}_u \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -\frac{k_s}{m_s} & \frac{k_s}{m_s} & -\frac{c_s}{m_s} & \frac{c_s}{m_s} \\ \frac{k_s}{m_u} & -\frac{(k_s+k_t)}{m_u} & \frac{c_s}{m_u} & -\frac{c_s}{m_u} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ x_u \\ \dot{x}_s \\ \dot{x}_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{k_t}{m_u} \end{bmatrix} x_g + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{m_s} \\ -\frac{1}{m_u} \end{bmatrix} u, \\
\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ y \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\frac{k_s}{m_s} & \frac{k_s}{m_s} & -\frac{c_s}{m_s} & \frac{c_s}{m_s} \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_s \\ x_u \\ \dot{x}_s \\ \dot{x}_u \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{m_s} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (2)
\end{aligned}$$

Rejeneratif süspansiyon sistemlerinin genel yapısı Şekil 2'de gösterilmiştir. Literatürde bu alandaki çalışmalar incelendiğinde başvurulacak optimizasyon çerçevesinde uygun kontrolcü geliştirmek için iki önemli faktörün dikkate alınması gerekmektedir. Bunlardan ilki, süspansiyon sisteminin doğrusal olmayan parametreleridir, bu parametreler zamanla da değişkenlik göstermektedir. İkinci olarak ise, enerji geri kazanımı ile sürüş konforu birbiriyle çelişebilmektedir. Dolayısıyla tasarlanacak kontrolcünün farklı sürüş koşullarında enerji geri kazanımını ve sürüş konforunu doğrudan yönetme kabiliyetine sahip olmalıdır. Bir başka deyişle, aktif, enerji verimli süspansiyon sisteminde yolcu konforu sağlanırken süspansiyon sisteminde geri kazanılan enerji maksimum değere çıkartılarak, araçtaki enerji kullanımının da minimize edilmesi hedeflenilmesidir. Bu amacın başarılı olması durumunda hem araç menzilin uzatılmasına hem de şarj süresinin kısaltılmasına önemli bir katkı yapılmış olacak ve yolcu konforu ile güvenlik seviyesi yükseltilecektir. Literatürde bu alandaki çalışmalarda hibrit elektrik araçlarda aktif süspansiyon sistemi ile enerji kazanımı ve hibrit elektromanyetik süspansiyonlar kullanılarak enerji kazanımı konuları üzerinde durulmuştur (Wang ve ark., 2018; Abdelkareem ve ark., 2018a; Xie ve ark., 2019; Azmi ve ark., 2023).



Şekil 2 Rejeneratif Çeyrek Taşıtlı Süspansiyon Sistemi Modeli

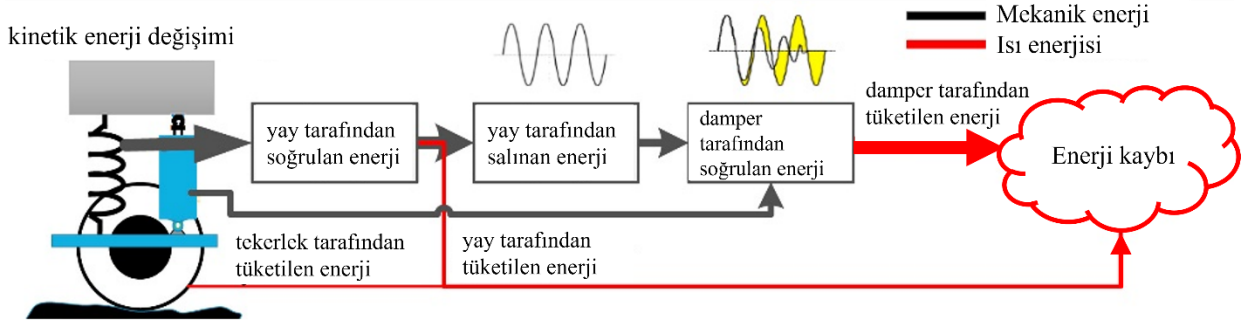
Geleneksel süspansiyon sistemlerindeki enerji akışı Şekil 3'te gösterilmiştir (Zhang ve ark., 2017). Bu şekilde de gözüktüğü gibi tekerlek, yay ve damper tarafından edinilen enerji tüketilmektedir. Literatürde bu alanda yapılan çalışmaların ekseriyetinde, süspansiyon titreşim modeli incelendiğinde geri kazanılabilecek maksimum enerji, sönümleme elemanı olan damper tarafından tüketilen enerji olarak karşımıza çıkmaktadır, dolayısıyla anlık potansiyel gücü, doğrudan süspansiyon bağlı hızı ile sönümleme katsayısının çarpımına ilişkilendirmek mümkündür (Zhang ve ark., 2017; Abdelkareem ve ark., 2018a; Hosseini ve ark., 2023; Caban ve ark., 2023). Bu durumda damper üzerinden anlık sönümleme kuvveti, süspansiyonun hızı $\dot{x}_s - \dot{x}_u$ ile doğru orantılıdır. Anlık güç de kuvvet ile bu süspansiyonun hızının çarpımına eşittir. Dolayısıyla süspansiyon sistemi üzerinden harcanılan anlık güç,

$$P = c_s(\dot{x}_s - \dot{x}_u)^2 \quad (3)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Abdelkareem ve ark., 2018a; Abdelkareem ve ark., 2018b). Burada $(\dot{x}_s - \dot{x}_u)$ süspansiyon dikey yöndeki bağıl hızı, c_s ise sönümlenme katsayısıdır. Sonuç olarak geri kazanılabilecek enerji,

$$W = \int P dt = \int c_s(\dot{x}_s - \dot{x}_u)^2 dt \quad (4)$$

şeklinde elde edilir (Taghavifar & Mardani, 2017).



Şekil 3 Geleneksel Süspansiyon Sistemlerindeki Enerji Akışı (Zhang ve ark., 2017).

3. \mathcal{H}_∞ KONTROLÇÜ TASARIMI

Dinamik bir sistemin kararlılığının sağlanmasını takiben, bu sistemi belli performans ölçütleri baz alınarak kontrol edilmesi gerekmektedir. \mathcal{H}_∞ kontrolcü tasarımı problemi, bu performans ölçütlerinden, sistemin performans çıkışı üzerindeki bozucu etkisinin makul seviyelere indirilmesiyle ilintilidir. Bir sistemin sonsuz normu, o sistemin frekans bölgesinde verdiği en yüksek genlikteki cevabıdır. Bir başka deyişle, bu frekans bandındaki en yüksek tekil değere

$$\|P_{CL}(s)\|_\infty = \sup_w \bar{\sigma}(P_{CL}(jw)) \quad (5)$$

karşılık gelmektedir. Burada $P_{CL}(s) = C(sI - A)^{-1}B + D$ bozucu girişi ile önceden seçilen performans çıkışı arasındaki kapalı çevrim transfer fonksiyonunu ve $\bar{\sigma}$ ise en büyük tekil değeri göstermektedir. Dolayısıyla, \mathcal{H}_∞ optimizasyon yaklaşımında amaç, olabilecek en kötü durumun yani bozucunun performans çıkışında etkisinin daha fazla olduğu durumu düşünülüp, bunun düşürülmesine dayalıdır. Sonuç olarak Bounded Real Lemma üzerinden, $\|P_{CL}(s)\|_\infty < \gamma$ denklemini sağlayan pozitif γ bulunabilir (Scherer, 1990).

Standart \mathcal{H}_∞ tabanlı kontrol teorisinin temel yapısı (Zames, 1981) tarafından oluşturulmuş ve 19. yy. sonlarına doğru bu problem daha uygun formda (Doyle ve ark., 1988) tarafından iki Riccati denkleminin çözümü şeklinde sunulmuştur. Takip eden yıllarda sonraki yıllarda (Gahinet & Apkarian, 1994) çalışmalarında, bu kontrol problemi doğrusal matris eşitsizliğine (DME) indirgeyerek çözüme gitmişlerdir. DME'lerin gelişimiyle beraber konveks yapıdaki bu tür kontrol problemlerinin çözümüne de olanak sağlanmıştır.

3.1. Problemin Tanımı

\mathcal{H}_∞ kontrolcü tasarımına ek olarak kapalı çevrim kutuplarının yerlerine kısıt konulmasıyla, bozucu bastırma problemine ile beraber maksimum üst aşım, yerleşme zamanı, eyleyici doyumu gibi performans istekleri de bu kontrolcüyle gerçekleştirilebilir.

Herhangi bir doğrusal iki girişli iki çıkışlı P sistemi için, $x \in \mathbb{R}^n$ durum değişkeni vektörü, sistemin girişleri de w ve u sırasıyla bozucu girişi ve kontrol girişidir. Bu sistemin çıkışlarından, y ölçülebilen, z ise performans çıkışıdır. P sisteminin durum uzay gösterimi;

$$P: \begin{pmatrix} \dot{x} \\ z \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B_w & B_u \\ C_z & D_{zw} & D_{zu} \\ C_y & D_{yw} & D_{yu} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ w \\ u \end{pmatrix} \quad (6)$$

şeklindedir. Burada $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $B := [B_w \ B_u] \in \mathbb{R}^{n \times m}$, $C := \begin{bmatrix} C_z \\ C_y \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{p \times n}$, $D := \begin{bmatrix} D_{zw} & D_{zu} \\ D_{yw} & D_{yu} \end{bmatrix} \in \mathbb{R}^{p \times m}$ durum uzay matrisleridir.

P sisteminin ölçülen çıkışlarını, y , ile sistemin kontrol girişi olan, u arasına yerleştirilen K doğrusal kontrolcüsünün durum uzay gösterimi:

$$K := \begin{pmatrix} \dot{x}_k \\ u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_k & B_k \\ C_k & D_k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_k \\ u \end{pmatrix} \quad (7)$$

burada $x_k \in \mathbb{R}^{n_k}$ kontrolörün durum değişkeni, A_k, B_k, C_k, D_k sistem matrisleridir. Bozucu girişi w ile performans çıkışı z arasındaki transfer fonksiyonuna karşılık gelen, P sisteminin, K doğrusal kontrolcüsüyle beraber kapalı çevrim formu, $P_{CL}(s) = C_{CL}(sI - A_{CL})^{-1}B_{CL} + D_{CL}$ halini alır. Standart \mathcal{H}_∞ kontrol teorisine göre bu amaç doğrultusunda tasarlanan kontrolcü derecesinin en az sistem derecesinde olması gerekmektedir.

Bu çalışma, sürüş konforunu arttırmaya yönelik iyileştirmeler ve bu iyileştirmeler çerçevesinde süspansiyon sistemlerinde sönümleme elemanı olan damper üzerinden geri kazanılabilecek potansiyel enerji analizi üzerine kurgulanmıştır. Araçlarda sürüş konforuyla doğrudan ilişkili olan dikey yöndeki ivmelenme ile yol bozucusu arasındaki sonsuz normunun minimizasyonu, bir başka ifadeyle olabilecek en kötü senaryo ile başa çıkmak adına çıkış geri beslemeli \mathcal{H}_∞ kontrolcü tasarımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilecek kontrolcünün başarımı ve bu kontrolcü altında kazanılabilecek enerji analizi Tablo 1’de verilen farklı tipte araçlar ve yol tipleri üzerinde benzetim ortamında gösterilmektedir.

4. BENZETİM SONUÇLARI

Bu çalışma kapsamında çeyrek taşıt süspansiyon sistemi için araç gövdesinin ivmelenmesi ile yol bozucusu arasında kalan sistemin sonsuz normunun minimizasyonunun sağlanması adına \mathcal{H}_∞ kontrolcü tasarlanmıştır. Çeyrek taşıt süspansiyon modeline ait parametreler farklı araç modellerinden alınmıştır. Başvurulan bu araçlar; binek otomobil, otobüs ve ağır tonajlı tır olarak seçilmiştir, bunlara ait veriler Tablo 1’de verilmiştir.

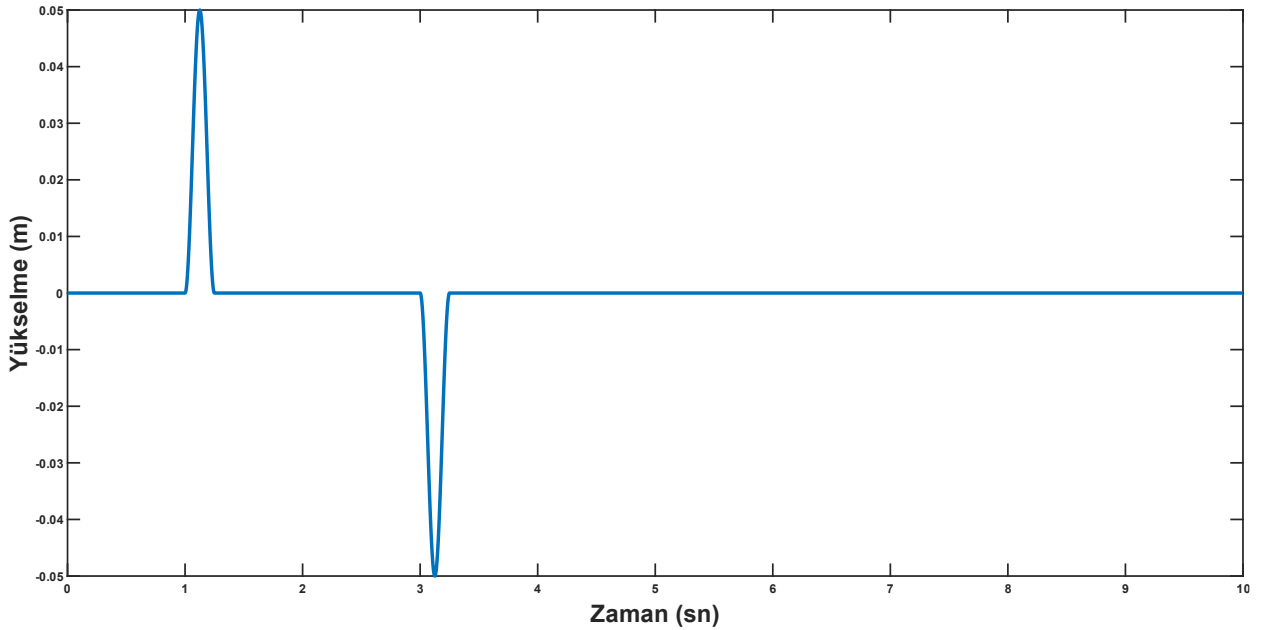
Tablo 1 Kullanılan Çeyrek Taşıt Süspansiyon Sistemlerine Ait Parametreler

Parametre	Otomobil (Mudduluru, & Chizari, 2021)	Otobüs (Abougarair & Mahmoud, 2017)	Ağır Tonajlı Tır (Hajdu ve ark., 2019)
M_s (kg)	375	2500	2500
M_u (kg)	59	320	310
K_s (N/m)	35000	80000	300000
K_t (N/m)	190000	500000	1000000
c_s (N. s)/m	1000	350	20000

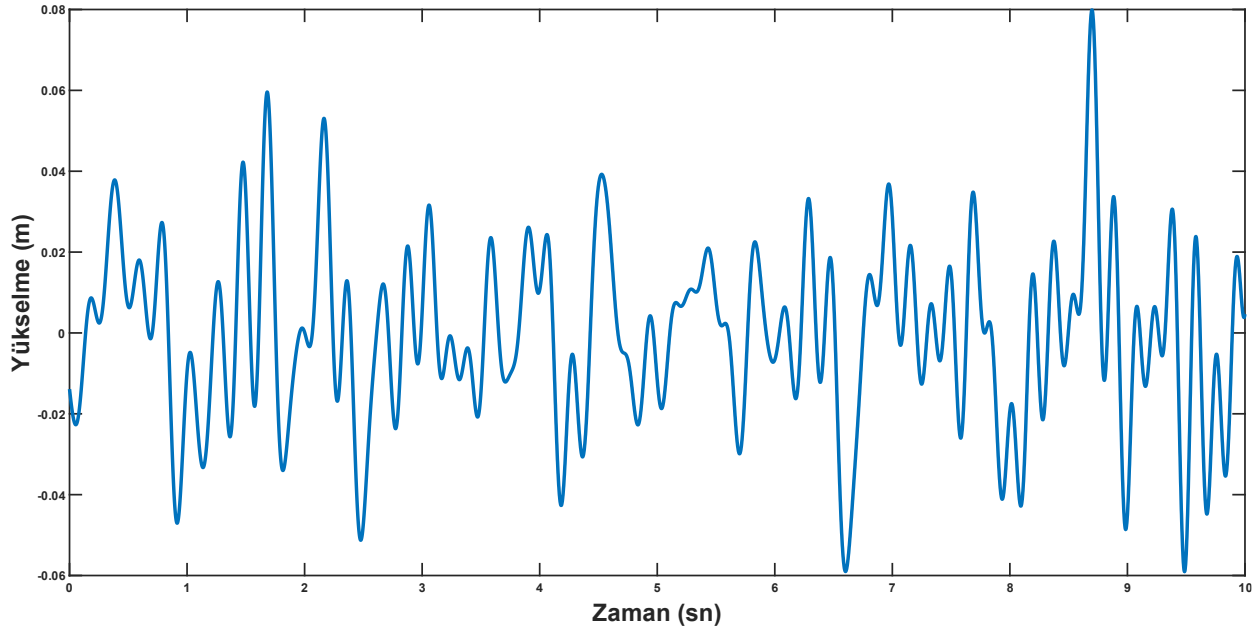
Yol bozukluk modelleri, araç dinamiklerini doğru bir şekilde simüle etmede önemlidir. Bu profiller, yol yüzeyindeki düzensizlikleri, tümsekleri tanımlar ve aracın sürüş kalitesini ve süspansiyon sisteminin performansını doğrudan etkiler. Bu çalışmada tasarlanan optimal kontrolcünün altında enerji analizi için üç farklı yol tipine başvurulmuştur. Bunlardan ilki 5cm yükselti ve 5cm çukurdan oluşan, Denklem 8’de verilen Şekil 4’te gösterilen tümsek tipi yol profilidir. İkinci yol profili ise Denklem 9’da verilen ve Şekil 5’te gösterilen yirmi sinüs işareti toplamı cinsinden elde edilmiştir. Bu yol profilinin oluşturulmasındaki en önemli bileşen, seçilen işaretin bant genişliğidir. ISO2361’e göre araç içindeki yolcuların en fazla 4-8 Hz aralığındaki titreşimlerden rahatsız olması sebebiyle giriş sinyalinin frekans aralığı olarak 0-50 (radyan/saniye) seçilmiştir.

$$w(t) = \begin{cases} 0.05(1 - \cos(8\pi t)), & 0 \leq t \leq t_0 \\ 0, & t > t_0 \end{cases} \quad (8)$$

$$w(k) = \sum_{i=1}^{20} a_i \cos(w_i t_s k) \quad (9)$$



Şekil 4 Tümsek Tipi Yol Profili



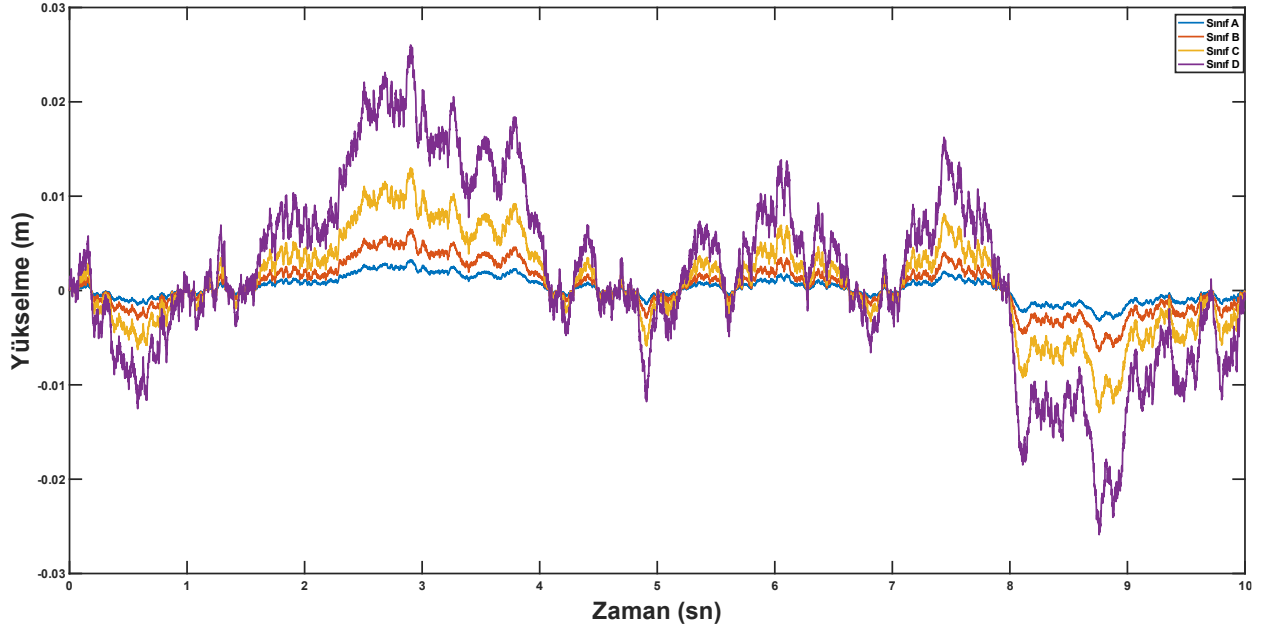
Şekil 5 Farklı Genlik ve Frekansa Sahip 20 Sinüs Sinyalinin Toplamı Cinsinden Elde Edilen Stokastik Yol Profili. Yer Değiştirmeye ilişkin RMS Değeri 64.98mm'dir

Yol yüzeyi pürüzlülüğü karakterize etmede kullanılan bir diğer yaygın yöntem, belirli bir yer değiştirme güç spektral yoğunluğuna (PSD) sahip durağan Gauss stokastik süreç üzerine kurgulanmıştır. Burada yol pürüzlülüğü, ortalama bir değer ve zaman içinde değişmeyen bir varyansla karakterize edilen bir durağan süreç olarak kabul edilir. PSD, pürüzlülüğün farklı frekanslarda nasıl dağıldığını tanımlar. Durağan Gauss stokastik süreç olarak tanımlanan yol yüzeyi pürüzlülüğü,

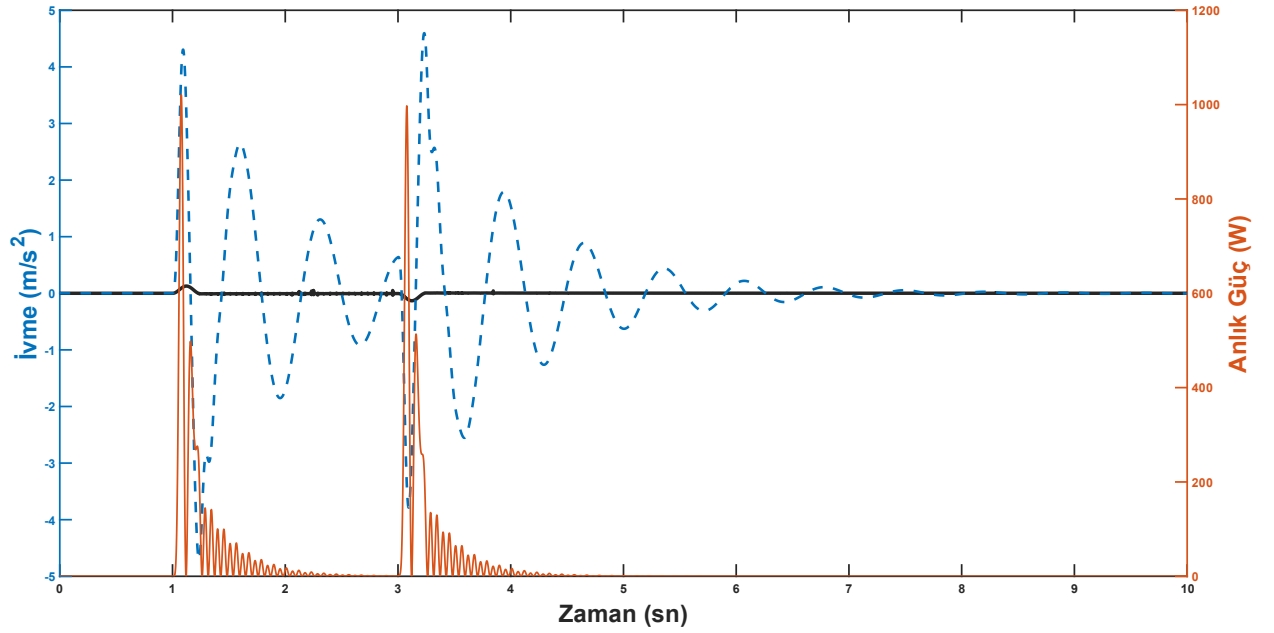
$$S_{\text{PSD}}(v) = S_0 \left(\frac{v}{v_0} \right)^{-\beta} = G_r v^{-\beta}, \left[\frac{m^3}{\text{devir}} \right] \quad (10)$$

Şeklinde ifade edilmekte olup, burada v devir/m cinsinden uzamsal frekans, $v_0 = 1/2\pi$ referans uzamsal frekans, S_0 v_0 'daki yer değiştirme PSD'si olup, $G_r = S_0/v_0^{-\beta}$ ise yol pürüzlülük katsayısıdır ve β genellikle 2 olarak kabul edilmektedir. G_r parametresine bağlı olarak 8 farklı (A (en iyi), B (iyi), C (orta), D (kötü), -H) yol pürüzlülüğü literatürde tanımlanmıştır (Hong ve ark., 2002; Zuo & Zhang, 2013; Long ve ark., 2018; Zhao ve ark., 2020). Sonuç olarak yol profili birinci dereceden bir filtre aracılığıyla beyaz gürültü girişi altında modellenebilir ve Denklem 11'de gösterildiği gibi tanımlanabilir. Bu denklemde q yol pürüzlülüğünden kaynaklanan dikey yöndeki yer değiştirme, V araç sürüş hızı, $f_0 = 0.011V$ alçak geçiren filtrenin kesim frekansı ve w beyaz gürültü sinyalidir (Zhao ve ark., 2020). Şekil 6'da farklı $G_r = (4, 16, 64, 256)$ değerlerine bağlı olarak elde edilen yol profilleri gösterilmiştir. Bu çalışmada araç hızı $V = 20m/s$ olarak kabul edilmiştir.

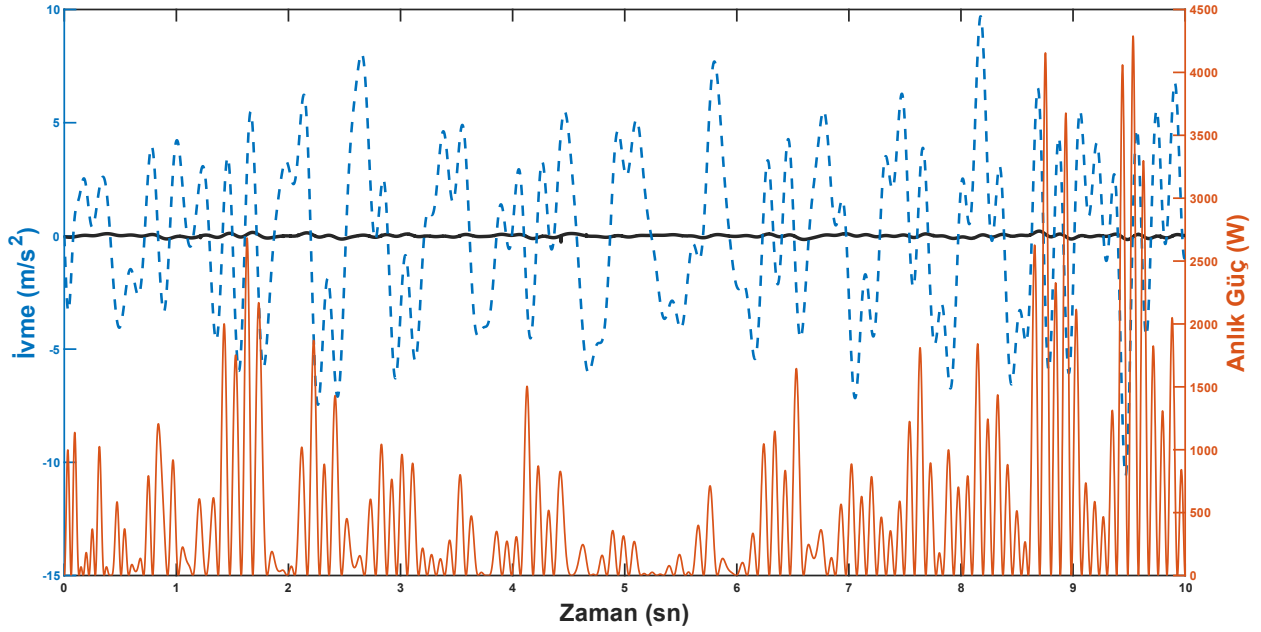
$$\dot{q} = -2\pi f_0 q + 2\pi v_0 w \sqrt{G_r V} \quad (11)$$



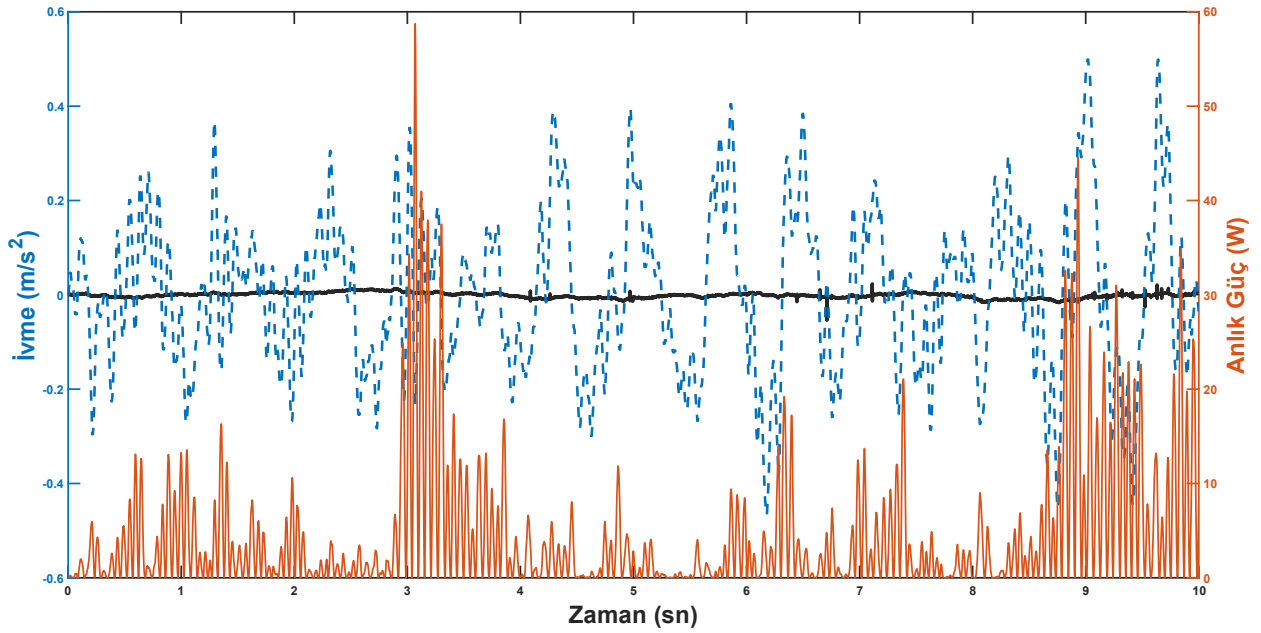
Şekil 6 Farklı G_r Değerlerinden Elde Edilen Yol Profilleri. Sınıf A-D Tipi Yol Profilleri Sırasıyla, Mavi-Turuncu-Sarı-Mor Renk ile Gösterilmiştir ve Bunlara İlişkin Yer Değiştirmenin RMS Değerleri 1.21, 2.43, 4.86 ve 9.72 mm şeklindedir



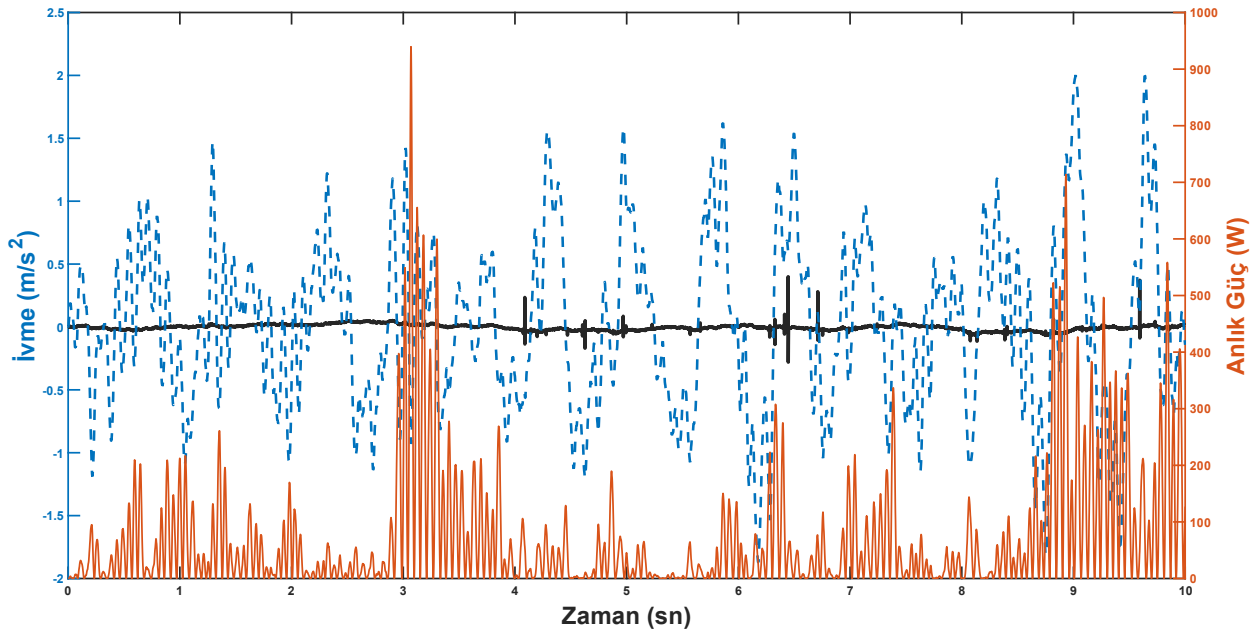
Şekil 7 Binek Otomobil Çeyrek Taşıtlı Süspansiyon Sistemi için \mathcal{H}_∞ Kontrolcüsü Kullanılarak Elde Edilen Kapalı Çevrim Sistemin (siyah düz çizgi) ve pasif sistemin (mavi kesikli çizgi) Tümsek Tipi Yol Profili Altında İvme Cevabı ile Aktif Sistemde Enerji Dağılım Oranı (turuncu).



Şekil 8 Binek Otomobil Çeyrek Taşıt Süspansiyon Sistemi için \mathcal{H}_∞ Kontrolcüsü Kullanılarak Elde Edilen Kapalı Çevrim Sistemin (siyah düz çizgi) ve pasif sistemin (mavi kesikli çizgi) Sinüslerin Toplamı Cinsinden Elde Edilen Stokastik Yol Profili Altında İvme Cevabı ile Aktif Sistemde Enerji Dağılım Oranı (turuncu)



Şekil 9 Binek Otomobil Çeyrek Taşıt Süspansiyon Sistemi için \mathcal{H}_∞ Kontrolcüsü Kullanılarak Elde Edilen Kapalı Çevrim Sistemin (siyah düz çizgi) ve pasif sistemin (mavi kesikli çizgi) Sınıf B Tipi Yol Profili Altında İvme Cevabı ile Aktif Sistemde Enerji Dağılım Oranı (turuncu)



Şekil 10 Binek Otomobil Çeyrek Taşıt Süspansiyon Sistemi için \mathcal{H}_∞ Kontrolcüsü Kullanılarak Elde Edilen Kapalı Çevrim Sistemin (siyah düz çizgi) ve pasif sistemin (mavi kesikli çizgi) Sınıf D Tipi Yol Profili Altında İvme Cevabı ile Aktif Sistemde Enerji Dağılım Oranı (turuncu)

Tablo 2 Farklı Çeyrek Taşıt Süspansiyon Sistemleri için Kontrolcü Altında Damper Elemanı Tarafından Harcanılan Güç Miktarına İlişkin RMS (W) Değerleri

Yol Tipi	Araç Cinsi		
	Otomobil	Otobüs	Ağır Tonajlı Tır
Sınıf A	1,99	0,54	36,86
Sınıf B	7,98	2,16	147,64
Sınıf C	31,94	8,64	592,97
Sınıf D	127,67	34,59	2337
Stokastik Yol Profili	795,16	2470	15383
Tümsek Tipi Yol Profili	98,10	138,45	1895

Bu çalışmada, \mathcal{H}_∞ kontrolcüsü, Tablo 1'de verilen üç farklı araç süspansiyon modeli için tasarlanmış ve ilgili sistemlere uygulanmıştır. Kontrolcünün etkinliği, farklı G_r değerlerinden elde edilen sentetik, sinüslerin toplamı cinsinden elde edilen stokastik ve tümsek tipi yol profilleri altında irdelenmiş, damper elemanı tarafından yönetilen anlık güç dağılımı incelenerek titizlikle değerlendirilmiştir. Ortaya çıkan analiz, kontrolcü altında çeşitli araç senaryoları üzerindeki enerji geri kazanımına ilişkin yetkinliğini derinlemesine göstermektedir. Bu çalışmada araç hızı $V = 20m/s$ olarak kabul edilmiştir. Benzetim çalışmalarında araç hızı ile geri kazanılabilecek enerjinin doğru orantılı olarak değiştiği gözlenmiştir. Şekil 7-Şekil 10'da otomobil modeli için tasarlanan kontrolcünün, pasif sistem üzerinden etkinliği ve bu amaç doğrultusunda aracın damper elemanı tarafından harcanan enerji gösterilmiştir. Sadeliği korumak adına, sadece bu araç için sonuçlar burada paylaşılmıştır.

Benzetim çalışması kapsamında her bir sistem için tasarlanan kontrolcü altında araç süspansiyon sistemine ait damper elemanı üzerinden harcanan ortalama güç dağılımına ait RMS sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Burada bir binek otomobilin, bir otobüsün ve bir ağır tonajlı tırın süspansiyon sistemlerinin enerji rejeneratif potansiyeli gösterilmektedir. Elde edilen bulgular sonucunda güç değerleri incelendiğinde yeni nesil aktif, enerji kazanımlı süspansiyon sistemlerinde önemli

hedeflerden biri olan, geri kazanılan enerjinin maksimum değere çıkartılması konusunun özellikle elektrikli araçlarda menzilin uzatılması noktasında büyük katkı sağlayacağı görülmektedir. Böylelikle aktif bir kontrolcü altında, rejeneratif süspansiyon sistemlerinin enerji hasadı kabiliyetlerini artırma potansiyelinin altını çizmekte ve böylece sürdürülebilir ve çevre dostu ulaşım çözümlerinin geliştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma, araç süspansiyon sistemlerinin verimliliğini ve sürdürülebilirliğini daha da artırmayı amaçlayan gelecekteki araştırmalar için örnek bir temel sağlamaktadır. Çalışmanın sonuçlarına ilişkin bütüncül yaklaşım, araç dinamiklerinde enerji yönetimi anlayışımızı zenginleştirmekle kalmıyor, aynı zamanda daha sürdürülebilir ve verimli ulaşım çözümlerinin önünü açıyor. Böylelikle aktif bir kontrolcü altında, rejeneratif süspansiyon sistemlerinin enerji geri kazanımı kabiliyetlerini artırma potansiyelinin altını çizmekte ve böylece sürdürülebilir ve çevre dostu ulaşım çözümlerinin geliştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunulabileceği gösterilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak geleneksel süspansiyon sistemlerine enerji geri kazanımı için gerçek zamanlı bir optimizasyon algoritması eklenmesi olumlu sonuçlar doğuracaktır. Bu sistemlerde enerji geri kazanımı ile birlikte güvenlik ve konforu çoklu olarak pareto optimal bölgeye çeken algoritmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Böylelikle sadece sürüş konforunu ve araç sürüş güvenirliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda enerji verimliliği ve sürdürülebilirliğe de doğrudan katkıda bulunulacaktır. Yolda karşılaşılan bozukluklar, çukur ve titreşimlerden edinilen potansiyel enerji kullanılarak, sistem bu mekanik enerjii elektrik enerjisine dönüştürebilir ve bu elektrik enerjisini de aracın çeşitli bileşenlerini, örneğin sensörlerle donatılmış araçta bu sensörler için kullanılabilir hale getirebilir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Abdelkareem, M. A., Xu, L., Ali, M. K. A., Elagouz, A., Mi, J., Guo, S., . . . Zuo, L. (2018a). Vibration energy harvesting in automotive suspension system: A detailed review. *Applied energy*, 229, 672–699.
- Abdelkareem, M. A., Xu, L., Guo, X., Ali, M. K. A., Elagouz, A., Hassan, M. A., . . . Zou, J. (2018b). Energy harvesting sensitivity analysis and assessment of the potential power and full car dynamics for different road modes. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 110, 307–332.
- Abougarair, A. A., & Mahmoud, M. M. (2017). Design and Simulation Optimal Controller for Quarter Car Active Suspension System. *In 1st Conference of Industrial Technology (CIT2017)*.
- Aly, A. A., & Salem, F. A. (2013). Vehicle suspension systems control: A review. *International journal of control, automation and systems*, 2(2), 46–54.
- Azmi, R., Mirzaei, M., & Habibzadeh-Sharif, A. (2023). A novel optimal control strategy for regenerative active suspension system to enhance energy harvesting. *Energy Conversion and Management*, 291, 117277.

- Bai, S., & Liu, C. (2021). Overview of energy harvesting and emission reduction technologies in hybrid electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147, 111188.
- Caban, J., Vrabel, J., Górnicka, D., Nowak, R., Jankiewicz, M., Matijošius, J., & Palka, M. (2023). Overview of energy harvesting technologies used in road vehicles. *Energies*, 16(9), 3787.
- Doyle, J., Glover, K., Khargonekar, P., & Francis, B. (1988, June). State-space solutions to standard H₂ and H_∞ control problems. In *1988 American Control Conference* (pp. 1691-1696). IEEE.
- Els, P. S., Theron, N. J., Uys, P. E., & Thoresson, M. J. (2007). The ride comfort vs. handling compromise for off-road vehicles. *Journal of Terramechanics*, 44(4), 303–317.
- Gahinet, P., & Apkarian, P. (1994). A linear matrix inequality approach to H_∞ control. *International journal of robust and nonlinear control*, 4(4), 421-448.
- Galluzzi, R., Circosta, S., Amati, N., & Tonoli, A. (2021). Rotary regenerative shock absorbers for automotive suspensions. *Mechatronics*, 77, 102580.
- Hajdu, F., Szalai, P., Mika, P., & Kuti, R. (2019). Parameter identification of a fire truck suspension for vibration analysis. *Pollack Periodica*, 14(3), 51-62.
- Hamada, A. T., & Orhan, M. F. (2022). An overview of regenerative braking systems. *Journal of Energy Storage*, 52, 105033.
- Hong, K.-S., Sohn, H.-C., & Hedrick, J. K., 2002, “Modified Skyhook Control of Semi-Active Suspensions: A New Model, Gain Scheduling, and Hardware-In-The-Loop Tuning,” *ASME J. Dyn. Syst., Meas., Control*, 124, pp. 158–167.
- Hosseini, S. M., Soleymani, M., Kelouwani, S., & Amamou, A. (2023). Energy Recovery and Energy Harvesting in Electric and Fuel Cell Vehicles, a Review of Recent Advances. *IEEE Access*.
- Jerrelind, J., Allen, P., Gruber, P., Berg, M., & Drugge, L. (2021). Contributions of vehicle dynamics to the energy efficient operation of road and rail vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 59(7), 1114-1147.
- Long, L. X., Quynh, L. V., & Cuong, B. V. (2018). Study on the influence of bus suspension parameters on ride comfort. *Vibroengineering Procedia*, 21, 77-82.
- Lv, X., Ji, Y., Zhao, H., Zhang, J., Zhang, G., & Zhang, L. (2020). Research review of a vehicle energy-regenerative suspension system. *Energies*, 13(2), 441.
- Maurya, D., Kumar, P., Khaleghian, S., Sriramdas, R., Kang, M. G., Kishore, R. A., ... & Priya, S. (2018). Energy harvesting and strain sensing in smart tire for next generation autonomous vehicles. *Applied energy*, 232, 312-322.
- Mirzaei, M., & Hassannejad, R. (2007). Application of genetic algorithms to optimum design of elasto-damping elements of a half-car model under random road excitations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-body Dynamics*, 221(4), 515–526.

- Moradi, S. M., Akbari, A., & Mirzaei, M. (2019). An offline lmi-based robust model predictive control of vehicle active suspension system with parameter uncertainty. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 41(6), 1699–1711.
- Mudduluru, S. R., & Chizari, M. (2021). Quarter and full car models optimisation of passive and active suspension system using genetic algorithm. *arXiv preprint arXiv:2101.12629*.
- Pei, J., Guo, F., Zhang, J., Zhou, B., Bi, Y., & Li, R. (2021). Review and analysis of energy harvesting technologies in roadway transportation. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125338.
- Qin, B., Chen, Y., Chen, Z., & Zuo, L. (2022). Modeling, bench test and ride analysis of a novel energy-harvesting hydraulically interconnected suspension system. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 166, 108456.
- Savaresi, S. M., Poussot-Vassal, C., Spelta, C., Sename, O., & Dugard, L. (2010). Semi-active suspension control design for vehicles. Elsevier.
- Scherer, C. W. (1990). *The Riccati inequality and state-space H_∞ -optimal control* [Doctoral dissertation]. Julius Maximilians University Würzburg, Germany.
- Sun, W., Gao, H., & Kaynak, O. (2010). Finite frequency hinf control for vehicle active suspension systems. *IEEE Transactions on control systems technology*, 19(2), 416–422.
- Taghavifar, H., & Mardani, A. (2017). Off-road vehicle dynamics. *Studies in Systems, Decision and Control*, 70, 37.
- Wang, R., Ding, R., & Chen, L. (2018). Application of hybrid electromagnetic suspension in vibration energy regeneration and active control. *Journal of Vibration and Control*, 24(1), 223–233.
- Xie, L., Cai, S., Huang, G., Huang, L., Li, J., & Li, X. (2019). On energy harvesting from a vehicle damper. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 25(1), 108–117.
- Zames, G. (1981). Feedback and optimal sensitivity: Model reference transformations, multiplicative seminorms, and approximate inverses. *IEEE Transactions on automatic control*, 26(2), 301-320.
- Zhang, Y., Guo, K., Wang, D., Chen, C., & Li, X. (2017). Energy conversion mechanism and regenerative potential of vehicle suspensions. *Energy*, 119, 961–970.
- Zhao, Z. H., Guan, Y. L., & Chen, S. A. (2020). Experimental research on PMSM ball screw actuator and structural design suggestion of featured active suspension. *IEEE access*, 8, 66163-66177.
- Zuo, L., & Zhang, P. S. (2013). Energy harvesting, ride comfort, and road handling of regenerative vehicle suspensions. *Journal of Vibration and Acoustics*, 135(1), 011002.



Araştırma Makalesi / Research Article

BİTKİSEL LİF TAKVİYELİ BİYOKOMPOZİT MALZEMELERİN ISI İLETİM KATSAYISI TAYİNİ

DETERMINATION OF THERMAL CONDUCTIVITY OF FIBER REINFORCED BIOCOMPOSITE MATERIALS

Mehmed Rafet ÖZDEMİR^{1,2}

Garip GENÇ³

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1459483>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
mehmet.ozdemir@marmara.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
26.03.2024

Kabul Tarihi / Accepted
03.06.2024

Öz

Küresel bazda enerji talebi, sanayileşmenin gelişmesi ve elektronik cihazların hızlarının artması ve boyutlarının küçülmesiyle yoğun bir şekilde artmaktadır. Dünya enerji payına bakıldığında binalar için harcanan ısı enerjisinin en yüksek orana sahip olduğu görülmektedir. Bu bağlamda ısı enerjisinde sağlanabilecek tasarruflar küresel enerji sorununa katkı sağlayacaktır. Öte yandan bu tasarruf metodları/malzemelerin çevre dostu ve yeşil kaynaklı olması karşı karşıya kaldığımız çevresel sorunların sebebiyle elzemdir. Bu çalışmada, potansiyel ısı yalıtım malzemesi olarak değerlendirilen kabak lifi, Jüt lifi ve bu liflerin hibritleştirilmesi (kabak+jüt) yöntemiyle elde edilen biyokompozit malzemelerin ısı iletim katsayıları üç farklı sıcaklık değerinde belirlenmiştir. Bitkisel lifler takviye elemanı olarak kullanılmış olup matris olarak epoksi kullanılmıştır. Bu bağlamda biyokompozit malzeme numuneleri için testler gerçekleştirilmiş ve mevcut piyasada kullanılan ısı yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar literatürdeki bilgiler ışığında tartışılmış ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyokompozitler, ısı iletkenliği, kabak lifi, jüt.

Abstract

Energy demand on a global basis is increasing intensively with the development of industrialization and the increasing speed and miniaturization of electronic devices. It is observed that the heat energy consumption for buildings has the highest share in the world energy expenses. In this context, savings in heat energy would greatly contribute to the global energy problem. On the other hand, it is essential that these saving methods/materials should be environmentally friendly and green in origin due to the environmental problems that the world face. In this study, the thermal conductivity of luffa fiber, jute fiber, and biocomposite materials obtained by the hybridization of these fibers (luffa + jute), which are considered as potential thermal insulation materials, were determined at three different temperature values. Bio-based fibers were used as reinforcement elements and epoxy was used as the matrix. The tests were conducted for biocomposite material samples and compared with thermal insulation materials used in the current market. The results were discussed in the light of the information in the literature and suggestions were presented.

Keywords: Biocomposites, luffa fibers, thermal conductivity, jute fibers.

¹Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
mehmet.ozdemir@marmara.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-3832-9659.

²İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
mrhafet.ozdemir1@ticaret.edu.tr.

³Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.
genc@marmara.edu.tr, Orcid.org/0000-0001-7711-3845.

1. GİRİŞ

Bu yüzyılda dünya iki temel sorunla karşı karşıyadır; agresif bir şekilde artan enerji tüketimi ve çevre kirliliği. Teknolojinin hızlı gelişimi insan konforunun artmasını sağlasa da enerji tüketimini artırarak dünya kaynaklarının hızla tükenmesine neden olmaktadır. Bu enerji türleri arasında ısı enerjisi, evlerde, işyerlerinde ve çeşitli endüstriyel ve teknolojik araçlarda yaygın kullanımları nedeniyle yüksek paya sahiptir. Fosil yakıtlar genellikle düşük maliyetleri, kolay bulunabilirlikleri ve yüksek iç enerjileri nedeniyle ısı enerjisi üretiminde tercih edilmektedir. Öte yandan bu fosil yakıtlar, atmosfere zararlı gaz emisyonları nedeniyle çevresel değildir ve ozon tabakasının incelmelerini ve küresel ısınmayı hızlandırır, (Korkmaz ve ark., 2023). Öte yandan günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak akıllı binaların tasarlanma çalışmaları oldukça hız kazanmıştır, (Christopher ve ark., 2023; Ismaeil & Sobaih, 2023). Özellikle hibrit akıllı bina uygulamaları bilim dünyasında şu an ciddi bir şekilde araştırılmaktadır. Şöyle ki; bu sistemlerde binaların enerji kaynağı rüzgar, güneş ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmakta ve anlık olarak hangi kaynak daha efektifse kontrol sistemleri ile bina o kaynağa geçmektedir. Etkili ısı yalıtımı, bu gibi yenilenebilir enerji kaynakları tüketim oranlarını da azaltarak daha yeşil enerji kullanımını destekleyecektir.

ISO ve CEN standartlarına göre malzemenin ısı yalıtım malzemesi olarak değerlendirilebilmesi için ısı iletkenlik katsayısının $0,1 \text{ W/mK}$ 'dan az olması gerekmektedir (Erkmen ve ark., 2024). Günümüzde ısı yalıtım malzemesi olarak en çok tercih edilen malzemeler fiberglas, taşyünü, polistiren ve poliüretan köpüktür, (Balo, 2017). Bu malzemeler ya petrol esaslı malzemelerdir ya da ekonomik değildir. Bu nedenle yeşil ve çevre dostu dünya için mevcut malzemelerin tamamen biyobozunabilir, ekonomik ve doğal olanlarla değiştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Biyokompozit malzemeler biyolojik bir kökeni olan ve bir veya daha çok faz içeren kompozit malzemelerdir. İçerebileceği takviye ürünleri ise bitki lifi olarak pamuk, kenevir veya geri dönüştürülmüş ahşap veya atık kağıttan elde edilen lifleri içerebilir. Takviye elemanı olan matrisler genellikle bitkisel yağlar veya nişastalar gibi yenilenebilir kaynaktan oluşan türden polimerlerdir.

Literatürde araştırmacılar, kimyasal katkı maddeleriyle elde edilmeyen çeşitli biyo bazlı malzemelerin ısı yalıtım özelliklerini araştırmışlardır, (Zhou ve ark., 2010; Onesippe ve ark., 2010). Zhou ve ark. (2010) tamamen doğal pamuk saplı lif levha malzemenin ısı iletkenliği ve mekanik özellikleri üzerine levha yoğunluğu, elyaf nem içeriği ve presleme süresinin etkisini araştırdı. Yazarlar, termal iletkenlik değerlerinin, $0,0585 \text{ W/mK}$ ile $0,0815 \text{ W/mK}$ arasında değişen düşük bir ısı iletkenlik ile levha yoğunluğu ile güçlü bir doğrusal korelasyon sergilediğini belirtmişlerdir. Bu çevre dostu ve yenilenebilir malzemenin enerji tasarrufu açısından özellikle tavan ve duvar uygulamaları için uygun olduğunu belirttiler. Başka bir çalışmada, Mati-Bouche ve ark. (2014), kitosan ve ayçiçeğinin sap partiküllerinden oluşan biyo bazlı kompozit malzemenin yalıtkanlığının termal, mekanik ve akustik özelliklerini inceledi. Kompozitlerin iyi mekanik ve akustik özelliklerle $0,056 \text{ W/mK}$ termal iletkenliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir. Kompozitlerin mekanik ve termal performanslarının piyasada bulunan malzemelerle rekabet ettiğini eklediler. Limam ve ark. (2016) ahşap, mantar ve bunların kompozitlerinin ısı iletkenliğini, ısı direncini, özgül ısı ve ısı yayılımını araştırdı. Yazarlar, katı Halep Çamı, lamine ahşap ve siyah aglomere mantardan kompozit malzemelerin ısı direncini belirlemek için deneyler yaptılar. Termal iletkenlik testleri için debimetre ve termal iletkenlik ölçer olmak üzere iki farklı cihaz kullandılar. Elde ettikleri sonuçlar, numunelerin kütesinin artmasının termal iletkenlik değerinde bir artışa yol açtığını gösterdi. Başka bir çalışmada, Binici ve ark. (2016) biyo bazlı kompozitler geliştirdiler ve deneysel olarak termal, mekanik ve akustik yalıtım özelliklerini belirlediler. Takviye bileşeni olarak mısır sapı tanecikleri kullanarak kompozitleri hazırladılar. Mısır koçanı üzerinde atık mısırın, ticari olarak yalıtım malzemeleri kullanmak için takviye epoksi reçinesi için kullanılabileceği sonucuna vardılar.

Yukarıda bahsedilen kısa literatür incelemesi, biyo bazlı malzemelerin yalıtım uygulamalarında büyük ölçüde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu durumun sebebi lümen adı verilen olguyla açıklanabilir. Biyo bazlı malzemeler lümen adı verilen mikro yapılara sahiptir. Bu lümenler genellikle hava ile doldurulur ve bu nedenle iyi termal yalıtkanlardır. Ayrıca Liu ve ark. (2012), biyo bazlı kompozit malzemelerin ısı iletkenliğinin lümen boyutu ve fiber hacim oranı ile doğrudan ilişkili olduğunu bildirmiştir. Çalışmada kullanılan Kabak lifi doğada tamamen çözülebilir, luffa cylindrica bitkisinin meyvelerinden meydana gelen, liflerin rasgele yönlere uzayan, bitkinin kendi reçinesiyle birleşen bitkidir. Kabak lifini günümüzde sadece banyoda kullandığımız bir malzeme olduğu için hala potansiyeli tam olarak araştırmayıp ortaya çıkarılmamıştır. Lifli bir damar sistemine sahip olan bu doğal malzeme ısı ve ses yalıtımı gibi konularda ümit verici olabilir, (Demir ve ark., 2008; Hassan, 2006). Kabak lifinin uzun zamandaki performansının araştırmalara bağlı olarak endüstride kullanılan kimyasal kaynaklı kompozitlere göre daha az olabileceği görülmüştür. Gerilme kuvveti 1,00 GPa'lık elastisite modülü sunmaktadır. Kabak lifi benzeri bitkisel lifler sürdürülebilir malzemeler için umut vermektedir, (Pires ve ark., 2021). Ayrıca, kabak liflerinin iyi derecede dinamik ve akustik özellikler sergilediği önceki çalışmalarda da belirtilmiştir (Koruk & Genç, 2015; Genç, 2015). Ayrıca, jüt bitkisinin ısı yalıtım özelliklerinin de iyi olduğu literatürdeki çalışmalarda gösterilmiştir (Braga ve ark., 2015; Nam ve ark., 2012). Çalışmada kullanılan diğer lif olan Jüt bitkisi Hindistan'da sıklıkla yetişir ve ihamurgiller familyasından gelmekte olup ve sak liflerindedir. Tekstil üretiminde pamuktan sonra başlıca kullanılan malzemedir. Doğa dostu jüt, tekstil sektörüyle beraber ambalaj, tarım, inşaat, denizcilik, otomotiv, ilaç sektörü gibi alanlarda da kullanılmaktadır (Mutlu, 2012). Jüt, tamamen geri dönüşümlü bir lif olup doğaya bırakıldığında %100 bozunabilir.

Bu yapılan çalışmanın amacı doğa dostu biyobozunabilir malzemeler olan kabak lifi, jüt lifi ve bu liflerin hibritleşmesinden olan kompozit malzemelerden ısı yalıtım malzemesi üretilebilmesinin araştırılmasıdır. Yazarların bildiği kadarıyla literatürde kabak lifi, jüt lifi ve kabak lifi, jüt lifi ve bu liflerin hibritleşmesinden olan kompozit malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı tayin eden çalışma bulunmamaktadır. Bu bahsedilen nedenlerle, farklı hacim oranları (volume fraction) ile üretilecek kabak lifi takviyeli, jüt lifi takviyeli ve hibrit (kabak lifi+jüt lifi) kompozit numuneler çalışma kapsamında üretilmiştir. Numunelerin ısı iletkenlik özellikleri araştırılarak mevcut yalıtım malzemeleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre takviye elemanı/matris oranları değerlendirilmiş ve nihayetinde optimum hacim oranlarına ulaşılmaya çalışılmıştır. Bitkisel lif takviyeli biyokompozit ısı yalıtım malzemesi mevcut ısı yalıtım malzemelerinden daha iyi ısı yalıtkanlık özelliğine sahip yeni bir malzeme geliştirilebilir mi araştırma sorusuna bu çalışmada yanıt aranmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Kompozit malzemelerin birçok üretim teknikleri vardır. Bazı üretim teknikleri ciddi maliyet ve zaman isteyebilmektedir. Kompozit malzemelerin üretimi esnasında takviye elemanının eşit ve homojen olarak dağılımı, reçinenin takviye elemanını sorunsuz bir şekilde ıslatması ve matris ile takviye elemanının kuvvetli bir yüzey oluşturulması çok önemlidir. Polimer kompozitlerin üretim tekniklerinin sınıflandırılması Mazumdar (2002) tarafından yayımlanmıştır.

Bu çalışmada biyokompozit malzemedeki takviye elemanı olarak Akdeniz bölgesinde yetişen kabak lifi ve Bangladeş'te yetişen Jüt bitkisel lifi kullanılmıştır, Şekil 1. Kullandığımız jüt lifini makara eksenine göre 0° ve 90° lif düzenindedir. Kullandığımız kabak lifi ise ağaçta yetişen ve yeşil kabaklı bir meyvedir, Şekil 2. Meyvenin dışı kurutulmuş ve kurumuş kabukları temizlenmiştir. Böylece, temizlenen kabuk lifli yapının ortaya çıkmasını sağlamıştır. Biyokompozit ile kimyasal bileşenli kompozitleri kıyaslamak için aynı matrisi kullanmak gerekmektedir. Bu sebepten

biyokompoziti tamamlamak için epoksi (DURATEK 2400) reçinesi kullanılmıştır (Özdemir & Genc, 2022). Duratek 2400 epoksi reçinesinin seçilme sebepleri şu şekilde sıralanabilir;

- Takviye elemanını çok iyi ıslatır ve süzme yapmaz.
- 85° C sıcaklığında kürlenebilir.
- 120° C ve üzerindeki sıcaklıklara dayanabilir.
- Yüksek mekanik özelliklere sahiptir.



Şekil 1. Bitkisel Jüt Lifi



Şekil 2. Bitkisel Kabak Lifi

Bu çalışmadaki amaç doğal liflerin (kabak, jüt) ve onların hibritlenmesi ile elde edilecek numunelerin termal özelliklerinin karşılaştırılmasının yapılmasıdır. Bu sebeple, hazırlanan kabak lifi takviyeli kompozit numuneler için 4 kat kuru kabak, jüt takviyeli kompozit numuneler için 10 kat kuru jüt lifi kullanılmıştır. Hibrit numuneleri hazırlamak için ise kabak lifi – jüt takviyeli kompozit için 1 kuru kabak lifi, 4 kuru Jüt ve 1 kuru kabak lifi kullanılmıştır. Jüt – Kabak lifi takviyeli kompozit için 2 kuru jüt, 2 kuru kabak lifi ve 2 kuru jüt kullanılmıştır, Şekil 3.



Şekil 3. Test Örneklerinin Hazırlanması

Takviye elemanlarının hassas tartı ile ağırlıkları ve kumpas yardımı ile kuru haldeki kalınlıkları belirlenmiştir. Belirlenen ağırlık ve kalınlığa göre matris elemanının miktarı hesaplanmış olup matris elemanı olarak kullanılan epoksiye %30 oranında sertleştirici eklenmiştir. Kompozit malzemelerin üretilmesi için iki adet metal plaka kullanılmıştır. Kompozit malzemelerin kalıptan rahat bir şekilde ayrılması için kalıp ayırıcı kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak kullanılan lifler elle yerleştirme yöntemiyle kalıplara dizilmiş ve matris elemanı her bir katman arasında gelecek şekilde kalıba dökülmüştür. Isıtılmış plakalara sahip bir hidrolik pres yardımıyla kalıp dikey ekseninde sıkıştırılmıştır. Altındaki plaka makinenin tablasında sabitken üstteki plaka istiflenmiş numuneleri sıkıştırmak için PLC tarafından 5 bar basınç ile 100 dakika boyunca 85 °C'da bekletilmiştir. Sıkıştırma işleminden sonra numuneler 72 saat soğutulmaya bırakılmış ve daha sonra kalıptan çıkarılmıştır. Hazırlanana numuneler CNC Router kullanılarak ısı iletim katsayısı ölçümü için uygun numuneler kesilmiştir, Şekil 4. Isı iletim katsayısı ölçümü için çapı 50.80 mm olacak şekilde numune alınmıştır. Her bir ölçüm için kompozit plakadan ikişer adet kesilmiştir, Şekil 5. Daha sonra üretilen biyokompozit malzemelerin termal özelliklerinin belirlenmesi için ısı iletim katsayısı testleri yapılmıştır.



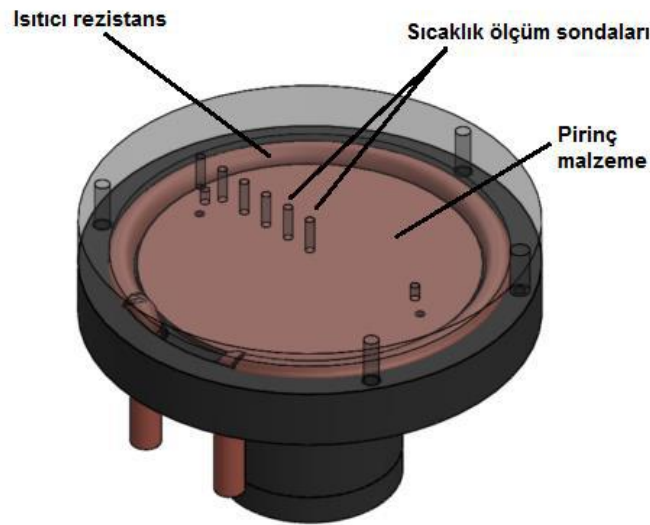
Şekil 4. Test Örneklerinin CNC ile Kesilmesi



Şekil 5. Kompozit Numuneler

Teste hazır olan numunelerin ısı iletkenlikleri Maden Tetkik Arama (MTA) firmasında bulunan deney cihazı ile ölçülmüştür. Deney cihazı radyal ısı iletim ölçüm sisteminden oluşmaktadır. Bu ölçüm sisteminde ısıtıcı ve soğutucu bölümler bulunmaktadır. Soğutma soğutucu tarafta su ile yapılmaktadır. Sıcaklıklar termokopul ile ölçülmektedir, Şekil 6. Deney cihazında ısı pirinç bölümden verilmektedir. Isıtıcılar elektrikli ısıtıcıdır. Cihazda pirinçten soğutucu bölümler bulunmakta olup hortumlar vasıtası ile soğutma gerçekleştirilir. Fourier kanununa göre herhangi bir yönde geçen ısı miktarı aşağıdaki formül ile bulunur. Burada k termal iletkenlik katsayısıdır. Cihaza verilen ısıtıcı rezistansa verilen güç dolayısıyla ısı miktarı bilindiğinden diğer veriler yardımıyla formül (1) ile termal iletkenlik katsayısı hesaplanabilir.

$$\dot{Q} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$



Şekil 6. Radyal ısı iletim ölçüm sistemi, Sözbir (2014)

Isı iletkenlik ölçümleri sıcaklığın 3 noktadan verilmesi şekli ile yapılmıştır. Sonuçların doğruluğu açısından numunenin kenarları zımparalanmıştır. Numuneler, - 10 °C, + 10 °C ve + 20 °C şartlarında her sıcaklık için 3 kere tekrarlanarak test edilmiştir. Numunelerin çap, kalınlık, ağırlık ve hacimsel oranları aşağıdaki Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin Fiziksel Özellikleri

İsim	Çap (mm)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (gr)	Hacimsel Oran (Lif)
J	50,75	14,5	30,6	0,6
L	50,8	19,0	28,5	0,6
JLJ	50,75	15,1	24,6	0,7
LJL	50,85	23,1	40,5	0,6

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, biyo-kompozit numunelerin her birinden ikişer adet olmak üzere toplam sekiz adet numune incelenmiştir. Bu numunelerin ortalama sıcaklık değerleri ve ortalama ısı iletim katsayıları standart sapmaları ile Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Numunelerin Ortalama Sıcaklık ve Ortalama Isı İletkenlik Katsayısı Değerleri (standart sapma değerleri parantez içinde belirtilmiştir)

İsim	Ortalama Sıcaklık (°C)	Ortalama Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)
J	-10,63 (± 0,18)	0,19 (± 0,01)
	+10,45 (± 0,04)	0,41 (± 0,02)
	+20,62 (± 0,05)	0,21 (± 0,01)
L	-10,38 (± 0,19)	0,21 (± 0,01)
	+10,10 (± 0,02)	0,47 (± 0,014)
	+20,23 (± 0,11)	0,21 (± 0,001)
JLJ	-10,54 (± 0,17)	0,18 (± 0,005)
	+10,22 (± 0,086)	0,38 (± 0,002)
	+20,38 (± 0,055)	0,18 (± 0,002)
LJL	-9,89 (± 0,041)	0,24 (± 0,001)
	+10,39 (± 0,03)	0,53 (± 0,003)
	+20,11 (± 0,05)	0,23 (± 0,002)

Tablo 2’deki sonuçlardan görüldüğü üzere, - 10 °C’de yapılan ısı iletim testinde kabak lifi kompozitinin (L) ve Jüt kompozitinin (J) ısı iletim katsayı değerleri hemen hemen aynıdır. Öte yandan gene - 10 °C’de yapılan ısı iletim testinde Jüt – Kabak lifi – Jüt (JLJ) hibrit kompozitinin ısı iletim katsayısı Kabak lifi – Jüt – Kabak lifi (LJL) hibrit kompozitinininkinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Gene Tablo 2’den anlaşıldığı üzere, +10 °C’de yapılan ısı iletim testinde kabak lifi kompozitinin (L), Jüt kompozitine (J) göre ısı iletim katsayı değeri daha yüksektir. Ayrıca, +10 °C’de Jüt – Kabak lifi – Jüt (JLJ) hibrit kompozitinin ısı iletim katsayısı Kabak lifi – Jüt – Kabak lifi (LJL) hibrit kompozitinininkinden daha düşüktür. Son olarak, Tablo 2’den +20 °C’de yapılan ısı iletim test sonuçları irdelenirse, kabak lifi kompozitinin (L) ve Jüt kompozitinin (J) ısı iletim katsayı değerleri aynı olduğu görülür. Ayrıca, +20 °C’de Jüt – Kabak lifi – Jüt (JLJ) hibrit kompozitinin ısı iletim katsayısının Kabak lifi – Jüt – Kabak lifi (LJL) hibrit kompozitinininkinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun muhtemel sebebi kabak lifi malzemesinin bitki lifi yoğunluğunun jüt malzemesininkinden daha fazla olması olabilir. Daha az yoğun olan jüt malzemesindeki boşluklar hava ile dolduğu için ortaya çıkan kompozitin

ısı iletkenlik katsayısı düşük çıkmaktadır. Bitkisel malzemelerdeki lif miktarının artmasıyla termal iletkenliğin arttığı literatürde başka çalışmalarda da belirtilmektedir (Wang ve ark., 2020).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada biyokompozit malzemelerin ısı iletim katsayısı ile ilgili araştırma yapılmıştır. Çalışmanın temel amacı bitkisel takviyeli kompozit malzemelerin ısı iletim katsayılarının incelenmesi olmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Jüt – Kabak Lifi – Jüt (JLJ) hibrit kompozitinin ısı iletim katsayısı Kabak Lifi – Jüt – Kabak Lifi (LJL) hibrit kompozitine göre daha düşüktür.
- Jüt (J) ve Kabak Lifi (L) kompozitlerinin ısı iletim katsayısı benzer özellikler göstermektedir.
- Endüstride kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletim katsayıları yaptığımız biyokompozitten daha düşüktür. TS 825’de belirtilen ısı yalıtım malzemelerinden cam yünü ve taş yünü gibi malzemelerin ısı iletim katsayısı değerleri çok daha düşüktür. Örneğin; taş yünü malzemesinin 10 °C’deki ısı iletkenlik katsayısı 0,033 ile 0,002 W/mK arasında değişmektedir.
- Takviye elemanlarının istifleme sırasının sıcaklık değişimi ne olursa olsun önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.
- Endüstride kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin fiyat/performans oranı biyo-kompozitlere göre daha iyidir.
- Biyo-kompozitlerin fiyat ve verimlilik açısından endüstride kullanılan ısı yalıtım malzemelerin yerini alması mümkün değildir.

Sonuç olarak biyo-kompozit üretimi yapılırken doğru koşullarda yetiştirilen takviye elemanlarının kullanılması gerekir. Matris ve takviye elemanları kullanılacağı ortama uygun seçilmesi gerekir. Farklı çevresel ortamlarda yetişen liflerin doğru kullanılması ve üretimi ısı iletim değerlerini farklı gösterebilmektedir. Son söz; kimyasal liflere alternatif olma potansiyeli taşıyan bitkisel liflerin uygulama alanlarını artırmaya yönelik bütün bilimsel çalışmaların önemli olduğunu ve bu anlamda literatüre katkı sağladığını dikkate almak gerekir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

Balo, F., (2017). Ekolojik Yalıtım Malzemesi Üretiminin Analitik Hiyerarşi Prosesi ile Değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 20(3), 733-742.

Binici, H., Aksogan, O. & Demirhan, C. (2016). Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulation composite made of bio-based materials. *Sustainable Cities and Society*, 20, 17-26.

- Braga, R.A. & Magalhaes Jr, P.A.A. (2015). Analysis of the mechanical and thermal properties of jute and glass fiber as reinforcement epoxy hybrid composites. *Materials science and engineering: C*, 56, 269-273.
- Christopher, S., Vikram, M.P., Bakli, C., Thakur, A.K., Ma, Y., Ma, Z., Xu, H., Cuce, P.M., Cuce, E. & Singh, P. (2023). Renewable energy potential towards attainment of net-zero energy buildings status—a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 405, 136942.
- Demir, H., Top, A., Balköse, D. & Ülkü, S. (2008). Dye adsorption behavior of *Luffa cylindrica* fibers. *Journal of Hazardous Materials*, 153(1-2), 389-394.
- Erkmen, J., Yakut, R., Hamamcı, B., & Özer, R. A. (2024). Production of insulation material using styrene acrylic resin from animal and agricultural waste part 1. Thermal insulation and water absorption. *Energy and Buildings*, 303, 113817.
- Genc, G. (2015). Dynamic properties of *Luffa cylindrica* fiber reinforced bio-composite beam. *Journal of Vibroengineering*, 17(4), 1615-1622.
- Hassan, M.L., (2006). Quaternization and anion exchange capacity of sponge gourd (*Luffa cylindrica*). *Journal of applied polymer science*, 101(4), 2495-2503.
- Ismaeil, E.M. & Sobaih, A. E. E. (2023). Heuristic Approach for Net-Zero Energy Residential Buildings in Arid Region Using Dual Renewable Energy Sources. *Buildings*, 13(3), 796.
- Korkmaz, A., Özel, S. & Özdemir, M. R. (2023). CO₂ Akışkanının Kaynamalı Akış Rejiminde Isı Transferi Katsayısının Çoklu Regresyon Yöntemi İle Tahminlenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22(43), 179-193.
- Koruk, H. & Genc, G. (2015). Investigation of the acoustic properties of bio luffa fiber and composite materials. *Materials letters*, 157, 166-168.
- Limam, A., Zerizer, A., Quenard, D., Sallee, H. & Chenak, A. (2016). Experimental thermal characterization of bio-based materials (Aleppo Pine wood, cork and their composites) for building insulation. *Energy and Buildings*, 116, 89-95.
- Liu, K., Takagi, H., Osugi, R. & Yang, Z. (2012). Effect of lumen size on the effective transverse thermal conductivity of unidirectional natural fiber composites. *Composites Science and Technology*, 72(5), 633-639.
- Mati-Baouche, N., De Baynast, H., Lebert, A., Sun, S., Lopez-Mingo, C.J.S., Leclaire, P. & Michaud, P. (2014). Mechanical, thermal and acoustical characterizations of an insulating bio-based composite made from sunflower stalks particles and chitosan. *Industrial Crops and Products*, 58, 244-250.
- Mazumdar, S., (2001). *Composites manufacturing: materials, product, and process engineering*. CrC press.
- Mutlu, S. (2012). Jüt lifi ve tekstil-hazır giyim sektöründe kullanım alanları. *Akdeniz Sanat*, 4(8).
- Nam, T.H., Ogihara, S., Nakatani, H., Kobayashi, S. & Song, J.I. (2012). Mechanical and thermal properties and water absorption of jute fiber reinforced poly (butylene succinate) biodegradable composites. *Advanced composite materials*, 21(3), 241-258.

- Onésippe, C., Passe-Coutrin, N., Toro, F., Delvasto, S., Bilba, K. & Arsène, M.A. (2010). Sugar cane bagasse fibres reinforced cement composites: thermal considerations. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(4), 549-556.
- Ozdemir, Y. & Genc, G. (2019). Comparison of flexural properties of luffa and jute fibers. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 2(2), 61-65.
- Pires, C., Motta, L.A.D.C., Ferreira, R.A.D.R., Caixeta, C.D.O. & Savastano, H. (2021). Thermomechanical and thermo-hydro-mechanical treatments of luffa cylindrical fibers. *Journal of Natural Fibers*, 18(12), 2351-2363.
- Sözbir, N. (2014). Isı İletim Katsayısının Belirlenmesi Deneyi. *Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Deney Tasarım Dersi*.
- Wang, C., Zuo, Q., Lin, T., Anuar, N. I. S., Salleh, K. M., Gan, S., ... & Zakaria, S. (2020). Predicting thermal conductivity and mechanical property of bamboo fibers/polypropylene nonwovens reinforced composites based on regression analysis. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 118, 104895.
- Zhou, X.Y., Zheng, F., Li, H.G. & Lu, C.L., (2010). An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. *Energy and Buildings*, 42(7), 1070-1074.



Derleme Makale / Review Article

DOĞAL DİL METİNLERİNDEN PROGRAMLAMA DİLİ KODU OLUŞTURMA ÇALIŞMALARI: BİR DERLEME ÇALIŞMASI*

NATURAL LANGUAGE TEXT TO PROGRAMMING LANGUAGE CODE GENERATION STUDIES: A REVIEW

Ayşegül HATİPOĞLU¹

Turgay Tugay BİLGİN²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1354040>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
aysegul.hatipoglu@bilecik.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
01.09.2023

Kabul Tarihi / Accepted
21.03.2024

Öz

Son yıllarda Doğal Dil İşleme (DDİ) alanındaki gelişmelerin hız kazanması, araştırmacıların ve programcıların bu alana olan ilgisini büyük ölçüde artırmıştır. Bilgisayar programlarını doğal dil komutlarıyla yazma konsepti, birçok araştırmacının odak noktası haline gelmiştir. Literatür incelendiğinde, doğal dil ile programlama üzerine yapılan araştırmaların uzun bir geçmişe sahip olduğu açıkça görülmektedir. Bu uzun soluklu araştırmalar, çeşitli çözüm önerilerini beraberinde getirmiş ve kural tabanlı yöntemlerden, olasılık tabanlı yöntemlere, makine öğrenmesi yöntemlerinden derin öğrenme yöntemlerine kadar bir dizi çözüm yaklaşımının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Literatürdeki çalışmalar tarihsel olarak kategorize edildiğinde geçmiş tarihli çalışmalarda kural tabanlı ya da istatistik tabanlı modeller üzerine yoğunlaştığı görülürken günümüze yaklaşıldıkça makine öğrenmesi ve derin öğrenme temelli çalışmaların arttığı görülmektedir. Kural tabanlı yöntemler, olasılık tabanlı yöntemler, makine öğrenmesi yöntemleri, derin öğrenme yöntemleri gibi çeşitli yaklaşımların geliştirildiği literatürde, bu çeşitlilik yeni araştırmacıların bu alana giriş yaparken karşılaşılabileceği karmaşıklığı artırabilmektedir. Bu çalışma, doğal dil girdileriyle programlama dili kodu oluşturma çalışmalarına yönelik literatürde geliştirilen 32 yöntemin detaylı bir incelenmesini sunmaktadır. Çalışmanın amacı, literatürde tespit edilen çeşitli yöntemlerin zaman içerisindeki değişimlerinin gözden geçirilmesi, çalışmaların geniş bir perspektiften incelenerek genel bir çerçevede toplanması ve bu alanda çalışacak olan araştırmacılara rehberlik edebilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, doğal dil işleme, kod üretimi, makine öğrenmesi.

Abstract

The recent surge in advancements in Natural Language Processing (NLP) has significantly heightened the interest of researchers and programmers in this field. The concept of writing computer programs using natural language commands has become a focal point for many researchers. Upon reviewing the literature, it is evident that research on natural language programming has a long history. These extensive studies have led to the proposal of various solutions, ranging from rule-based methods to probability-based approaches, machine learning methods, and deep learning techniques. When the studies in the literature are categorized historically, it is seen that the past studies focused on rule-based or statistical-based models, while machine learning and deep learning-based studies have increased as we approach the present. The diversity of approaches, including Rule-based methods, probability-based methods, machine learning methods, deep learning methods, and others, as found in the literature, can potentially confuse newcomers entering this field. This paper presents a detailed review of 32 methods developed in the literature for generating programming language code with natural language input. The goal of this study is to review the changes in various methods identified in the literature over time, to collect the studies in a general framework by examining them from a broad perspective and provide guidance to researchers intending to work in this area.

Keywords: Code generation, deep learning, machine learning, natural language processing.

*Bu yayın Ayşegül HATİPOĞLU isimli öğrencinin Bursa Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programındaki Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

¹Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Yazılımı Anabilim Dalı, Bilecik, Türkiye.
aysegul.hatipoglu@bilecik.edu.tr, Orcid.org/0000-0003-1584-0945.

²Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye.
turgay.bilgin@btu.edu.tr, Orcid.org/0000-0002-9245-5728.

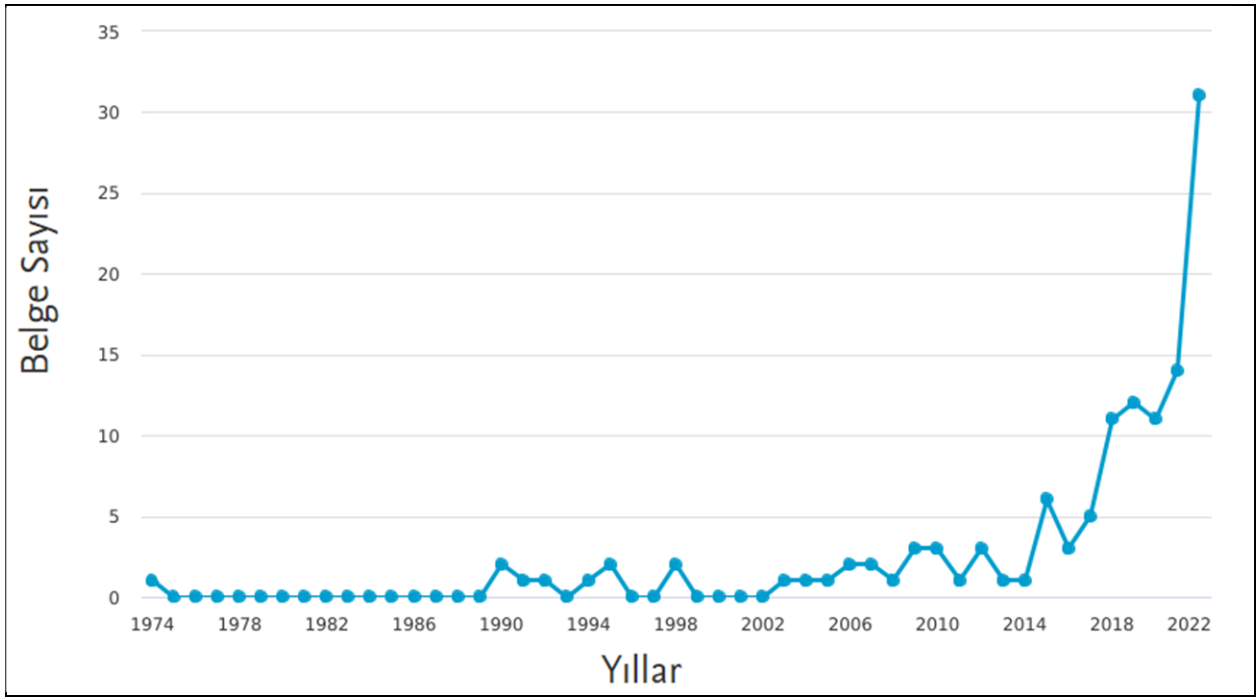
1. GİRİŞ

Uzun yıllardır, bilgisayar bilimcileri tarafından programlama dili kodunun doğal dil kullanılarak üretilmesi konusunda çeşitli araştırmalar yürütülmektedir. Son yıllarda, makine öğrenmesi ve derin öğrenme alanlarında kaydedilen ilerlemeler, bu alanda önemli başarılar elde edilmesine olanak tanımıştır. Doğal dil işleme çalışmalarında başarılı sonuçlar elde edebilmek için, kuşkusuz en önemli faktörlerden biri veri kalitesidir. Teknolojik gelişmelerle birlikte artan büyük bir veri dünyasının içinde bulunmaktayız. Ayrıca, pandemi döneminde internet ticareti, uzaktan toplantılar, online hukuk işlemleri, uzaktan eğitim gibi birçok örnek veri dünyasının son yıllarda önemli ölçüde genişlediğini göstermektedir. Teknolojinin artan önemiyle birlikte, veri bilimi alanına olan ilgi de artmıştır. Bu artışa paralel olarak, doğal dil işleme alanında ve özellikle doğal dilden programlama dili kodu üretme konusunda bir artış yaşandığı söylenebilir.

Doğal diller, programlama dilleri kadar teknik bilgi gerektirmediğinden programlama dillerine kıyasla kullanımları kolay ve daha anlaşılabilir. Doğal dil ifadelerinden programlama dili kodu oluşturabilme imkânı çeşitli uygulama alanlarında ve farklı disiplinler arasında fayda sağlayabilir. Örneğin yazılım geliştiricilerin daha kısa sürede kolay yazılım geliştirebilmelerine imkân sağlayabileceği gibi otomasyon sistemleri gibi alanlarda kullanılarak kodlama bilgisi olmayan kişilerinde ilgili süreçlerde aktif rol almasını sağlayarak zaman ve maliyetten açısından verimliliği artırabilir. Ayrıca programlama dili öğrenme süreçlerini basite indirgeyerek eğitim öğretim alanında kolaylıklar sunabilir. Bahsedilen avantajlar göz önünde bulundurulduğunda, bu alanda gerçekleştirilecek çalışmalar önem arz etmektedir.

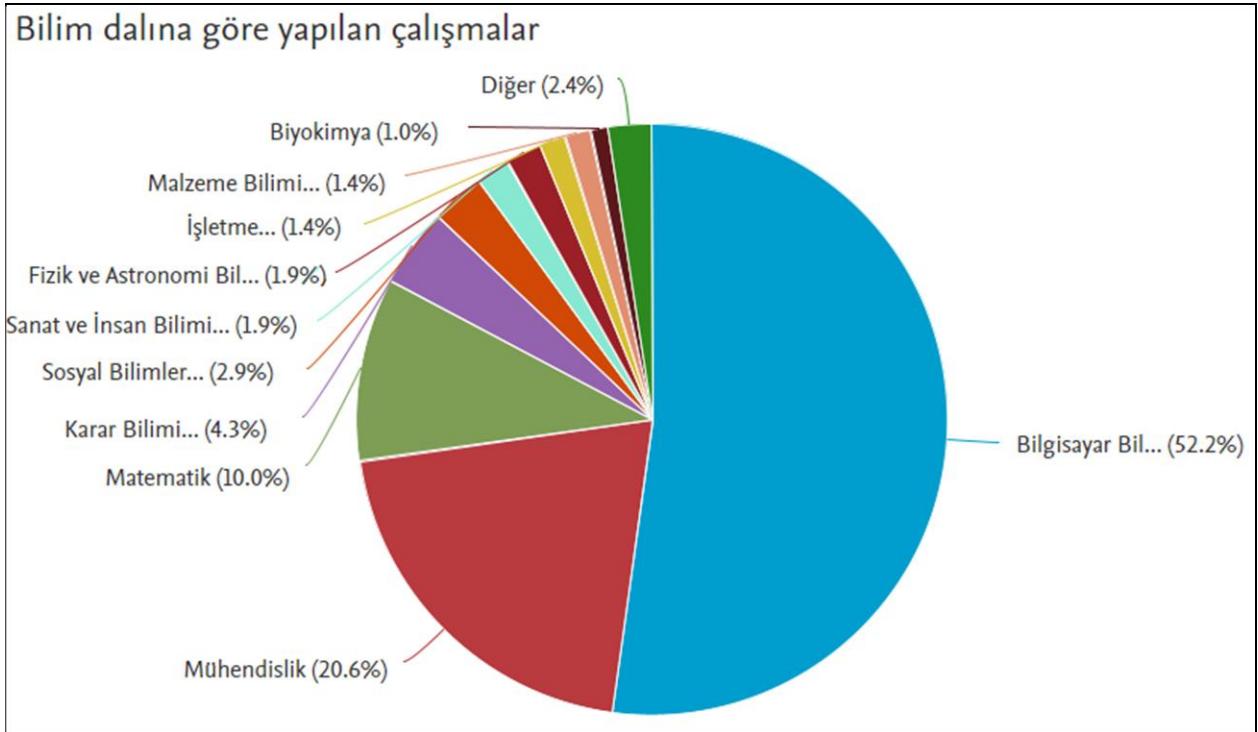
Doğal dilden programlama dili kodu üretme, geniş kapsamlı, uzun süredir güncelliğini koruyan ve hala popülerliğini sürdüren bir konudur. Bu çalışma kapsamında, doğal dilden programlama dili kodu üretme konusunda mevcut literatürde geliştirilen yöntemlerin zaman içindeki değişimi gözden geçirilmekte ve farklı çalışmalardan elde edilen bulgular yarı sistematik bir şekilde incelenmektedir. Zaman içinde mevcut yöntemlerin eksikliklerinin giderilmesi için geliştirmeler yapıldığı gibi yeni yöntemlerin ortaya çıktığı da gözlemlenmektedir. Geliştirilen bu yöntemler, yöntemlerin değişim süreçleri, değerlendirme metrikleri ve veri setleri, mevcut durumdaki eksiklikleri belirlemek ve yeni çalışmalar yapılmasına yardımcı olmak amacıyla bu literatür çalışmasında sunulmuştur.

Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3 Scopus veri tabanında "Generating programming language code using natural language" ifadesi kullanılarak ve 1974-2022 yılları aralığı için filtreleme yapılarak gerçekleştirilen bir arama sonucunda elde edilen 3 farklı grafiği içermektedir. Şekil 1'deki grafik 1974-2022 yılları arasında bahsedilen konuda üretilen makale sayılarını göstermektedir. Özellikle 2000'li yıllardan itibaren gerçekleştirilen çalışma sayılarında belirgin dalgalanmaların yaşandığı ve bu alana olan eğilimin giderek arttığı gözlemlenmektedir.

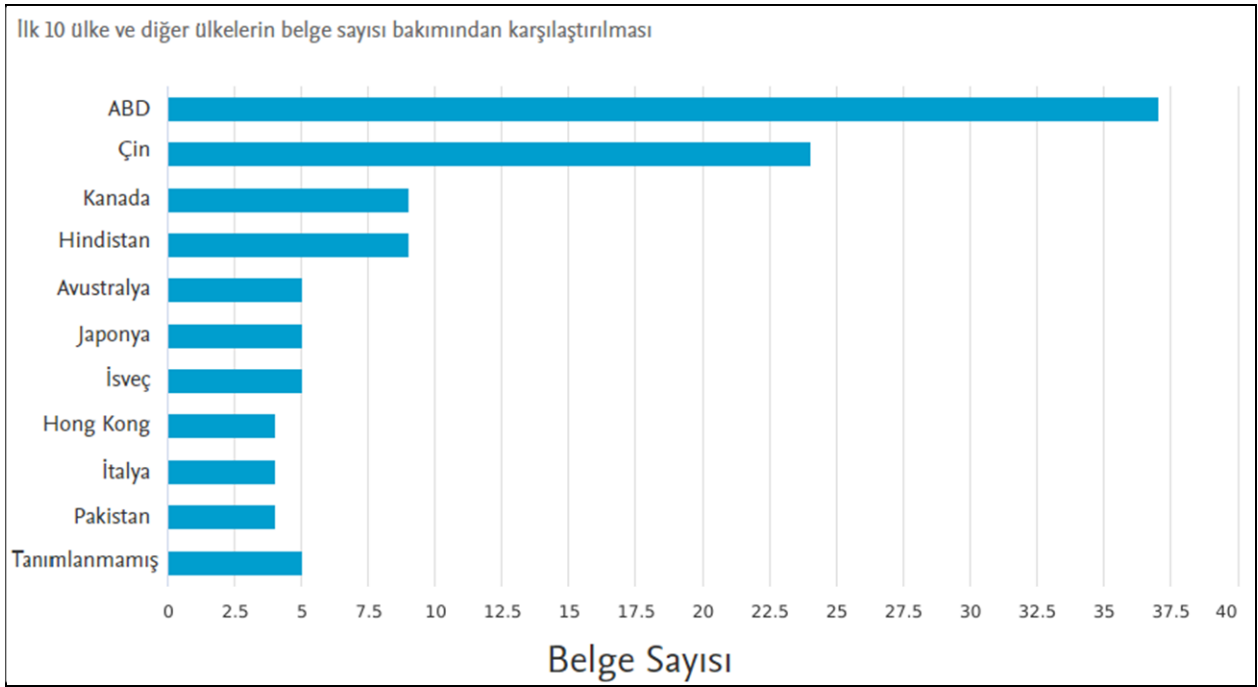


Şekil 1. 1974-2022 Yılları Arasında Doğal Dilden Kod Oluşturma Problemi için Yapılan Yayın Sayısı (Scopus, 2023)

Şekil 2’de kod üretme problemi üzerine yapılan çalışmaların bilgisayar bilimleriyle sınırlı kalmayıp matematik, fizik, tıp gibi farklı disiplinler arasında da gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu durum, bahsedilen alanın farklı bilim dallarında da popülerliğini koruduğunu göstermektedir.



Şekil 2. 1974-2022 Yılları Arasında Doğal Dilden Kod Oluşturma Problemi için Yapılan Yayın Sayısının Alanlara Göre Dağılımı (Scopus, 2023).



Şekil 3. 1974-2022 Yılları Arasında Doğal Dilden Kod Oluşturma Problemi İçin Çalışma Yapan Ülkeler (Scopus, 2023).

Şekil 3'te, bu alanda en fazla çalışma yapan ülkelerin çalışma grafiği sunulmaktadır. Şekilden de anlaşılacağı üzere, dünya genelinde giderek popüler hale gelen bir konu ülkemizde henüz yeterince ilgiyi görememektedir. Bu durum, ülkemizde yapılacak çalışmaların güncel teknolojilere ayak uydurma açısından kritik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir.

2. DOĞAL DİLDEN PROGRAMLAMA DİLİ KODU OLUŞTURMA PROBLEMİ İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER

2.1. Temel Terimler

2.1.1. Doğal dil işleme

Doğal dil işleme, bilgisayarların doğal dil ifadelerini anlamak ve üzerinde değişiklikler gerçekleştirebilmek için bu doğal dil verilerini nasıl kullanılabileceğini araştıran bir uygulama alanıdır. Bu alandaki araştırmacılar, bilgisayar sistemlerinin belirli görevleri yerine getirebilmesi için doğal dilleri anlamasını ve manipüle etmesini sağlamak amacıyla insanların dili anlamlandırma süreçlerini anlamayı hedefler (Chowdhary, 2020).

Doğal dil anlama, insanların kullandığı doğal dil ifadelerini anlama sürecini temsil eder ve bu, Doğal dil işlemenin önemli bir alt alanını oluşturur. Doğal dil anlama sadece insanların kendi aralarındaki iletişimi kolaylaştırmakla kalmaz, aynı zamanda insan-makine etkileşimine de katkı sağlar. Son yıllarda, makine öğrenmesi ve derin öğrenme terimleri sıklıkla doğal dil işleme kavramlarıyla birlikte anılmaktadır. Doğal dil işleme alanında yapılan çalışmalara bakıldığında, derin öğrenme mimarileri ile geliştirilen yöntemlerin diğer pek çok yöntemden daha başarılı sonuçlar elde ettiği görülmektedir.

İncelenen makalelerin temelinde, doğal dilin anlaşılması gibi kritik bir problem yatmaktadır. Kelimelerin morfolojik yapısı, kullanılan doğal dilin doğası, dilin gramer kuralları, doğal dil

metinlerinin yan anlamları, bağlamları, aldığı ekler vb. birçok kritik etmen, dil anlama sürecini karmaşıklştırmaktadır.

2.2. Doğal Dil İfadelerinden Programlama Dili Kodu Üretme

Programlama dilleri, bilgisayarlarda belirli görevleri gerçekleştirmek üzere kurallara sahip, belirli formatlara uygun ve kesin talimatlar içeren dillerdir. İnsanlar ve bilgisayarlar arasındaki iletişimi sağlayan araçlardır. Bilgisayarlar kendilerine verilen talimatları işleyerek sonuç üretirler. Açık kaynak kodlu dağıtılan veya ticari olarak satılan birçok programlama dili bulunmaktadır; her birinin avantajları, dezavantajları, farklı kullanım alanları ve sözdizimi kuralları mevcuttur. Bu farklılıklar, birden fazla programlama dilini öğrenmeyi zorlaştırabilir. Bu zorlukları aşmak için, kullanıcılara günlük yaşamlarında iletişim için kullandıkları doğal dil aracılığıyla yazılım geliştirme olanağı sunmak önemlidir.

İnsanlar, doğal dil ile programlama dili arasındaki ilişkiyi anlamak için düşünme yeteneklerini kullanırlar. İstenen programlama dilinin üst düzey kod kalıpları, farklı kod ifadeleri arasında aynı anlamı taşıyan kalıpları içerebilir. Örneğin, bir terim doğal dilde bir anlam ifade ederken programlama komutlarında farklı bir anlam taşıyabilir. Kaynak dildeki dil bilgisi özellikleri ve düşük seviyeli bir programlama dilinde uygulama yapmanın karmaşıklığı gibi nedenlerle bu ilişkileri makinelerle aktarmak zordur. Bu zorluğun üstesinden gelmek için araştırmacılar zaman içinde farklı yaklaşımlar benimsemişlerdir. Literatürdeki çalışmalar tarihsel olarak kategorize edildiğinde geçmiş tarihli çalışmalarda kural tabanlı ya da istatistik tabanlı modeller üzerine yoğunlaştığı görülürken günümüze yaklaştıkça daha çok makine öğrenmesi, derin öğrenme temelli çalışmaların arttığı görülmektedir.

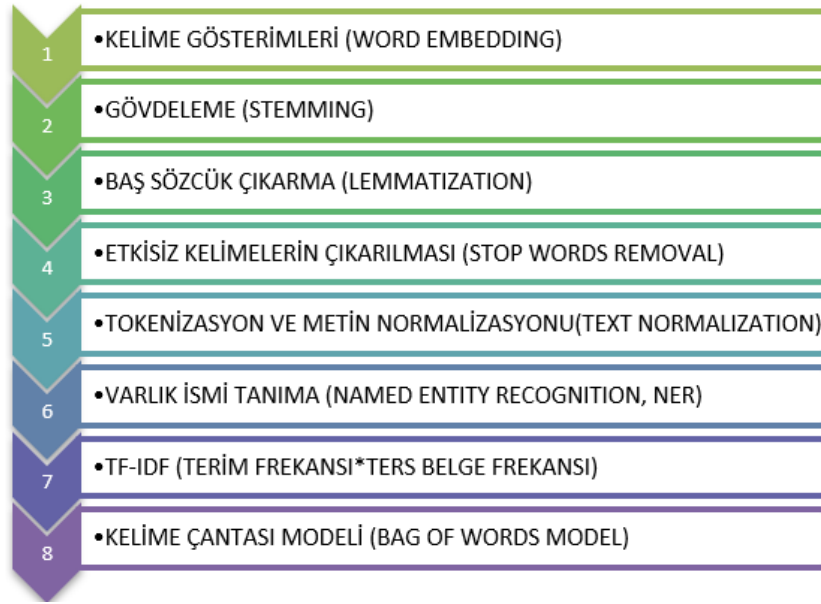
2.3. Metodoloji

Doğal dil ifadelerinden programlama dili kodu üretimi bilgisayar ve yazılım dünyasında sıklıkla karşılaşılan ve çeşitli yöntemler ile çözüme kavuşturulması denenen bir konudur. Zamanla doğal dil işleme ve büyük veri alanındaki gelişmelerin artmasıyla önemli ilerlemeler yaşanmıştır. Teknolojinin tarihsel seyrine paralel olarak yöntemler de değişim göstermiştir. Bu bölümde, doğal dil verileri kullanılarak programlama dili kodu oluşturmak amacıyla geliştirilen yöntemler sınıflandırılmaktadır. Temel olarak bu yöntemler doğal dil işleme teknikleri, istatistiksel ve olasılık tabanlı yöntemler, kural tabanlı yöntemler, makine öğrenmesi ve derin öğrenme kullanan yöntemler olarak kategorilere ayrılabilir.

2.3.1 Doğal dil işleme teknikleri

Doğal dil işleme, geniş bir araştırma alanını kapsar. Makineler, çeşitli dil bilimine dayalı teknikler ve algoritmalar kullanarak herhangi bir veriden bilgi çıkarabilirler. Doğal dil işleme teknikleri, programlama dili oluşturma problemi için tek başına kullanılarak mantıksal çıkarımlar ve sonuçlar üretebileceği gibi istatistiksel yöntemler veya makine öğrenmesi gibi diğer metodlarla birlikte de kullanılabilir. Bu çalışmalara katkı sağlamak amacıyla, doğal dil işleme alanında birçok kütüphane geliştirilmiş ve bu kütüphaneler aracılığıyla işlemler otomatikleştirmeye çalışılmıştır. Bu bölümde bahsedilen bu tekniklerin neler olduğu açıklanmaktadır.

Şekil 4'te, yaygın olarak kullanılan doğal dil işleme teknikleri gösterilmektedir.



Şekil 4. En Yaygın Kullanılan Doğal Dil İşleme Teknikleri

Kelime Gösterimleri metinsel ifadelerin vektörel olarak temsil edilmesi anlamına gelmektedir. Kelimenin diğer kelimeler ile olan ilişkisine, kullanıldığı bağlama, metinde geçme sıklığı gibi faktörlere bakılarak doğal dil işleme görevlerinde kullanılmaktadır. Kısaca özetlemek gerekirse birbirine benzer anlam ifade eden kelimeler benzer vektörel özelliklerle temsil edilmektedir. (Almeida & Xexéo, 2019).

Gövdeleme (Stemming) işlemi bir kelimenin farklı varyasyonlarının en yalın haline yani kök haline indirgenmesi olarak tanımlanabilir. Bu işlemdeki amaç kelime çeşitliliğini azaltarak bilgisayarın işleyeceği ve anlayacağı bir forma dönüştürmektir. Doğal dil işleme alanında kullanılan metin ön işleme tekniklerinden birisi de baş sözcük çıkarma (lemmatization) yöntemidir. Bir kelimenin çekim eki alan kısımlarının tek bir unsur olarak tanımlanabilecek şekilde bir araya getirilmesi işlemine denir. Yani Lemma, tüm çekimli kısımların temelidir. Baş sözcük çıkarma işlemi Gövdeleme işlemine göre daha karmaşıktır ve daha fazla dil bilgisine ihtiyaç duymaktadır (Siddhartha ve ark., 2021).

Bir metin içerisinde bulunan ancak anlamında farklılık yaratmayan, cümleden çıkarılsa bile anlamını değiştirmeyen kelimelere etkisiz kelimeler denir. Bu tarz kelimelerin veri seti içerisinde bulunması, kullanılan veri setinin büyüklüğüne göre gereksiz yer işgaline neden olmaktadır. Bu nedenle veri ön işleme aşamalarından birisi de etkisiz kelimelerin çıkarılmasıdır. Farklı programlama dilleri için geliştirilen doğal dil işleme kütüphanelerinde bu ön işleme adımını gerçekleştirmek için çeşitli fonksiyonlar tanımlanmıştır. Türkçe dili için “ve”, ”bir”, “de”, ”için”, “halen”, “gibi” vb. kelimeler etkisiz kelimelere örnek olarak verilebilir.

Metinlerden bilgi çıkarmak için kullanılan yöntemlerden birisi de Varlık ismi tanımadır. Belgelerin işlenmesi için kişilere, yerlere, kuruluşlara ve şirketlere atıfta bulunan ifadelerin tanımlanması anlamına gelir. Doğal dil işlemenin temel adımlarından birisidir. İnsanlar için bu işlem basittir çünkü birçok adlandırılmış varlık özel isimdir ve ilk harfleri büyüktür. Bu nedenle tanınması kolaydır ancak makineler için durum bu kadar basit değildir. Adlandırılmış varlıklar özel isimler olduğundan sözlükler oluşturularak sınıflandırmak kolay değildir, zamanla yeni özel isimler eklenmektedir. Bunun yanı sıra bu problem de farklı sorunlar ile karşılaşılmaktadır. Örneğin “Beyaz Saray” ifadesi ne zaman organizasyon olarak kullanılır ne zaman bir konum olarak kullanılır anlamak kolay değildir. Ya da “Nisan” kelimesi ne zaman ay olarak ne zaman

isim olarak kullanılır bilgisayarların anlaması insanların anlaması kadar kolay değildir (Mansouri ve ark., 2008).

Metinlerden bilgi elde etme için önemli bir diğer ön işleme adımı tokenize etme işlemleridir. Tokenize etmek demek metinleri tokenlarına ayırmak anlamına gelir. Kelimeler ya da cümleler olarak tokenize etme işlemi gerçekleştirilebilir. Metinsel verileri işleyebilmek adına doğal dil işleme de sıklıkla kullanılır. Metin normalizasyonunda ise metinsel bir veriyi belirli işlem adımlarından geçirerek standart bir form haline getirmeye çalışılır. Veriyi daha tutarlı ve kullanılabilir hale getirmek, bilgisayarın çalışacağı bilgi miktarını azaltmak dolayısıyla verimliliği artırmak için gerçekleştirilir (Yse, 2021). Önceki kısımlarda bahsedilen gövdeleme, baş sözcük çıkarma ve sonraki kısımlarda bahsedilen etkisiz kelimelerin çıkarılması gibi teknikler metin normalleştirme tekniklerinden bazılarıdır.

TF-IDF değeri bir kelimenin belge koleksiyonunda bulunan bir belge ile ne kadar ilişkili olduğunu, o belge için ne anlam ifade ettiğini belirlemeye yardımcı olan istatistiksel hesaplamalara dayanan bir değerlendirme yöntemidir. En önemli kullanımı otomatik metin analizi olmakla beraber yaygın bir kullanıma sahiptir. Kelimenin belgede bulunma sayısı ile orantılı olarak TF-IDF değeri artmaktadır (Stecanella, 2019).

Kelime çantası modeli bir metin belgesi içerisinden seçilen bölümlerin, kelime frekansı gibi kriterlere göre basitleştirilerek temsil edilmesi için kullanılır. BoW tekniği bilgisayarlı görü, doğal dil işleme, bayesian spam filtreleri, makine öğrenmesi ile belge sınıflandırma gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Modelde kelimelerin sırası değil frekansı önemlidir. Bu nedenle belge ya da metinler kelime torbası gibi düşünülür. Modelde oluşturulan matris formundaki kelimeler arasındaki anlamsal ilişki ve dil bilgisi kuralları göz ardı edilirken çokluk dikkate alınır (Kowsari ve ark., 2019).

2.3.2 İstatistiksel ve olasılık tabanlı yöntemler

Zaman serisi verilerini modelleme, konuşma ve sinyal işleme, konuşma etiketleme, isim-sözcük öbeklemesi, bilgi çıkarımı vb. birbirlerinden farklı yapıda ve zorluktaki görevlerde istatistiksel ve olasılık tabanlı modellerle çözümler gerçekleştirilebilmektedir. Bu yöntemlerde kelimeler arasındaki benzerliklere dayalı olarak verileri analiz edip istatistiksel çıkarımlar ve tahminler yapılmaktadır. İstatistiksel dil modelleri ile doğal dil işleme özellikleri birleştirilerek, birçok görevde başarılı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, gizli markov modelleri, n-gramlar, maksimum entropi modelleri ve bayes ağları gibi istatistiksel yöntemler öne çıkmaktadır.

2.3.3 Kural tabanlı yöntemler

Belirli bir alandaki problemleri çözmek, ilgili alana özgü yeni yöntemler geliştirmek için belirlenen kurallar setine ve algoritma adımlarına bağlı kalarak çeşitli kararlar alabilen, bu kararlara göre çeşitli eylemler gerçekleştirebilen yöntemler olarak tanımlanabilir. Doğal dil işleme ve doğal dilden kod oluşturma problemi için kural tabanlı yöntemlere bakıldığında ise ifade edilen metinleri anlamak, öğelerine ayırmak, anlamlandırmak ve bu anlamlı ifadelerden kod üretebilmek için belli modeller ile bir sonuca ulaşmak ya da verileri öğrenmek yerine, işlemleri önceden tanımlanan kurallar ve kodlama yoluyla yönlendirerek çözmeye dayanır. Girdi verisi belirli kurallar kullanılarak işlenir ve amaca yönelik olarak sonuç üretimini gerçekleştirilir. Çoğunlukla anlaşılmaya çalışılan dilin dil bilgisi kuralları dikkate alınarak sonuca ulaşılır. Bu yöntemlerin geliştirildiği alana göre belirli avantaj ve dezavantajları bulunur. Geliştiricilerin kuralları ve kapsamı önceden belirlemesi gerektiğinden daha spesifik amaçlar için kullanılır. Genellikle basit problemler ele alınacaksa, problemin çözümü için oluşturulması gereken kurallar açıkça ifade edilebiliyorsa ve statik bir durum söz konusuysa kural tabanlı bir yöntem geliştirilerek daha az

maliyet ile çözüme ulaşılabilir. Fakat dinamik bir süreç yönetimi ve karmaşık durumlar söz konusu ise kural tabanlı yöntemler kullanılarak sonuca ulaşmak çoğu zaman mümkün olmayabilir. Kurallar dışında oluşan yeni görevlerde başarı oranları düşer, esneklikleri azalır.

2.3.4 Makine öğrenmesi kullanılan yöntemler

İnsanda öğrenme süreci yeni davranışlar, bilgiler, beceriler kazanılması ya da mevcut davranışların değiştirilmesi ile ilgilidir. Makinelerde ise öğrenme süreci veriye dayanmaktadır. Verileri öğrenmek ve sonuç çıkarmak için makine öğrenmesi modellerini ve algoritmalarını kullanan yapay zekâ biliminin alt çalışma alanlarından birisi makine öğrenmesi alanıdır. Makine öğrenmesi, bilgisayarların insan davranışlarına benzer davranışlar taklit etmesini sağlayan çok disiplinli bir alandır. Makine öğrenmesi kullanılarak oluşturulan her etkileşim, gerçekleştirilen her eylem, bilgisayar sistemlerinin öğreneceği ve deneyimleyerek kullanabileceği bir bilgi haline getirilir (Alzubi ve ark., 2018). Makine öğrenmesi yöntemleri, farklı bilgisayar bilimi alanlarında kullanıldığı gibi doğal dili işleme ve anlama alanında da kullanımına sık rastlanılan yöntemlerdendir. Makine öğrenmesi denetimli öğrenme, yarı denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme olarak kategorilere ayrılır.

Denetimli öğrenme sistem eğitiminin etiketlenmiş veri kümeleri kullanımıyla gerçekleştirildiği öğrenme çeşididir. Model etiketlenmiş girdi ve çıktı verileri arasında ilişki kurarak öğrenme işlemini gerçekleştirir. Böylece sistem çıktısını bilmediği veriler için tahminler gerçekleştirebilir (Delua, 2021). Denetimsiz öğrenmede ise bu durumun aksine etiketlenmemiş veri kümeleri kullanılarak eğitim gerçekleştirilir.

Bilimsel çalışmalar için etiketli veri elde etmek maliyetli bir süreçtir. Elimizdeki problemin büyüklüğüne ya da zorluğuna göre her zaman etiketli veri elde etmek mümkün olmayabilir. Etiketli veriye nispeten etiketsiz veri elde etmek daha kolaydır. Pek çok alanda büyük miktarda etiketlenmemiş veri kaynağı mevcuttur ancak bu verileri kullanmanın az yolu vardır. Hem etiketli hem de etiketsiz verilerin bir kombinasyonundan öğrenme anlamına gelen yarı denetimli öğrenme metodlarıyla büyük miktardaki etiketsiz veriyi etiketli veriler ile beraber kullanarak bu sorun aşılmaya çalışılmaktadır (Pise & Kulkarni, 2008).

Takviyeli öğrenme olarak da bilinen pekiştirmeli öğrenmede ise bir ajan (agent), bulunduğu ortamla etkileşim kurarak eylem ve deneyimlerinden elde ettiği geri bildirimler aracılığıyla öğrenme işlemini gerçekleştirir. Hem denetimli öğrenme hem de pekiştirmeli öğrenme türünde girdi çıktı arasında bir haritalama vardır ancak pekiştirmeli öğrenme de farklı olarak ödül ve ceza sistemi uygulanarak hedefe yönelim belirlenir. Yani pekiştirmeli öğrenmede amaç ödül puanını maksimuma çıkararak uygun eylemi belirlemektir (Bhatt, 2018).

2.3.5 Derin öğrenme kullanılan yöntemler

İnsan beyni bilgisayarlara göre büyük avantajlara sahiptir. Örneğin kötü ışıklandırılmış kalabalık bir odada yandan bakınca bile kısa sürede bir yüzü tanıyabiliriz ya da çok gürültülü bir ortamda bir kişinin konuşmasını algılayabiliriz. İnsan beyninin en önemli özelliklerinden birisi öğrenebilmesidir. Beyin, tanıma, algılama, öğrenme gibi eylemleri gerçekleştirebilmek için gereken hesaplamaları aksonlar, sinapslar ve dendritlerden meydana gelen sinirsel yapılar aracılığıyla iletişim kuran nöron ağlarıyla gerçekleştirir (Krogh, 2008). İnsan beynindeki bu nöral ağlardan esinlenerek insana ait bazı özellikleri bilgisayarlara yaptırabilmek için insan beynini modelleyen yapılara Yapay sinir ağları (Artificial neural networks) denir. Bilgisayar dünyasındaki zorlu görevleri gerçekleştirebilmek adına yapay nöron yapıları kullanılarak birçok yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Giriş, çıkış katmanı ve gizli katman(lar)dan oluşan yapay sinir ağları bir makine öğrenmesi türüdür. Giriş katmanı veri girişini alır ve bu verileri bilgisayar için anlamlı

hale getirebilmek adına gizli katman(lar)a iletir. Gizli katman(lar)da gerçekleştirilen çeşitli işlemler sonucunda elde edilen veriler dış dünyaya aktarılmak üzere çıkış katmanına iletilir. Basit problemler için temelde bir ya da iki adet gizli katman oluşturmak sonuca ulaşmak için yeterli olurken daha karmaşık problemleri anlayabilmek, örüntüleri tanımak ve çeşitli ilişkiler çıkarabilmek için onlarca hatta yüzlerce gizli katman kullanmak gerekebilir.

Derin öğrenme, çok katmanlı yapay sinir ağlarını kullanan ve doğal dil işleme alanında en sık kullanımına rastlanılan makine öğrenmesi türlerinden biridir. Gerçek dünya problemlerinin çözümü için insan benzeri performans göstermeye oldukça yakın bir makine öğrenmesi türüdür. İstatistiksel yöntemler ve geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerinden farklı olarak belirli kurallar kullanarak öğrenmek yerine elde bulunan veriden, verinin büyüklüğüne paralel olarak artan bir başarı oranı ile karmaşık özellikleri otomatik olarak öğrenmektedir. Her katmandaki bilgi önceki katmanlardaki bilgilerden hesaplama yoluyla temsil edilerek verilerdeki karmaşık yapılar keşfedilmeye çalışılır. Yapay sinir ağları kullanılarak birçok derin öğrenme türü geliştirilmiştir. Doğal dil işleme alanında sıklıkla karşılaşılan derin öğrenme yöntemlerine Üretken Çekişmeli Ağlar (Generative Adversarial Networks, GAN), Tekrarlayan Sinir Ağları (Recurrent Neural Network, RNN), Uzun Kısa Süreli Bellek (Long Short Term Memory, LSTM), Geçitli Yinelenen Birim (Gated Recurrent Unit, GRU), Transformer mimarisi örnek verilebilir.

3. ARAŞTIRMA METODU

Bu bölümde, gerçekleştirilen çalışma kapsamında incelenen literatürdeki makaleleri belirleme kriterleri açıklanmaktadır. Literatür araştırması için Google Akademik arama motoru tercih edilmiştir. Aramalar gerçekleştirilirken “code generation”, “generating programming language code from natural language”, “generating code from natural language” gibi aynı anlama gelen farklı anahtar kelimeler kullanılarak makaleler taranmıştır. Çalışmalar 2000 ila 2022 yılları arasında sınırlandırılmıştır. Taranan makaleler arasından belirlenen çalışmalar, buldukları veri tabanlarında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Aramalar gerçekleştirilirken makale türü, makale dili, herhangi bir doğal dil veya hedeflenen programlama dili için özel ölçüt belirlenmemiştir. Literatür araştırması için seçilen çalışmaların uygunluk kriterleri belirlenirken çalışmaların özetleri okunmuş, özet bilgilerin yetersiz kaldığı durumlarda çalışmaların tamamı okunarak detaylı bir biçimde analiz edilmiştir. Ek olarak, incelenen çalışmaların kullandığı referanslar taranmış ve ilgili olabilecek diğer makaleler değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen bu işlemlerin ardından, belirlenen 32 adet çalışma detaylı bir biçimde analiz edilmiştir.

3.1. Derleme Çalışmasının Amacı

Bu derleme çalışması, aşağıdaki araştırma sorularının yanıtlarını aramaktadır:

- Q1: Doğal dilden programlama dili kodu üreten çalışmalarda hangi yaklaşımlar kullanılmaktadır?
- Q2: Hangi doğal dil işleme teknikleri bu çalışmalarda kullanılmaktadır?
- Q3: Kullanılan veri setleri ve bu veri setlerinin büyüklükleri nelerdir?
- Q4: Yaklaşımlarda kullanılan yöntemlerin temel karakteristikleri nelerdir?
- Q5: Çalışmaların performansları nasıl değerlendirilmiştir?

Belirlenen bu araştırma sorularına dayalı olarak, kapsamlı taramalar gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Literatürde doğal dil metinlerinden programlama dili kodu oluşturmak amacıyla geliştirilen 32 adet çalışma bu bölümde karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve detaylı bir biçimde analiz edilmiştir. Bu yöntemlerin avantajları, dezavantajları, uygulama alanları ve performansları üzerine odaklanılmış, elde edilen bulgular tablolar halinde sunulmuştur. Ayrıca, bu alanda karşılaşılan zorluklar ele alınmış, çözüm önerileri sunulmuş ve gelecek çalışmalar için öngörüler paylaşılmıştır.

4.1. İncelenen Çalışmalar

Bu bölümde, doğal dilden programlama dili kodu oluşturma problemine yönelik literatür çalışmaları ve ilgili çalışmaların literatüre katkıları ele alınmıştır. İncelenen çalışmalar çeşitli veri setlerini içermekte ve farklı amaçlara hizmet etmektedir. Bu bölümde bahsedilen çalışmalar tarihsel bir sırada detaylı şekilde incelenmiştir.

Pek çok araştırmacı doğal dilden programlama dili kodu üretme üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. Literatür incelendiğinde yapılan çalışmalarda satır satır kod açıklamasını tüm detaylarıyla alan ve kaynak kod üreten yazılımlara rastlandığı gibi daha soyut ifadeleri algılayan programlar geliştirildiği de gözlemlenmiştir. Detaylı açıklama gerektiren programların spesifik alanlara özgü olduğu ve bu programların yaptığı işlerin belirli kısıtlamalar içerdiği saptanmıştır. Price ve diğerleri, satır satır doğal dil açıklamaları alan ve Java programları oluşturan bir arayüz olan NaturalJava'yı önermişlerdir. NaturalJava, doğal dil açıklamalarından Java kodu üretmek için Sundance, PRISM (The Programming Instruction Synthesis Module), TreeFace olarak adlandırılan 3 alt sisteme sahiptir. Sundance doğal dil açıklamasından programlama terimlerini temsil edebilen vaka çerçeveleri oluşturmak için bilgi çıkarım işlemleri gerçekleştiren doğal dil ayrıştırıcısıdır. PRISM'in alt sistemi ise vaka çerçevesi yorumlayıcısıdır. Oluşturulacak programın Soyut Söz Dizimi Ağacını(AST) yönetmek için TreeFace adı verilen bir Java AST yöneticisi kullanılmıştır (Price ve ark., 2000). Liu ve Lieberman, tasarımcıların ve kod geliştiricilerinin soyutlama becerilerini artırmalarına yardımcı olması amacıyla İngilizce olarak alınan doğal dil ifadelerini kod olarak görselleştiren bir arayüz olan Metafor'u önermişlerdir. Metafor kullanıcı ile etkileşimli olarak çalışmakta ve Python programlama dilinde bir iskelet program kodu oluşturabilmektedir. MontyLingua (Liu, 2004) dil anlama sistemini kullanarak cümlenin ayrıştırılmasını sağlar. MetaforLingua yapısı ile bilgi temsilini sağlar. Nesnelere ve özel yapıları anlamlandıran Programmatic Interpreter bileşeni kullanılır (H. Liu & Lieberman, 2005). Knöll ve Mezini, 2006 yılında doğal dil tanımından Java kaynak kodu üreten bir araç olan Pegasus'u önermişlerdir. Pegasus bir programın tanımını satır satır alıp tamamen çalıştırılabilir kaynak kod üretmektedir. Pegasus kendisine giriş verisi olarak verilen doğal dil cümlelerinin gramer yapısını inceleyerek if, then gibi mantıksal anlamlı ifadeleri belirleyip mantıksal bir yapı çıkarmaktadır. Pegasus'un sahip olduğu bu bilgiler beyin olarak tanımlanan bellekte muhafaza edilir. Kaynak kod üretimi için Anlam-Kitaplığı (Meaning-Library) adı verilen bir veri tabanı kullanılmaktadır (Knöll & Mezini, 2006). Little ve Miller anahtar kelimeler içeren komutları web ve Microsoft Word'de yürütülebilir koda dönüştüren bir sistem önermişlerdir. Sistemde anahtar kelimelerin varlığına odaklanılır. Bu sistem sayesinde dil yapılarına duyulan ihtiyacın en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır. İlgili sistem elde edilen web sayfası veya bir belge dosyası ile doğal dil açıklamasından çalıştırılabilir kod üretir (Little & Miller, 2006).

Somasundaram ve Swaminathan tarafından minimum maliyetle hedeflenen dile dönüştürülmesini kolaylaştırmak için doğal dil ifadelerini ayrıştıran bir sistem olan NLC (Natural Language Compiler) önerilmiştir. Sistem Sözcüksel Çözümleyici (Lexical Analyser), Semantik Çözümleyici (Semantic Analyser), Sözdizimsel Çözümleyici (Syntactic Analyser), Kod Oluşturucu (Code Generator) olmak üzere 4 alt bileşenden oluşur. Tavsiye yolu ile öğrenme stratejisine benzer

şekilde kendi kelime dağarcığıyla eşleştirilerek ve kullanıcı ile etkileşim yoluna girerek öğrenmeyi gerçekleştirir. TPR(True Positive Rate) değeri sistemin ilk kullanım durumlarında düşük iken kelime dağarcığı genişletildikçe bu değer yükseldiği gözlemlenmektedir (Somasundaram & Swaminathan, 2011). Cozzie ve arkadaşları soyut doğal dil girdilerini alarak java kaynak kodu ve testi üreten Macho adını verdikleri sistemi önermişlerdir. Macho 4 alt sistem içermektedir: Doğal dil ayrıştırıcısı, İngilizce ile Java kodlarını eşleştirmeyi sağlayan veri tabanı, Kod parçalarını birleştiren bir birleştirici ve Aday programı test eden otomatik bir hata ayıklayıcı(automated debugger). Macho soyut dili ayrıştırır ve karşılaşılan belirsizlikten kurtulmak için birden çok aday program üretebilir. Aday programlar oluşturulan test ile kontrol edilir. Kontrol edilen programlar arasından en uygun olan seçilir. Bu uygunluk seçimi Bayes Olasılıksal Modeli kullanılarak belirlenir (Cozzie ve ark., 2011; Cozzie & King, 2012).

Le ve diğerleri, doğal dil açıklamalarından akıllı telefon komut dosyaları sentezleyen etkileşimli bir araç olan SmartSynth'ı önermişlerdir. Sistem, doğal dil ifadelerini kullanarak çeşitli platformlara sahip akıllı telefonlarda programlanabilecek kodlar üretmek için tasarlanmıştır. Çalışmada farklı bileşenleri ve bunların veri akış ilişkilerini tanımlamak için doğal dil işleme teknikleri kullanılırken eksik veri akışını oluşturmak için tür tabanlı program sentezi tercih edilmiştir. SmartSynth giriş açıklamasında bulunan belirsizliği veya bilinmeyen öğeleri çözmek için kullanıcıyla etkileşime girer (Le ve ark., 2013). Manshadi ve diğerleri, 2013 yılında doğal dil tanımlarından kaynak kodu oluşturmak için bir problemi bağımsız alt problemlere ayıran ve bu alt problemlerin her birini ayrı ayrı çözen Versiyon Uzayı Cebiri Fikrini (The Idea of Version Space Algebra) kullanan hibrit bir istatistiksel yöntem sunmuşlardır. Bu yöntemde amaç çözüme giden yolların karmaşıklığını azaltmak ve problemi daha basit problemlere indirgemektir. Olası çözümlerin sayısını azaltmak için temel PbE (Programming by Example) üzerine geliştirilen bir model olan Örnekle Olasılıklı Programlama Yöntemi (Probabilistic Programming by example, PPbE) kullanarak geliştirilen bir model önermişlerdir. Sistem, bir programı diğerine tercih etmek için En Kısa Program Buluşsal Yöntemini (The Shortest Program Heuristic) kullanır (Manshadi ve ark., 2013). Gulwani ve Marron, 2014 yılında elektronik tablo programlama için doğal dil tabanlı bir arayüz aracılığıyla kullanıcı etkileşimini destekleyen bir Excel eklentisi olan NLyze'ı önermişlerdir. NLyze ile doğal dil ifadeleri ve elektronik tablo dosyası alınarak hesaplamalar ve tablo konfigürasyonları gibi Excel işlevlerine dönüştürme gerçekleştirilir. Çalışmada elektronik programlama için kapsamlı Etki Alanına Özgü (DSL, Domain Specific Language) bir dil tasarımı sunulmuştur (Gulwani & Marron, 2014).

Sayısal işlemler yapmak ya da kelimelere dayalı problemler çözmek bilim insanları için genellikle ilgi çekici ve kafa karıştırıcı görülmüştür. Matematiksel problemleri çözmek amacıyla sistemler geliştirmek de zorlu bir araştırma alanıdır. Literatür çalışmaları incelendiğinde araştırmacıların bu gibi karmaşık problemleri bilgisayar programlarına çözdürme istekleriyle karşılaşılır. Shi ve diğerleri 2015 yılında Semantik ayrıştırma ve akıl yürütme yaklaşımı kullanarak matematiksel kelime problemlerini çözmek amacıyla SigmaDolphin adını verdikleri sistemi önermişlerdir. Sistem, matematiksel kelime probleminin tanımını alır ve ilgili kaynak kodunu ve probleminin cevabını üretir. Üretilen kaynak kod, Shi ve diğerleri tarafından tasarlanmış semantik temsil dili olan DOL dili (Dolphin Language) biçimindedir. Araştırmacılar problemi başlangıçta DOL ağacına dönüştürür ve sonrasında DOL ağacından matematik ifadeleri türetirler (Shi ve ark., 2015). Quirk ve diğerleri, sıradan kullanıcılardan toplanan gürültülü eğitim verileri üzerinde anlamsal ayrıştırma yaklaşımlarını karşılaştırmışlardır. Önerdikleri yaklaşım kendilerinden önceki sistemlerin geliştirilmiş halidir. Doğal dil ifadesini IFTTT(If-this-then-that) tarifiyle eşleştiren bir anlamsal ayrıştırıcı sistemi önermişlerdir. Çalışmada karakter ve kelime n-gram özelliklerine sahip bir log-lineer model eğitmişlerdir (Quirk ve ark., 2015).

Doğal dili anlama ile ilgili problemleri ele almak için kullanılan yöntemlerin çoğu yıllar boyunca kural tabanlı yöntemler ve geleneksel makine öğrenme modelleri ile sınırlı kalmıştır. Bu yöntemler

üzerlerinde uzun soluklu ve titiz çalışmalar gerçekleştirilmesi gereken araştırma yöntemleridir. Son yıllarda oldukça popüler olan derin öğrenme modelleri ile doğal dil işleme alanında geleneksel makine öğrenmesi modellerinden daha başarılı sonuçlar elde edildiği ortaya konmuştur. Allamanis ve arkadaşları, doğal dilden kaynak koda ve kaynak koddan doğal dile giden dil modeli oluşturma fikri üzerine her iki yönde haritalama gerçekleştirebilen sinirsel bir dil modeli uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar, doğal dilden kaynak kodu üretmenin, kaynak koddan doğal dil üretmeye göre çok daha zor olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni programlama dillerinin katı sözdizimi kurallarından oluşmasıdır (Allamanis ve ark., 2015). Mou ve arkadaşları 2015 yılında uçtan uca programlama yaptıkları çalışmalarını sunmuşlardır. Çalışmada kullanıcılar istedikleri kodu doğal dilde ifade etmekte, önerilen yöntem ile girilen ifadeler karakter karakter okunarak Tekrarlayan Sinir Ağları yardımıyla koda dönüştürülmektedir (Mou ve ark., 2015). Ling ve arkadaşları kaynak kodu üretimi için Latent Predictor Networks (LPN) adını verdikleri bir sinir ağı mimarisi önermişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarıyla 2 yeni veri külliyatı (Python'da HearthStone ve Java'da Magic the Gathering) oluşturmuşlardır (Ling ve ark., 2016). Desai ve diğerleri, 2016 yılında doğal dil açıklamasını alan ve karşılık gelen kaynak kodunu sentezleyebilen bir sistem önermişlerdir. Eğitim veri seti, alana özgü bir dilin kod ve açıklama çiftinden oluşmaktadır. Girilen veri seti ile sistem istenen dili öğrenir ve programın tanımıyla eşleşen bir kod parçacığı oluşturur. Sistem, sistemin dilden bağımsız olmasını sağlayan giriş veri kümesinden herhangi bir dili öğrenebilir (Desai ve ark., 2016).

Dong ve Lapata, girdi verilerini vektör temsiline dönüştüren ve bu temsilleri kullanarak çıktı dizileri ve ağaç yapılarını koşullandırarak mantıksal biçimlerini üreten, doğal dil girdisini haritalayan Dikkati Artırılmış Kodlayıcı-Kod Çözücü (Attention Enhanced Encoder-Decoder) modeline dayanan bir yöntem önermişlerdir (Dong & Lapata, 2016). Raghothaman ve arkadaşları Bing arama motorundan gelen tıklanma verilerini kullanarak kullanıcı sorgularını cevaplamak için, açık kaynaklı kod havuzlarından öğrenilen kod kalıpları yardımıyla kod sentezleyebilen bir araç olan SWIM'i önermişlerdir. SWIM, İngilizce ifadeler karşılık gelen API'yi öneren API eşleyicisi ve önerilen API'leri kullanarak kod oluşturan sentezleyiciden oluşur (Raghothaman ve ark., 2016). Nguyen ve arkadaşları 2016 yılında sundukları çalışma ile bir programlama görevini oluşturmak için görevin İngilizce tanımını alan ve eğitim verilerinden öğrenerek API kullanımı için şablon sentezleyen T2API adını verdikleri istatistiksel makine çevirisi tabanlı bir araç önermişlerdir. T2API 2 adımda çalışmasını gerçekleştirir. İlk olarak açıklama-kod verilerinden istatistiksel olarak öğrenir ve görevin ilgili olduğu API'yi üretir. İkinci aşamada grafik tabanlı bir dil modeliyle kod topluluğundan API kullanımlarını öğrenen bir sentez algoritması ile API kullanımını birleştirir (Nguyen ve ark., 2016).

Mandal ve Naskar, 2017 yılında yaptıkları çalışmada doğal dilde Matematiksel Kelime Problemi (Mathematical Word Problem, MWP) metinlerini alan ve bilgi çıkarımı yaparak bu problemleri çözen Java programları üreten bir sistem önermişlerdir. Önerilen sistemde bilgi çıkarımı yapıldıktan sonra bu bilgiler önceden tanımlı olan şablonlarda depolanır. Mandal ve Naskar bilgi çıkarım işlemi için OIA üçlüsü (Owner-Item-Attribute) adı verilen bir şablon tasarlamışlardır (Mandal & Naskar, 2017). Yin ve Neubig, 2017 yılında doğal dil açıklamalarında Python programlama dili komutları oluşturmak için dilin gramer yapısını dikkate alarak olasılıksal dil bilgisi modeli kullanan yeni bir sinir mimarisi modellemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarının anlamsal ayrıştırma kullanan diğer kod oluşturma yaklaşımlarına göre daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir (Yin & Neubig, 2017). Lin ve arkadaşları doğal dil girdilerinden karmaşık dosya sistemi işlemlerini gerçekleştirebilmek için gereken bash komutları üretebilmek amacıyla Tellina'yı önermişlerdir. Tellina'nın sistemi geliştirilirken doğal dil işleme tekniklerinden biri olan tekrarlayan sinir ağları (Recurrent Neural Networks, RNN) ve anlamsal ayrıştırma kullanılmıştır. Doğal dil verisi okunduğunda detayları anlayabilmek için varlık tanıma olarak adlandırılan anlamsal ayrıştırma tekniği kullanılmıştır. Sonrasında doğal dil verilerini program şablonuna dönüştürebilmek için RNN kullanılmıştır. Sistemin ilk 3 önerisinden birisinin

doğru olma olasılığı %80'dir. Araştırmacılar programcılarının performansını ölçen bir araştırma da sunmuşlardır. Bu çalışmaya göre programcılar Tellina'dan her zaman tam doğru komut önerisi alamazlar bile Tellina'nın çalışma sürelerini %21,7 oranında kısalttığı gözlemlenmiştir (Ernst, 2017; Lin ve ark., 2017). Zhong ve çalışma arkadaşları doğal dil sorgularına karşılık gelen SQL sorgularını üretebilmek için pekiştirmeli öğrenme kullanarak derin bir sinir ağı olan Seq2SQL modelini önermişlerdir. Ağ optimizasyonunu sağlamak için çapraz entropi kaybı ve öğrenmek için ödül ağırlıkları kullanılmıştır. Araştırmacılar çalışmada kendi derledikleri WikiSQL üzerinde deney yapmışlardır (Zhong ve ark., 2017).

Zhang ve Kim isimli araştırmacılar, 2018 yılında CODEnn(Code-Description Embedding Neural Network) adını verdikleri yeni bir derin ağı sistemini sunmuşlardır. Çalışmada CODEnn doğal dil açıklamaları ve karşılık gelebilecek kod parçacıkları arasındaki benzerlikleri yakalamak için eğitilmiştir. Doğal dil sorguları ve kod parçaları heterojendir ve kolayca eşleştirilemez. Önerilen bu sinir ağı ile bahsedilen veriler vektör uzayına gömülerek vektör benzerlikleri ölçülerek eşleştirilmişlerdir. İlgili çalışmayla CODEnn'den yararlanan DeepCS adını verdikleri yine derin öğrenme tabanlı bir kod arama aracını da sunmuşlardır (Gu ve ark., 2018). Liu ve Wu sundukları çalışmayla farklı yazılım mühendisliği amaçları için geliştirilen PiE, Natural Shell ve EasyACL olmak üzere 3 programlama aracını incelemişlerdir. PiE(Programming in Eliza) grafik çizimi için program sentezleyen bir eğitimsel programlama aracıdır. PiE Eliza ile kullanıcılar arasındaki konuşmalardan grafikler çizmek için LOGO programlama dilinde program sentezler. Sistem Eliza, PiE betiği ve LOGO olmak üzere 3 kısımdan oluşur. Eliza ve LOGO arasında bağlayıcılık görevi gören PiE betiği bulunur. Bu betik doğal dil açıklamalarını işler ve LOGO modülü tarafından yürütülecek olan LOGO programlama dilindeki programları sentezler. Natural Shell çeşitli platformlarda komut dosyası oluşturmaya yardımcı olan bir araçtır. Command Box, Uni-Shell Command Box ve Execution Result Box olmak üzere 3 kısımdan oluşur. Natural Shell basit komutlardan oluştuğu için acemi kullanıcıların çalışmalarını kolaylaştırmaktadır. EasyACL ise hem Cisco hem de Juniper sistemleri için erişim kontrol listesi oluşturmak ve doğrulamak için çalışır. Örneğin ağ üzerinde bir bağlantı hatası bulunması durumunda gereksinimler doğal dilde tanımlanabilmektedir (Liu & Wu, 2018).

Schlegel ve çalışma arkadaşları, 2019 yılında Vajra adını verdikleri sistem ile doğal dil açıklamalarını alan ve bunlara karşılık gelen Python kod parçacıklarını üreten çalışmayı sunmuşlardır. Bu çalışmada Anlamsal Ayrıştırma (Semantic Parsing) tekniği kullanılmıştır. Sistem olası ifadelerin bir listesini ve anlamsal olarak birbirlerine en çok benzeyen ilişkili parametreleri oluşturur. Sistem kullanıcı ile etkileşim halindedir. Akışta oluşabilecek belirsizlikleri çözmek amacıyla birden fazla örnek prosedür arasından seçim yapmaktadır (Schlegel ve ark., 2019). Phan, doğal dilde yazılmış metot adı ya da metot açıklamalarından metot gövdeleri oluşturan bir yaklaşım olan MethodInfoToCode'u önermiştir. Çalışmada metinsel bir açıklamadan kod tahmini için Cümle Tabanlı İstatistiksel Makine Çevirisi Modeli (Phrase-based Statistical Machine Translation) ve büyük bir veri seti kullanılmıştır (Phan, 2019). Agashe ve arkadaşları 2019 yılında gerçekleştirdikleri çalışmayla JuICe adını verdikleri geniş bir veri külliyatı sunmuşlardır. Kendi kategorisindeki diğer veri kümelerine bakıldığında JuICe insanlar aracılığı ile derlenmesi ve çok fazla eğitim verisi sunması ile ön plana çıkmaktadır. Çalışmacılar sundukları bu veri kümesi ile modellerini eğitmişlerdir. En iyi performansı LSTM modelinin gösterdiğini deneyimlemişlerdir (Agashe ve ark., 2019). Shin ve arkadaşları bir corpustan öğrenilen kodlama kalıplarını bir nöral sentezleyicinin sözlüğüne dahil eden, bu kod deyimlerini araştırmak için Bayeşçi çıkarım kullanan, AST eğitimi için deterministik olmayan bir eğitim rejimi kullanarak program üreten bir sistem olan PATOIS'u önermişlerdir. PATOIS'u 2 semantik ayrıştırma veri kümesi üzerinde değerlendirmişlerdir (Shin ve ark., 2019). Zhu ve arkadaşları doğal dilden programlama dili kodu üretimi için GAN(Generative Adversarial Networks) tabanlı bir otomatik programlama yaklaşımı olan GANCoder'ı önermişlerdir. GANCoder'ın yapısında bulunan kodlayıcı doğal dil ifadelerini anlamsal vektörler olarak kodlar. Bu kodlamanın ardından

kod çözücü dilin gramer yapısını dikkate alarak bu kodları AST ağaçlarına dönüştürür. Oluşturulan AST ağaçları da program kodlarına dönüştürülür. Doğal dili kodlamak için çift yönlü LSTM, AST'yi oluşturmak için normal bir LSTM yapısı kullanılır (Zhu ve ark., 2019).

Gemmell ve arkadaşları, 2020 yılında yayınladıkları çalışma ile kod oluşturma görevleri için Transformer mimarilerini incelemiştir. Geri bildirim mekanizması aracılığı ile güçlendirilmiş derin öğrenme modellerinden biri olan Transformer modeli üzerinde iyileştirmeler yaparak Relevance Transformer modelini önermişlerdir (Gemmell ve ark., 2020). Perez ve arkadaşları yayınladıkları çalışmada LSTM, RNN, GRU da dahil olmak üzere çeşitli yapıları incelenmişlerdir. Sonuç olarak Transformer mimarisine dayanan bir doğal dil işleme modeli olan GPT-2'ye bazı parametre ayarları yapmışlar ve diğer modellerden daha başarılı olduğunu gözlemlemişlerdir (Perez ve ark., 2021). Hong ve arkadaşları, 2021 yılında hedeflenen dilde program sentezleme için nöral sentezleyici olan Gizli Programcı (Latent Programmer, LP)'yi önermişlerdir. Önerilen sistem 3 temel bileşenden oluşur: Gizli programcı (Latent predictor,), Gizli program kod çözücü (Latent program decoder) ve Program kodlayıcı (Program encoder). Sentezleyici önce istenen programı tanımlayıcı bir plan oluşturur (üst düzey tanımlayıcı bir simge dizisi) ve ardından bu planı uygulayarak hedeflenen dilde program sentezini gerçekleştirir (Hong ve ark., 2021).

Nizzad ve Thelijjagoda önceden eğitilen bir model kullanarak mikrofon aracılığıyla sesli komutları alan ve alınan sesi metne çevirerek elde edilen doğal dil verilerinden python kaynak kodu üreten bir sistem olan PyVoice IDE'yi önermişlerdir. Modelde öğrenmeyi gerçekleştirmek için GPT (Generative Pretrained Transformer) modeline dayanan transfer öğrenimini kullanmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre bir diziyi başka bir diziyeye eşlemek için Transformer mimarisinin daha güçlü olduğunu doğrulamışlardır (Nizzad & Thelijjagoda, 2022). Yüksel ve Karabıyık, 2022 yılında doğal dil işleme yöntemleri aracılığıyla metin verisine karşılık gelen SQL kodunu tahmin edebilen bir sistem önermişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında makine çevirisi yöntemini kullanarak birden fazla dili destekleyen (33 tane doğal dilden İngilizceye çeviri bulunmaktadır.) bir sistem tasarlamışlardır. Kullandıkları veri setleri İngilizce olmakla beraber makine çevirisi yardımıyla farklı doğal dillerden kod üretme işlemini gerçekleştirmişlerdir (Yüksel & Karabıyık, 2022). Zhao ve arkadaşları GAP-Gen olarak adlandırdıkları Python dilinin sözdizimsel ve anlamsal kısıtlamaları tarafından yönlendirilen, doğal dil tanımından otomatik Python kaynak kodu oluşturma yöntemini sunmuşlardır. Çalışmanın ön eğitim ile kaynak girdisinden doğrudan kod üreten diğer yöntemlerden temel farkı, kaynak kodun sözdizimsel bilgilerini daha iyi öğrenmek ve kullanmak için öncelikle kod yapısını bir ara durum olarak üretmesi ve sonrasında bu yapıyı kullanarak kod üretimini gerçekleştirmesidir (Zhao ve ark., 2022).

4.2. Kullanılan Yöntemlerin Analizi

İncelenen çalışmalarda farklı yöntemler ve modeller kullanılmıştır. Bazı araştırmacılar kendi veri setlerini oluştururken, bazıları daha önce çalışan araştırmacılar tarafından oluşturulmuş veri setlerini kullanmışlardır. Bazı çalışmalarda ise veri seti bilgileri bulunmamaktadır. Çalışmalar farklı problemlere çözüm üretmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Birebir aynı amaçlarda ve eşit kriterlerde gerçekleştirilmediğinden, çalışmaları doğrudan karşılaştırmak uygun bir yaklaşım değildir. Bu kısımda, Tablo 1 aracılığıyla çalışmalarda kullanılan yöntemler, kaynak ve hedef programlama dili gibi genel bilgiler verilmektedir.

Tablo 1. Çalışmalarda Kullanılan Yöntem ve Teknikler

Çalışma	Yıl	Kullanılan/Önerilen Teknikler	Kaynak Dil (Doğal Dil)	Hedef Dil (Programlama Dili)
(Nizzad & Thelijjagoda, 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Transformer Mimarisi (Transformer Architecture) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> Python
(Yüksel & Karabıyık, 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Yarı otoregresif bir model olan SmBop (Semi-auto-regressive Bottom-up Semantic Parsing) Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) 	Türkçe Birden fazla dil desteği	<ul style="list-style-type: none"> Sql
(Zhao ve ark., 2022)	2022	<ul style="list-style-type: none"> Syntax-Flow Dil Modeli Variable-Flow Dil Modeli Yönlendirilmiş Kod Üretimi Dil Modeli (Guided Code Generation Language Model) T5-English Dil Modeli CodeT5 Dil Modeli 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> Python
(Perez ve ark., 2021)	2021	<ul style="list-style-type: none"> Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) Sinirsel Kelime Çantası (Neural-Bag-Of-Words) GPT-2 (Generative Pre-trained Transformer 2) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> Python
(Hong ve ark., 2021)	2021	<ul style="list-style-type: none"> İki Seviyeli Işın Araması (Two-level beam search) Ayrık Otomatik Kodlayıcılar (Discrete autoencoders) 	Giriş/Çıkış çifti	<ul style="list-style-type: none"> Python
(Gemmell ve ark., 2020)	2020	<ul style="list-style-type: none"> Geri alma algoritması (Retrieval algorithm) Transformer Mimarisi (Transformer Architecture) Relevance Transformer Model 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> Python
(Phan, 2019)	2019	<ul style="list-style-type: none"> Cümle Tabanlı İstatistiksel Makine Çevirisi Modeli 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> Java

(Agashe ve ark., 2019)	2019	<ul style="list-style-type: none"> • ift ynl LSTM (Bidirectional LSTM, BiLSTM) • Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) • Transformer Mimarisi (Transformer Architecture) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Python
(Shin ve ark., 2019)	2019	<ul style="list-style-type: none"> • ift ynl LSTM (Bidirectional LSTM, BiLSTM) • Bayeşci ıkarım • Soyut Szdizimi Ağacı (Abstract Syntax Tree, AST) eğitimi için yeni deterministik olmayan bir eğitim rejimi 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Python • Sql
(Schlegel ve ark., 2019)	2019	<ul style="list-style-type: none"> • Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine, SVM) • Anlamsal Ayrıştırma (Semantic Parsing) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Python
(Zhu ve ark., 2019)	2019	<ul style="list-style-type: none"> • Tek/ift ynl LSTM • Işın Arama algoritması (Beam Search algorithm) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Python • Prolog • Mantıksal Formlar(λ hesabı Şeklinde)
(Gu ve ark., 2018)	2018	<ul style="list-style-type: none"> • ift Ynl LSTM • Heterojen verilerin ortak gömülmesi tekniği (Joint Embedding of Heterogeneous Data) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Java
(Zhong ve ark., 2017)	2017	<ul style="list-style-type: none"> • Kural Tabanlı Takviyeli ğrenme (Policy-based reinforcement learning) • Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • SQL
(Yin & Neubig, 2017)	2017	<ul style="list-style-type: none"> • Soyut Sözdizimi Ağacı (Abstract Syntax Tree, AST) • Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) • Olasılıksal dil bilgisi kullanan yeni bir sinir mimarisi önermişlerdir. 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Python • IFTTT

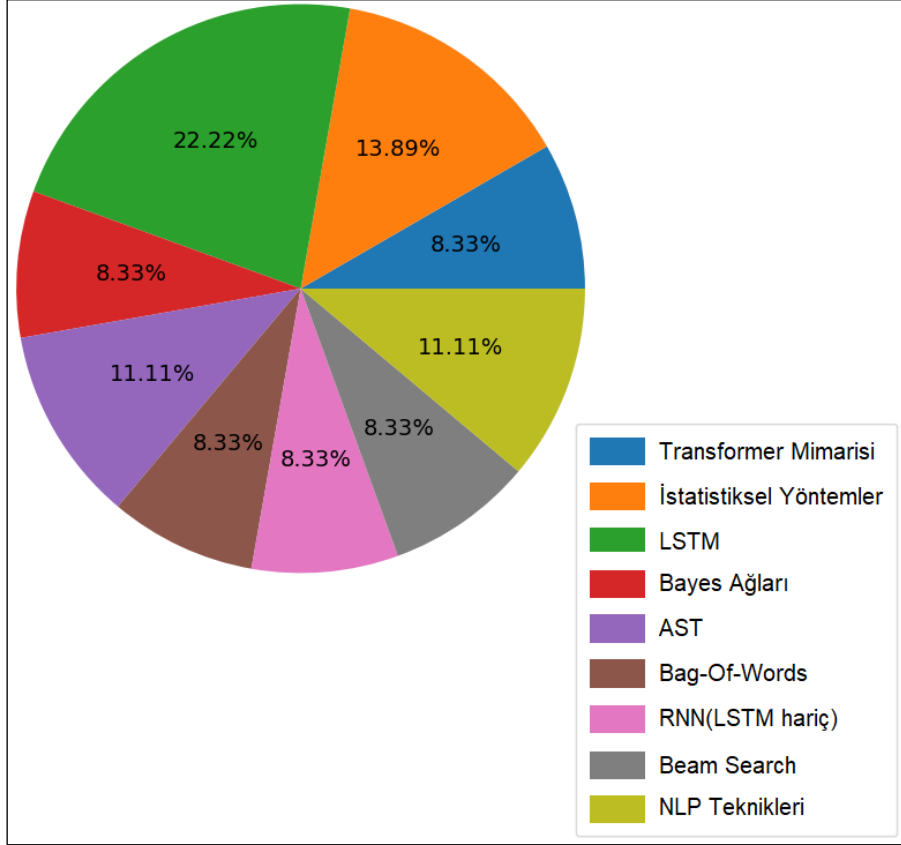
(Ernst, 2017; Lin ve ark., 2017)	2017	<ul style="list-style-type: none"> • Çift yönlü RNN (Bidirectional RNN) • K En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors, KNN) • Kararlı Eşleştirme Algoritması (Stable Matching Algorithm) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Bash komutları
(Mandal & Naskar, 2017)	2017	<ul style="list-style-type: none"> • SRL (Semantic Role Labelling) • Şablon tabanlı bir IE (Information Extraction) yaklaşımı OIA (Owner-Item-Attribute) üçlüsü kullanılmıştır. 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Java
(Raghothaman ve ark., 2016)	2016	<ul style="list-style-type: none"> • Beklenti maksimizasyon algoritması (Expectation maximization algorithm) • Kosinüs benzerliği fonksiyonu • İstatistiksel Yöntemler 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • C#
(Nguyen ve ark., 2016)	2016	<ul style="list-style-type: none"> • İstatistiksel makine çevirisi (Statistical Machine Translation, SMT) • İngilizce kelimelerin API dizileriyle ilişkilendirilmesi amacıyla IBM (Brown ve ark., 1993) modelinden yararlanılır. • Grafik tabanlı bir dil modeli olan GraLan (A. T. Nguyen & T. N. Nguyen, 2015) kullanılmıştır. • Sıralama sorunu çözümü için bir grafik sentez algoritması geliştirilmiş ve grafik sentezlemek için Işın Arama Stratejisi (A Beam Search Strategy) kullanılmıştır. 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • API kullanım şablonu (Eclipse IDE eklentisi)
(Ling ve ark., 2016)	2016	<ul style="list-style-type: none"> • C2W Modeli • Dikkat Modeli (Attention Model) • RNN tabanlı kod oluşturma modeli olan Latent Predictor Networks (LPN) önerilmiştir. 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Python • Java

(Desai ve ark., 2016)	2016	<ul style="list-style-type: none"> • anta Algoritması (A bag algorithm) • Naive Bayes Sınıflandırıcı (Naive Bayesian Classifier) • zellik ıkarma (Feature extraction for ranking) • POS etiketleme ve diğer doğal dil özelliklerini çıkarmak için Stanford NLP Motoru kullanılmıştır. 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Belirli bir DSL
(Dong & Lapata, 2016)	2016	<ul style="list-style-type: none"> • Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Prolog • IFTTT • Mantıksal Formlar (λ hesabı Şeklinde)
(Shi ve ark., 2015)	2015	<ul style="list-style-type: none"> • CFG (Context-Free Grammar) • ğrenme temelli istatistiksel bir yöntem (KAZB) • Benzerlik hesabıyla alışan İstatistiksel bir yöntem (BasicSim) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • DOL- Matematiksel İfade
(Allamanis ve ark., 2015)	2015	<ul style="list-style-type: none"> • Kelime antası (Bag of words, BoW) • Ayırştırma Ağacı (Parse Tree) • Log-bilinear model adı verilen bir sinirsel dil modeli • arpımsal Model (Multiplicative model) • Toplamsal Model (Additive model) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • C#
(Gulwani & Marron, 2014)	2014	<ul style="list-style-type: none"> • Anahtar Kelime Programlama ve Semantik Ayırştırma fikri birleştirilerek dinamik programlama tabanlı bir yaklaşım ve sıralama Őeması kullanılır. 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • DSL

(Le ve ark., 2013)	2013	<ul style="list-style-type: none"> • Ağaç-tabanlı NLP Teknikleri • Kelime Çantası (Bag of words, BoW) • Düzenli İfadeler (Regular expressions) • İfade uzunluğu ölçümü (Phrase length measuring) • Noktalama işareti algılama (Punctuation detection) • Ayrıştırma Ağacı (Parse Tree) • Tip tabanlı sentez algoritması (Type-based synthesis algoritması) • Reverse Parsing benzeri bir algoritma • Kural tabanlı ilişki algılama algoritması (Rule-Based relation detection algorithm) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • SmartScript
(Manshadi ve ark., 2013)	2013	<ul style="list-style-type: none"> • Denetimli öğrenme yöntemi • Viterbi Algoritması • En kısa program sezgiselliği (The shortest program heuristic) • Versiyon Uzayı Cebiri tekniği (Technique of version space algebra) • Örnekle olasılıklı programlama yöntemi (The probabilistic PbE, PPbE) 	İngilizce	-
(Cozzie ve ark., 2011; Cozzie & King, 2012)	2011, 2012	<ul style="list-style-type: none"> • Jeneratif Naive Bayes modeli (Generative Naive Bayes model) 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Java • Java test kodu
(Somasundaram & Swaminathan, 2011)	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Tavsiye yoluyla öğrenme • Kural tabanlı bir sistem 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Ara temsil
(Knöll & Mezini, 2006)	2006	<ul style="list-style-type: none"> • Mantıksal bir yapı çıkarımı ve karşılığında eşleştirme yapılır. 	Almanca, İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Java
(Little & Miller, 2006)	2006	<ul style="list-style-type: none"> • Kendi geliştirdikleri çeviri algoritması ve ağaç yapısı kullanılır. 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Visual Basic • Chickenfoot
(H. Liu & Lieberman, 2005)	2005	<ul style="list-style-type: none"> • Doğal dil işleme teknikleri 	İngilizce	<ul style="list-style-type: none"> • Python

(Price ve ark., 2000)	2000	<ul style="list-style-type: none"> • Soyut Sözdizimi Ağacı (Abstract Syntax Tree, AST) • Karar Ağacı (Decision tree) • Bilgi Çıkarma (Information extraction, IE) Teknolojisi 	İngilizce	• Java
-----------------------	------	--	-----------	--------

Şekil 5’te incelen çalışmalarda kullanılan yöntemler grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5. İncelen Çalışmalarda Sık Rastlanılan Yöntemler

Şekil 5’teki grafik incelendiğinde çalışmalarda LSTM yönteminin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Ancak bu grafik yorumlanırken kullanım sıklığına bakılarak yöntemlerin başarısını doğrudan değerlendirmek uygun bir yaklaşım olmaz. Örneğin incelenen çalışmalarda NLP tekniklerinin kullanımının %11,11 oranında olduğu görülmektedir. Ancak diğer yaklaşımlarda ön işleme adımları vb. aşamalarda NLP teknikleri kullanılabilir. Bunun yanı sıra bazı çalışmalarda grafikte gösterilen yaklaşımların birkaçı birden kullanılmıştır.

Yapılan analizler neticesinde programlama dili kodu üretimi için literatürdeki çalışmalar tarihsel olarak değerlendirildiğinde geçmiş tarihli çalışmaların kural tabanlı ya da istatistiksel tabanlı modeller üzerine yoğunlaştığı, günümüze yaklaştıkça daha çok veriye dayalı makine öğrenmesi, derin öğrenme temelli çalışmalar ya da farklı yöntemlerin güçlü yanları birleştirilerek daha başarılı çıktılar oluşturan hibrit çalışmaların arttığı görülmektedir. Kullanılan yöntemlerin birbirlerine göre karşılaştırılabilir avantaj ve dezavantajlar barındırmaktadır.

Kural tabanlı yöntemler insanlar tarafından anlaşılması ve oluşturulması daha kolay olduğu için avantaj barındırırken spesifik alanlara çözüm üretebilmesi dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca sınırlı veri ile çözüm yöntemi geliştirme imkânı sunması da avantajları arasındadır. Ancak

karmaşık ve dinamik süreç yönetimi söz konusu olduğunda esnek bir yapı sunulamamakta böylelikle yeterli başarı elde edilememektedir. Olasılık tabanlı yöntemler düşünüldüğünde istatistik ve olasılık alanında teorik temeller ve güçlü matematik alt yapısı gerektirmektedir. Derin öğrenme modellerinin ihtiyaç duyduğu ölçüde veri gerektirmese de homojen ve büyük ölçekli veri kümelerine ve hesaplama gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Belirsiz durumlarla başa çıkarken olasılıksal hesaplamalardan yola çıkıldığı için başarılı çıktılar üretilmektedir. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemlerine bakıldığında esnek, dinamik ve genelleştirilebilir yapılar ortaya konabilmektedir. Ancak başarılı sonuçlar elde edebilmek için büyük miktarda ve gürültüsüz veri kullanmak gerekir. Verilerin eksik ya da yanlış olması modelin performansını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca bu modellerin oluşturulması güçlü bilgisayarlar ve zaman gerektirmektedir.

Geliştirilen yeni yöntemler ile önceki yöntemlerin tamamen kullanımdan kalkması gibi bir durum söz konusu olmamakla beraber yeni yöntemlerden elde edilen başarı oranları da göz ardı edilmemelidir. Özetle gerçekleştirilecek çalışma için seçilecek yöntemler problem uzayına uygun şekilde tercih edilmelidir. Örneğin incelenen çalışmalarda RNN sık karşılaşılan yöntemler arasındadır. Ancak RNN mimarileri uzun vadeli bağımlılıkları yakalamakta zorlanmaktadır. RNN'deki bu eksiklik özel bir RNN türü olan LSTM yöntemi geliştirilerek çözülmüştür. LSTM ağları uzun veri girişlerini ezberler, önceki ve on anki verileri kullanarak ileriye dönük çıktılar oluşturabilir. Bu uzun veri girişi gerektiren senaryolar için bir avantaj oluşturmakla beraber RNN yapısına göre ek kapılar barındırdığından hesaplama gücü olarak maliyetli olmaktadır. Bu nedenle tek satırlık girdiler için kod çıktısı oluşturulması istenen senaryolarda geleneksel RNN kullanılarak çözüm geliştirilmesi daha uygun olacaktır. Yine Transformer mimarileri son yıllarda adını sıkça duyduğumuz yüksek başarılı sonuçlar veren yapılarıdır ancak büyük miktarda veri, hesaplama gücü ve zaman gerektirdiğinden oluşturulması maliyetlidir. Bu nedenle daha basit yapılar ile çözüme kavuşturulacak senaryolarda tercih edilmemelidir. Kural tabanlı yaklaşımlar, olasılıksal yöntemler ve derin öğrenme teknolojileri birlikte kullanılarak karma yöntemler oluşturulması da bir seçenektir. Böylece daha az veri ile daha yüksek başarılı çıktılar elde edilebilir. Ancak bu tarz karma yöntemler ile mimarilerin güçlü yanları birleştirilirken dezavantajları da bir araya getirilebilir. Ayrıca bu yapıları kurmak tüm yöntemlerin zorluklarını barındırdığından daha karmaşıktır.

4.2. Veri Seti Analizleri

Çalışmanın bu bölümünde araştırmacıların projelerinde girdi olarak kullandıkları veri setlerinin hangileri olduğu ve özellikleri tablo halinde sunulmuştur.

Tablo 2. Çalışmalarda Kullanılan Veri Setleri

Çalışma	Veri seti adı	Veri seti detayları
(Nizzad & Thelijjagoda, 2022)	• Github CodeSearch Net Challenge	Makine öğrenmesi ve doğal dil işleme için büyük miktarda veri içeren bir veri kümesi.
(Yüksel & Karabıyık, 2022)	• Spider	10.181 adet doğal dil sorusu ve 5.693 tane farklı sql ifadesi içeren bir veri seti.

(Zhao ve ark., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • Code Search Net(CSN)² • Edinburgh Code-to-Docstring dataset (CDC)³ • CodeSearchNet AdvTest (Adv)⁴ 	<p>Code Search Net: Public Github depolarından toplanan bir veri külliyatıdır (Husain ve ark., 2019). Gerekli veri filtreleme adımlarından sonra 412k eğitim verisi, 22k doğrulama verisi ve 22k test verisi elde edilmiştir.</p> <p>Edinburgh Code-to-Docstring dataset: Github sitesinden toplanan ve işlenen Python külliyattır (Barone & Sennrich, 2017). 109.108 eğitim verisi, 2000 doğrulama verisi ve 2000 test verisi olacak şekilde eğitim/doğrulama/test verilerine bölünmüştür.</p> <p>CodeSearchNet AdvTest: CodeSearchNet külliyatından türetilen bir Python veri kümesidir (Lu ve ark., 2021). CodeSearchNet Advtest veri seti 251.820 eğitim verisi, 9.640 doğrulama verisi ve 19.210 test verisi içermektedir.</p>
(Perez ve ark., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • CodeSearchNet 	Python, Php, Java, Go, Ruby gibi çeşitli dillerde 2 milyon kod ve açıklama çiftinden oluşan CodeSearchNet (Husain ve ark., 2019) veri seti kullanılmıştır. Ancak kullanım Python dili verileri ile sınırlandırılmıştır.
(Hong ve ark., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • Github verileri 	Github sitesinden toplanan bir belge dizisi ve karşılık gelen python kod parçacıklarından oluşan 111.000 python örneği içeren veri setidir (Wan ve ark., 2018).
(Gemmell ve ark., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> • DJANGO • Hearthstone • CoNaLa 	<p>DJANGO: Tüm veri setleri İngilizce açıklamalardan oluşmak üzere 18 bin satırın üzerinde kaynak kodu ve satır satır açıklamalarını içeren bir veri setidir.</p> <p>Hearthstone: Oyun kartlarından elde edilen 665 adet Python kodu ve İngilizce açıklamasından oluşan bir veri kümesidir.</p> <p>CoNaLa: StackOverflow soruları ve onlara verilen yanıtlardan elde edilmiş olan 2 bin soru-cevap çiftinden oluşan veri setidir.</p>
(Phan, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Github Corpusu 	JDK, Android, GWT, Joda-Time, Hibernate ve Xstream'den oluşan 6 popüler kitaplığı kullanan bir Github Projesi verilerinden 2,86 milyon metot çağırısı kullanılmıştır.
(Agashe ve ark., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Eğitim: Jupyter notebook • Değerlendirme: nbgrader 	Modelleri eğitmek için Github sitesi üzerinde public 659.000'den fazla Jupyter notebook'u kullanılmıştır. Modelleri değerlendirmek için 13.905 nbgrader programlama egzersizleri ve 3.725 çözüm çiftinden oluşmaktadır

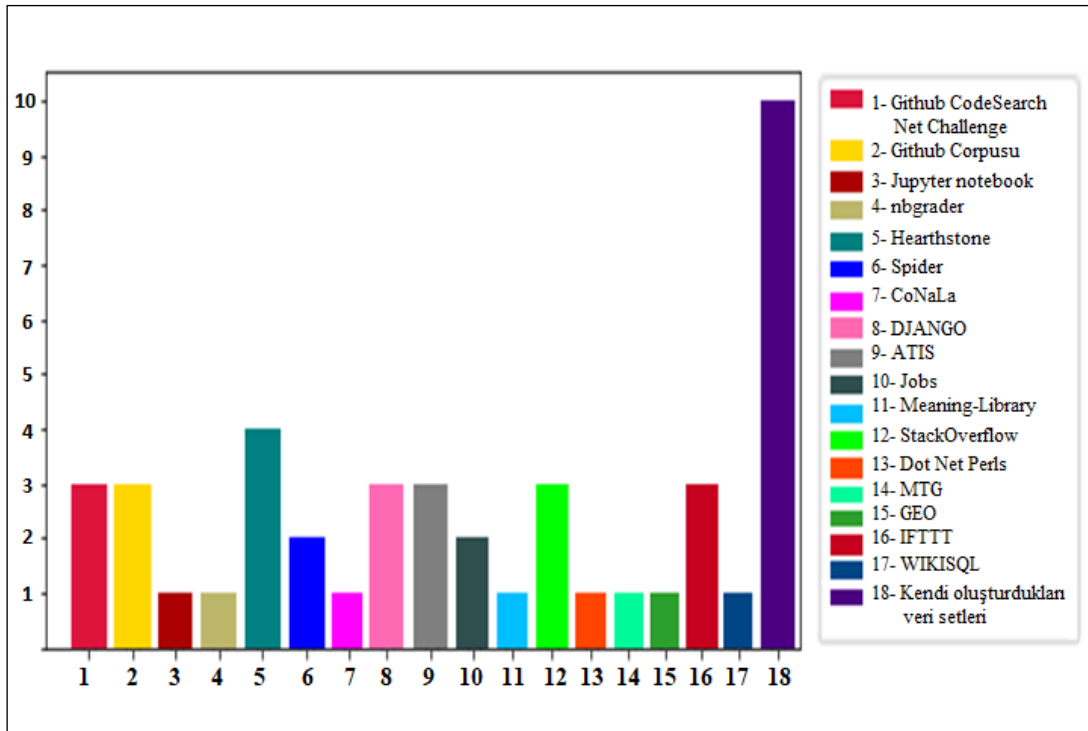
(Shin ve ark., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Hearthstone • Spider 	Python programlarından oluşan bir veri seti olan Hearthstone (Card2code, 2017) ve Çeşitli veri tabanlarından elde edilen SQL sorgularından oluşan büyük bir veri seti olan Spider (Spider, 2018) kullanılmıştır.
(Schlegel ve ark., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Kendi oluşturdukları veri seti 	Kendi geliştirdikleri küçük boyutlu bir veri setinden bahsedilmiş ancak detay verilmemiştir.
(Zhu ve ark., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Django • ATIS • Jobs 	<p>Django: Her bir kod satırının manuel şekilde doğal dil açıklaması ile etiketlendiği Python web çerçevesidir.</p> <p>ATIS: 4434 eğitim veri seti ve 140 test veri setinden oluşan, λ hesabı şeklinde kodlar içeren ATIS havayolu seyahat sistemi veri kümesidir.</p> <p>Jobs: 500 eğitim veri seti ve 140 test veri setinden oluşan sorgulan doğal dil ifadelerinden ve bu ifadelere karşılık gelen prolog biçiminde kodlardan oluşan bir veri kümesidir.</p>
(Gu ve ark., 2018)	<ul style="list-style-type: none"> • Github verileri • Stack Overflow verileri 	Github sitesinden toplanan 18,2 milyon Java kod parçasından (yorumlanan yöntemler biçiminde) oluşan bir külliyat üzerinde eğitim gerçekleştirilmiştir. Stack Overflow'tan elde edilen 50 sorgu kullanarak kod araması yapılmıştır.
(Zhong ve ark., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • WIKISQL 	Kendi oluşturdukları bir veri tabanı olan WIKISQL Wikipedia'daki 24.241 HTML tablosundan çıkarılan doğal dil soruları, SQL sorguları ve tablolarının 80.654 adet açıklamalı örneğinden oluşan bir külliyattır. WikiSQL'de kullanılan tabloları hem ham JSON formatında hem de bir SQL veritabanı formatında yayınlamışlardır (WikiSQL, 2017).
(Yin & Neubig, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Hearthstone • DJANGO • IFTTT 	Python programlarından oluşan bir veri seti olan Hearthstone ve Her kod satırının manuel şekilde doğal dil açıklaması ile etiketlendiği Django kullanılmıştır. HS veri seti daha homojen yapıdadır bunun yanında Django veri seti daha çeşitlilik barındıran gerçek dünya verilerini içermektedir. IFTTT veri seti ise IFTTT Görev Otomasyon uygulaması tarafından kullanılan alan özgü bir dilde (DSL-Domain-Specific Language) yazılmıştır. Örnekler uygulama kullanıcıları tarafından oluşturulduğundan gürültülü veriler içermektedir.

(Ernst, 2017; Lin ve ark., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Kendi oluşturdukları veri seti 	Modeli eğitebilmek için web ortamında 8.000 doğal dil açıklaması ve bash komutu çiftinden elde edilen veriler belirli bir filtreleme işleminden geçtikten sonra 5.413 adet (NL, bash) iftinden oluşan yeni bir kllyat oluşturulmuştur. Kümeleri rastgele %80 eğitim, %10 geliştirme ve %10 test seti olarak ayırmışlardır.
(Mandal & Naskar, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Kendi oluşturdukları veri seti 	189 kelime probleminden oluşan veri seti.
(Raghothaman ve ark., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Bing arama motoru ve Github'dan elde edilen veriler 	Bing'den alınan 15 günlük arama verileri ve Github sitesinden alınan 25.000 açık kaynak projeden oluşan çağrılar kullanılmıştır. Değerlendirme için Bing'den elde edilen 30 sorgu kullanılmıştır.
(Nguyen ve ark., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • StackOverflow Corpusu 	Büyük sayıda veri içeren bir Stack Overflow corpusu kullanıldığından bahsedilmiştir.
(Ling ve ark., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • MTG (Magic the Gathering) • HS (Hearthstone) 	MTG (Magic the Gathering): 13.297 adet Java kodundan oluşan bir veri setidir. Hearthstone: 665 adet Python kodu ve İngilizce açıklamasından oluşan bir veri kümesidir.
(Desai ve ark., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • 1272 kod ve açıklama çiftinden oluşan veri kllyatı toplamışlardır. 	535 ATIS (Air Travel Information System) verisi, Excel kitapları ve yardım forumlarından toplanan görevlere kullanıcı açıklamaları eklenerek oluşturulan 510 farklı kod açıklama çifti ve Bağımsız bir Corpus'tan elde edilen 227 görev için 227 açıklama eklenerek oluşturulan veriler olmak üzere toplamda 1272 kod açıklama çiftinden oluşan bir veri setidir.

(Dong & Lapata, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • JOBS • GEO • ATIS • IFTTT 	<p>JOBS: İş listeleri veri tabanına yönelik 640 sorgudan oluşan veritabanı verilerinden 500'ü eğitim 140'ı test için kullanılmıştır.</p> <p>GEO: ABD coğrafya veri tabanına ait 880 sorgu içeren veri tabanını verilerinin 680'i eğitim, 200'ü test için kullanılmıştır.</p> <p>ATIS: 5.410 sorgudan oluşan uçuş rezervasyon sistemine ait veri tabanının standart veri bölümü 4.480 eğitim, 480 geliştirme ve 450 test örneğine ayrılmıştır.</p> <p>IFTTT: Görev Otomasyon Uygulaması tarafından alana özgü bir dilde (DSL-Domain-Specific Language) oluşturulmuştur. Çalışmada Quirk ve diğerlerinin(Quirk ve ark., 2015) 77.495 eğitim, 5.171 geliştirme ve 4.294 test örneğini içeren orijinal bölümlerini kullanmışlardır.</p>
(Shi ve ark., 2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Kendi oluşturdukları veri seti 	algebra.com ve answer.yahoo.com adreslerine sahip 2 web sitesinden toplanan 1.878 matematik kelime problemlerinden oluşur. Problemlerin cevapları manuel olarak eklenmiştir.
(Allamanis ve ark., 2015)	<ul style="list-style-type: none"> • StackOverflow • Dot Net Perls 	StackOverflow ve Dot Net Perls verilerini kullanmışlardır. Veri kümelerini bir araya getirirken toplamsal gösterimi ve eleman bazında çarpımsal gösterimi kullanmışlardır. Verilerin eleman bazında çarpımsal gösteriminin toplamsal gösterimden daha iyi çalıştığını kanıtlamışlardır. Ayrıca test işlemleri için Sentetik veri üretmişlerdir.
(Gulwani & Marron, 2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Kendi oluşturdukları veri setleri 	40 elektronik tablo görevi için 3.570 İngilizce açıklamadan oluşan veri toplamışlardır.
(Le ve ark., 2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Kendi oluşturdukları veri setleri 	Forumlardan toplanan 50 görev ve bu görevler için bir kullanıcı araştırmasından elde edilen 640 doğal dil açıklaması kullanılmıştır.
(Manshadi ve ark., 2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Manshadi, Keenan ve Allen'in (2012) çalışmalarında kullandıkları veri setini kullanmışlardır (Manshadi ve ark., 2012). 	Veri seti rasgele olacak şekilde 3 bölüme ayrılmıştır. Kullandıkları 338 görevin 58'ini geliştirme, 210'unu eğitim ve geri kalan 70 görevi değerlendirme için kullanmışlardır.
(Cozzie ve ark., 2011; Cozzie & King, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Kendi oluşturdukları veri setleri 	Açık Kaynaklı projelerden elde ettikleri 200.000 Java dosyasını değiştirerek bu kodların yaklaşık yarısından oluşan kendi veri tabanlarını kullanmışlardır.

(Somasundaram & Swaminathan, 2011)	• Kendi oluşturdukları veri setleri	Anahtar kelime listesi kullanmışlardır.
(Knöll & Mezini, 2006)	• Anlam-Kitaplığı (Meaning-Library)	Programlama dili oluşturabilmek için doğal dil ifadelerine karşılık gelen java komutlarının tutulduğu bir veritabanı olan anlam kitaplığını kullanmışlardır.
(Little & Miller, 2006)	• Belirtilmemiş	-
(H. Liu & Lieberman, 2005)	• Belirtilmemiş	-
(Price ve ark., 2000)	• Kendi oluşturdukları veri setleri	Bilgi Çıkarım işlemleri için manuel olarak tasarladıkları 400 vaka çerçevesini (case frame) kullanmışlardır.

Literatür analizi, kod oluşturma konusundaki çalışmaların, araştırmacılar tarafından belirli veri setlerinin kullanımının sıkça tekrarlandığını göstermektedir. Şekil 6, bu çalışmalarda kullanılan veri setlerinin kullanım sıklıklarını grafiksel olarak göstermektedir. Bazı çalışmalarda ise kullanılan veri seti bilgisi eksiktir. Veri seti bilgisi belirtilmemiş olan çalışmalar, grafik içerisine dahil edilmemiştir. Grafik incelendiğinde, araştırmacıların bir kısmının kendi özgün veri setlerini oluşturmayı tercih ettiği, diğer çalışmalarda ise önceki araştırmacılar tarafından oluşturulan veri tabanlarının kullanıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6. İncelen Çalışmalarda Sık Rastlanılan Veri Setleri

4.3. Performans Analizleri

Geliştirilen sistemlerin başarısını ölçebilmek için uygun değerlendirme ölçütlerinin seçilmesi önemlidir. Modelin performansının anlaşılabilmesi, benzer diğer çalışmaların başarıları ile karşılaştırılabilmesi için anlamlı ölçütler seçmek gerekmektedir. Çalışmanın bu bölümünde araştırmacıların projelerinin performansını ölçmek için kullandıkları değerlendirme metriklerine ve performans sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 3. Çalışmaların Performans Metrik Analizi

Çalışma	Metrik Adı	Sonuçlar
(Nizzad & Thelijagoda, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> Eğitim Kaybı (Training Loss) Doğrulama Kaybı (Validation Loss) 	Çalışmada ilk 20 eğitim turu (epoch) için eğitim ve doğrulama kayıplarını gösteren bir grafik sunulmaktadır.
(Yüksel & Karabıyık, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> Başarı Oranı (Success rate) 	İngilizce'den Sql diline çeviri işlemlerinde %75 başarı oranı, Sistemin genelindeki testlerde ise %69,4 başarı oranı elde edilmiştir.
(Zhao ve ark., 2022)	<ul style="list-style-type: none"> BLEU skoru CodeBLUE skoru Önceki yöntemler ile kıyaslama 	<p>CSN veri kümeleri üzerinde diğer modeller ve diğer modeller GAP-Gen'in ince ayar sonuçları;</p> <p>T5 : 20.71 BLEU skoru 21.67 CodeBLUE skoru</p> <p>GAP-GEN T5 : 20.86 BLEU skoru 21.68 CodeBLUE skoru</p> <p>CodeT5 : 21.61 BLEU skoru 23.36 CodeBLUE skoru</p> <p>GAP-GEN CodeT5 : 21.86 BLEU skoru 23.49 CodeBLUE skoru</p>
(Perez ve ark., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> BLEU Skoru 	0.22 BLEU skoru
(Hong ve ark., 2021)	<ul style="list-style-type: none"> BLEU Skoru Önceki yöntemler ile kıyaslama 	<p>B (Beam size)</p> <p>B=1 14.0 BLEU skoru B=10 18.6 BLEU skoru B=100 21.3 BLEU skoru</p>
(Gemmell ve ark., 2020)	<ul style="list-style-type: none"> BLEU Skoru 	<p>Django : 82.3 BLEU skoru Hearthstone : 74.5 BLEU skoru CoNaLa : 22.3 BLEU skoru</p>
(Phan, 2019)	<ul style="list-style-type: none"> Kesinlik (Precision) Duyarlılık (Recall) F1 skoru 	<p>Kesinlik : %70,43 Duyarlılık : %75,90 F1 skoru : %73,06</p>

(Agashe ve ark., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • BLEU Skoru • EM (Exact Match) 	LSTM: BLEU : 20.92 EM : 5.71 (En iyi performans gösteren model(LSTM)'in context size'ı 3 olarak belirlenmiş ve model 1,5 milyon veri üzerinde eğitilmiştir.)																																
(Shin ve ark., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Exact match (EM accuracy) • BLEU Skoru 	Hearthstone : 0.197 EM 0.780 Sentence BLUE 0.766 Corpus BLUE																																
(Schlegel ve ark., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem Kullanılabilirlik Ölçeği (System Usability Scale, SUS) 	Genel kullanılabilirliği ölçmek için programlama geçmişi olan ve olmayan 12 gönüllü ile anket gerçekleştirilmiştir. Ortalama 85.41 SUS puanı elde edilmiştir.																																
(Zhu ve ark., 2019)	<ul style="list-style-type: none"> • Doğruluk (Accuracy) • Önceki yöntemler ile kıyaslama 	ATIS : %81,5 Django : %69,7 Jobs : %86,43																																
(Gu ve ark., 2018)	Önerilen yöntem olan DeepCS'ye ait; <ul style="list-style-type: none"> • SuccessRate@k • Precision@k • MRR değerleri Önceki 2 yöntem (Lucene , CodeHow) ile karşılaştırılmıştır. (En ilgili ilk k sonuç)	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Lucene</th> <th>CodeHow</th> <th>DeepCS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R@1</td> <td>0,24</td> <td>0,38</td> <td>0,46</td> </tr> <tr> <td>R@5</td> <td>0,48</td> <td>0,58</td> <td>0,76</td> </tr> <tr> <td>R@10</td> <td>0,62</td> <td>0,66</td> <td>0,86</td> </tr> <tr> <td>P@1</td> <td>0,24</td> <td>0,38</td> <td>0,46</td> </tr> <tr> <td>P@5</td> <td>0,24</td> <td>0,29</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>P@10</td> <td>0,26</td> <td>0,28</td> <td>0,49</td> </tr> <tr> <td>MRR</td> <td>0,35</td> <td>0,45</td> <td>0,60</td> </tr> </tbody> </table>		Lucene	CodeHow	DeepCS	R@1	0,24	0,38	0,46	R@5	0,48	0,58	0,76	R@10	0,62	0,66	0,86	P@1	0,24	0,38	0,46	P@5	0,24	0,29	0,50	P@10	0,26	0,28	0,49	MRR	0,35	0,45	0,60
	Lucene	CodeHow	DeepCS																															
R@1	0,24	0,38	0,46																															
R@5	0,48	0,58	0,76																															
R@10	0,62	0,66	0,86																															
P@1	0,24	0,38	0,46																															
P@5	0,24	0,29	0,50																															
P@10	0,26	0,28	0,49																															
MRR	0,35	0,45	0,60																															
(Zhong ve ark., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Acc_{ex} (Execution accuracy) • Acc_{lf} (Logical form accuracy) • Önceki yöntemler ile kıyaslama 	Acc_{ex} : %59,4 Acc_{lf} : %48,3																																
(Yin & Neubig, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • BLEU skoru • Doğruluk (Accuracy) • Önceki yöntemler ile kıyaslama 	HS : 75.8 BLEU skoru 16.2 Doğruluk DJANGO : 84.5 BLEU skoru 71.6 Doğruluk																																

(Ernst, 2017; Lin ve ark., 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Acc1 F (top-1 full-command accuracy) • Acc3 F (top-3 full-command accuracy) • Acc1 T (top-1 command-template Accuracy) • Acc3 T (top-3 command-template Accuracy), <p>Geliştirme seti üzerinde performansı değerlendirme metrikleri:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kesinlik (Precision) • Duyarlılık (Recall) • F1 skoru 	<p>Acc1 F: %30,0 Acc3 F: %36,0 Acc1 T: %69,4 Acc3 T: %80,0</p> <p>KNN k=1 Kesinlik: 82,9 - Duyarlılık: 87,0 - F1:84,9 k=5 Kesinlik: 84,6 - Duyarlılık: 89,0 - F1:86,7 k=10 Kesinlik: 82,1 - Duyarlılık: 86,2 - F1:84,1</p>
(Mandal & Naskar, 2017)	<ul style="list-style-type: none"> • Doğruluk (Accuracy) 	%90,48
(Raghothaman ve ark., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • FRank (sorguyla ilgili ilk üretilen çözümün sıralamasını bildirir.) • Time (İlk 10 çözümün üretilmesi için ihtiyaç duyulan süre) 	<p>30 adet test sorgusu için oluşturulan çözümlerin %70'inde ilk üretilen kod parçası istenen kod ile ilişkilidir.</p> <p>Her bir çözüm parçasığının oluşturulması için ortalama 1,5 saniye süreye ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir.</p>
(Nguyen ve ark., 2016)	-	-
(Ling ve ark., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • BLEU skoru • Doğruluk (Accuracy) 	<p>MTG : 61,4 BLEU skoru 4,8 Doğruluk</p> <p>HS : 65,6 BLEU skoru 4,5 Doğruluk</p>
(Desai ve ark., 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Kesinlik (Precision) • Duyarlılık (Recall) • Hesaplama Maliyeti (Computational Cost) • Diğer yöntemler ile kıyaslama 	<p>Precision: İstenen çıktı 3 veri seti içinde %80'inden fazlası içinde en üst sıradadır.</p> <p>Recall: İstenen çıktı 3 veri seti içinde %90'ndan fazlası için en üst sıralarda yer alan 3 sonuçtan biridir.</p> <p>Computational Cost: Giriş verilerinden sonuç elde etmek için verilerin %85'inden fazlasının 1 saniyenin altında ve çok azının 3 saniyenin üzerinde bir sürede sonuçlandığı belirtilmiştir.</p>
(Dong & Lapata, 2016)	<ul style="list-style-type: none"> • Doğruluk (Accuracy) • F1 Skoru • Önceki yöntemler ile kıyaslama 	<p>JOBS : 90,0 Doğruluk GEO : 87,1 Doğruluk ATIS : 84,6 Doğruluk IFTTT : 74,2 F1 skoru</p>

(Shi ve ark., 2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Kesinlik (Precision) • Duyarlılık (Recall) • F1 skoru 	Kesinlik : %95,4 Duyarlılık : %60,2 F1 skoru : %73,8
(Allamanis ve ark., 2015)	<ul style="list-style-type: none"> • MRR (Mean Reciprocal Rank) 	Çarpımsal model en yüksek MRR değerine ulaşmaktadır.
(Gulwani & Marron, 2014)	<ul style="list-style-type: none"> • F1 skoru 	%97,6 F1 skoru
(Le ve ark., 2013)	<ul style="list-style-type: none"> • Doğruluk (Accuracy) 	%90 Doğruluk
(Manshadi ve ark., 2013)	<ul style="list-style-type: none"> • PbE(Programming by Example) • PPbE(probabilistic PbE) ve NLPbE(NL-based model) modelleri kıyaslanmıştır. 	PPbE modelinin, taban çizgisinden %11 daha başarılı performans gösterdiği gözlemlenmiştir. NL açıklamalarının dahil edilmesiyle başarı oranı üç kattan fazla artmıştır.
(Cozzie ve ark., 2011; Cozzie & King, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> • Doğruluk 	69 test programından 55'ini doğru bir şekilde oluşturulmuştur.
(Somasundaram & Swaminathan, 2011)	<ul style="list-style-type: none"> • TPR (True Positive Rate) 	TPR değeri sistemin ilk kullanım durumlarında düşük iken kelime dağarcığı genişledikçe yükseldiği ve doyum noktasına ulaştığı gözlemlenmektedir.
(Knöll & Mezini, 2006)	-	-
(Little & Miller, 2006)	<ul style="list-style-type: none"> • t-test 	3 kadın 6 erkekten oluşan 9 kişilik (5'i Bilgisayar bilimleri anabilim dalı öğrencisi) kullanıcı grubu ile test gerçekleştirilmiştir. Programcı olmayan grup %84, programcı olan grup ise %95 başarılı olmuştur.
(H. Liu & Lieberman, 2005)	<ul style="list-style-type: none"> • Likert5 ölçeği 	Metaforun kullanıcılar için faydasını anlamak amacıyla 7'si programcı, 6'sı programcı olmayan 13 kişilik bir kullanıcı araştırması gerçekleştirilmiştir. Kullanıcılara kâğıt üzerinde ve metafor ile beyin fırtınası yapmaları üzerine Likert5 ölçeğinde puanlamaları sorulmuştur.
(Price ve ark., 2000)	-	-

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, doğal dil metinlerinden programlama dili kodu oluşturma alanında literatürde bulunan çalışmalar yarı sistematik bir şekilde incelenmiştir. İncelenen makalelerin temelinde, doğal dilin anlaşılması gibi kritik bir problem yatmaktadır. Kelimelerin morfolojik yapısı, kullanılan doğal dilin doğası, dilin gramer kuralları, doğal dil metninin yan anlamları, bağlamları, aldığı ekler vb. birçok kritik etmen, dil anlama sürecini karmaşıklaştırmaktadır. Kod oluşturma süreçlerindeki bu karmaşık durumlar çalışmada detaylı şekilde gözden geçirilmiştir. Bu alanda geliştirilen yöntemlerin temel özellikleri, avantajları ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Ayrıca, bu alanda kullanılan veri kümeleri, değerlendirme metrikleri ve zorluklar da tartışılmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile doğal dil metinlerinden programlama dili kodu oluşturma problemine çeşitli yaklaşımların geliştirildiği ancak geliştirilen bu yaklaşımların henüz yeterli başarıya ulaşmadığı gözlemlenmiştir. Bu alanda karşılaşılan en önemli zorluklardan biri, doğal dilin anlaşılması ve yorumlanmasıdır. Doğal dilin çok anlamlılığı, bağlama duyarlılığı, gramer kuralları, morfolojik yapısı gibi özellikleri, doğal dil metninin programlama dili koduna dönüştürülmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle, doğal dil işleme alanında geliştirilen yöntemlerin bu alana uyarlanması ve geliştirilmesi gerekmektedir. İncelenen çalışmalar kural tabanlı yöntemlerle derin öğrenme tekniklerinin beraber kullanılacağı hibrit yaklaşımların gelecek çalışmalar için umut vadettiğini göstermektedir. Ayrıca bu alanda kullanılan veri kümelerinin de yeterli büyüklükte, çeşitlilikte ve kalitede olmadığı görülmektedir. Veri kümelerinin küçük, dar kapsamlı ve gürültülü olması, yöntemlerin genelleştirilebilirliğini ve doğruluğunu etkilemektedir. Bu nedenle, bu alanda daha büyük, daha kapsamlı ve daha temiz veri kümelerinin oluşturulması ve paylaşılması önemlidir.

Bu alanda değerlendirme metrikleri olarak genellikle kodun çalışabilirliği, doğruluğu ve kalitesi gibi ölçütler kullanılmaktadır. Ancak, bu ölçütlerin yeterli olmadığı, kodun anlamsal ve işlevsel olarak doğru olmasının yanı sıra, okunabilir, anlaşılır, bakımı ve geliştirilmesi kolay olması gerektiği belirtilmektedir. Bu nedenle, bu alanda daha kapsamlı ve objektif değerlendirme metrikleri geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma, doğal dil metinlerinden programlama dili kodu oluşturma alanında yapılan çalışmaların derlemek ve bu alandaki mevcut durumu ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda bu alanda daha fazla araştırma yapılması ve geliştirilen yöntemlerin iyileştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın giriş bölümünde, bahsedilen alana yönelik ülkeler açısından oluşturulan grafikler göz önüne alındığında özellikle Türkçe dil işleme süreçlerine daha çok odaklanılması gerektiği ve bu alanda daha fazla araştırmacıya ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bu alanda yapılacak çalışmaların, doğal dil işleme, programlama dilleri ve makine öğrenmesi gibi farklı disiplinler arasında köprü kurarak hem bilimsel anlamda hem de uygulama açısından katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Doğal dil işleme ve doğal dilden programlama dili kodu oluşturma alanında Türkçe kaynak noktasında eksiklikler bulunmaktadır. Bu çalışmanın temel motivasyonu bahsedilen alanlardaki eksikliklerin giderilmesi, zorlukların çözümüne katkı sağlanabilmesi ve bu çalışmaları daha ileri seviyelere taşıyabilme arzusudur. Bu bağlamda, geliştirilen yöntemlerin derlenmesiyle mevcut bilgi birikimi derinleştirilerek özellikle Türkçe dilinde literatürde bulunan boşlukları doldurmak ve alandaki güncel teknoloji yöntemleri sunarak katkıda bulunmak amaçlanmaktadır. Ayrıca bu çalışma ile ilgili alanda çalışacak diğer araştırmacılara rehberlik etmek ve gelecekte yapacakları çalışmalarda araştırmacılar için yol haritası oluşturabilmek hedeflenmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

ıkar atışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Agashe, R., Iyer, S., & Zettlemoyer, L. (2019). JuICe: A Large Scale Distantly Supervised Dataset for Open Domain Context-based Code Generation. *arXiv preprint arXiv:1910.02216*.
- Allamanis, M., Tarlow, D., Gordon, A. D., & Wei, Y. (2015). Bimodal Modelling of Source Code and Natural Language. In *International conference on machine learning* (pp. 2123-2132). PMLR.
- Almeida, F., & Xexéo, G. (2019). Word Embeddings: A Survey. *arXiv preprint arXiv:1901.09069*. <http://arxiv.org/abs/1901.09069>
- Alzubi, J., Nayyar, A., & Kumar, A. (2018). Machine Learning from Theory to Algorithms: An Overview. *Journal of Physics: Conference Series*, 1142(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1142/1/012012>
- Barone, A. V. M., & Sennrich, R. (2017). A parallel corpus of Python functions and documentation strings for automated code documentation and code generation. *arXiv preprint arXiv:1707.02275*. <http://arxiv.org/abs/1707.02275>
- Bhatt, S. (2018). Reinforcement Learning 101. <https://towardsdatascience.com/reinforcement-learning-101-e24b50e1d292> adresinden 07 Kasım 2023 tarihinde alınmıştır.
- Brown, P. E., Della Pietra, V. J., Della Pietra, S. A., & Mercer, R. L. (1993). The Mathematics of Statistical Machine Translation: Parameter Estimation.
- Card2code. (2017) <https://github.com/deepmind/card2code> adresine 23 Temmuz 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Chowdhary, K., Chowdhary, K. R. (2020). Natural language processing. *Fundamentals of artificial intelligence*, 603-649
- Cozzie, A., Finnicum, M., & King, S. T. (2011). Macho: Programming With Man Pages. In *13th Workshop on Hot Topics in Operating Systems (HotOS XIII)*.
- Cozzie, A., & King, S. T. (2012). Macho: Writing Programs with Natural Language and Examples. www.acoz.net/macho
- Delua, J. (2021). Supervised vs. Unsupervised Learning: What's the Difference?. <https://www.ibm.com/blog/supervised-vsunsupervised-learning/> adresinden 06 Kasım 2023 tarihinde alınmıştır.

- Desai, A., Gulwani, S., Hingorani, V., Jain, N., Karkare, A., Marron, M., Sailesh, R., & Roy, S. (2016). Program synthesis using natural language. *Proceedings - International Conference on Software Engineering*, 14-22-May-2016, 345-356. <https://doi.org/10.1145/2884781.2884786>
- Dong, L., & Lapata, M. (2016). Language to Logical Form with Neural Attention. <http://arxiv.org/abs/1601.01280>
- Ernst, M. D. (2017). Natural language is a programming language: Applying natural language processing to software development. *Leibniz International Proceedings in Informatics, LIPIcs*, 71. <https://doi.org/10.4230/LIPIcs.SNAPL.2017.4>
- Gemmell, C., Rossetto, F., & Dalton, J. (2020). Relevance Transformer: Generating Concise Code Snippets with Relevance Feedback. *SIGIR 2020 - Proceedings of the 43rd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 2005-2008. <https://doi.org/10.1145/3397271.3401215>
- Gu, X., Zhang, H., & Kim, S. (2018). Deep code search. *Proceedings - International Conference on Software Engineering*, 933-944. <https://doi.org/10.1145/3180155.3180167>
- Gulwani, S., & Marron, M. (2014). NLyze: Interactive programming by natural language for spreadsheet data analysis and manipulation. *Proceedings of the ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, 803-814. <https://doi.org/10.1145/2588555.2612177>
- Hong, J., Dohan, D., Singh, R., Sutton, C., & Zaheer, M. (2021). *Latent Programmer: Discrete Latent Codes for Program Synthesis*.
- Husain, H., Wu, H.-H., Gazit, T., Allamanis, M., & Brockschmidt, M. (2019). *CodeSearchNet Challenge: Evaluating the State of Semantic Code Search*. <http://arxiv.org/abs/1909.09436>
- Knöll R., & Mezini M. (2006). *Pegasus – First Steps Toward a Naturalistic Programming Language*. Association for Computing Machinery.
- Kowsari, K., Meimandi, K. J., Heidarysafa, M., Mendu, S., Barnes, L., & Brown, D. (2019). Text classification algorithms: A survey. In *Information (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/info10040150>
- Krogh, A. (2008). What are artificial neural networks? In *Nature Biotechnology* (Vol. 26). <http://www.r-project.org/>
- Le, V., Gulwani, S., & Su, Z. (2013). SmartSynth: Synthesizing Smartphone Automation Scripts from Natural Language. In *Proceeding of the 11th annual international conference on Mobile systems, applications, and services* (pp. 193-206).
- Lin, X. V., Wang, C., Pang, D., Vu, K., Zeelemoyer, L., & Ernst, M. D. (2017). Program Synthesis from Natural Language Using Recurrent Neural Networks. *University of Washington Department of Computer Science and Engineering, Seattle, WA, USA, Tech. Rep. UW-CSE-17-03-01*.
- Ling, W., Grefenstette, E., Hermann, K. M., Kočiský, T., Senior, A., Wang, F., & Blunsom, P. (2016). Latent Predictor Networks for Code Generation. *arXiv preprint arXiv:1603.06744*. <http://arxiv.org/abs/1603.06744>

- Little, G., & Miller, R. C. (2006). *Translating Keyword Commands into Executable Code*. In *Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology* (pp. 135-144).
- Liu, H. (2004). MontyLingua v.2.1(Python and Java) A Free, Commonsense-Enriched Natural Language Understander for English. <http://alumni.media.mit.edu/~hugo/montylingua/> adresine 31 Ağustos 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Liu, H., & Lieberman, H. (2005). Metafor: Visualizing Stories as Code. In *Proceedings of the 10th international conference on Intelligent user interfaces* (pp. 305-307).
- Liu, X., & Wu, D. (2018). From natural language to programming language. In *Innovative Methods, User-Friendly Tools, Coding, and Design Approaches in People-Oriented Programming* (ss. 110-130). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5969-6.ch004>
- Lu, S., Guo, D., Ren, S., Huang, J., Svyatkovskiy, A., Blanco, A., Clement, C., Drain, D., Jiang, D., Tang, D., Li, G., Zhou, L., Shou, L., Zhou, L., Tufano, M., Gong, M., Zhou, M., Duan, N., Sundaresan, N., ... Liu, S. (2021). CodeXGLUE: A Machine Learning Benchmark Dataset for Code Understanding and Generation. *arXiv preprint* <http://arxiv.org/abs/2102.04664>
- Mandal, S., & Naskar, S. K. (2017). Natural Language Programming with Automatic Code Generation towards Solving Addition-Subtraction Word Problems. İçinde *NLP Association of India*. NLP AI. <http://docs.oracle.com/javase/>
- Manshadi, M., Gildea, D., & Allen, J. (2013). Integrating Programming by Example and Natural Language Programming. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* (Vol. 27, No. 1, pp. 661-667).
- Manshadi, M., Keenan, C., & Allen, J. (2012, July). Using the crowd to do natural language programming. In *Workshops at the Twenty-Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence*.
- Mansouri, A., Affendey, L. S., & Mamat, A. (2008). Named Entity Recognition Approaches. In *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security* (Vol. 8, Issue 2).
- Mou, L., Men, R., Li, G., Zhang, L., & Jin, Z. (2015). *On End-to-End Program Generation from User Intention by Deep Neural Networks*. <http://arxiv.org/abs/1510.07211>
- Nguyen, A. T., & Nguyen, T. N. (2015). Graph-based statistical language model for code. *Proceedings - International Conference on Software Engineering, 1*, 858-868. <https://doi.org/10.1109/ICSE.2015.336>
- Nguyen, T., Rigby, P. C., Nguyen, A. T., Karanfil, M., & Nguyen, T. N. (2016). T2API: Synthesizing API code usage templates from english texts with statistical translation. *Proceedings of the ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering, 13-18-November-2016*, 1013-1017. <https://doi.org/10.1145/2950290.2983931>
- Nizzad, A. R. M., & Thelijjagoda, S. (2022). Designing of a Voice-Based Programming IDE for Source Code Generation: A Machine Learning Approach. *Proceedings - International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering, SCSE 2022*, 14-21. <https://doi.org/10.1109/SCSE56529.2022.9905095>

- Perez, L., Ottens, L., & Viswanathan, S. (2021). Automatic Code Generation using Pre-Trained Language Models. <http://arxiv.org/abs/2102.10535>
- Phan, H. (2019). Self Learning from Large Scale Code Corpus to Infer Structure of Method Invocations. <https://www.programcreek.com/>
- Pise, N. N., & Kulkarni, P. (2008). A survey of semi-supervised learning methods. *Proceedings - 2008 International Conference on Computational Intelligence and Security, CIS 2008*, 2, 30–34. <https://doi.org/10.1109/cis.2008.204>
- Price, D., Riloff, E., Zachary, J., & Harvey, B. (2000). NaturalJava: A Natural Language Interface for Programming in Java.
- Quirk, C., Mooney, R., & Galley, M. (2015). Language to Code: Learning Semantic Parsers for If-This-Then-That Recipes. In *Proceedings of the 53rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 7th International Joint Conference on Natural Language Processing (Volume 1: Long Papers)* (pp. 878-888).
- Raghothaman, M., Wei, Y., & Hamadi, Y. (2016). SWIM: Synthesizing what i mean code search and idiomatic snippet synthesis. *Proceedings - International Conference on Software Engineering, 14-22-May-2016*, 357-367. <https://doi.org/10.1145/2884781.2884808>
- Schlegel, V., Handschuh, S., Lang, B., & Freitas, A. (2019). Vajra: Step-by-step Programming with Natural Language. *International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI, Part F147615*, 30-39. <https://doi.org/10.1145/3301275.3302267>
- Scopus. (2023). “Generating programming language code using natural language” cümlesi kullanılarak yapılan tarama. <https://www.scopus.com/> adresinden 01 Eylül 2023 tarihinde alınmıştır.
- Shi, S., Wang, Y., Lin, C.-Y., Liu, X., & Rui, Y. (2015). Automatically Solving Number Word Problems by Semantic Parsing and Reasoning. In *Proceedings of the 2015 conference on empirical methods in natural language processing* (pp. 1132-1142).
- Shin, R., Allamanis, M., Brockschmidt, M., & Polozov, O. (2019). Program Synthesis and Semantic Parsing with Learned Code Idioms. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32.
- Siddhartha, B. S., Khyani, D., Niveditha, N. M., & Divya, B. M. (2021). An Interpretation of Lemmatization and Stemming in Natural Language Processing. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 22(10), 350-357.
- Somasundaram, K., & Swaminathan, H. (2011). Automatic Programming through Natural Language Compiler. In *Proceedings on the International Conference on Artificial Intelligence (ICAI)* (p. 1). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).
- Spider. (2018) Yale Semantic Parsing and Text-to-SQL Challenge. <https://yale-lily.github.io/spider> adresine 23 Temmuz 2023 tarihinde erişilmiştir.
- Stecanella, B. (2019) Understanding TF-IDF: A Simple Introduction. <https://monkeylearn.com/blog/what-is-tf-idf/> adresinden 05 Kasım 2023 tarihinde alınmıştır.

- Wan, Y., Zhao, Z., Yang, M., Xu, G., Ying, H., Wu, J., & Yu, P. S. (2018). Improving automatic source code summarization via deep reinforcement learning. *ASE 2018 - Proceedings of the 33rd ACM/IEEE International Conference on Automated Software Engineering*, 397-407. <https://doi.org/10.1145/3238147.3238206>
- WikiSQL. (2017). <https://github.com/salesforce/WikiSQL> adresine 23 Temmuz 2023 tarihinde erişilmiştir
- Yin, P., & Neubig, G. (2017). A Syntactic Neural Model for General-Purpose Code Generation. *arXiv preprint arXiv:1704.01696*.
- Yse, D. L., (2021). Text Normalization for Natural Language Processing (NLP). <https://towardsdatascience.com/text-normalization-for-natural-language-processing-nlp-70a314bfa6> adresinden 03 Kasım 2023 tarihinde alınmıştır.
- Yüksel, A. S., & Karabıyık, M. A.(2022). Doğal dil işleme yöntemleriyle metinden SQL sorgusu tahmini üzerine bir alışma A study on text-to-SQL query prediction with natural language processing methods. *Niğe Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(4), 846-855.
- Zhao, J., Song, Y., Wang, J., & Harris, I. G. (2022). GAP-Gen: Guided Automatic Python Code Generation. *arXiv preprint arXiv:2201.08810*.
- Zhong, V., Xiong, C., & Socher, R. (2017). Seq2SQL: Generating Structured Queries from Natural Language using Reinforcement Learning. <http://arxiv.org/abs/1709.00103>
- Zhu, Y., Zhang, Y., Yang, H., & Wang, F. (2019). GANCoder: An Automatic Natural Language-to-Programming Language Translation Approach based on GAN. In *Natural Language Processing and Chinese Computing: 8th CCF International Conference, NLPCC 2019, Dunhuang, China, October 9–14, 2019, Proceedings, Part II* 8 (pp. 529-539). Springer International Publishing. <http://arxiv.org/abs/1912.00609>