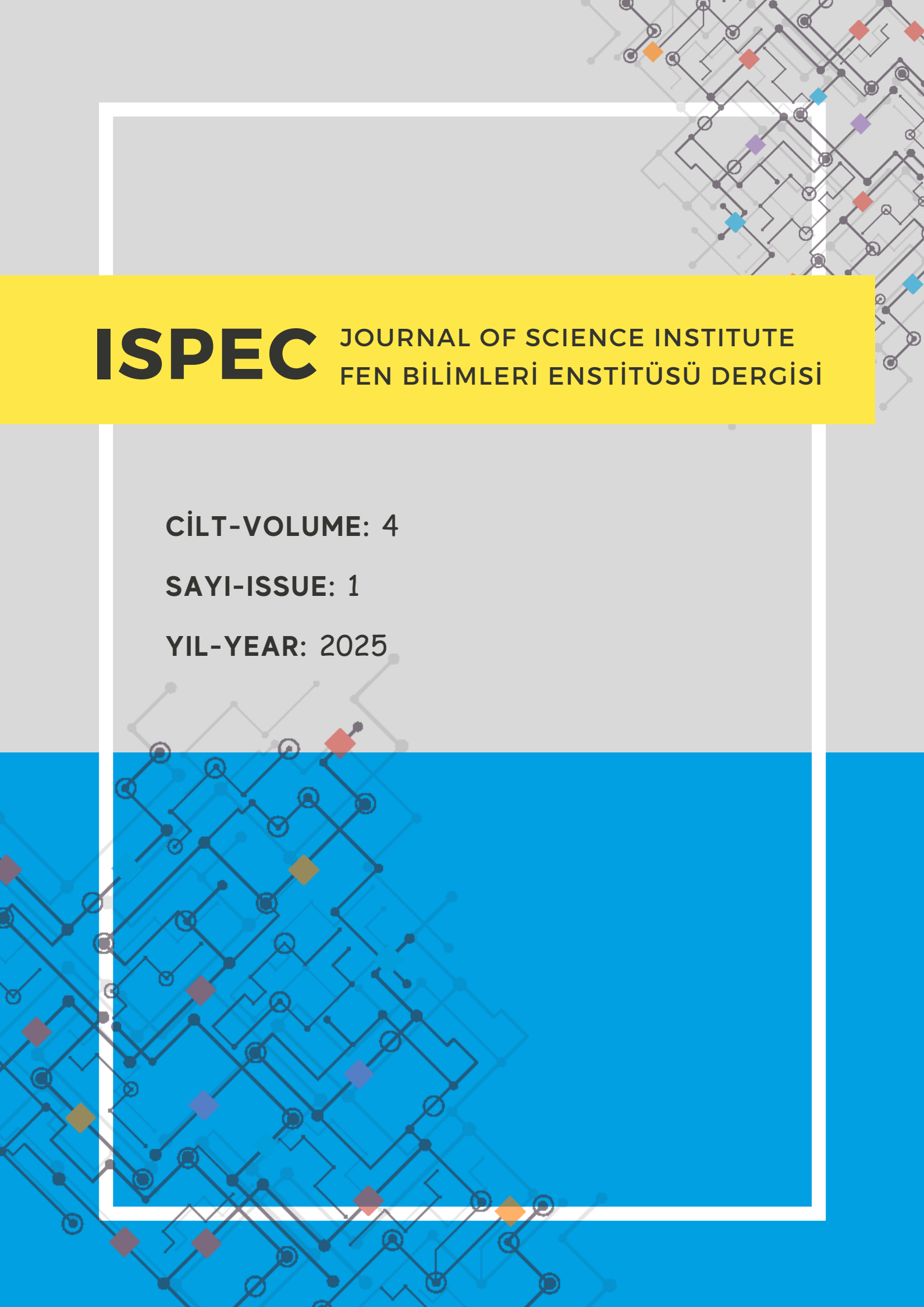




ISPEC

JOURNAL OF SCIENCE INSTITUTE
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

CİLT-VOLUME: 4

SAYI-ISSUE: 1

YIL-YEAR: 2025

ISPEC

Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
Journal of Science Institute

YIL-YEAR

2025

CİLT-VOLUME

4

SAYI-ISSUE

1

YAYIN TARİHİ – PUBLISHED

30-06-2025

EDİTÖR

Dr. Öğr. Üyesi Yeter ÇİLESİZ

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Tarla Bitkileri
Bölümü, Sivas, Türkiye

TÜRKÇE DİL EDİTÖRÜ

Dr. Öğr. Üyesi Hatice BEKÇİ

Kayseri Üniversitesi, Develi Hüseyin Şahin Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal
Üretim Bölümü, Kayseri, Türkiye

İNGİLİZCE DİL EDİTÖRÜ

Öğretim Görevlisi Ekrem ERÖZ

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Yabancı Diller Yüksekokulu, Yabancı Diller Bölümü,
Sivas, Türkiye

İSTATİSTİK EDİTÖRÜ

Doç. Dr. Arzu ALTUNTAŞ

Siirt Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Siirt,
Türkiye

YAYIN VE MİZANPAJ EDİTÖRÜ

Canan YILMAZ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye

ALAN EDİTÖRLERİ

Prof. Dr. Tolga KARAKÖY

Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi, Bitki Koruma
Bölümü, Sivas, Türkiye

Prof. Dr. Hüsnü Deniz BAŞDEMİR

Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Ankara, Türkiye

Prof. Dr. Hakan ÖZKAN

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Adana, Türkiye

Prof. Dr. Ercan CEYHAN

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Konya, Türkiye

Prof. Dr. Ahmet İLÇİM

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Hatay, Türkiye

Prof. Dr. Esra UÇAR SÖZMEN

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve
Hayvansal Üretim Bölümü, Sivas, Türkiye

Doç. Dr. Nadir NAQQASH

MNS University of Agriculture, Institute of Plant Protection, Multan

Prof. Dr. Zubair ASLAM

University of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad, Pakistan

Prof. Dr. Teodor RUSU

University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca, Romania

Prof. Dr. Jinke TANG

Department of Physics and Astronomy, University of Wyoming, Laramie, Wyoming, USA

Dr. Öğr. Üyesi Sajid FIAZ

Department of Plant Breeding and Genetics, The University of Haripur 22620, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan

Dr. Qilin DAI

Department of Physics, Atmospheric Sciences & Geoscience, Jackson State University, USA

Dr. Ravi PANDISELVAM

ICAR–Central Plantation Crops Research Institute, Physiology, Biochemistry and Post Harvest Technology Division, Kasaragod, India

Dr. Folasade Mary OWOADE

Ladoke Akintola University of Technology, Ogbomoso, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Crop Production and Soil Science, Nigeria

Dr. Mohammad FAIZAN

Maulana Azad National Urdu University, School of Sciences, Botany Section, Hyderabad-India

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Makale Adı	Sayfa Numarası	Araştırma/Derleme Makalesi
Turkish Text Summarization with Artificial Intelligence and Deep Learning Methods: Improving the Performance of Pretrained Large Language Models for Turkish through Vectorial Cosine Similarity-Based Content Selection Bilal KOBANOĞLU, Fazlı YILDIRIM	: 1-11	Araştırma Makalesi
Activated Carbon-Supported BiFeO ₃ for Sustainable Dye Degradation Ceren ORAK, Kübra KÖŞE KAYA, Sabit HOROZ	: 12-18	Araştırma Makalesi
The Role of Hybrid Commons in the Post-Pandemic Era: Redefining Interior Workspaces Ahmet TERCAN, Ekin PEKAKCAN	: 19-25	Derleme Makalesi
Light Pollution: Eskişehir Sample Application Tuncay ÖZDEMİR, Melek HAKSEVER	: 26-39	Araştırma Makalesi
Chemical Analysis of Malatya Region Walnuts (<i>Juglans regia</i>) with ICP-MS, GC-MS, FTIR and SEM-EDX Nurhayat ÖZDEMİR, Kübra AKARSU	: 40-56	Araştırma Makalesi
An alternative evaluation of the integral of Bessel-Gauss Beam Hüsnü Deniz BAŞDEMİR, Fuat ERDEN	: 57-60	Derleme Makalesi
Alternative Approach to The Line Integral Representations of Fringe Waves Naz MARDANI, Menekşe Seden TAPAN BROUTİN	: 61-72	Derleme Makalesi



Yapay Zekâ ve Derin Öğrenme Yöntemleriyle Türkçe Metin Özetleme: Önceden Eğitilmiş Büyük Dil Modellerinin Vektörel Kosinüs Benzerlik Tabanlı İçerik Seçimi ile Türkçe Özelinde Performanslarının İyileştirilmesi

Bilal KOBANOĞLU ^{1*}, Fazlı YILDIRIM ¹

¹ İstanbul Topkapı Üniversitesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, İstanbul, Türkiye
Sorumlu Yazar (Corresponding author): bilalkobanoglu@gmail.com

Özet

Bu makale, Türkçe metin özetleme sürecinde yapay zekâ ve derin öğrenme tabanlı büyük dil modellerinin kullanılmasına odaklanarak mevcut önceden eğitilmiş dil modelleri ile yenilikçi bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, makalenin temel amacı, önceden eğitilmiş modellerin Türkçe metin özetleme görevine uyarlanarak, eğitim maliyetlerinden kaçınan ve aynı zamanda verimlilik ile performans odaklı bir yaklaşım sunan bir yöntem geliştirmektir. Bu araştırmanın kuramsal dayanağı dilin dağılımsal düzenliliklerinin sayısal temsillerle ifadesini kullanarak, bu düzenliliklerin benzerlik oranına göre üretken dil modellerinin daha düzenli çıktı üretmesi üzerinedir. Bu bağlamda her kelimenin bir vektör olarak ifade edildiği uzayda, cümlelerin oluşturduğu bağlamsal vektörler arasındaki benzerlik (düzenlilik) kullanılarak, büyük dil modellerinin daha düzenli üretken çıktı üretmesi beklenmektedir. Bu diktonomi yaklaşımı, giriş vektörler arasındaki benzerliklerin başka bir süreçte hesaplanarak giriş vektöründeki düzenliliklerin artırımı ile üretken çıktının daha düzenli olmasını hedeflemektedir. Bu çalışmada, Türkçe metin özetleme için büyük dil modellerinde cümle vektörlerinin kosinüs benzerliğine dayalı içerik seçimi stratejisi önerilmektedir. Amaç, en anlamlı cümleleri seçerek modele daha hedefli bir giriş sağlamak ve böylece hem özetleme performansını artırmak hem de hesaplama maliyetlerini düşürmektir. T5 modelinin, en yüksek vektörel benzerliğe sahip cümlelerle beslenerek performansının iyileştirilmesi incelenmiş ve ROUGE metrikleriyle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, bu yöntemin özetleme kalitesini artırdığını ve t-testi ile yapılan analizlerin bazı örneklerde anlamlı iyileşmeler gösterdiğini ortaya koymuştur.

Turkish Text Summarization with Artificial Intelligence and Deep Learning Methods: Improving the Performance of Pretrained Large Language Models for Turkish through Vectorial Cosine Similarity-Based Content Selection

Abstract

This paper aims to present an innovative solution for the Turkish text summarization process by leveraging artificial intelligence and deep learning-based large language models (LLMs), specifically focusing on the use of pre-trained language models. In this context, the primary objective of this study is to adapt pre-trained models for the task of Turkish text summarization, thereby proposing a cost-efficient and performance-oriented approach that eliminates the need for extensive training. The theoretical foundation of this research is based on the numerical representation of the distributional regularities of language, positing that leveraging the similarity ratios of these regularities can enhance the structured output generation of generative language models. In this regard, it is expected that large language models will generate more structured and coherent outputs by utilizing the contextual similarity between sentence vectors in a vector space where each word is represented as a vector. This dichotomic approach aims to improve the consistency of generative outputs by increasing the regularity of input vectors through a separate process that computes the similarities between them. In this study, a cosine similarity-based content selection strategy for sentence vectors in large language models is proposed for Turkish text summarization. The objective is to select the most meaningful sentences, providing the model with more targeted and summarization-friendly input, thereby enhancing summarization performance while reducing computational costs. The study investigates the improvement of the T5 model's performance by feeding it with sentences that exhibit the highest vectorial similarity. The evaluation is conducted using ROUGE-1, ROUGE-2, and ROUGE-L metrics. The results indicate that selecting sentences with high vectorial cosine similarity contributes to a significant improvement in summarization quality. Furthermore, statistical analyses using t-tests demonstrate that this method enhances summarization performance in certain cases.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi: 09.02.2025
Kabul Tarihi: 28.04.2025

Anahtar Kelimeler

Yapay Zekâ,
Derin Öğrenme,
Önceden Eğitilmiş Dil
Modelleri,
ROUGE Skoru

Research Article

Article History

Received : 09.02.2025
Accepted: 28.04.2025

Keywords

Artificial Intelligence,
Deep Learning,
Pretrained Language
Models,
ROUGE Score

1.Giriş

Bu araştırmanın genel amacı, mühendislik prensiplerini ve ayrık düşünme yöntemlerini kullanarak, mevcut araçlarla problemlere daha verimli ve etkili çözümler bulmak ve aynı zamanda Yeşil Mutabakata (Avrupa Komisyonu, 2019) uyum sağlamaktır.

Doğal Dil İşleme (Natural Language Programming, NLP), bilgisayarların insan dillerinde yazılmış ifadeleri veya kelimeleri anlamalarını sağlamaya odaklanan Yapay Zekâ ve Dilbilim alanında bir disiplindir. Bu, kullanıcının işini kolaylaştırmak ve bilgisayarla doğal dilde iletişim kurma isteğini karşılamak amacıyla ortaya çıkmakta ve Doğal Dil Anlama veya Dilbilim ile Doğal Dil Üretimi olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır (Khurana ve ark., 2023).

Türkçe metin özetleme, doğal dil işleme (NLP) alanında önemli bir araştırma konusu olup, metinlerin kısa, öz ve anlamlı bir şekilde özetlenmesi işlemidir. Ancak, Türkçe'nin yapısal farklılıkları ve dil özellikleri, özetleme süreçlerini daha karmaşık hale getirebilmektedir. Bu nedenle, Türkçe metin özetleme görevlerinde daha etkili sonuçlar elde edebilmek için, son yıllarda yapay zekâ ve derin öğrenme yöntemleri üzerine yoğunlaşan araştırmalar artmıştır. Özellikle, önceden eğitilmiş dil modelleri metinlerin daha doğru özetlenmesi için önemli araçlar haline gelmiştir.

Uygulamamızın stratejisi, önceden eğitilmiş T5 büyük dil modelinin performansını iyileştirmek amacıyla, Türkçe metin özetleme sürecinde özetlenecek metin içindeki cümleler arasındaki vektörel kosinüs benzerliği en yüksek olan cümleleri seçerek modele daha hedeflenmiş bir giriş sağlamaktır. Bu yaklaşım, modelin daha anlamlı ve doğru özetler üretmesini amaçlamaktadır. Kosinüs benzerliği, cümlelerin anlamlarını karşılaştıran bir teknik olup, seçilen cümlelerin metnin genel anlamını daha iyi yansıtmasına yardımcı olabilir.

Bu araştırma, Türkçe metin özetleme alanında mevcut büyük dil modelleriyle yapılan çalışmalara katkı sağlamak ve bu modellerin Türkçe'yi daha verimli bir şekilde işleyebilmesini mümkün kılacak yenilikçi bir çözüm önermeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, büyük dil modellerinde özetleme performansını artırmak için, modele verilen giriş verilerinin benzerlik oranı yüksek olanlarının seçilmesine dayanan bir strateji sunulmakta ve bu yaklaşım, literatürde daha önce ele alınmamış bir yöntemi ortaya koyarak, Türkçe metin özetleme sürecine dair yeni bir perspektif kazandırmayı hedeflemektedir.

2. Literatürdeki Çalışmalar

Literatürde, büyük dil modellerinin Türkçe verileriyle eğitilmesi ve ince ayarlanması üzerine pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, Türkçe'nin kendine has dil bilgisel ve yapısal özelliklerinin dikkate alınarak büyük dil modellerinin performansının iyileştirilmesine yönelik çeşitli metodolojiler geliştirmiştir. Türkçe metinlere özgü dil özelliklerinin doğru bir şekilde modellenmesi için, önceden eğitilmiş büyük dil modellerinin Türkçe veri setleriyle ince ayar yapılarak, dilin zengin yapısının daha etkin bir şekilde öğrenilmesi sağlanmıştır. Bu bağlamda, dilin morfolojik, sentaktik ve semantik özelliklerini doğru bir şekilde yakalamayı hedefleyen metotlar, modelin Türkçe verileriyle uyumlu hale gelmesini sağlamıştır.

Türkçe dilindeki performansı artırmaya yönelik diğer bir yaklaşım ise, modelin Türkçe veri setlerinde daha iyi genelleme yapabilmesi için ince ayar sırasında kullanılan tekniklerde yapılan özelleştirmelerdir. Özellikle, büyük dil modellerinin Türkçe verilerine adapte edilmesi sürecinde yeni model eğitme, transfer öğrenme, veri artırma ve dil özelliklerine duyarlı parametre optimizasyonu gibi stratejiler, modelin doğruluğunu ve verimliliğini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Bu çalışmalar, büyük dil modellerinin Türkçe metin işleme alanındaki performansını artırmaya yönelik somut çözümler sunmakta ve daha güçlü, Türkçe'ye özgü metin işleme sistemlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

Kartal ve Kutlu (2020) kendi modellerini eğitirken cümle seçiminde, Bakan ve Yakut (2024) graf tabanlı özetlemede, Karakoç ve Yılmaz (2019) kendi modellerini eğitirken kosinüs benzerlik tabanlı içerik seçimi yapmaktadırlar.

Şakar ve Emekci (2025) farklı veri kümelerinde, vektör veri tabanlarında, RAG yöntemlerinde, büyük dil modellerinde (LLM'ler), gömme modelleri ve gömme filtre puanları üzerinde bir grid search optimizasyonu üzerine çalışmış ve RAG performansı, her bir veri kümesi ve soru-cevap çiftinden elde edilen gömülü LLM yanıtı ile referans yanıtı arasındaki fark kosinüs benzerliğini ölçerek değerlendirmiştir.

Gopalakrishnan ve ark. (2025) GPT-4 modelinin tıbbi yönergelerden neden-sonuç ilişkilerinin çıkarılması üzerine yaptıkları çalışmada modelin doğruluğunu değerlendirmek için kosinüs benzerliği gibi alternatif yöntem kullanmıştır.

Literatürde yer alan büyük dil modellerinin Türkçe verileriyle eğitilmesi ve ince ayarlanması üzerine yapılan çalışmalar genellikle yüksek işlem gücü gereksinimi ve bu süreçlerin çevresel etkileri açısından bazı sınırlamalara sahiptir. Bu modellerin eğitilmesi ve optimize edilmesi, büyük miktarda verinin işlenmesi ve model parametrelerinin ayarlanması sürecinde önemli bilgi işlem gücü ve hesaplama kaynakları talep etmektedir. Bu durum, özellikle derin öğrenme tabanlı modellerin büyük veri setlerinde eğitim süreçlerinde hesaplama sürelerinin uzamasına ve bu süreçlerde büyük miktarda enerji tüketilmesine yol açmaktadır.

Ayrıca, bu yüksek işlem gücü gereksinimi, çevresel etkiler ve karbon salınımı açısından da önemli bir problem teşkil etmektedir. Büyük dil modellerinin eğitilmesi, büyük veri merkezlerinde yoğun hesaplama kaynaklarının kullanılmasına ve bu süreçlerin sonucunda ciddi bir enerji tüketimi ve karbon salımı meydana gelmesine neden olmaktadır.

3. Önerilen Yöntem

Harris'e (1954) göre, dilin yapısının dağılımsal düzenlilikler temelinde anlaşılabilirliğini savunur. Dil öğeleri rastgele dağılmamaktadır; her bir unsur, belirli bir sırayla ve sınıflardan seçilen üyelerle birleştirilir. Dilin unsurlarının sınıfları, belirli kısıtlamalara tabi olup, bu kısıtlamalar keyfi olarak ihlal edilemez. Dilin her bir unsuru, diğer unsurlarla olan ilişkileri belirli ölçütlere göre tanımlanabilir ve bu sayede dilin yapısına dair daha derin bir anlayış elde edilebilir. Ayrıca, her bir unsurun dağılımı, ilişkili ifadeler arasındaki kısıtlamalarla tanımlanabilir ve bu da dildeki unsurların yapısal düzeninin matematiksel bir şekilde ifade edilmesine olanak tanır.

Harris (1954) bu ilişkilerin dağılımsal düzenlilikler açısından incelenebileceğini ifade ederek dağıtık kelime temsiliyetinin temellerini atmıştır. Kelime temsilleri, kelime gömme vektörleriyle kelimeler vektörel ifadelerle tanımlanıp, aralarındaki ilişkiler tensörlerle ifade edilebilmektedir.

McDonald ve Ramscar' a (2001) göre dağılım teorisi, benzer veya ilişkili anlamlara sahip kelimelerin aynı bağlamda meydana geldiğini öne sürmektedir. Sonuç olarak, sözdizimsel veya anlamsal olarak bağlantılı kelimeler için gömme temsilleri, ilişkili olmayan terimlere kıyasla vektör alanında daha yakın yer almaktadır. Bu ilişki, bu gömme temsillerinin üretildiği metin verilerine veya külliyata tamamen bağımlı olmaktadır. İlişkili olan vektör temsillerine örnek Figure 1 de verilmiştir. Word embedding, kelimelerin matematiksel temsillerini oluştururken, kelimeler arasındaki bağlamsal ilişkileri dikkate almaktadır. Örneğin, "doktor" kelimesi, sağlık, tedavi, hastalık gibi terimlerle güçlü bağlara sahiptir. Şekil 1 de de görüleceği üzere word embedding algoritmaları, bu kelimelerin semantik olarak birbirine yakın olduğunu ve benzer bağlamlarda sıklıkla kullanıldıklarını gösteren vektörler üretir. Bu sayede, "doktor" kelimesi ve onunla ilişkilendirilebilecek kelimeler (örneğin, "hemşire", "hastane", "muayene") benzer vektörlere sahip olur, çünkü bu kelimeler genellikle aynı temada ve anlamda kullanılır. Bu tür

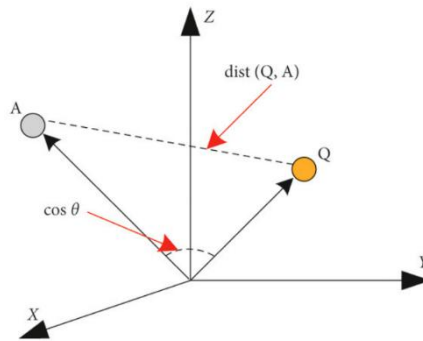
bir temsil, makinelerin dilin derinliklerine inmelerine ve dilin anlamını daha iyi kavrayarak görevleri daha etkili bir şekilde yerine getirmelerine olanak tanımaktadır.



Şekil 1. Kelime Vektörleri Projeksiyonu (Anonim, 2025a).

Johnson ve ark. (2024)'a göre Makinelerin metni işleyebilmesi için, kelime dağarcığındaki serbest biçimli metin terimleri sayısal değerlere (vektörlere) dönüştürülmelidir. Farklı makine öğrenimi teknikleri, metin verilerini otomatikleştirilmiş süreçler, tahmine dayalı modelleme, bilgi keşfi ve anlama amacıyla kullanmak için çeşitli işletmeler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Önemli sorunlardan biri, serbest biçimli metni makine öğrenimi algoritmalarının verimli bir şekilde kullanabileceği bir temsile dönüştürmektir

Kosinüs benzerliği, iki vektörün nokta çarpımının her bir vektörün büyüklüğü ile bölünerek hesaplanır. Genellikle, iki öğe arasındaki kosinüs benzerliği değeri 1 olduğunda, bu öğeler yüksek derecede benzer kabul edilir. Kosinüs benzerliği, iki öğe arasındaki karşılaştırılabilirliği nicelendirmenin bir yoludur. İki öğe olan A ve Q'yi ele alınacak olursa, bu öğeler arasındaki kosinüs benzerliği, vektörlerin iç çarpımının, her iki vektörün normlarının çarpımına bölünmesiyle elde edilir. Kosinüs benzerliği genellikle yönelimdeki benzerliği kontrol eder, büyüklükteki benzerliği değil (Mana ve Sasipraba, 2021). Vektörler ve arasındaki kosinüs ilişkisi Şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kosinüs benzerliği ve Öklid mesafesinin şematik diyagramları (Anonim, 2025b).

Kosinüs benzerliği, bilgi getirme ve ilgili çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bir metriktir. Bu metrik, bir metin belgesini terim vektörleri olarak modellemektedir. Bu model sayesinde, iki belge arasındaki benzerlik, belgelerin terim vektörleri arasındaki kosinüs değerinin hesaplanmasıyla elde edilebilir (Rahutomo, Kitasuka ve Aritsugi, 2012). Bu metriğin uygulanması, herhangi iki metin (cümle, paragraf veya tüm belge) için geçerli olabilir. Arama motoru örneğinde, kullanıcı sorgusu ile belgeler arasındaki benzerlik değeri, en yüksekten en düşüğe doğru sıralanır. Belgenin terim vektörü ile sorgunun terim vektörü arasındaki daha yüksek benzerlik skoru, belgenin sorgu ile daha alakalı olduğunu gösterir (Salton ve Buckley, 1988).

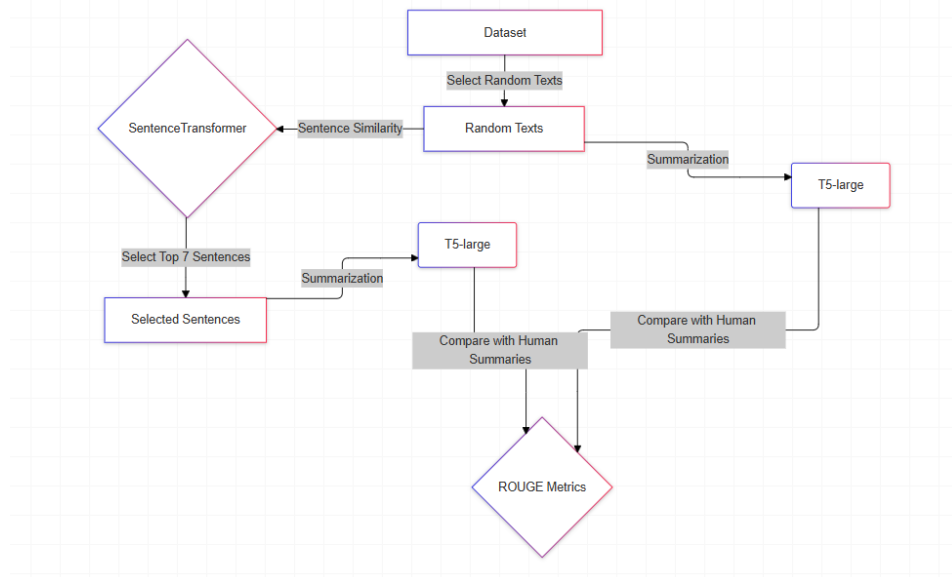
Ancak, kosinüs benzerliği, metnin anlamını tam olarak ele alamaz. Kosinüs benzerliğinin uygulanması, iki terim vektörü arasındaki sözdizimsel eşleşmeye dayanır ve bu bazen güvenilir olmayan sonuçlar verebilir. Sözdizimsel eşleşme, anlam farklarını yeterince iyi yakalayamayabilir. Bu durum, örneğin bilgi getirme sistemlerinde yanlış sonuçlar üretmesine ve performans düşüşüne yol açabilir (Salton ve Buckley, 1988).

Benzerlik, sınıflandırma ve kümeleme görevlerinde temel bir kavramdır. Benzerlik kavramı, mesafe kavramı ile yakından ilişkilidir, ancak tam olarak aynı şey değildir. Örneğin, benzerlik, iki örnek arasındaki ortak özellikleri ölçerken, mesafe, bunlar arasındaki farkları gösterir. Yine de, benzerlik ve mesafe arasında güçlü bir bağ vardır. İlk olarak iki örnek arasındaki mesafe hesaplanabilir ve ardından benzer olup olmadıklarını belirlemek için uygun bir eşik belirlenebilir. Mesafe azaldıkça, iki örnek birbirine daha benzer hale gelir (Xia ve ark., 2015).

Öklid mesafesi, basitliği nedeniyle en sık kullanılan metriklerden biridir. Öklid uzayında, iki nokta arasındaki mesafe, onları birleştiren doğru parçasının uzunluğu ile ölçülür. Ne yazık ki, Öklid mesafesi büyüklüklere karşı yüksek bir hassasiyet sergiler. Alternatif olarak, kosinüs benzerliği, iki vektör arasındaki açı ile benzerliği ölçen başka bir yaygın kullanılan metriktir. Herhangi iki desen için, bu desenler arasındaki Öklid mesafesi arttıkça daha az benzer kabul edilirken, kosinüs benzerlikleri arttıkça daha benzer kabul edilir (Xia ve ark., 2015).

Bu araştırmanın kuramsal dayanağı dilin dağılımsal düzenliliklerinin sayısal temsillerle ifadesini kullanarak, bu düzenliliklerin benzerlik oranına göre üretken dil modellerinin daha düzenli çıktı üretmesi üzerinedir. Bu bağlamda her kelimenin bir vektör olarak ifade edildiği uzayda, cümlelerin oluşturduğu bağlamsal vektörler arasındaki benzerlik (düzenlilik) kullanılarak, büyük dil modellerinin daha düzenli üretken çıktı üretmesi beklenmektedir. Bu diktonomi yaklaşımı, giriş vektörler arasındaki benzerliklerin başka bir süreçte hesaplanarak giriş vektöründeki düzenliliklerin artırımı ile üretken çıktının daha düzenli olmasını hedeflemektedir.

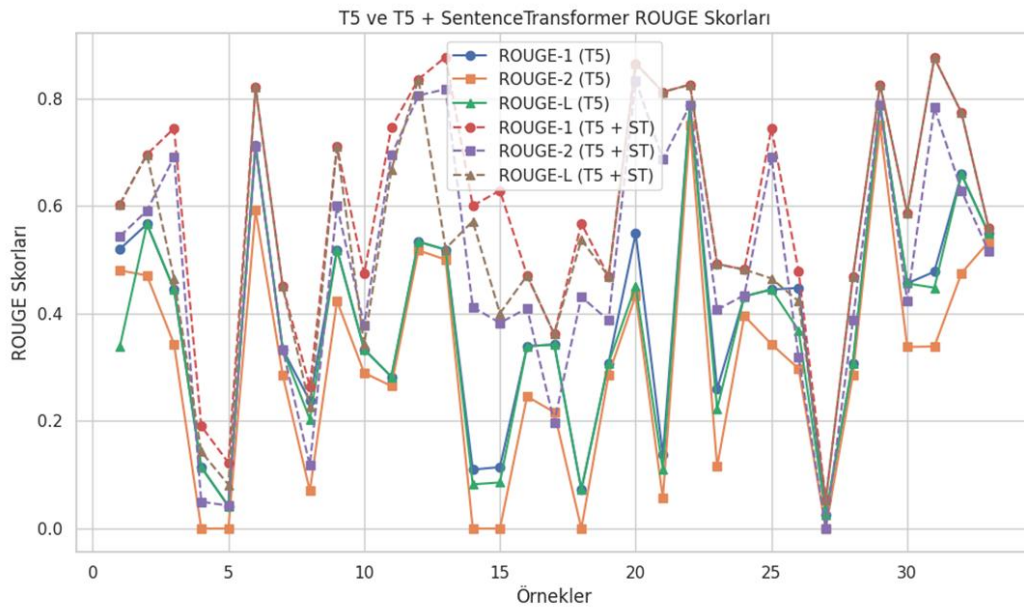
Bu yöntem Google T5-large (Raffel ve ark., 2020) modelinde uygulanmaktadır. Wikipedia Türkçe veri setinden (Güngör, 2023) rastgele seçilmiş 262 metnin özeti önce T5-large modeline gönderilerek metinlerin özeti elde edilmiştir. Aynı 262 metin içindeki cümlelerin kosinüs benzerlik hesaplamaları için SenteceTransformer modeli olan “paraphrase-MiniLM-L6-v2” e (Reimers, 2019) gönderilerek kosinüs benzerliği en yüksek olan yedi cümle seçilerek T5-large modeline özetlenmesi için gönderilmiştir. Seçilen cümle sayısı kaynak verimliği göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Elde edilen özet metinler beşeri özetle Rouge metrikleriyle karşılaştırılarak sonuca ulaşılmıştır. Bu akış Şekil 3 de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 3. Önerilen Yöntem İş Akış Şeması

4. Bulgular

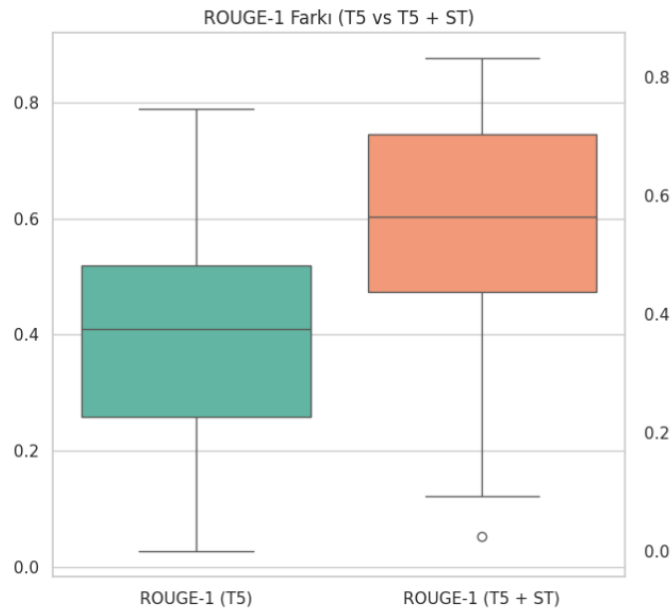
ROUGE-1, ROUGE-2 ve ROUGE-L, metin özetleme ve metin karşılaştırma çalışmalarında kullanılan yaygın değerlendirme metrikleridir. Bu metrikler, özetlerin doğruluğunu, kapsamını ve tutarlılığını ölçmek için kullanılır. ROUGE-1, unigram (tek kelime) benzerliğini ölçen bir metriktir. Bu metrik, referans özet ile model tarafından üretilen özet arasındaki ortak tek kelimeleri sayarak bir örtüşme oranı hesaplar. ROUGE-2, bigram (iki kelime) benzerliğini ölçen bir metriktir. Burada amaç, referans özet ile modelin özetindeki iki ardışık kelimenin (bigram) örtüşmesini değerlendirmektir. ROUGE-L, uzunluk bazlı en uzun ortak alt diziyi (Longest Common Subsequence - LCS) ölçen bir metriktir. Bu metrik, özetlerin içerdiği kelimelerin sırasına ve yapısına daha fazla odaklanır. ROUGE-L, özetin anlamını ve sırasını ne kadar doğru şekilde koruduğunu ölçer.



Şekil 4. MT5-Large ve SentenceTransformer+T5-Large Modelleri Performans Sonuçları

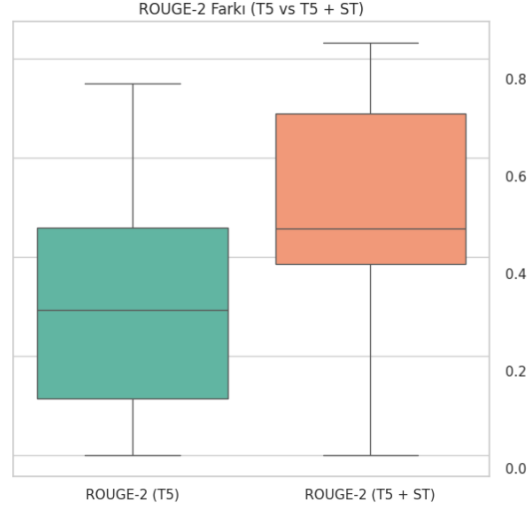
Figure 2 incelendiğinde, SentenceTransformer'ın (ST) kullanımı, özetleme performansını bazı durumlarda artırdığı görülmektedir. ROUGE-1, ROUGE-2 ve ROUGE-L metriklerinde,

SentenceTransformer'ın etkisi bazı örneklerde olumlu olmuştur. Örneğin, ROUGE-1 (T5) skoru 0.52'den 0.60'a yükselmiş, aynı şekilde ROUGE-2 (T5) skoru da 0.48'den 0.54'e çıkmıştır. ROUGE-L skorları da benzer şekilde iyileşmiştir. Özellikle, bazı örneklerde ROUGE-1, ROUGE-2 ve ROUGE-L değerlerinde 0.712, 0.591, 0.712 gibi yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, SentenceTransformer'ın bazı metin içerisindeki önemli cümleleri daha iyi tespit edebildiğini ve bu sayede T5 modelinin özetleme başarısını artırdığını göstermektedir. Şekil 4 de görülen bazı örneklerde ise SentenceTransformer'ın kullanılması ile ROUGE skorları oldukça düşük kalmıştır. Örneğin, ROUGE-1 (T5) skoru 0.04 gibi çok düşük bir değere sahip örnekler bulunmaktadır. Bu tür düşük skorlar, özetlemenin kalitesiz veya yetersiz olduğu, ya da metnin karmaşıklığından kaynaklanan zorluklar olduğunu gösterebilir. ROUGE-2 ve ROUGE-L metriklerinde de benzer şekilde düşük değerler gözlemlenmiştir. Bazı örneklerde, SentenceTransformer'ın etkisi sınırlı olmuş ve ROUGE-1 skoru, sadece 0.05'e yükselmiştir. Bu, SentenceTransformer'ın yalnızca sınırlı ölçüde fayda sağladığı ya da seçilen cümlelerin modelin özetleme performansını önemli ölçüde iyileştiremediği durumları işaret edebilir. Bazı örneklerde, SentenceTransformer ile yapılan işlem sonucunda özetlemenin kalitesinde belirgin bir iyileşme gözlemlenmiştir. Örneğin, ROUGE-1 (T5) skoru 0.44'ten 0.74'e, ROUGE-2 (T5) skoru 0.34'ten 0.69'a, ROUGE-L (T5) skoru ise 0.44'ten 0.47'ye çıkmıştır. Bu tür artışlar, SentenceTransformer'ın belirli metinlerde anlamlı cümleleri seçerek, özetin kalitesini artırmaya yardımcı olduğunu ve modelin daha doğru özetler üretmesini sağladığını göstermektedir. Bazı örneklerde ROUGE skorlarında dalgalanma görülmektedir. Örneğin, ROUGE-1 (T5) skoru 0.71 gibi yüksek bir değerden 0.11'e kadar düşerken, ROUGE-2 ve ROUGE-L metriklerinde de benzer bir düşüş yaşanmıştır. Bu tür dalgalanmalar, bazı metinlerin özetlenmesinin özellikle zor olduğuna işaret edebilir. Bu tür metinler genellikle karmaşık yapılar, T5 modelinin kelime temsiliinin SentenceTransformer kelime temsili ile uyumsuzluğunu ve çok sayıda teknik terim veya anlamı zor cümleler içerebilir, bu da modelin başarısını etkileyebilmektedir. Şekil 4 de özellikle dikkat çeken yüksek performanslı örnekler, ROUGE-1 ve ROUGE-2 metriklerinde sırasıyla 0.79 ve 0.75 gibi yüksek değerler elde edilmiştir. Bu örnekler, SentenceTransformer ve T5 modelinin birleşimiyle elde edilen yüksek kaliteli özetleri temsil etmektedir. Bu, SentenceTransformer'ın anlamlı ve önemli cümleleri doğru bir şekilde özetlere dâhil edebilmesinin bir göstergesidir.



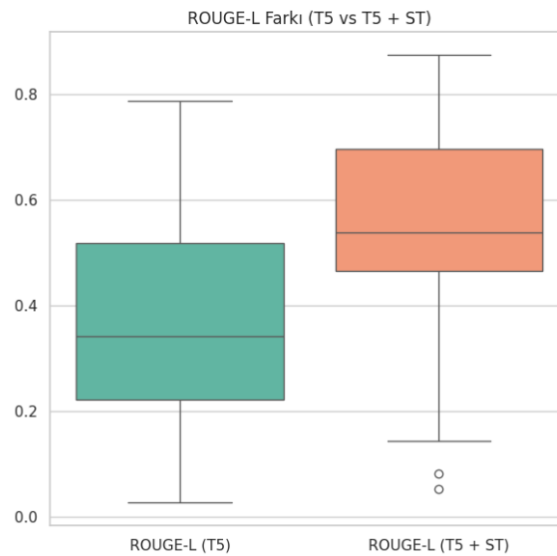
Şekil 5. İyi Performans Gösteren Örneklerin ROUGE-1 (T5) ile ROUGE-1 (T5 + ST) Karşılaştırması

Şekil 5 den anlaşılacağı gibi kosinüs benzerliklerinin kullanımda iyi performans gösteren örneklerin T5-Large'a göre ortalamada belirgin iyileşme gözlemleniyor. SentenceTransformer, T5 modeline kıyasla ROUGE-1 skorlarında ortalama olarak kayda değer bir artış sağlamaktadır. Bu, SentenceTransformer'ın metnin genel anlamını ve önemli cümlelerini daha iyi yakalayarak özetleme kalitesini artırdığını göstermektedir. SentenceTransformer, özellikle kelime ve cümle düzeyindeki ilişkileri daha etkili bir şekilde modelleyerek, özetin anlam bütünlüğünü iyileştirmekte ve dolayısıyla ROUGE-1 skorlarında önemli bir artışa yol açmaktadır.



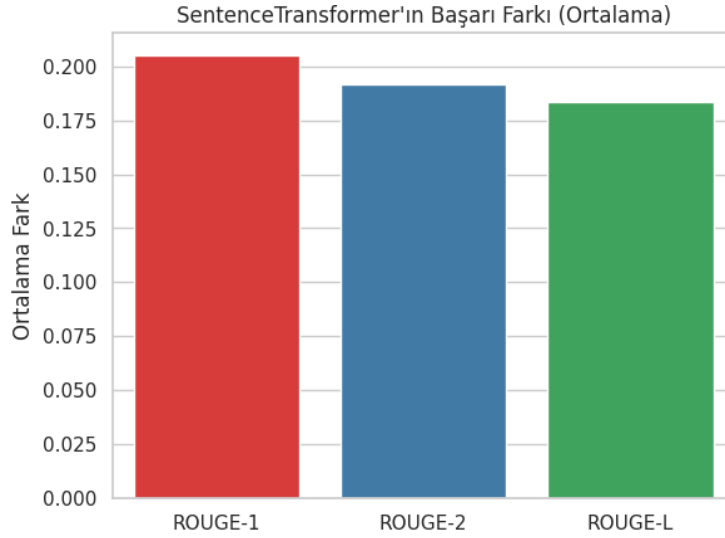
Şekil 6. İyi Performans Gösteren Örneklerin ROUGE-2 (T5) ile ROUGE-1 (T5 + ST) Karşılaştırması

ROUGE-2 skorlarında ise (Şekil 6), kosinüs benzerliklerinin kullanımda iyi performans gösteren örneklere etkisi daha ılımlı olmuştur. Bu skor, genellikle iki kelime arasındaki n-gram benzerliğini ölçtüğü için, anlam düzeyindeki iyileşmeler kadar belirgin değildir. Ancak, yine de SentenceTransformer'ın etkisi görülmektedir, çünkü bazı örneklerde büyük artışlar kaydedilmiştir. Bu durum, SentenceTransformer'ın, özellikle daha uzun ve anlamlı n-gram'lar için daha fazla bilgi sunarak, modelin kelime ve ifade ilişkilerini daha etkili bir şekilde öğrenmesine olanak tanıdığına işaret etmektedir.



Şekil 7. İyi Performans Gösteren Örneklerin ROUGE-L (T5) ile ROUGE-L (T5 + ST) Karşılaştırması

ROUGE-L (Longest Common Subsequence) skoru, cümleler arasındaki en uzun ortak alt diziyi ölçer ve metnin genel anlamının yanı sıra yapısal bütünlüğünü de dikkate alır. Burada gözlemlenen orta düzeydeki iyileşmeler (Şekil 7), kosinüs benzerliklerinin kullanımda iyi performans gösteren örneklerde metnin uzun vadeli yapısal ve anlamsal ilişkilerini anlamada daha az etkili olduğunu düşündürmektedir. Bununla birlikte, SentenceTransformer hala özeti bağlamını geliştirmekte ve modelin sonuçlarını iyileştirmektedir, ancak bu etki ROUGE-1 ve ROUGE-2'ye kıyasla daha sınırlıdır.



Şekil 8. İyi Performans Gösteren Örneklerin SentenceTransformer'ın Başarı Farkı (Ortalama)

İyi performans gösteren örneklerin genel olarak (Şekil 8), SentenceTransformer'ın T5 modelinin özetleme performansını iyileştirmede olumlu bir etkisi olduğu söylenebilir. Özellikle ROUGE-1'deki belirgin artış, SentenceTransformer'ın özetleme sürecine katkılarının anlamın doğruluğunu artırmaya yönelik olduğunu gösteriyor. ROUGE-2'deki daha küçük iyileşmeler, bu katkının daha çok kelime düzeyindeki n-gram benzerliklerine dayalı olduğunu, ROUGE-L'deki daha düşük iyileşmeler ise metnin yapısal bütünlüğü üzerinde yapılan iyileştirmelerin sınırlı olduğunu göstermektedir.

Bu bulgular, kullanılan metodun özellikle anlam düzeyindeki iyileştirmeler konusunda güçlü olduğunu ve metnin özünü daha iyi kavrayarak özetlemeyi daha etkili hale getirdiğini, ancak yapısal ve n-gram bazlı iyileştirmelerde etkisinin daha sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır.

T-test sonuçları, T5 ve T5 + Kosinüs Benzerlik Tabanlı İçerik Seçimi yöntemleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Her üç ROUGE metriği için yapılan t-testlerinde, p-değerlerinin son derece düşük olması, farkın rastlantısal olmadığını ve Kosinüs Benzerlik Tabanlı İçerik Seçimi kullanımının özetleme performansını bazı örneklerde belirgin şekilde iyileştirdiğini doğrulamaktadır. Bu istatistiksel bulgular, kosinüs benzerliğiyle seçilen cümlelerin metnin anlamını doğru şekilde yansıtarak, özetlerin n-gram yapısını ve anlam bütünlüğünü koruyarak kalitesini artırdığını ortaya koymaktadır.

5. Sonuç

Bu bulgular, kosinüs benzerlik tabanlı içerik seçimi ile özetleme görevlerinde T5 modeline bütünleştirilerek bazı örneklerde performans artışı sağladığını ve bu artışın istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu iyileştirmeler, Türkçe özetleme gibi dil işleme görevlerinde daha doğru ve anlamlı metinler üretmek için güçlü bir adım atıldığını ortaya koymaktadır.

Özellikle bazı örneklerde, SentenceTransformer'ın kullanımı ile özetlerin ROUGE skorları önemli ölçüde artmıştır. ROUGE-1 ve ROUGE-2 skorlarında sırasıyla 0.52'den 0.60'a, 0.48'den 0.54'e kadar iyileşmeler gözlemlenmiştir. Daha yüksek performanslı örneklerde, ROUGE-1 skoru 0.71'e, ROUGE-2 skoru ise 0.75'e kadar yükselmiştir. Bu iyileşmeler, SentenceTransformer'ın metin içindeki anlamlı ve önemli cümleleri daha iyi tespit ederek, T5 modelinin özetleme başarısını artırdığına işaret etmektedir.

Ancak, tüm örneklerde benzer iyileşmeler gözlemlenmemiştir. Bazı metinlerde, kosinüs benzerlik tabanlı içerik seçimi ile özetleme etkisi sınırlı kalmış ve ROUGE skorlarında düşüşler yaşanmıştır. Örneğin, bazı örneklerde ROUGE-1 skoru sadece 0.04'e kadar düşerken, ROUGE-2 ve ROUGE-L metriklerinde de düşük sonuçlar alınmıştır. Bu, özetlemenin kalitesiz veya yetersiz olduğu, iki modelin kelime vektör düzeyindeki uyumsuzluğu, ya da metnin karmaşıklığından kaynaklanan zorlukların etkisiyle olduğu varsayılabilir. Ayrıca, metinlerdeki teknik terimler veya anlam karmaşıklıkları, modelin özetleme performansını olumsuz etkilemesi nedenleri arasında gösterilebilir.

Bu araştırmanın gelecekteki çalışmalara katkı sağlayabilecek birkaç önerisi bulunmaktadır:

- Farklı dil modellerinin ve diktonomi yöntemiyle performans karşılaştırılması: Çalışmamızda kullanılan model ve yöntemin yanı sıra, diğer dil modelleri ve benzer tekniklerinin de benzer görevler üzerindeki performansları karşılaştırılarak daha geniş bir perspektif elde edilebilir.
- Karmaşık veri kümeleri üzerinde denemeler: Özellikle Türkçe'nin zengin dil yapısı göz önüne alındığında, farklı veri kümeleri ve daha karmaşık metinler üzerinde yapılan denemelerle modelin performans değerlendirmesi yapılabilir.

Açıklama

Bu makale, 2024-2025 yıllarında yürütülen "Mevcut Derin Doğal Dil İşleme Modellerinin Türkçe Özelinde Performanslarının Artırılması" başlıklı ilk yazarın doktora tezinden üretilmiştir.

Referanslar

Anonim, 2024a. Tensorflow Kelime Projeksiyonları.

Anonim, 2020b. Schematic Diagram of Cosine Similarity and Euclidean Distance.

Avrupa Komisyonu, 2019. Avrupa Yeşil Mutabakatı. Avrupa Birliği Yayın Ofisi. (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/TR/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>), (Erişim tarihi: 29.02.2025).

Bakan, C.T., Yakut, S., 2024. Graf teorisi ve malatya merkezilik algoritmasına dayalı haber metinlerinin özetlemesi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 17(3): 189-198.

Gopalakrishnan, S., Garbayo, L., Zadrozny, W., 2025. Causality extraction from medical text using large language models (LLMs). *Information*, 16(1): 13.

Güngör, M., 2023. Wikipedia TR Summarization Dataset [Veri kümesi]. Hugging Face.

Harris, Z.S., 1954. Distributional Structure. *WORD*, 10(2-3): 146-162.

Johnson, S.J., Murty, M.R., Navakanth, I., 2024. A detailed review on word embedding techniques with emphasis on word2vec. *Multimedia Tools and Applications*, 83(13): 37979-38007.

- Karakoç, E., Yılmaz, B., 2019. Deep learning based abstractive Turkish news summarization. In *2019 27th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, pp. 1-4, IEEE.
- Kartal, Y.S., Kutlu, M., 2020. Türkçe haber metinleri için makine öğrenmesi temelli özetleme. In *2020 28th Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2020-Proceedings*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
- Khurana, D., Koli, A., Khatter, K., Singh, S., 2023. Natural language processing: State of the art, current trends and challenges. *Multimedia Tools and Applications*, 82(3): 3713-3744.
- Mana, S.C., Sasipraba, T., 2021. Research on cosine similarity and Pearson correlation based recommendation models. In *Journal of Physics: Conference Series* 1: 012014.
- McDonald, S., Ramscar, M., 2001. Testing the distributional hypothesis: The influence of context on judgements of semantic similarity. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 23: 23.
- Raffel, C., Shazeer, N., Roberts, A., Lee, K., Narang, S., Matena, M., ...Liu, P.J., 2020. Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer. *Journal of Machine Learning Research*, 21(140): 1-67.
- Rahutomo, F., Kitasuka, T., Aritsugi, M., 2012. Semantic cosine similarity. *The 7th International Student Conference on Advanced Science and Technology ICAST*, p. 1, South Korea: University of Seoul.
- Reimers, N., 2019. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. *arXiv preprint arXiv:1908.10084*.
- Şakar, T., Emekci, H., 2025. Maximizing RAG efficiency: A comparative analysis of RAG methods. *Natural Language Processing*, 31(1): 1-25.
- Salton, G., Buckley, C., 1988. Term-weighting approaches in automatic text retrieval. *Information Processing and Management*, 24(5): 513–523.
- TeraGron, 2021. Wikisum: A dataset for summarization of Wikipedia articles. Hugging Face. (<https://huggingface.co/datasets/teragron/wikisum>), (Erişim Tarihi: 25.02.2024)
- Xia, P., Zhang, L., Li, F., 2015. Learning similarity with cosine similarity ensemble. *Information Sciences*, 307: 39-52.



Activated Carbon-Supported BiFeO₃ for Sustainable Dye Degradation

Ceren ORAK ^{1*}, Kübra KÖŞE KAYA ², Sabit HOROZ ^{2,3}

¹ Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Sivas University of Science and Technology, Sivas, Turkey

² Department of Engineering Fundamental Sciences, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Sivas University of Science and Technology, Sivas, Turkey

³ Nanophotonics Research and Application Center (CÜNAM), Sivas, 58140, Turkey

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): crn.orak@gmail.com

Abstract

The persistence and toxicity of synthetic dyes in aquatic environments demand innovative and sustainable treatment solutions. This study investigates the photocatalytic degradation of tartrazine using an activated carbon-supported BiFeO₃ (AC/BFO) composite under visible light. The AC/BFO catalyst was characterized using SEM, BET, XRD and FT-IR analyses to confirm its structural and chemical properties. Key reaction parameters, including catalyst loading, hydrogen peroxide concentration, and pH, were optimized to maximize degradation efficiency. The results revealed that a catalyst loading of 0.2 g/L, 10 mM hydrogen peroxide, and pH 3 achieved the highest degradation rate. These findings highlight the potential of AC/BFO composites as effective photocatalysts for dye-laden wastewater treatment, contributing to the advancement of green and sustainable remediation technologies.

Research Article

Article History

Received : 18.04.2025

Accepted: 21.06.2025

Keywords

Photocatalysis,
Activated carbon,
BiFeO₃,
Tartrazine

1. Introduction

The increasing discharge of synthetic dyes into aquatic environments has become a significant environmental concern due to their persistence, toxicity, and potential to bioaccumulate (Haste et al., 2024; Horoz et al., 2024.; Orak, 2024a, 2024b; Orak et al., 2023). Tartrazine, a commonly used azo dye in the food, textile, and pharmaceutical industries, is particularly problematic because of its high stability and resistance to conventional degradation processes. The removal of such pollutants from wastewater requires innovative and efficient treatment methods that minimize environmental impact (Askarniya et al., 2022; Monser and Adhoum, 2009; Orak, 2024c; Reck et al., 2018; Sahnoun and Boutahala, 2018). Photocatalysis has emerged as a promising green technology for the degradation of organic pollutants due to its ability to utilize solar energy and generate reactive species that can break down complex molecules (Arabacı et al., 2024; Bakır and Orak, 2024; Bakır et al., 2024a, 2024b; Orak et al., 2024; Orak and Yüksel, 2021, 2022b, 2022a). Among various photocatalysts, BiFeO₃ has gained attention due to its unique multiferroic properties, narrow bandgap, and ability to harness visible light for photocatalytic reactions. However, the practical application of BiFeO₃ is often hindered by rapid charge recombination and limited surface area, which reduce its overall photocatalytic efficiency (Orak et al., 2016; Orak and Yüksel, 2021; Orak and Yüksel, 2022). To address these limitations, the incorporation of activated carbon as a support material offers a viable strategy. Activated carbon not only provides a high surface area for pollutant adsorption but also facilitates electron transfer and reduces charge recombination. The combination of BiFeO₃ with activated carbon is expected to enhance photocatalytic activity by synergistically

coupling adsorption and degradation mechanisms (Batur et al., 2022; Joshiba et al., 2022; Raizada et al., 2017). This study aims to investigate the photocatalytic degradation of tartrazine using activated carbon-supported BiFeO₃ as a composite photocatalyst. The research focuses on synthesizing and characterizing the composite material, evaluating its photocatalytic performance under visible light irradiation, and optimizing the degradation conditions. The findings of this study are anticipated to contribute to the development of effective and sustainable approaches for the treatment of dye-laden wastewater.

2. Materials and Method

2.1. Catalyst preparation and characterization

The precursors (Bi(NO₃)₃·H₂O, Fe(NO₃)₃·9H₂O, and citric acid) were dissolved in an ethanol-water solution with a Bi:Fe: citric acid molar ratio of 1:1:3. The activated carbon was then incorporated into the mixture to achieve a composite structure with 10 wt.% BFO. The resulting mixture was stirred vigorously and heated until a gel formed. Following drying, the material was calcined at 400 °C for 4 hours and finally, activated carbon supported BiFeO₃ (AC/BFO) was obtained. In the context of characterization study, SEM, FT-IR, XRD and BET analysis were performed.

2.2. Experimental set-up and procedure

The experimental study involved treating a 20 ppm tartrazine solution (100 mL) under visible light (300W Xe lamp) for 1 h. The effects of key reaction parameters, including pH (3–9), catalyst concentration (0–0.4 g/L), and initial hydrogen peroxide concentration (0–20 mM), were examined. Liquid samples were collected at the end of each experiment and analyzed using a spectrophotometer. The degradation process was assessed by monitoring the breakdown of aromatic rings in tartrazine molecules and the efficiencies of this process were calculated using the given equation:

$$\% \text{ Degradation of tartrazine} = \frac{A_{0at\ 258nm} - A_{tat\ 258nm}}{A_{tat\ 390nm}} \times 100$$

3. Results and Discussion

3.1. Characterization study

The structural and functional integrity of AC/BFO composite was assessed using SEM and FT-IR analyses, as depicted in Figure 1. The SEM image (Figure 1a) reveals a highly porous structure, where BFO nanoparticles are uniformly distributed over the activated carbon (AC) framework. The nanoscale dispersion of BFO increases the composite's surface area, providing more active sites for adsorption and photocatalytic reactions. The pores in AC likely contribute to improved mass transfer of reactants, enhancing catalytic performance. Also, BET areas of BFO, AC and AC/BFO were found as 8.45, 1124.67, and 995 m²/g. The BET surface area analysis revealed that pure BFO exhibited a relatively low surface area of 8.45 m²/g, which is consistent with its non-porous nature. In contrast, AC showed a significantly higher surface area of 1124.67 m²/g due to its highly porous structure and large adsorption capacity. The AC/BFO composite demonstrated a surface area of 995 m²/g, which, while slightly lower than that of pure AC, still represents a substantial improvement compared to BFO alone. This result confirms that the incorporation of AC into the composite significantly enhances the overall surface area, thereby providing more active sites for adsorption and photocatalytic reactions. The slight reduction in surface area compared to pure AC is attributed to the partial coverage of AC pores by BFO particles, yet the composite retains excellent textural properties favorable for photocatalysis.

The FT-IR spectrum (Figure 1b) confirms the successful synthesis of the AC/BFO composite. Peaks at approximately 550–600 cm^{-1} correspond to Bi-O and Fe-O stretching vibrations, characteristic peaks of BFO (Hussain et al., 2013; Orak and Aslı Yüksel, 2022b, 2022a). Additional peaks in the range of 1000–1300 cm^{-1} are attributed to functional groups present in AC, such as C–O stretching (Batur et al., 2023; Jain, Balasubramanian, and Srinivasan, 2016). The presence of these peaks verifies the integration of AC with BFO, suggesting strong interaction between the components, which can mitigate charge recombination and enhance photocatalytic efficiency. Based on the XRD patterns presented in Figure 1(c) and (d), the crystallographic structures of AC, BFO, and AC/BFO were compared. As shown in Figure 1(c), the pure BFO sample exhibits sharp and distinct diffraction peaks corresponding to the rhombohedral perovskite phase of BFO, indicating its high crystallinity. In the AC/BFO composite, the main diffraction peaks of BFO are still clearly visible, suggesting that the crystalline structure of BFO remains intact after the incorporation of activated carbon. However, a slight reduction in peak intensity and minor broadening are observed, likely due to the presence of amorphous carbon surrounding the BFO particles. Figure 1(d) shows the XRD pattern of pure activated carbon, which displays two broad peaks centered around $2\theta \approx 24^\circ$ and 43° , corresponding to the (002) and (100) planes of disordered graphite-like carbon. These broad peaks confirm the amorphous nature of AC. The co-existence of crystalline BFO peaks with amorphous carbon features in the AC/BFO pattern confirms the successful formation of the composite without significant disruption to the BFO crystal structure (Hussain et al., 2013; Rusevova et al., 2014). According to previous studies, pure BFO typically shows a relatively strong PL emission, which is associated with rapid recombination of photo-induced electron–hole pairs. In contrast, the incorporation of AC significantly suppresses the PL intensity in AC/BFO composites. This reduction in emission is commonly interpreted as an indication of enhanced charge separation efficiency and reduced recombination rate, which ultimately contribute to improved photocatalytic performance (Soltani and Lee, 2017; Tanapongpisit et al., 2024).

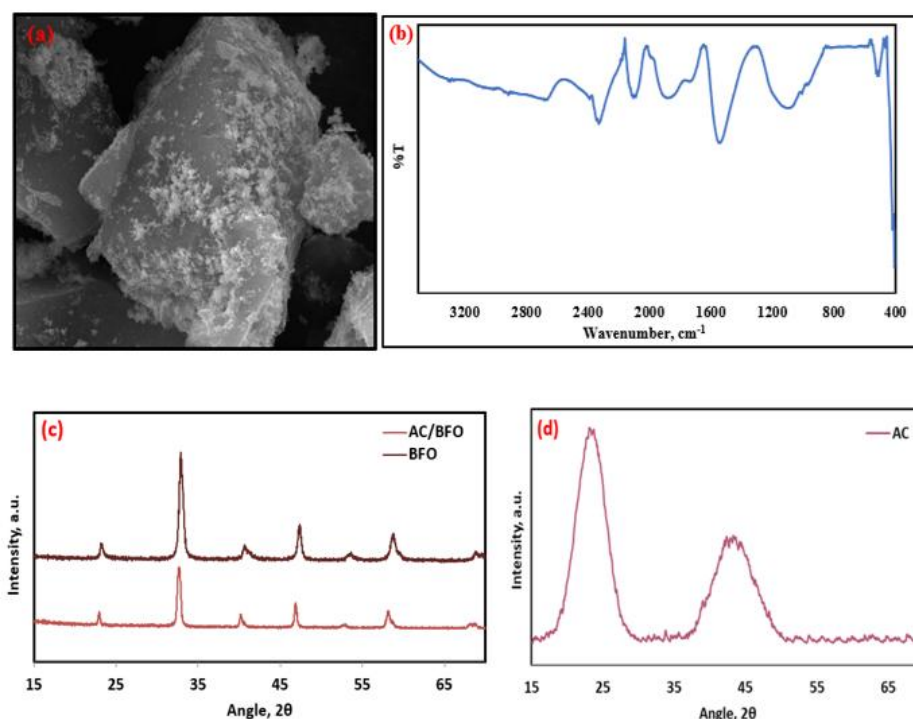


Figure 1. (a) SEM image of AC/BFO, (b) FT-IR spectrum of AC/BFO, (c) XRD diagram of BFO and AC/BFO and (d) XRD diagram of AC.

3.2. Photocatalytic degradation of tartrazine

The photocatalytic performance of AC/BFO was systematically evaluated by investigating the impacts of catalyst loading, initial hydrogen peroxide concentration (HPC), and pH on the degradation of tartrazine under visible light, as illustrated in Figure 2. As depicted in Figure 2a, the photocatalytic degradation efficiency increased with higher catalyst loading and this improvement is attributed to the greater availability of active sites on BFO and the enhanced adsorption capacity provided by AC. However, beyond the optimal loading (0.2 g/L), the efficiency slightly increased, likely due to light scattering and shielding effects caused by excessive catalyst particles in the tartrazine solution. These phenomena reduce the penetration of visible light, limiting photocatalytic activity (Gupta et al., 2011; Cao et al., 2022). Figure 2b illustrates the effect of HPC on the photocatalytic degradation efficiency of tartrazine. The results show a consistent increase in degradation efficiency as HPC rises from 0 to 20 mM. At low HPC (0–10 mM), the degradation efficiency improves significantly. Hydrogen peroxide (HP) acts as an electron acceptor, reducing charge recombination in the photocatalyst. This reaction generates reactive oxygen species (ROS), such as hydroxyl radicals ($\bullet\text{OH}$), which are highly effective at breaking down tartrazine molecules. The maximum degradation efficiency is achieved around 10 mM of HPC. At this point, there is an optimal balance between the generation of reactive radicals and the availability of tartrazine molecules for reaction. At higher concentrations (20 mM), the degradation efficiency decreases. This phenomenon occurs because excessive HP can act as a scavenger of hydroxyl radicals (Nisar et al., 2020; Sun et al., 2020; Wu and Chern, 2006; Orak and Ersöz, 2024; Arabacı et al., 2025). The pH of the tartrazine solution significantly influenced photocatalytic efficiency, with maximum degradation observed at pH 3, as illustrated in Figure 2c. This can be attributed to the ionization state of the dye molecules and the surface charge of the catalyst. Under slightly acidic conditions, tartrazine molecules are more prone to adsorption on the positively charged catalyst surface, promoting their degradation. In highly acidic or alkaline environments, the interaction between the dye and the catalyst weakens due to electrostatic repulsion or changes in the chemical stability of the photocatalyst (Rahman et al., 2013; Van et al., 2020). As a conclusion, the catalyst loading of 0.2 g/L, 10 mM of HPC, and pH 3 were identified as the optimal conditions for maximum degradation efficiency (almost %90). At the same reaction conditions, the degradation performance of BFO alone was tested to better illustrate the synergistic effect of the AC/BFO composite. The results showed that using only BFO resulted in a degradation efficiency of 78.3%, which is notably lower than the ~90% efficiency observed with the AC/BFO. This comparison confirms that the incorporation of AC significantly enhances the photocatalytic activity, likely due to its high adsorption capacity and its role in facilitating charge separation and suppressing electron-hole recombination.

Based on similar studies in the literature, the degradation mechanism primarily involves the generation of reactive oxygen species (ROS), such as hydroxyl radicals ($\bullet\text{OH}$) and superoxide anions ($\bullet\text{O}_2^-$), upon visible light excitation of AC/BFO. When AC/BFO is irradiated, electron-hole pairs are generated. The photogenerated electrons (e^-) in the conduction band react with dissolved oxygen to form $\bullet\text{O}_2^-$ radicals, while holes (h^+) in the valence band oxidize water or hydroxide ions to generate $\bullet\text{OH}$ radicals. These highly reactive species attack the azo bonds ($-\text{N}=\text{N}-$) and aromatic structures of tartrazine, leading to successive decolorization and mineralization into CO_2 , H_2O , and inorganic ions. The role of activated carbon is crucial in enhancing adsorption of dye molecules and facilitating electron transfer, which suppresses charge recombination and boosts ROS formation. This synergistic effect between BFO and AC improves the overall degradation efficiency. Relevant studies such as those by Rana et al. (2024) and Ponraj et al. (2017) support this proposed mechanism (Ponraj and Daniel, 2017; Rana et al., 2024).

After five consecutive usage, the AC/BFO catalyst retained almost 92.7% of its original photocatalytic efficiency, demonstrating excellent stability and reusability. This high level of performance preservation indicates that the structural and functional integrity of the composite catalyst remains largely unaffected throughout repeated cycles. The strong interaction between BFO and AC likely contributes to this durability by minimizing catalyst leaching and maintaining active surface sites. These findings confirm the potential of AC/BFO as a reliable and sustainable photocatalyst for long-term applications in dye-contaminated wastewater treatment.

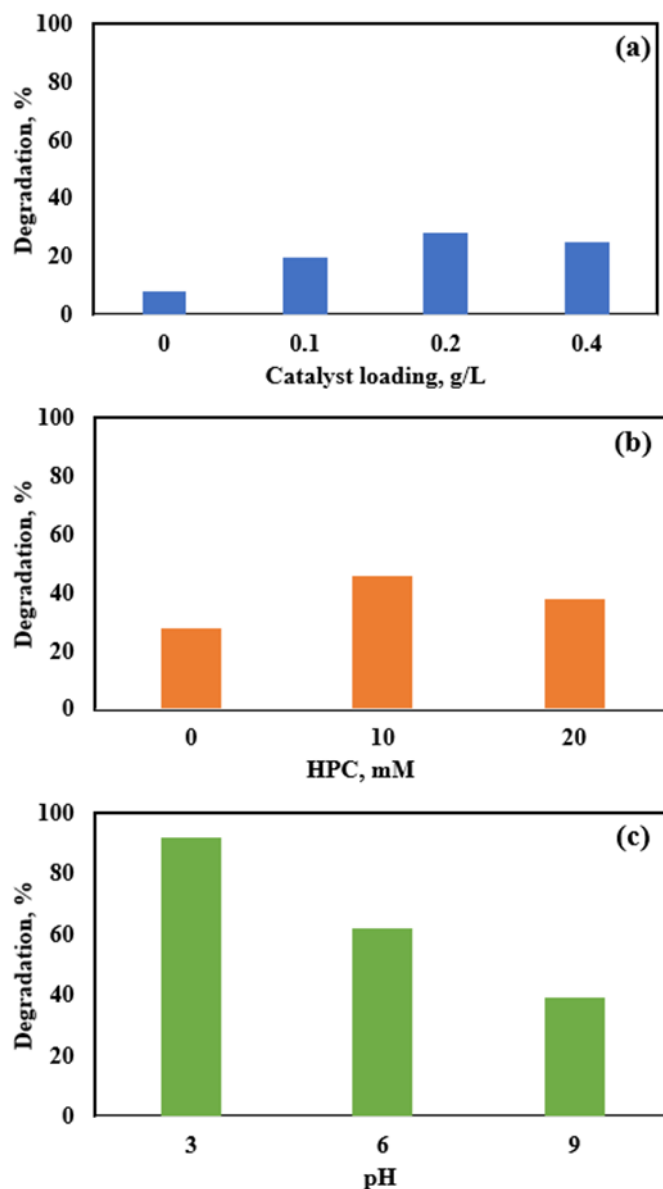


Figure 2. The effect of reaction parameters: (a) catalyst loading, (b) initial hydrogen peroxide concentration, (c) pH.

4. Conclusion

This study successfully demonstrated the synthesis and application of an AC/BFO composite for the photocatalytic degradation of tartrazine under visible light. SEM and FT-IR analyses confirmed the structural integrity and successful integration of AC and BFO, providing a high surface area and effective active sites for photocatalysis. Catalyst loading of 0.2 g/L provided maximum degradation efficiency, balancing active site availability and light

penetration. HPC of 10 mM optimized the generation of hydroxyl radicals without observing scavenging effect. A pH of 3 created favourable conditions for dye adsorption and photocatalytic reactions. Overall, the AC/BFO composite exhibited high efficiency in degrading tartrazine, demonstrating its promise as a sustainable photocatalyst for environmental remediation.

References

- Arabacı, B., Bakır, R., Orak, C., Yüksel, A., 2024. Integrating experimental and machine learning approaches for predictive analysis of photocatalytic hydrogen evolution using Cu/g-C₃N₄. *Renewable Energy*, 237: 121737.
- Arabacı, B., Bakır, R., Orak, C., Yüksel, A., 2025. Predictive modeling of photocatalytic hydrogen production: integrating experimental insights with machine learning on Fe/g-C₃N₄ catalysts. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 64(10): 5184–99.
- Askarniya, Z., Soroush, B., Shirish, H., Sonawane Grzegorz B., 2022. A Comparative Study on the Decolorization of Tartrazine, Ponceau 4R, and Coomassie Brilliant Blue Using Persulfate and Hydrogen Peroxide Based Advanced Oxidation Processes Combined with Hydrodynamic Cavitation. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification* 181.
- Bakır, R., Orak, C., 2024. Stacked machine learning approach for predicting evolved hydrogen from sugar industry wastewater. *International Journal of Hydrogen Energy*, 85: 75–87.
- Bakır, R., Orak, C., Yüksel, A., 2024a. A machine learning ensemble approach for predicting solar-sensitive hybrid photocatalysts on hydrogen evolution. *Physica Scripta*, 99(7): 076015.
- Bakır, R., Orak, C., Yüksel, A., 2024b. Optimizing hydrogen evolution prediction: a unified approach using random forests, lightgbm, and bagging regressor ensemble model. *International Journal of Hydrogen Energy*, 67: 101–10.
- Batur, E., Orhan, B., Sabit, H., Şahin, Ö., Kutluay, S., 2022. Enhancement in incident photon-to-current conversion efficiency of manganese-decorated activated carbon-supported cadmium sulfide nanocomposite. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics* 33(20): 16286–96.
- Batur, E., Şahin, Ö., Orhan, B., Sabit, H., Kutluay, S., 2023. High solar cell efficiency of lanthanum-alloyed activated carbon-supported cadmium sulfide as a promising semiconductor nanomaterial. *Journal of the Australian Ceramic Society*, 59(1): 9–18.
- Cao, Y., Guanqing, Y., Ying, G., Xuelian, H., Guozhen, F., Shuo, W., 2022. Facile synthesis of tio₂/g-c₃n₄ nanosheet heterojunctions for efficient photocatalytic degradation of tartrazine under simulated sunlight. *Applied Surface Science*, 600.
- Gupta Vinod K., Rajeev J., Arunima, N., Shilpi, A., Meenakshi, S., 2011. Removal of the hazardous dye-tartrazine by photodegradation on titanium dioxide surface. *Materials Science and Engineering C*, 31(5):1062–67.
- Haste, Z.Ö., Horoz, S., Orak, C., Biçer, E., 2024. Green-Synthesized SnO₂ derived from kombucha tea and assessment of its photocatalytic activity for the degradation of procion red MX-5B. *ChemistrySelect*, 9(43): e202403264.
- Horoz, S., Orak, C., Biçer, E., 2024. Green synthesis of ZnO and Ni-Doped ZnO from okra stalks for the photocatalytic degradation of procion red MX-5B. *International Journal of Phytoremediation*, 1–9.

- Hussain, T.S.A., Siddiqi, S.A., Awan, M.S., 2013. Induced modifications in the properties of sr doped BiFeO₃ multiferroics. *Progress in Natural Science: Materials International* 23(5):487–92.
- Jain, A., Rajasekhar, B., Srinivasan, M.P., 2016. Hydrothermal conversion of biomass waste to activated carbon with high porosity: a review. *Chemical Engineering Journal*, 283:789–805.
- Joshiba, G.J., Kumar, P.S., Rangasamy, G., Ngueagni, P.T., Pooja, G., Balji, G.B., ... El-Serehy, H.A., 2022. Iron doped activated carbon for effective removal of tartrazine and methylene blue dye from the aquatic systems: Kinetics, isotherms, thermodynamics and desorption studies. *Environmental Research*, 215: 114317.
- Monser, L., Nafaâ, A., 2009. Tartrazine modified activated carbon for the removal of Pb(II), Cd(II) and Cr(III). *Journal of Hazardous Materials*, 161(1): 263–69.
- Nisar, A., Muhammad, S., Muhammad, U., Majid, M., Muhammad, A., Iltaf K., Javaid, A., 2020. Kinetic modeling of ZnO-RGO catalyzed degradation of methylene blue. *International Journal of Chemical Kinetics*, 52(10): 645–54.
- Orak, C., 2024a. Application of response surface methodology for bioenergy generation in a yeast-based microbial fuel cell. *RSC Advances*, 14(46): 34356–61.
- Orak, C., 2024b. Enhanced degradation of procion red MX-5B Using Fe-doped corn cob ash and fe-doped g-C₃N₄. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 46(1): 14244–58.
- Orak, C., 2024c. Treatment of sugar industry wastewater via fenton oxidation with zero-valent iron. *Cumhuriyet Science Journal*, 45(1): 100–104.
- Orak, C., Atalay, S., Ersöz, G., 2016. Degradation of Ethylparaben Using Photo-Fenton-like Oxidation over BiFeO₃. *Anadolu University Journal Of Science And Technology A - Applied Sciences and Engineering*, 17(5): 915–915.



The Role of Hybrid Commons in the Post-Pandemic Era: Redefining Interior Workspaces

Ahmet TERCAN ^{1*}, Ekin PEKAKCAN ²

¹ Norm Architects, İstanbul, Türkiye

² Norm Architects, İstanbul, Türkiye

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): ahmet.tercan@normarchitects.com

Abstract

The COVID-19 pandemic has fundamentally redefined office interiors, driving a shift toward flexible, health-conscious, and sustainable design strategies. This study explores how post-pandemic workspaces have evolved to support hybrid work models by integrating modular layouts, biophilic elements, and user-centered spatial solutions. Through literature review and case analyses, the research reveals a growing emphasis on spatial adaptability, psychological comfort, and inclusive design. Lounges and informal seating areas now encourage spontaneous interaction, while minimalist workstations and semi-private zones support deep focus and individual productivity. These configurations enable smooth transitions between solitary, collaborative, and social activities within a single environment. Ultimately, the study highlights how interior design must prioritize resilience, autonomy, and well-being to remain responsive in an era of continuous change.

Review Article

Article History

Received : 30.04.2025

Accepted: 21.05.2025

Keywords

Hybrid Workspaces,
Post-Pandemic Office
Design,
Interior Architecture,
Sustainable Design

1. Introduction

The post-pandemic workplace is no longer just a site of productivity—it has evolved into a dynamic ecosystem that reflects flexibility, sustainability, and user well-being. As hybrid work arrangements become the norm, traditional office designs have proven insufficient for the diverse and rapidly changing needs of today's workforce. Organizations now seek interior environments that support not just tasks, but experiences spaces that foster collaboration, autonomy, and psychological safety.

Recent research reveals that the transition to hybrid models has forced businesses to rethink spatial organization and functionality, with employers increasingly emphasizing cultural cohesion, inclusivity, and accessibility in the design of modern workspaces (Baráth and Alshatti Schmidt, 2022). Rather than eliminating offices, the hybrid model has reshaped their role—transforming them into hubs for collaboration, creativity, and identity building.

Technological readiness and workplace trust have also emerged as key factors in enabling successful hybrid work cultures. Organizations are learning to adapt design strategies that balance flexibility with accountability and offer responsive solutions to spatial and digital needs (De Souza, 2022).

From a well-being perspective, ergonomic design, access to natural light, and clear zoning for different work modes have become essential. Research indicates that employee satisfaction and productivity are closely linked to physical interior attributes like space acoustics, layout openness, and visual privacy (Mandadi et al., 2022).

In addition, organizations are increasingly embracing systemic approaches to hybrid work design, where the social structure, technology, and space planning are all considered together. For example, Italian firms have implemented new roles like “Head of Agile Work” and introduced organizational models that align interior design with hybrid strategy (Klaser et al., 2023).

This study offers a comprehensive framework for interior office design aligned with the hybrid work model in the post-pandemic context, contributing to the literature in several key ways:

1. The concept of “Hybrid Commons” introduces flexible and multifunctional spatial typologies that support hybrid work culture.
2. The study proposes spatial strategies that enable fluid transitions between focused work, social interaction, and collaboration.
3. Psychological comfort is emphasized as a core design criterion, promoting a user-centered and well-being-oriented approach.
4. Sustainability is addressed through the integration of biophilic design, natural lighting, and reconfigurable furniture systems.

This article is structured as follows. The introduction outlines the context and motivation behind the study. Section 2 presents a comprehensive literature review focusing on flexibility, sustainability, and well-being in post-pandemic office design. Section 3 introduces the proposed design approach for hybrid office models, illustrating spatial strategies and user-centered configurations. Finally, Section 4 provides the conclusion, summarizing key findings and offering directions for future research and design practices.

2. Literature Review

The COVID-19 pandemic has profoundly transformed office environments, pushing interior designers to reimagine workspaces through a lens of flexibility, health, and sustainability. Several studies have emphasized the necessity of adaptive office design that supports hybrid work models, promotes employee well-being, and integrates sustainable practices. Hybrid work has prompted a shift toward modular layouts, touchless technologies, and biophilic elements to accommodate changing user needs. Pan et al. (2024) emphasize that hybrid office designs must prioritize environmental comfort, such as daylight access, airflow, and flexible seating preferences to boost well-being and productivity (Pan et al., 2024). Similarly, McGee et al. (2023) highlight how remote work shifted spatial preferences, with workers valuing natural light, neutral colors, and outdoor views in home-office setups, suggesting these traits be mirrored in future office designs (McGee et al., 2023). Tarigan et al. (2023) and Aksamija and Milosevic (2023) underscore the long-term shift toward hybrid work, calling for participatory design processes that reflect user needs while strengthening social connection and organizational identity (Tarigan et al., 2023; Aksamija and Milosevic, 2023). Post-pandemic interiors also integrate antimicrobial materials, sustainable systems, and ergonomic furniture. Nediari et al. (2021) discuss how physical distancing protocols have redefined spatial arrangements and hygiene-focused material choices in sustainable office design (Nediari et al., 2021). Similarly, Ajith et al. (2022) present a comprehensive framework for integrating eco-friendly materials and spatial flexibility to support well-being and reduce infection risk (Ajith et al., 2022). Raghavendran (2022) and Fauth and Pieper (2022) explore how interior design interventions—like daylight optimization, ergonomic configurations, and psychological comfort—enhance user experience, satisfaction, and productivity in the workplace (Raghavendran, 2022; Fauth and Pieper, 2022). Chafi et al. (2021) affirm that hybrid models offer flexibility but demand physical space redesigns to maintain social connectedness,

creativity, and performance (Chafi et al., 2021), while Erdman et al. (2024) document the success of inclusive, human-centered redesigns in supporting hybrid teams and enhancing employee belonging (Erdman et al., 2024). Recent studies highlight a growing focus on designing office spaces that support social well-being. Interviews with interior designers show that features like integrated breakout areas, visual openness, and a cosy atmosphere help foster informal interaction and a sense of belonging. This offers practical guidance for socially supportive workplace design (Colenberg et al., 2024). As hybrid working becomes more widespread, understanding how spatial and environmental design influences workspace use has gained importance. Recent studies using data-driven methods show that factors like spatial connectivity, visual openness, temperature, and daylight significantly affect seat occupancy and user preferences. These insights support evidence-based approaches to designing and managing flexible workspaces (Pan et al., 2025).

Current literature highlights the significance of biophilic design in supporting employee well-being in post-pandemic office settings. Through the use of natural materials, lighting, ventilation, and thoughtful spatial layout, this approach fosters healthier and more sustainable work environments, offering a valuable reference for future office design practices (Haristianti and Raja, 2025).

3. A Design Approach for the Hybrid Office Model

The transition to hybrid work and the shifting dynamics of post-pandemic work culture have necessitated a fundamental rethinking of interior office design, where flexibility, user well-being, and multifunctionality have become the central pillars of spatial planning. In response, contemporary workspaces increasingly adopt hybrid commons shared environments that fluidly support transitions between focused individual work, creative collaboration, and social interaction demonstrating how physical settings can be thoughtfully crafted to foster both personal productivity and collective engagement within a hybrid model.

The interior office design project clearly reflects the spatial transformation brought about by changing post-pandemic work dynamics. In Figure 1 and Figure 2, lounge-style seating areas enriched with soft textures and biophilic elements designed by Norm Architects invite users to engage in informal conversations and brief moments of relaxation, while digitally equipped individual workstations within the same spatial layout support focused productivity. The coexistence of zones designed for communication and concentration within a unified spatial framework not only enhances functional efficiency but also allows users to adapt the space according to their immediate needs.



Figure 1. Interactive Co-Working Space



Figure 2. Hybrid Office Space

Complementing this holistic approach, Figure 3 presents a semi-private workspace layout designed by Norm Architects specifically intended to minimize distractions and support deep concentration. The use of natural wood textures across the long work surface, combined with individualized ergonomic seating and digital monitors, fosters an environment conducive to task-oriented work. Notably, while physical dividers between desks are minimal, the spatial configuration and controlled use of natural light subtly reinforce a sense of personal space. The clean desktop arrangements, balanced color palette, and the visual connection to outdoor greenery collectively contribute to a calming and focused work atmosphere.



Figure 3. Minimalist Shared Desk Area for Focused Work

The interior layout presented in Figure 4 designed by Norm Architects exemplifies the evolution of office design in the post-pandemic era, both architecturally and functionally. The image is sourced from Norm Architects. This open-plan, multi-level office space offers a user-centered experience through the use of transparent partitions, biophilic elements, and geometric ceiling panels. The striking spiral staircase at the center not only provides physical connectivity between floors but also adds a sculptural aesthetic to the space.

This dynamic environment is designed to address both individual and social needs. Comfortable seating areas on the lower level create a suitable setting for spontaneous meetings and informal interactions, while the semi-private sections accessible via the upper floors are more conducive to deep focus. The wooden flooring and abundance of natural light enrich the interior, offering users a sense of warmth and enhancing their feeling of belonging.

This spatial configuration supports flexible use based on varying work styles. Users can seamlessly transition between short social breaks and tasks that require intense concentration

throughout the day. This reflects a strong embodiment of the principle of behavioral flexibility at the core of hybrid office planning.

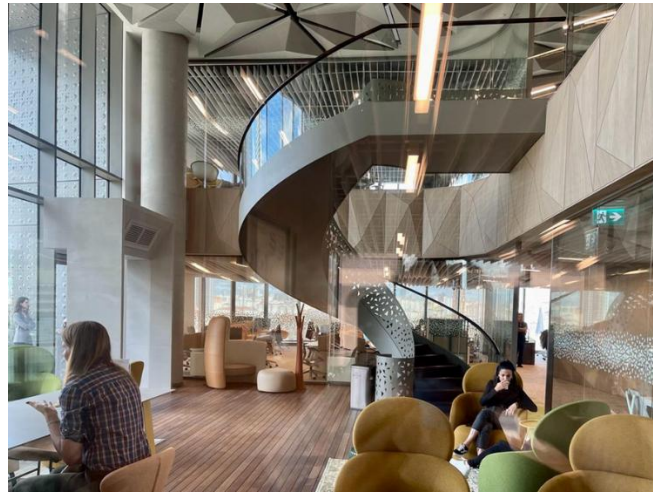


Figure 4. High-Interaction Office Space with Contemporary Architecture

Ultimately, this hybrid interior configuration extends beyond aesthetics and ergonomics, proposing a spatial strategy rooted in behavioral flexibility. It enables seamless transitions between modes of work collaborative, individual, and social while promoting adaptability, autonomy, and well-being. This reflects a critical design response to the uncertainty and fluidity of contemporary work culture, transforming the office into a dynamic and lived experience.

4. Conclusions

The COVID-19 pandemic has irrevocably transformed the way we design and experience interior office environments. In the post-pandemic world, work as we once knew it no longer exists; keeping up with the evolving needs of workers has become increasingly complex. This study has shown that health, flexibility, and sustainability have become foundational pillars of interior office design, and hybrid work models now demand spaces that are both adaptable and human-centric.

At the heart of this shift lies the emergence of Hybrid Commons multifunctional hubs within the workplace that support both collaborative and individual activities. These environments are not just physical spaces but social ecosystems, designed to fulfill employees' functional needs while fostering community, inclusion, and personal well-being.

The research findings indicate that spatial adaptability is no longer a luxury but a necessity. Modular and reconfigurable furniture, varied work zones from lounges to semi-private stations, and sensory design elements such as natural light and tactile surfaces collectively empower users to self-select environments that align with their moment-to-moment needs. This behavioral flexibility directly contributes to productivity, focus, and emotional well-being, especially in hybrid contexts where spatial boundaries and work rhythms are more fluid. A key insight from the study is that psychological comfort including perceived control over space, access to privacy, and the presence of biophilic elements plays a vital role in the success of hybrid office environments. Compared to traditional workspaces, these new configurations acknowledge the emotional and cognitive dimensions of work, providing a holistic response to post-pandemic challenges.

Moreover, informal spaces such as hybrid cafés or breakout zones not only support social connection but also serve as strategic tools for organizational culture-building. Their integration into interior architecture reflects a paradigm shift from rigid task-based environments to

experience-oriented work settings. These spaces foster a sense of belonging and autonomy, particularly important for hybrid teams that interact both physically and digitally.

In addition, the study reinforces the importance of evidence-based design. As seen in the literature, factors such as daylight availability, spatial openness, and ergonomic layouts significantly influence occupancy patterns and user satisfaction. Aligning design strategies with these empirical insights enhances the long-term effectiveness of hybrid interiors.

In conclusion, interior design in the post-pandemic era must transcend its traditional role, offering proactive, resilience-oriented solutions that align with the fluid and boundaryless nature of modern work. By adopting an integrated approach merging technology, well-being, and spatial innovation designers can help create future-ready workplaces that adapt gracefully to change and support diverse user needs. Future research could explore the long-term psychological and behavioral impacts of hybrid commons on employee engagement through user experience evaluations. It may also be valuable to develop interdisciplinary methods to examine how spatial configurations influence collaboration across physical and digital channels. Furthermore, comparative studies could be conducted to understand how hybrid design strategies can be adapted to diverse cultural and climatic contexts while preserving core values such as flexibility, inclusion, and well-being.

References

- Ajith, M., Mahanta, N.R., Manoj, S., Samuel, A., 2022. Sustainable technology, materials and working layout for post covid-19 office spaces. *ASET 2022 Conference*.
- Bajpai, D.A., Kulkarni, A., 2024. Revisiting HR for hybrid workplaces. *Shodhkosh: Journal of Visual and Performing Arts*.
- Baráth, M., Alshatti Schmidt, D., 2022. Offices after the COVID-19 pandemic and changes in perception of flexible office space. *Sustainability*.
- Chafi, M.B., Hultberg, A., Yams, N.B., 2021. Post-pandemic office work: Perceived challenges and opportunities for a sustainable work environment. *Sustainability*.
- Colenberg, S., Appel-Meulenbroek, R., Romero Herrera, N., Keyson, D., 2024. Interior designers' strategies for creating social office space. *Ergonomics*, 67(7): 995-1007.
- De Souza, L., 2022. Trust, flexibility and technology: The keys to creating a more mature workplace. *Corporate Real Estate Journal*.
- Erdman, A., Clarke, G., Gannon, K., 2024. Creating dynamic environments for the hybrid work experience: A case study of repositioning the Cambridge Consultants Boston office. *Corporate Real Estate Journal*.
- Fauth, R., Pieper, M., 2022. Designing sustainable office spaces – how to combine workspace characteristics with sufficiency strategies. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Haristianti, V., Raja, T.M., 2025. Implementation of a biophilic design approach in office space design as an attempt to increase employee well-being. *KnE Social Sciences*, 10(2): 32-39.
- Klaser, K., Cuel, R., Casari, P., 2023. The future of hybrid work in Italy: A survey-based Socio-Technical-System analysis. *Journal of Innovation and Knowledge*.
- McGee, B., Couillou, R.J., Maalt, K., 2023. Work from home: Lessons learned and implications for post-pandemic workspaces. *Interiority*.
- Mandadi, A., Sharma, A., Raghavendran, R., 2022. A critical analysis model on design of office interiors in hyderabad. *Journal of Advanced Management Science*.

- Nediari, A., Roesli, C., Simanjuntak, P., 2021. Preparing post Covid-19 pandemic office design as the new concept of sustainability design. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Pan, J., Chen, S., Bardhan, R., 2024. Reinventing hybrid office design through a people-centric adaptive approach. *Building and Environment*.
- Pan, J., Cho, T.Y., Sun, M., Steemers, K., Bardhan, R., 2025. Environmental and spatial dynamics in a flexible workspace for hybrid work: A data-driven design framework. *Building and Environment*, 270: 112544.
- Raghavendran, R., 2022. Holistic approach of workplaces with implication of wellbeing in corporate interiors: A case study in Hyderabad. *International Journal of Creative Research Thoughts*.
- Tarigan, S.G., Mannan, K.A., Uddin, N., 2023. The future of workplace in Greater Jakarta: Hybrid office in the post Covid-19 pandemic. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.



Işık Kirliliği: Eskişehir Örnek Uygulaması

Tuncay ÖZDEMİR^{1*}, Melek HAKSEVER²

¹ İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Battalgazi/Malatya

² İnönü Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Battalgazi/Malatya

Sorumlu Yazar (Corresponding author): tuncay@inonu.edu.tr

Özet

Işık kirliliği doğal karanlığın yapay ışıklarla bozulmasıdır. Genellikle şehirlerde ve yerleşim alanlarında görülür. Gece gökyüzünü aydınlatan sokak lambaları, reklam panoları, bina ışıkları gibi yapay ışık kaynakları ışık kirliliğine sebep olur. Işık kirliliği yıldızların görünürlüğünü azaltır. Doğal ekosistem dengesini bozar ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Ayrıca enerji israfına neden olur. Çünkü çoğu zaman gereksiz yere fazla ışık kullanılır. Bu tezde, Eskişehir il merkezi Tepebaşı ve Odunpazarı merkez ilçelerinde gece gökyüzü parlaklığı ölçümleri yapılarak, bu bölgeler için ışık kirliliği haritası oluşturulmuştur. Şehir merkezi her biri 3 km x 3 km kare alanlar olacak şekilde 40 farklı bölgeye ayrılmıştır ve bu alanların orta noktalarında gökyüzü parlaklık ölçümü yapılarak yıllar önce Bülent Aslan'ın "Işığın Kirli Yüzü: IŞIK KİRLİLİĞİ" adlı kitabındaki harita verileri ile karşılaştırılarak aradaki değişime bakılmıştır.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi: 24.05.2025

Kabul Tarihi: 21.06.2025

Anahtar Kelimeler

Işık Kirliliği,
Gece Gökyüzü Parlaklığı,
Enerji Israfı,
Eskişehir

Light Pollution: Eskişehir Sample Application

Abstract

Light pollution refers to the disruption of natural darkness by artificial lighting. It is commonly observed in cities and residential areas. Artificial light sources such as streetlights, billboards, and building lights contribute to light pollution. Light pollution reduces the visibility of stars, disrupts the balance of natural ecosystems, and can have negative effects on human health. Additionally, it leads to energy waste as excessive lighting is often used unnecessarily. In this thesis, measurements of night sky brightness were conducted in the central districts of Tepebaşı and Odunpazarı in Eskişehir. A light pollution map for these areas was created. The city center was divided into 40 different regions, each covering an area of 3 km x 3 km. Sky brightness measurements were taken at the central points of these regions and compared with the map data from the book "Işığın Kirli Yüzü: IŞIK KİRLİLİĞİ" by Bülent Aslan from years prior to examine the changes over time.

Research Article

Article History

Received : 24.05.2025

Accepted: 21.06.2025

Keywords

Light Pollution,
Night Sky Brightness,
Energy Waste,
Eskişehir

1.Giriş

Işık kirliliği dünyanın en hızlı büyüyen kirlilik çeşitlerindendir. Işığın yanlış yerde, yanlış yönde, yanlış miktarda ve yanlış zamanda kullanılmasına ışık kirliliği denir (Aslan, 2018). Işık, elektromanyetik ışık spektrumunun insan gözü tarafından algılanmasına ve görme olayına da sebep olduğundan tarihte de bu konu hakkında birçok yaklaşımlarda bulunulmuştur. Örneğin ilk kapsamlı ışık ve görme teorisini geliştiren Empedokles (M.Ö.490-430), ışığın gözden çıkan

ışınlar olduğu ve nesnelere çarparak onları görünür kıldığını söyleyerek ışık ve görme arasındaki bağlantıyı kurmuştur. Fakat günümüzde biliyoruz ki, karanlık ortamlarda görme olayı gerçekleşmez. Çünkü görme olayının gerçekleşmesi için ışığın ortamdaki nesnelerden yansıyor gözümüze ulaşması gerekmektedir.

1.1. Işık kirliliğinin tanımı

Yıldızları ve samanyolunu görmemize engel olan, geceleri ışığın yanlış kullanılmasından kaynaklanan durum ışık kirliliği olarak bilinir. Oysaki gece ışıkların olmadığı yerlerde gökyüzünde parlayan çok sayıda yıldız vardır. Yıldızları gözlemlemenin yanı sıra, gözün hassasiyet seviyesi üzerindeki aydınlatma; gözün görme yeteneğini azaltır. Gece araç kullananlar için karmaşaya sebep olarak can kayıplarını arttırır. Üstelik yalnızca insanlar için değil, birçok canlı açısından zarara sebebiyet verir. Işık kirliliği yapay aydınlatma kullanımı ile başlamış, sanayileşme ile de gelişmiştir. Bina ve sokak aydınlatmaları, mülkiyet alanındaki ve reklam panolarındaki aydınlatmalar ışık kirliliğine neden olan en önemli etkenlerdir. Şüphesiz ki ışık kirliliğinden en çok etkilenenlerden biri astronomlardır. Uzaya doğru bilinçsiz kullanımından dolayı yayılan ışık, yansıtıcı yüzeylere çarparak atmosferdeki molekül ve partiküllerle etkileşir. Bu etkileşim sonucu ışık, atmosferde saçılır ve gökyüzünün doğal fon parlaklığını arttırarak astronomik gözlemleri sekteye uğratır.

1.1.1. Işık ve görme

Gözün sağlıklı görebilmesi için ışık temel bir bileşendir. Işık olmadan görme olayının yok denecek kadar azalması ışığı görme olayında olmazsa olmaz bir koşulu haline getirmiştir. Bu yüzden; tarihin ilk dönemlerinden beri insanların güneş, ay ve yıldızlar gibi ışık saçan gök cisimlerine olan ilgi ve alakaları zaman içinde ışık üzerine araştırmalarda bulunmalarına zemin hazırlamıştır. Mısır, Mezopotamya, Hint ve Çin gibi eski uygarlıklardan kalan belgelerde ışık ve görme konularında ortaya konulmuş anlatımlara rastlanır ki astronomi biliminin temeli de bu meraklardan yola çıkılarak atılmıştır.

Bu yapay aydınlatmalardan bazıları;

- Yol, cadde ve sokak aydınlatmaları
- Binaların dış cephesinde yapılan aydınlatmalar
- Araç Işıkları
- Reklam panolarında kullanılan aydınlatmalar
- Park ve spor alanlarındaki aydınlatmalar
- Evlerden ve binalardan taşan ışıklar
- Fabrika ve ticari mülkiyet alanlarındaki aydınlatmalardır.



Şekil 1. Yapay aydınlatma örneği. (New York, Times Meydanı)

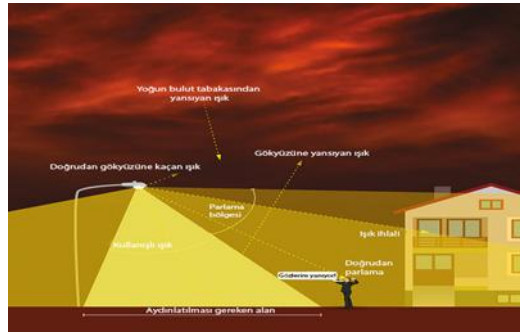
1.1.2. Işık kirliliği çeşitleri

Işık tecavüzü: Işığın istenmeyen ya da gerekmeyen yeri aydınlatmasıdır.

Göz kamaşması: Gözün alışık olduğu aydınlatma düzeyini aşıp görme yetisinin bozulması ve nesne görünürlüğünün kaybolmasıdır.

Dikine ışık: Doğrudan gökyüzüne giden ışıktır. Boşa gider ve uzayda kaybolur. Astronomlar ve gökyüzünün seyretmek isteyen herkes için en kötü ışık kirliliği çeşididir. Işığın atmosferdeki tozlar ve moleküller tarafından saçılması sonucu göğün doğal parlaklığı bozulur. Kamaşma ve ışık tecavüzü yaratan armatürler dikine ışık gönderirler şehirlerin üstüne uçaktan görülen ışık deniz çoğunlukla yukarıya doğru yanlış yönlendirilmiş ışıklardır.

Aşırı miktarda ışık: Belli bir işin yapılması için gereken aydınlatma miktarının aşan ışıktır. Fazla ışık her zaman iyi aydınlatma değildir (Komal Kaushik, 2022).



Şekil 2. Işık kirliliği çeşitleri (Gocova, 2013)

1.2. Işık kirliliğinin canlıların yaşamı ve ekolojik denge üzerindeki etkisi

1.2.1. Işık kirliliğinin bitkiler üzerindeki etkisi

Bitkiler de diğer canlılar gibi ışık ile etkileşim halindedir. Ancak bitkiler ışığı sadece fotosentez için değil; aynı zamanda biyolojik ritimlerini düzenlemek üzere de kullanır. Bu sebeple ışık kirliliği birçok açıdan bitkileri etkiler.

Fotosentez ve büyüme üzerindeki etkilerinden başlarsak; fotosentez ile bitkiler güneş ışığını kullanarak besin ve oksijen üretir. Ancak bitkiler sadece doğrudan ışıkla değil, ışığın günün farklı zamanlardaki değişimi ile de etkileşime girer. Gece olan aşırı ışık bitkilerin dinlenme süreçlerini etkileyerek, bitkilerin büyüme hızını yavaşlatabilir.

Bitki faunasının üzerinde de ışık kirliliğinin etkisi vardır. Bazı gece açan bitkileri olumsuz etkileyerek bazı bitki türlerinin gerilemesine yol açarak, bazı bitki türlerinin de avantajlı hale gelmesine neden olarak dengeyi bozabilir.

Bitkilerin çiçeklenme durumları genelde gün ışığına ve karanlık döneme bağlıdır. Yapay ışıklar bitkilerin çiçek açma zamanını uzatabilir veya kısaltabilir. Bazı bitkiler geceyi karanlık olarak algılayarak çiçek açar. Fakat yapay ışık olduğu durumlarda bu polinasyon süreci bozulabilir.

Işık kirliliği her bitkiyi aynı şekilde etkilemez. Örneğin; kısa gün ve uzun gün bitkileri yapay ışığa farklı tepkiler verir. Kısa gün bitkileri (meyve veren bitkiler gibi) ışık kirliliğine daha hassas olabilirken; uzun gün bitkileri (tahıllar gibi) daha az etkilenebilir. Yapay ışık bitkilerin büyüme hızını da olumsuz etkileyebilir. Bazı bitkiler yapay ışık ile çok hızlı büyürken bazı bitkiler yapay ışık altında sağlıklı gelişim göstermez. Sonuç olarak; ışık kirliliği bitkiler üzerinde birçok olumsuz etkiye sebep olabilir. Fotosentez, çiçeklenme, büyüme hızı, ekosistem işleyişi gibi temel süreçleri yapay ışık nedeniyle bozulabilir.

1.2.2. Işık kirliliğinin hayvanlar üzerindeki etkisi

Hayvanlar gökyüzünün doğal ışığını yön bulmadan üremeye kadar geniş spektrumlu durumlar için kullanırlar. İşte bu noktada ışık kirliliği onların doğal yaşamında dramatik sonuçlara sebep olurlar.

Tüm hayvanlar biyolojik bir saate sahiptir ve doğal ışıkların şiddetindeki değişimler bu biyolojik saatin temelini oluşturur. Işık kirliliği ise hayvanların biyolojik saatini bozar ve enerji tüketimlerini artırır, üreme hızında azalma ya da direk ölümlerine sebep olur. Geceleri avlanmaya çıkan yarasaların avlarının yapay ışık kaynaklarında toplanması, buna karşın yarasaların ışık altında görüşlerinin azalması gibi nedenler avlanmayı zorlaştırır. Dişi ateş böceklerinin bir doğa harikası olarak erkeğin onu bulması için yaktığı ışıklar onların üremesi için gereklidir. Ancak yapay ışık kaynakları erkeklerin yönlerini karıştırmasına sebep olduğundan bu durum ateş böceklerinin üreme hızını düşürür. Deniz kaplumbağaları yumurtadan gece vakti çıkarlar ve çıktıklarında denize ulaşmak için şehir ışıkları nedeniyle denizler yerine şehre doğru yönelir ve daha yaşamlarının ilk saatlerinde hayatlarını kaybederler.



Şekil 3. Karetta kareta yavruları

Çoğu gece aktif olan hayvan, doğal gece karanlığına göre uyku ve dinlenme sürelerini ayarlar. Yapay ışıklar, bu hayvanları rahatsız edebilir, uyku düzenlerini bozabilir ve stres seviyelerini artırabilir. Sonuç olarak ışık kirliliği, ekosistemlerin dengesini bozarak tüm ekosistemlerde uzun vadeli değişimlere yol açabilir. Bu nedenle, ışık kirliliği ile mücadele için daha bilinçli aydınlatma politikalarının uygulanması önemlidir (Andreas Jechow, 2019).

1.2.3. Işık kirliliğinin insanlar üzerindeki etkisi

Yapay aydınlatma insanların güvenlik için ateş yakması ile başlayan bir süreçtir. Fakat günümüzde reklam panoları, eğlence mekanları ve bina ışıkları gibi çok farklı amaçlarla kullanıldığından, oluşan ışık kirliliği insan sağlığına da zarar vermektedir. İnsan sağlığına zararlarını şu başlıklar altında inceleyebiliriz (Fabio Falchi, 2011).

1.2.3.1. Uyku düzeni ve melatonin üretimi

Yapay ışıklar özellikle gece saatlerinde uyku düzenini bozar. Vücudumuzun zamanlayıcısı olarak kabul ettiğimiz melatonin hormonu insan vücudunda salgılanan uyku düzenini kontrol eden bir hormondur. Melatonin hormonu gece karanlığında salgılanmaya başlar ve genellikle 22:00 ile 02:00 saatleri arasında en yüksek seviyeye ulaşır. Ancak LED ışıklar, tabletler, bilgisayar ekranları, telefonlar ve diğer farklı kaynaklardan gelen özellikle mavi yapay ışık melatonin üretimini baskılar. Bunun sonucunda kişi, daha geç uyur ve uyku kalitesi düşer. Melatonin seviyesinin düşmesi ile başka bir hormon olan kortizol hormonunun yükselmesine yol açar ve kanser riskini yükseltir. Uyku eksikliği, kronik yorgunluk ve düşük bağışıklık nedeniyle oluşan birçok sağlık sorununa yol açar.

1.2.3.2. Cilt sağılığı

Gece boyunca aşırı ışığa maruz kalmak cilt sağılığını etkiler. Mavi ışık, ciltteki kolajen üretimini engeller, bu da cildin elastikiyetini kaybetmesine, kırışıklıklarının artmasına, cilt yaşlanmasının hızlanmasına yol açar.

1.2.3.3. Göz sağılığı

Yapay ışık göz kaslarını zorlayarak, gözde kuruluk, yanma, bulanık görme, baş ağrısı gibi sorunlara yol açabilir. Özellikle uzun süreli mavi ışık maruziyeti, retinaya zarar vererek görme bozukluklarına yol açabilir. Ayrıca, gece saatlerinde sokak lambalarından veya araç farlarından gelen aşırı ışık gece görüşünü bozarak kaza yapılmasına yol açabilir.

1.2.3.4. Ruh sağılığı

Yapılan birçok çalışma, aşırı yapay ışığa maruz kalmanın biyolojik resmi bozacağından depresyon ve anksiyete gibi zihinsel sağılık sorunlarının riskini arttırabilir. Gece geç saatte parlak ışıklara maruz kalmak, Serotonin üretimini engelleyebilir, depresyon belirtilerini şiddetlendirebilir.

1.2.3.5. Biyolojik saat

İnsan vücudu, doğal olarak gece ve gündüz döngülerine göre çalışacak şekilde evrimleşmiştir. Gece karanlığında vücutta melatonin salgılandığını ve uykuya geçişin kolaylaştığını söylemiştik. Yapılan araştırmalara göre çalışan kadınlarda, gece çalışmayanlara göre daha fazla meme kanseri olduğu görülmüştür.

1.2.4. Işık kirliliğinin iklim değışiklikleri ve küresel ısınma üzerine etkisi

Işık kirliliğı doğrudan iklim değışikliği ve küresel ısınma üzerinde etkiye sahip değilse de dolaylı olarak ilişkisi birkaç ana faktör de yoğunlaşır. Bunlardan biri artan enerji tüketimi yüzünden daha fazla karbon salınımıdır. Özellikle enerji verimliliğı düşük, eski teknolojilerle çalışan eski sokak lambaları gibi aydınlatma sistemleri daha fazla enerji harcar. Bu durum, elektrik talebini ve dolayısıyla karbon salınımını arttırır çünkü elektrik üretiminin çoğunu fosil yakıtlardan sağlamaktayız. Fosil yakıtların yanması sonucu; Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan sera gazları (karbondioksit, metan, azot oksitler gibi) atmosferde birikerek sera etkisi oluşturur ve bu da küresel ısınma ve iklim değışikliği sorunlarını tetikler. Bu gazların atmosferde birikmesi, sera etkisini arttırarak ortalama sıcaklıkları yükseltir. Işık ihtiyacını karşılamak için harcanan elektrik miktarı ile fosil yakıt kullanımı ise doğru orantılıdır.

1.2.5. Işık kirliliğinin astronomi üzerine etkisi

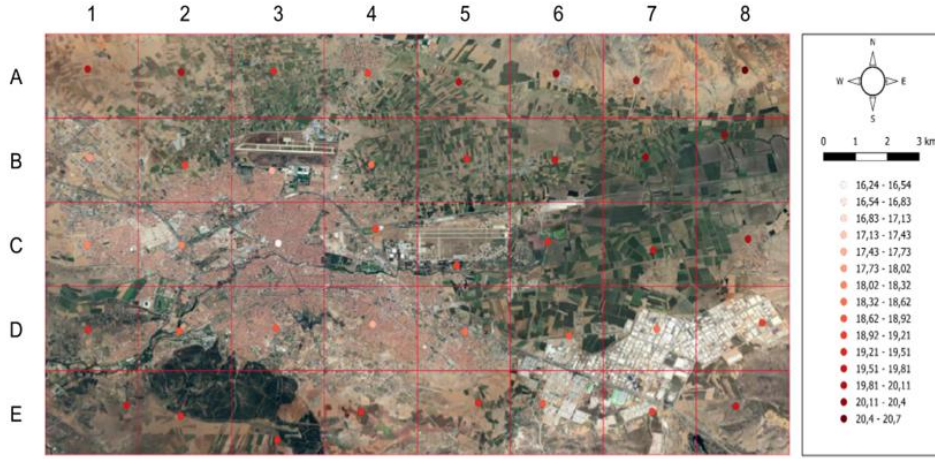
Işık kirliliğı astronomi gözlemlerinde çok ciddi sıkıntılar oluşturmaktadır. Yapay ışıkların parlaması sonucu; yıldızlar, galaksiler, yıldız kümeleri, gezegenler görünemez hale gelir. Gök cisimlerinin konumu belirlenemez. Toplanan verilerin kalitesi ve doğruluğı etkilenebilir. Araştırmalar ve bilimsel keşiflere yapay ışığın yarattığı gök parlaması engel olabilir.

2. Materyal ve Yöntem

SQM (Sky Quality Matter-Gökyüzü kalite ölçer) gece gökyüzündeki ışık kirliliğine ölçmek için kullanılan bir cihazdır. Genelde astronomik gözlemler için kullanılır. Gökyüzündeki ışık seviyelerini, yani karanlık gökyüzünün miktarını ölçen bir cihazdır. Bu cihazın ölçtüğü değerler, genellikle Kadir bölü açısı saniye kare birimi ile ifade edilir. Bu cihaz, doğrudan bir ölçüm sonucu olarak daha düşük değerleri, örneğin 21 Kadir bölü açısı saniye kare, daha temiz yani karanlık bir gökyüzünü işaret ederken, yüksek değerler örneğin 18 Kadir bölü açısı saniye kare ışık kirliliğinin belirgin olduğu bölgeleri gösterir. Hem taşınabilir hem de oldukça hassas bir cihazdır. Gökyüzündeki ışık kirliliğini objektif bir şekilde ölçer.

Tablo 1. Alınan ölçümler yönlendirilmiştir

S/N	Nokta	North(39)	East(30)	Sıcaklık	MPSAS(90)	MPSAS(60)	MPSAS(30)
1	A1	83521	44636	14,8	20,00	19,52	18,19
2	A2	83432	48060	12,8	19,90	19,62	18,53
3	A3	83452	51441	10,6	19,48	18,88	17,56
4	A4	83395	54877	11,2	19,15	18,14	16,54
5	A5	83125	58208	22,8	19,90	19,70	18,45
6	A6	83386	61766	22,8	20,17	19,23	18,55
7	A7	83169	64702	23,5	20,34	19,86	19,06
8	A8	83494	68677	22,5	20,70	20,30	19,41
9	B1	80772	44723	14,1	17,86	16,45	15,42
10	B2	80533	48186	8,7	19,01	18,58	17,55
11	B3	80371	51374	23,8	17,66	16,84	16,56
12	B4	80563	55009	22,2	18,60	17,57	17,02
13	B5	80743	58501	23,8	19,26	18,19	17,65
14	B6	80702	61722	21,5	19,70	18,96	17,80
15	B7	80796	65040	19,9	20,16	19,80	19,11
16	B8	81480	67930	20,6	20,40	20,21	19,76
17	C1	78057	44624	19,9	18,32	18,11	17,45
18	C2	78065	48076	21,5	18,14	17,54	16,76
19	C3	78119	51609	22,2	16,24	15,56	14,24
20	C4	78563	55172	19,6	18,97	18,40	17,42
21	C5	77433	58133	22,8	19,05	18,52	18,17
22	C6	78168	61465	21,2	19,30	19,21	18,46
23	C7	77905	65319	20,9	19,62	19,00	18,10
24	C8	97825	68783	12,5	19,83	19,50	18,45
25	D1	75441	44654	18,3	19,39	18,95	18,50
26	D2	75390	47993	19	18,76	18,44	17,73
27	D3	75486	51528	18	18,62	18,16	17,46
28	D4	75605	55061	24,1	17,51	16,60	15,76
29	D5	75372	58433	22,8	18,34	17,50	15,98
30	D6	75252	62241	22,5	18,79	18,64	18,06
31	D7	75461	65444	19,9	18,50	17,25	15,44
32	D8	75655	69302	19,6	19,06	18,51	17,43
33	E1	73091	46061	20,9	19,60	18,94	18,35
34	E2	72761	48036	17,4	19,45	18,55	17,23
35	E3	72019	51572	18,3	19,39	18,94	16,88
36	E4	72886	54636	19,6	19,37	19,05	18,34
37	E5	73170	58915	19	19,51	19,24	18,58
38	E6	73152	61269	20,6	18,87	17,87	16,42
39	E7	72888	65277	19,9	19,06	18,90	18,20
40	E8	73066	68344	17,7	19,77	19,01	17,42

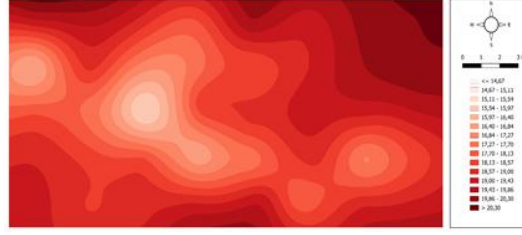


Şekil 4. Eskişehir il merkezinde 3x3 kilometrekare bölgeler ve ölçüm alınan noktalar

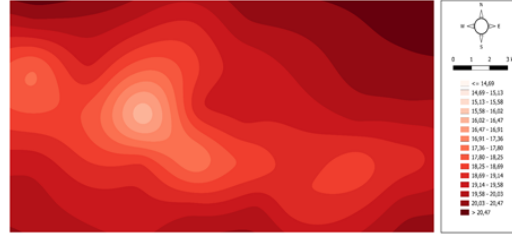
Eskişehir il merkezi, doğu batı yönleri boyunca 24 km ve kuzey güney yönleri boyunca 15 km uzunluğunda olan bölgenin birbirine eşit 3 x 3 km alanlara bölünerek 40 farklı bölgeye ayrılmıştır (Şekil 4). Her bölge batıdan doğuya (1-8), kuzeyden güneye (A-E) şeklinde isimlendirilmiştir. Arazi şartları ve ışık kaynaklarının izin verdiği kadarıyla ölçümler her bölgenin orta noktasından alınmaya çalışılmıştır. Her noktada 30,60 ve 90 derece olmak üzere 3 farklı SQm yönlendirmesi için ölçüm alınmıştır. 30 ve 60 derece ölçümleri alınırken SQM cihazı şehrin en parlak noktası olarak öngörülen C3 bölgesinin ortasındaki Es Park AVM ye doğru yönlendirilmiştir. Gece Ay battıktan sonra ve Ay doğumundan önce 21:00-01:00 saatleri arasında ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümler, koordinatları ve o anki hava sıcaklığı Tablo 1.'de gösterilmiştir. Kuzey Koordinatlar 39.Enlemde, Doğu koordinatlar 30. boylamda olduğundan tablodaki koordinatlar kısaltılmış,39.83521 koordinatı 83521 olarak gösterilmiştir. Ölçümler alınırken çevresel ışık kaynaklarının tutarsız ölçümlere sebep vermemesi için bölgelerde en az üç en fazla yirmi ölçüm alınması gerekmiş ve seri ölçümler arası bir dakika olarak planlanmıştır. Trafik, yanıp sönen ışıklar vb. durumlarda alınan bazı ölçümler yok sayılmış arka arkaya en az 3 değer 0,01 sapma ile ölçülene kadar ölçümlere devam edilmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde; 30 derece ölçümlerinde 14,24 en düşük ve 19,76 en yüksek, 60 derece ölçümlerinde 15,56 en düşük ve 20,30 en yüksek ,90 derece ölçümlerinde 16,24 en düşük ve 20,70 en büyük değer olarak ölçülmüştür. Alınan ölçümler Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımına veri paketi olarak aktarılmıştır. Bu veriler ile öncelikle koordinat noktaları oluşturulmuş daha sonra bu noktalar 90 derece ölçümleri baz alınarak renklendirilmiştir. Ayrıca uydu görüntüsü de görsele eklenerek ölçüm alınan noktaların çevre ile olan ilişkisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de Tablo 1'deki veriler kullanılarak 3 farklı ışık haritası oluşturulmuştur.



Şekil 5. Yer yüzeyine 30 derece eğimle B3 noktasında bulunan Şehir merkezine doğru yönlendirilmiş SQM cihazı ile alınan ölçümler CBS yöntemleri ile ışık kirliliği haritasına dönüştürülmüştür



Şekil 6. Yer yüzeyine 60 derece eğimle B3 noktasında bulunan Şehir merkezine doğru yönlendirilmiş SQM cihazı ile alınan ölçümler CBS yöntemleri ile ışık kirliliği haritasına dönüştürülmüştür



Şekil 7. Yer yüzeyine 90 derece eğimle konumlandırılmış SQM cihazı ile alınan ölçümler CBS yöntemleri ile ışık kirliliği haritasına dönüştürülmüştür.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kaybolan ışık miktarı

Eskişehir il merkezi ve çevresinde yapılan ölçümler, ışık kirliliği haritası ve teorik bilgiler kullanılarak uzaya yayılan ve kayıp olan ışık miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

SQM cihazı tepe açısı $A=20$ olan koni sınırları içerisinde kalan alan dahilinde bulunan ışık miktarını kadir/açısanıye² cinsinden ölçmektedir.

$$L=10,8 \times 10^4 \times 10^{(-0,4m)}$$

$$L=\text{Parlaklık (cd/m}^2\text{)}$$

$$m=\text{SQM cihazından okunan gökyüzü parlaklığı (kadir/açısanıye}^2\text{)}$$

$$\text{Okunan } m \text{ değerine tekabül eden aydınlanma birim alan başına ışık miktarı (akı)}$$

$$E=L\Omega$$

$$E=\text{Aydınlanma(lm/m}^2\text{)}$$

$$\square=\text{SQM cihazının görüş alanının denk geldiği katı açığı temsil eder}$$

Minimum Toplam Işık Akısını bulmak için birim alandaki ışık akısı (lm/m^2) değeri alan ile çarpılarak hesaplanır.

$$\phi_{0i}=E_{0i} A_i$$

Tüm alanların minimum toplam ışık akısı her alanın minimum toplam ışık akısının toplanması ile hesaplanır.

$$\phi_{(\text{toplam,minimum})}=\phi_0=\sum_i^n \llbracket E_{0i} A_i \rrbracket$$

Burada n yüzey sayısıdır. Bu konu ile yapılan akademik çalışmalarda yeryüzünde atmosfere yayılan ışık miktarının %73 ünün Atmosferden hiç saçılmadan uzaya dağıldığı bilinmektedir. Ayrıca bir çok çalışmada açıya bağlı gök parlaklığı değişim katsayısı 4 olarak

hesaplandığından, gök parlaklığı değerinin SQM cihazı ile yapılan ölçümün 3,7x4 katı kadar büyük olması gerekir.

$$73/(100-73)+1=3,7$$

Tablo 2. Eskişehir ışık kirliliği verileri

Nokta	MPSAS(90)	L (cd/m ²)	E (lm/m ²)	A (m ²)	ϕ_{oi} (lm)	$\phi_{oi} \times 3,7 \times 4$ (lm)
A1	20	0,0011	0,0068	9000000	61072,56	903873,91
A2	19,9	0,0012	0,0074	9000000	66964,73	991078,03
A3	19,48	0,0017	0,011	9000000	98593,01	1459176,57
A4	19,15	0,0024	0,0148	9000000	133612,21	1977460,64
A5	19,9	0,0012	0,0074	9000000	66964,73	991078,03
A6	20,17	0,0009	0,0058	9000000	52221,11	772872,49
A7	20,34	0,0008	0,005	9000000	44652,54	660857,54
A8	20,7	0,0006	0,0036	9000000	32051,34	474359,77
B1	17,86	0,0078	0,0487	9000000	438375,36	6487955,29
B2	19,01	0,0027	0,0169	9000000	152000,89	2249613,18
B3	17,66	0,0093	0,0586	9000000	527043,1	7800237,90
B4	18,6	0,0039	0,0246	9000000	221741,07	3281767,79
B5	19,26	0,0021	0,0134	9000000	120738,6	1786931,27
B6	19,7	0,0014	0,0089	9000000	80509,32	1191537,87
B7	20,16	0,0009	0,0059	9000000	52704,31	780023,79
B8	20,4	0,0007	0,0047	9000000	42251,89	625327,96
C1	18,32	0,0051	0,0319	9000000	286976,37	4247250,23
C2	18,14	0,006	0,0376	9000000	338724,13	5013117,09
C3	16,24	0,0345	0,2166	9000000	1949153,9	28847477,86
C4	18,97	0,0028	0,0175	9000000	157705,24	2334037,60
C5	19,05	0,0026	0,0163	9000000	146502,87	2168242,48
C6	19,3	0,0021	0,0129	9000000	116371,37	1722296,22
C7	19,62	0,0015	0,0096	9000000	86665,48	1282649,06
C8	19,83	0,0013	0,0079	9000000	71424,32	1057079,98
D1	19,39	0,0019	0,0119	9000000	107113,97	1585286,82
D2	18,76	0,0034	0,0213	9000000	191357,78	2832095,20
D3	18,62	0,0038	0,0242	9000000	217693,84	3221868,78
D4	17,51	0,0107	0,0672	9000000	605126,45	8955871,40
D5	18,34	0,005	0,0313	9000000	281738,46	4169729,18
D6	18,79	0,0033	0,0207	9000000	186142,75	2754912,75
D7	18,5	0,0043	0,027	9000000	243134,25	3598386,83
D8	19,06	0,0026	0,0161	9000000	145159,72	2148363,91
E1	19,6	0,0016	0,0098	9000000	88276,71	1306495,29
E2	19,45	0,0018	0,0113	9000000	101355,22	1500057,30
E3	19,39	0,0019	0,0119	9000000	107113,97	1585286,82
E4	19,37	0,0019	0,0121	9000000	109105,37	1614759,50
E5	19,51	0,0017	0,0107	9000000	95906,08	1419409,96
E6	18,87	0,0031	0,0192	9000000	172920,36	2559221,34
E7	19,06	0,0026	0,0161	9000000	145159,72	2148363,91
E8	19,77	0,0013	0,0084	9000000	75482,48	1117140,63
	Toplam	0,1453	0,9131	360000000	8217807,6	121623552,21

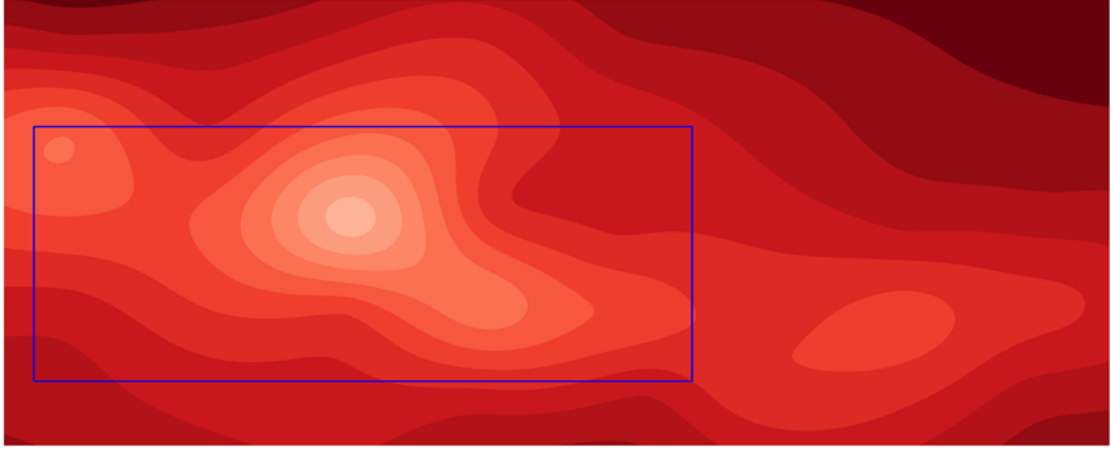
Yer yüzeyinden yayılan toplam ışık akısı aşağıdaki işlemle bulunur.

$$=\phi_{0i} \times 3,7 \times 4$$

Her alan için ayrı olarak hesaplanan ışık kirliliği verileri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Eskişehir ilinin içinde bulunduğu 360000000 m² lik 40 bölgeden alınan gök parlaklığı verileriyle toplam uzaya kaçan ışık akısı 90 derece açıda 121,6 milyon lümen olarak hesaplanmıştır. Gece aydınlatma için kullanılan lambaların etkinlik değeri 100lm/W olarak kabul edilir ise ışık kirliliğine sebebiyet veren toplam ışık akısı 121,62 Mlm, anlık değeri ise

1216,2 kW güce eşittir. Günümüzde kentlerde sadece sokak aydınlatmaları için harcanan enerji kentin toplam harcadığı enerjinin %4-%6 sına karşılık gelmektedir. Bu değere reklam amaçlı aydınlatmalarının, bina cephe aydınlatmalarının eklenmesi ile %10 lara çıkacağı görülmektedir (Aslan Z. , 2024). Eskişehir Büyükşehir belediyesi tarafından Aralık 2023-Ekim 2024 tarihleri arasında tüketilen elektrik miktarı 9764,29 MWh yapılan ödeme ise 44,81 milyon TL olduğu Tablo 3.’te gösterilmiştir. Ortalama bir aylık tüketim 887,66 MWh iken Ekim 2024 ayında kWh başına 5,23 tl ödeme yapıldığı görülmektedir. Sokak aydınlatmaları, reklam panoları, bina dış cephelerinde bulunan aydınlatmaların aktif tüketimin yaklaşık olarak %10’una tekabül ettiği kabul edilirse; aktif tüketimin %10 u 88,76 MWh olarak hesaplanır.



Şekil 8. Bülent Aslan ve arkadaşlarının yaptığı ölçümlerin alanı mavi dikdörtgen içerisinde belirtilmiştir

3.2. Yapılan çalışmalar ile yeni ölçümlerin karşılaştırılması

1 Ocak 2012-1 Ocak 2015 yılları arasında Tike projesi kapsamında pilot proje statüsünde, Eskişehir kent merkezi ve yakın çevresinin gece gökyüzü parlaklığı Bülent ASLAN ve arkadaşları tarafından incelenmiştir. Yapılan çalışma alanının bu projede ölçüm yapılan alanlara göre kıyaslaması Şekil 8’de, alanın uydu görüntüsü Şekil 9’da ve yapılan ölçümler ile oluşturulmuş ışık kirliliği haritası Şekil 10’ da gösterilmiştir. Aynı alan bu proje ölçümleri ile tekrar oluşturularak daha iyi bir kıyaslama yapılabilmesi için Şekil 11’ de aynı renk aralıkları kullanılarak tarihsel değişimle ışık kirliliğinde değişim gösterilmiştir.

3.3. Karşılaştırma yöntemi

Her iki çalışma verileri ile oluşturulmuş olan ışık kirliliği haritaları özdeş alanlara bölünmüştür. “i1,i2,i3,i4,j1,j2,j3 ve j4” alanları 3x3 km alanı,”i5 ve j5” alanları 3x2 km alanı,”k1,k2,k3 ve k4” alanları 2x3 km alanı ve “k5” alanı 2x2 km alanı belirtmektedir. Her iki çalışma alanlarının oranlarının farklı olması nedeni ile bu tarz bir ızgara kullanılmıştır. Ayrıca her iki çalışmanın verileri farklı yazılımlar ile oluşturulduğundan bu projede belirlenen alanlar daha basık gözükmemektedir.

3.3.1. Karşılaştırma

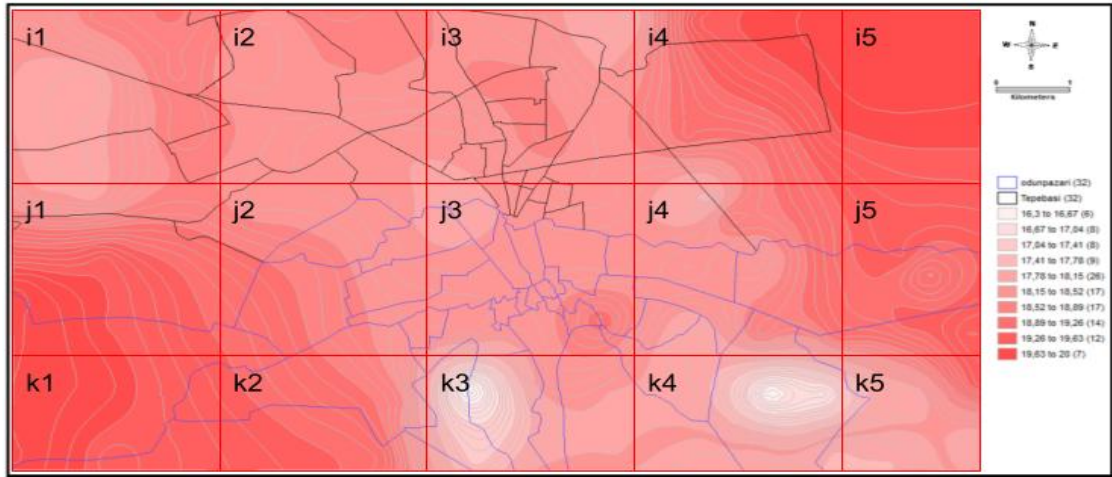
Bülent Aslan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada her 1x1 km alandan veriler toplanarak hazırlanmıştır. Bu projede ise daha önce de bahsedildiği gibi 3x3 km alanlarda ölçümler yapılmıştır. Bu sebep çözünürlük farkı oluşmaktadır. Ancak bazı

Tablo 3. Eskişehir Büyükşehir belediyesi tarafından Aralık 2023-Ekim 2024 tarihleri arasında tüketilen elektrik miktarı ve yapılan ödeme tablosu alanlardaki değişimler çözünürlük farkı ile açıklanamaz

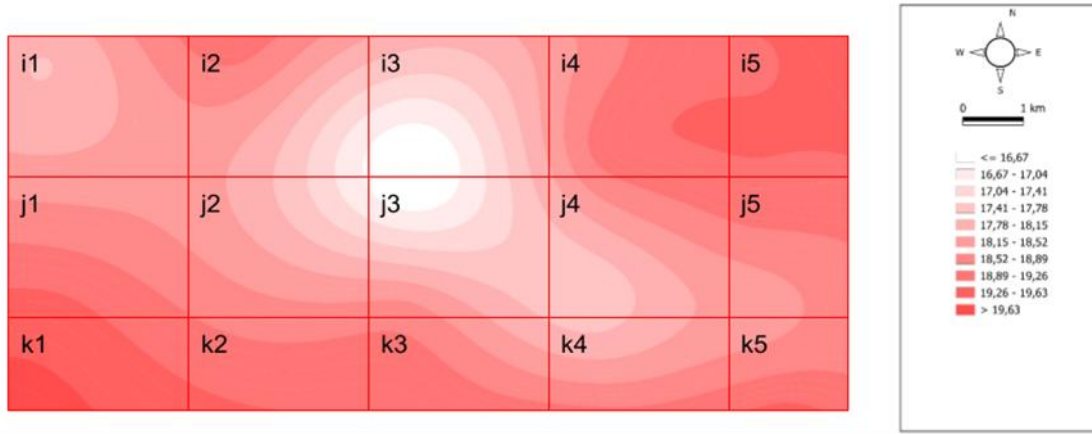
Dönem	Harcanan Elektrik (kW/h)	Ödeme (TL)
Aralık 2023	1152393,73	4595757,06
Ocak 2024	1608920,60	6482568,66
Şubat 2024	483171,38	1981106,01
Mart 2024	628542,85	2571340,81
Nisan 2024	708882,64	2939010,95
Mayıs 2024	861129,46	3654064,10
Haziran 2024	802906,93	3677254,18
Temmuz 2024	979407,21	5559564,01
Ağustos 2024	967617,66	5369221,77
Eylül 2024	640315,93	3105382,19
Ekim 2024	931009,15	4876425,45
Toplam	9764297,54	44811695,19
Aylık Ortalama	887663,41	4073790,47



Şekil 9. Bülent Aslan ve arkadaşlarının yaptığı ölçümlerin alanının uydu görüntüsü



Şekil 10. Bülent Aslan ve arkadaşlarının yaptığı ölçümler neticesinde oluşturdukları ışık kirliliği haritası



Şekil 11. Bülent Aslan ve arkadaşlarının yaptığı çalışma alanında bu proje verileri ile oluşturulan ışık kirliliği haritası

3.3.2. Genel karşılaştırma

Her iki çalışmada da SQM ölçüm değerleri 16,30 ile 20,00 arasında çıkmıştır. Ancak bu proje verileri ile oluşturulan ışık kirliliği haritasından da anlaşılabileceği gibi aradan geçen zamanla ışık kirliliğinin yoğunluğunda artış mevcuttur. Özellikle şehir merkezinin büyümesi nüfus artışı ve nüfusun gençleşmesi bu kirliliğin artışında etken olduğu değerlendirilmiştir.

Eskişehir ili 2012 yılında büyükşehir statüsüne geçmiştir ve o dönemdeki nüfusu yaklaşık 660.000 civarında iken günümüzde nüfusu 950.000 üzerine çıkmıştır. Şehirde bulunan Anadolu Üniversitesi, Osmangazi Üniversitesi ve Eskişehir Teknik Üniversitesi bölgenin popülerliğini arttırmış, nüfusun daha genç olmasına sebep olmuştur.

3.3.2.1. “i2,i3,j2 ve j3” alanlarının kesişim noktası (Es Park AVM)

Bu bölgede Eskişehir’deki en yoğun alışveriş merkezi olan Es Park AVM bulunmaktadır. Tarihsel verilere baktığımızda Es Park AVM 2007 yılında yapımı tamamlanıp hizmete açılmıştır. Yapıldığı bölgede aynı zamanda 1927-2007 yılları arasında faaliyet gösteren Kılıçoğlu Toprak İşleme Fabrikası’nın kapatılarak yeni organize sanayi taşınmıştır. 2007 yılında bölge yerleşimden daha çok şehrin sanayi ihtiyacı için kullanıldığı anlaşılmaktadır. Bu

bölge şehrin yeni eğlence ve yaşam merkezlerinin artması ile daha yoğun hale gelmiştir. Bu da yıllar içerisinde bölgedeki ışık kirliliğinin artmasına sebep olmuştur.

3.3.2.2.“k3” alanı

Bu bölgede şu anda bulunan Yenikent Olimpik Yüzme Havuzu 2011 yılında hizmete açılmış ancak büyük bir tesis olduğundan yapımı 2016 yılında tamamlanmıştır. Yapıldığı bölgenin daha önceden boş bir arazi olması nedeni ile Bülent Aslan ve arkadaşlarının yaptığı çalışma esnasında inşaat çalışmalarının gece ışıklandırması nedeni ile oluşan ışık kirliliğinin inşaatın tamamlanması ile azaldığı değerlendirilmektedir.

3.4. Işık kirliliği için uluslararası alınan önlemler ve Türkiye’de alınan/alınması gereken önlemler

Işık kirliliği doğal çevreyi, ekosistemleri ve insan sağlığını olumsuz etkileyen bir çevre sorunu olarak dünya genelinde giderek daha fazla önem kazanıyor. Birçok ülke, bu sorunu azaltmak için çeşitli uluslararası önlemler almaktadır. International Dark-Sky Association (IDA) Uluslararası Işık Kirliliği Konferansları düzenler ve ışık kirliliği ile ilgili mücadelede öncü bir organizasyondur. Dünya çapında ışık kirliliği ile mücadele eden yerel toplulukları destekler ve karanlık gökyüzü parkları kurar. IDA’nın önerileri ve standartları ise ülkeler tarafından uygulanarak ışık kirliliğini azaltmaya yönelik politikalar geliştirir. Örneğin birçok ülke tarafından sokak aydınlatmalarının tasarımı ve yönlendirmesi için standartlar oluşturulmuştur. Avrupa birliği, enerji verimi ve çevre dostu aydınlatma sistemlerine geçişi teşvik eder. Bazı ülkeler karanlık gökyüzü rezervi kurmuş ve bu tür bölgeleri astronomik gözlemler için korumaktadır.

İngiltere’de 2013 yılında Northumberland Ulusal Parkı, İngiltere’nin ilk karanlık gökyüzü parkı olarak ilan edilmiştir. Yorkshire gibi bazı diğer bölge parkları da benzer şekilde karanlık gökyüzü rezervleri ilan edilmiştir. Bu tür alanlar, yerel yönetimler tarafından korunan doğal alanlar olup halkın yıldız gözlemi yapabilmesi için düşük ışık seviyelerinde tutulur. İspanya 2001 yılında, gece gökyüzünü korumaya yönelik yasa çıkarmıştır. Bazı doğal alanları karanlık gökyüzü parkları olarak tanımlamıştır. Fransa 2013 yılında Paris’te gece saatlerinde gereksiz aydınlatmanın kapatılması ile ilgili bir yönelik yönetmelik çıkarmıştır. Kanada, Almanya, Avustralya, İtalya, Yeni Zelanda ve Japonya’da karanlık gökyüzü bölgeleri belirleyerek ışık kirliliğini azaltmak için çalışmalar yapmaktadır.

4.Sonuç

Yapılan çalışma sırasında çok fazla yanlış ve gereksiz aydınlatma olduğu görülmüştür. Özellikle sokak lambalarının ışık yoğunluğunun fazla olduğu ve ışık taşması şeklinde konumlandırıldıkları görülmektedir. Bu durum ışık kirliliğine sebep olmaktadır. Işık kirliliğini önlemek için;

- Sokak lambaları ve dış mekan aydınlatmaları yere doğru yönlendirilmelidir.
- Daha az enerji tüketen düşük güçlü ve LED ampuller kullanılmalıdır.
- Zamanlayıcı ve sensör kullanımı aydınlatmaların gereksiz yere açık kalmasını önleyerek ışık kirliliği önlenebilir.
- Şehirlerde özel aydınlatma tasarımları yaparak ışığın sadece ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılması sağlanabilir.
- Doğal yaşamı korumak için özel karanlık gökyüzü alanları oluşturulabilir.
- Halk ışık kirliliği konusunda bilinçlendirilmelidir.

-Teknoloji kullanılarak akıllı aydınlatma sistemleri ile birlikte güneş enerjisi ile çalışan aydınlatmalar daha az elektrik enerjisi tüketerek çevreye daha az zarar vermeyi amaçlayabilir.

Işık kirliliği hem çevreye hem de insan sağlığına ve diğer canlılara zarar veren önemli bir sorundur. Bu sorunu önlemek için yukarıdaki yöntemlerin uygulanması, daha sağlıklı bir çevre ve doğal gece atmosferinin korunması için büyük bir öneme sahiptir.

Kaynakça

- Andreas Jechow, F.H., 2019. How dark is a river? Artificial light at night in aquatic systems and the need for comprehensive night-time light measurements. *Wire's Water*, 1388.
- Aslan, B., 2018. Işığın Kirli Yüzü:Işık Kirliliği. Ankara: Ada Eğitim Kooperatifi.
- Aslan, Z., 2024. Işık Kirliliği - Teknolojinin Yanlış Uygulamaları ve Türkiye’de Işık Kirliliği Çalışmaları. Ankara: Nobeş Akademik yayıncılık.
- Fabio Falchi, P.C., 2011. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*, 2714-2722.
- Gocova, A., 2013. The Night Issue. *Alternatives Journal*, 39:5.
- Komal Kaushik, S.N., 2022. Studying light pollution as an emerging environmental concern in India. *Journal of Urban Management*, 392-405.



Malatya Yöresi Cevizlerinin (*Juglans regia*) ICP-MS, GC-MS, FITR VE SEM-EDX ile Kimyasal Analizi

Nurhayat ÖZDEMİR^{1*}, Kübra AKARSU²

¹ İnönü University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, Malatya- Türkiye

² İnönü University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, Malatya- Türkiye

Sorumlu Yazar (Corresponding author): nurhayat.ozdemir@inonu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada Malatya Hekimhan ve Doğanşehir ilçelerinde yetiştirilen cevizler analizlendi. Ceviz yağ, protein, vitamin ve mineral bakımından oldukça zengindir. Örneklerin soğuk pres tekniği ile yağları çıkarılarak palmitik asit, oleik asit, linoleik asit, α-linolenik asit, Stearik asit gibi doymuş ve doymamış yağ asitleri GC-MS ile analizlendi. FT-IR ile ceviz içindeki organik ve inorganik maddelerin nitel analizleri yapıldı. SEM-EDX’da yapılan element taramasında ortalama % 96 C ve O bulunurken % 4 lük kısmında diğer elementler Mg, P, Al, K, S, Ca bulundu. Mikrodalga ekstraksiyon yöntemi ile çözünürleştirme yapılarak AAS ve ICP-MS de element analizi yapıldı. AAS ile Zn, Mg, Se, Cu element düzeylerine bakıldı. ICP-MS ile Na, K, Ca, Fe ve Mn elementlerinin 2021 yılı ve 2022 yılı ürünleri analiz sonuçları karşılaştırıldı. Ceviz kabuklu halde muhafaza edilirse kimyasal yapısında değişim olmadığı gözlemlendi. Analiz sonuçlarına göre ceviz içerisinde; insan vücudundaki farklı işlevlerden sorumlu olan ve vücuda yüksek enerji veren yağ asitlerinin esterleri olduğu, canlı biyokimyasında öneme sahip olan elementleri içerdiği ve ağır metal içermediği saptandı.

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi

Geliş Tarihi: 28.05.2025

Kabul Tarihi: 30.06.2025

Anahtar Kelimeler

Ceviz,
ICP-MS,
GC-MS,
FITR,
SEM-EDX

Chemical Analysis of Malatya Region Walnuts (*Juglans regia*) with ICP-MS, GC-MS, FITR and SEM-EDX

Abstract

In this study, walnuts grown in Malatya Hekimhan and Doğanşehir districts were analyzed. Walnuts are quite rich in terms of oil, protein, vitamins and minerals. The oils of the samples were extracted with the cold press technique and saturated and unsaturated fatty acids such as palmitic acid, oleic acid, linoleic acid, α-linolenic acid, and stearic acid were analyzed with GC-MS. Qualitative analyzes of organic and inorganic substances in walnuts were performed with FT-IR. In the element scan performed in SEM-EDX, an average of 96% C and O were found, while other elements Mg, P, Al, K, S, Ca were found in the remaining 4%. Elemental analysis was performed in AAS and ICP-MS by solubilization with microwave extraction method. Zn, Mg, Se, Cu elemental levels were examined with AAS. The analysis results of Na, K, Ca, Fe and Mn elements of in 2021 and 2022 were compared with ICP-MS. It was observed that if walnuts were stored in their shells, there was no change in their chemical structure. According to the analysis results, it was determined that walnuts contained esters of fatty acids that are responsible for different functions in the human body and provide high energy to the body, that they contained elements that are important in the biochemistry of living things, and that they did not contain heavy metals.

Research Article

Article History

Received : 28.05.2025

Accepted: 30.06.2025

Keywords

Walnuts,
ICP-MS,
GC-MS,
FITR,
SEM-EDX

1. Giriş

Sert kabuklu meyveler arasında yer alan ceviz (*Juglans L.*), ülkemizin hemen her yerinde yetişebilen bitkilerden biridir. Beslenmemizde önemli bir yere sahip olan ceviz

meyvesi yağ asitleri ve tokoferoller açısından çok zengindir ve bu nedenle geniş kullanım alanına sahiptir.

Cevizle ilgili çalışmalar ceviz içinin zengin bir yağ ve protein kaynağı olduğu ve diyetlerde önemi olan vitamin ve mineraller bakımından zenginliği görülmektedir. %60 üzerinde yağ içeriğine sahip olması cevizi yağlı meyveler arasına koymuştur. Bu çalışmada gerçekleştirilen analizlerle ceviz yağının yağ asidi bileşimi de belirlenmiş ve insan sağlığı için önemli özelliklerinin olduğu gösterilmiştir. Kanın pıhtılaşmasını önlediği bilinen ceviz, bu özelliği ile kalp hastalıkları riskini azaltırken trigliserit ve kolesterol düzeylerini düşürür, yağ içeriği nedeniyle yüksek enerji verir. Ayrıca sinir iletimini sağlar ve iyi bir protein kaynağıdır (Sen, 1986).

Ceviz, metabolizmada önemli bir yeri olan ve eksikliğinde ciddi fizyolojik hastalıklara yol açan kalsiyum, demir, magnezyum, fosfor, bakır, selenyum ve çinko minerallerini içerir (Akça ve ark., 2016).

Ceviz, besin değeri açısından çok kıymetli bir meyve çeşididir. Thiamin, vitamin B6 ve folik asit içeren birçok vitamince zengindir. Vitaminlere ilaveten çinko, bakır, demir, magnezyum, potasyum ve fosforca zengindir. 100 gram cevizde yaklaşık 14 g protein bulunur. Bu proteinler büyük çoğunluğu sindirilebilir proteinlerdir. Bu özellikleri ile besin değeri yükselen cevizin vejeteryan beslenmede değeri artmaktadır. Kolesterol içermeyen cevizin doymamış yağ asidi içeriği yüksektir. Cevizler yaşam için gerekli olan linoleik ve linolenik asitler bakımından son derece zengin besinlerdir. Doymuş yağ asitlerinin yapı zincirinde çift bağ bulunmaz. Karbon atomlarının hepsi hidrojen ile doyurulmuştur ve kararlı yapıdadırlar. Karboksil grubu dışında fonksiyonel grup içermezler ve bu nedenle yağ asitleri arasında kimyasal reaktifliği en az olanlardır (Demirci, 2010).

Genel olarak doymuş yağ asitlerinin meydana getirdiği yağların çoğu oda sıcaklığında katıdır. Gıdalarda en çok rastlanan doymuş yağ asitleri stearik asit, palmitik asit ve miristik asittir (Semma, 2002). Vücudumuza besinler ile aldığımız doymuş yağ asitlerinin kolesterol düzeylerini yükselttiği ve insüline karşı direnç oluşturduğu, buna bağlı olarak diyabete sebep olduğu belirtilmektedir (Samur, 2006). Doymuş yağ asitlerinin 6 karbona kadar olan yapıdakileri kısa zincirli, 6 dan 12 karbona kadar olan yapıdakileri orta zincirli, 12den fazla karbon içerenleri uzun zincirli diye tanımlanırlar.

Doymamış yağ asitleri yapı zincirinde bir veya daha fazla çift bağ içerirler. Zincir yapısındaki yağ asitlerinde farklı sayı, farklı yapıda bağ bulunur. Yapısında yer alan çift bağların etkisiyle, doymamış yağ asitleri kimyasal olarak reaktiflerdir. Yağ asidinin karbon zincirinde bulunan çift bağ sayısına göre reaktivlik artmaktadır. Yapılarındaki çift bağ sayısına göre sınıflandırılırlar. Tek çift bağ içerenlere tekli doymamış, monoansatüre (monoenoik) yağ asitleri denilmektedir. En önemlileri; palmitoleik asit ve oleik asittir. Gıdalarda yaygın olarak var olan tek çiftli bağ içeren doymamış yağ asidi oleik asittir (Semma, 2002). Genellikle fındık, fıstık, ceviz vb. kabuklu bağ içeren yiyeceklerde bulunmaktadır (Aytaç, 2007). Doymamış yağ asitleri oda koşullarında sıvıdırlar ve suda çözünür değildirler. Uçucu özellikleri yoktur. Bunlardan en önemlileri; α -linolenik asit, inoleik asit, eikosapentaenoik asit, araşidonik asit, dokosaheksaenoik asittir (Gogus, 2010). Gıdalarda yaygın olarak var olan çoklu doymamış yağ asidi linoleik asittir (Holub, 2002; Semma, 2002).

Doymuş ve tekli doymamış asitleri canlı vücudunda sentezlenebilir fakat çoklu doymamış yağ asitleri sentezlenemedikleri için esansiyeldirler. (Mol, 2006). Çoklu

doymamış yağ asitleri arasında beslenmede fazlaca önemi olan iki çeşit vardır. Bunlar, Omega-3 ve Omega-6 yağ asitleridir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma için Malatya ili Hekimhan ve Doğanşehir ilçelerinin farklı köylerinde yetiştirilmiş 2021 ve 2022 yıllarına ait ceviz numuneleri toplandı. Numuneler Hekimhan ilçesi cevizleri HC, Doğanşehir ilçesi cevizleri DC, olarak kodlandı. Tablo 1. de verildi.

Tablo 1. Örneklerin temin edildiği yerler ve örnek kodları

HC1 GİRMANA	DC1 FINDIKLI
HC2 GÜZELYURT	DC2 SAVAKLI
HC3 KURŞUNLU	DC3 SÜRGÜ
HC4 KOCAÖZÜ	DC4 POLAT

Deneylerde kullanılan kimyasallar n-Hekzan, Nitrik Asit (%65) ve Sülfürik asit (%95-97) Merck firmasından temin edildi.

2.1. Ceviz örneklerinin analize hazırlanması ve çözünürleştirilmesi

ICP-MS ve AAS ile element analizinde mikrodalga çözünürleştirme işlemi yapıldı (Muller ve ark., 2017). ICP-MS analizleri için çözünürleştirme işlemi; 0,5 g katı örnek teflon tüpüne alınarak üzerine 6 mL nitrik asit ilave edilerek mikrodalga cihazına yerleştirildi. Ekstraksiyon işlemi 190°C sıcaklıkta, 1600 W güçte, %100 performansla 10 dk süreyle yapıldı. Elde edilen içerik 20 mL hacimli balon jojeye konularak ultra distile su ile hacim tamamlandı ve analiz edildi. AAS analizleri için çözünürleştirme işlemi; Her bir numuneden yaklaşık 0,25 g tartım yapılarak, 2 ml H₂SO₄ + 2 ml HNO₃ karışımında mikrodalgada çözünürleştirme yapıldı. Karışım saf su ile 50 ml ye tamamlandı.

GC-MS de analiz için numune hazırlamada Clevenger yöntemi ile uçucu yağların elde etmek istendi ancak başarılı olunmadı. Mikrodalgada ile çözünürleştirmede Mikrodalga ekstraksiyonu ile yağ elde edildi fakat çözgen uçurma aşaması kapalı sistem çalışmadığı için örnekte bileşen kaybı oldu. Bu nedenle Şekil 1. de gösterilen soğuk pres yöntemi ile örnek hazırlanma tercih edildi.



Şekil 1. Soğuk pres yöntemi ile yağ örneklerinin hazırlanma

FTIR cihazı için örnek hazırlamada örnekler agar havanda dövülerek toz haline getirildikten sonra analiz için FTIR cihazına verildi

2.2. Analizlerde kullanılan cihazlar

Gaz kromatografi Agilent 6890 GC ve 5973HP-INNOWAX series Dedektör Agilent 5973 kütle selektif dedektör, Kolon HP-5 kapiler kolon, 60 m x 0,25 mm x 0,25 µm, Enjeksiyon Bloğu Sıcaklığı 260°C, Sıcaklık Programı 5°C/dakika ısınma hızı ile

40°C'den 150°C ye, 10 dk boyunca 150°C' sıcaklığında kaldıktan sonra yine 4°C/dk yükselerek 260°C'ye kadar arttırıldı. İyon kaynağı sıcaklığı 200°C, Taşıyıcı gaz Helyum Gaz akış hızı 1,7 mL/dak, Enjeksiyon hacmi 2 µL

SEM_EDX; SEM Ünitesi LEO-EVO 40/Cambridge-İngiltere 20 kV voltajlı yüksek vakum altında ikincil elektron dedektörü kullanılarak analiz yapıldı. EDX Ünitesi: Bruker-125 eV (Berlin-Almanya) karakteristik X ışınları kullanıldı. EDX ünitesi incelenen yüzey alanında farklı geometrilerde yarı kantitatif elementel analiz yapabilmektedir.

AAS Perkin Elmer Atomic Absorption Spectrometer AAnalyst 800

ICP-MS Analitik Jena - Plasma Quant MS- Jena/Almanya Mikrodalga ünitesi: Cem - Mars 5- Matthews, North Carolina/ USA

FITR Perkin Elmer Spectrum One Cihaz 4000-400 cm⁻¹ aralığında çalışmaktadır. Cihaz 0.4 cm⁻¹ ayırma gücüne sahiptir. Aynı anda birçok bileşenin analizini yapabilmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

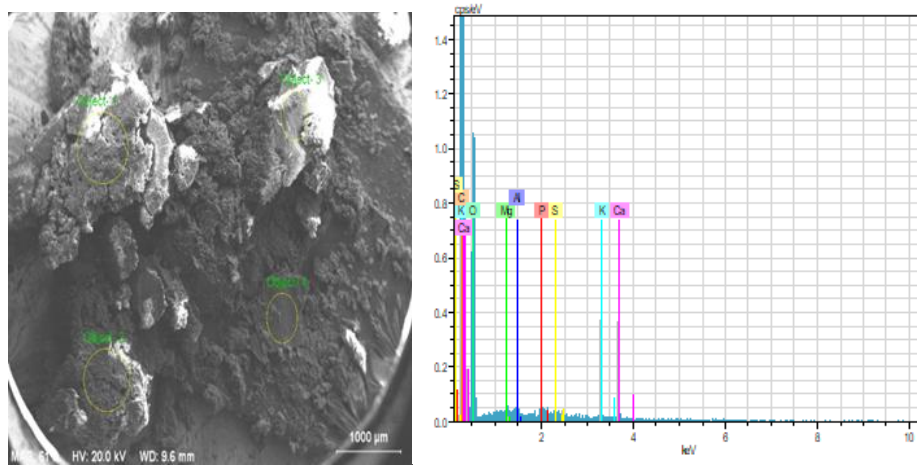
Toplanan numunelerden 2022 yılına ait örnekler rastgele seçilen 10 numune tüm, iç ve kabuk olarak tartılarak (%) iç oranı hesaplanarak Tablo 2. de verildi.

Tablo2. Ceviz örneklerinin iç oranı (%).

Örnek kodları	HC1	HC2	HC3	HC4
% iç oranı	51,88	46,53	47,26	49,32
Ortalama % iç oranı	48,74			
Örnek kodları	DC1	DC2	DC3	DC4
% iç oranı	50,96	47,87	48,81	48,63
Ortalama % iç oranı	49,07			

3.1. Makro ve mikro element analizi sonuçları

SEM-EDX cihazı ile belirlenen elementlerin örnek görüntü ve grafik Şekil 2. de.kütleli ortalamaları (%) Tablo 3. de verildi. Her örnekte yüzeyde en az beş nokta seçilip tarama yapıldı.



Şekil 2. DC1-21 (Doğanşehir Fındıklı 2021 yılı) ceviz örneğine ait SEM-EDX görüntüsü ve grafiği.

Tablo3. SEM EDX cihazı ile belirlenen elementlerin kütleli ortalamaları (%)

	DC1-21	DC1-22
C	53,9 ± 4,38	62,17 ± 2,25
Mg	1,01 ± 0,44	0,75 ± 0,06
P	0,76 ± 0,29	0,54 ± 0,17
Al	0,61 ± 0,21	0,45 ± 0,14
K	0,50 ± 0,24	0,32 ± 0,06
S	0,44 ± 0,27	0,27 ± 0,06
Ca	0,31 ± 0,18	0,23 ± 0,03
O	42,5 ± 4,91	35,3 ± 2,49

Zn, Mg, Cu elementlerinin tayinleri FAAS ile Se elementinin tayini GFAAS ile yapılarak mg/kg ve µg/kg düzeyinde sonuçlar alındı. Alınan sonuçlar Tablo 4. de verildi.

Tablo 4. AAS cihazı ile yapılan element analizi sonuçları

	Zn (mg/kg) Alevli	Mg(mg/kg) Alevli	Se (µg/kg) Grafit Fırın	Cu (mg/kg) Alevli
HC1-21	4,46 ± 0,03	165,91 ± 0,07	21,26 ± 0,10	2,63 ± 0,01
HC1-22	4,34 ± 0,03	164,06 ± 0,03	16,90 ± 0,04	2,482 ± 0,01
HC2-21	4,17 ± 0,03	180,93 ± 0,10	16,41 ± 0,10	1,775 ± 0,02
HC2-22	4,84 ± 0,02	184,48 ± 0,08	17,51 ± 0,06	2,09 ± 0,02
Ortalama	4,45 ± 0,03	173,85 ± 0,07	18,02 ± 0,08	2,24 ± 0,02
DC1-21	4,30 ± 0,03	161,26 ± 0,32	18,75 ± 0,10	2,988 ± 0,03
DC1-22	4,34 ± 0,06	185,98 ± 0,10	19,553 ± 0,06	3,02 ± 0,01
DC4-21	4,54 ± 0,05	143,67 ± 0,03	19,927 ± 0,06	1,78 ± 0,03
DC4-22	4,59 ± 0,02	145,49 ± 0,08	17,42 ± 0,08	2,73 ± 0,01
Ortalama	4,44 ± 0,04	159,10 ± 0,13	18,91 ± 0,08	2,63 ± 0,02

ICP-MS İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi cihazı ile analizlenen elementler Na, K, Ca, Fe ve Mn mg/kg düzeyinde Tablo.5 de verildi.

Tablo 5. ICP-MS cihazı ile yapılan element analizi sonuçları

	Na mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg
HC1-21	1,80 ± 0,02	410,52 ± 0,11	136,21 ± 0,05	4,64± 0,03	4,08± 0,04
HC1-22	1,47 ± 0,01	430,92 ± 0,15	90,65± 0,02	3,77± 0,01	3,37± 0,02
HC2-21	1,02 ± 0,01	400,28 ± 0,10	125,28 ± 0,04	1,91± 0,02	3,86± 0,03
HC2-22	1,25± 0,01	423,34 ± 0,08	94,12 ± 0,03	4,93± 0,01	4,19± 0,02
Ortalama	1,39 ± 0,01	416,27± 0,21	111,57± 0,04	3,81± 0,02	3,88± 0,01
DC1-21	0,81 ± 0,01	426,24± 0,09	116,61± 0,03	2,77± 0,01	5,38± 0,04
DC1-22	1,21 ± 0,01	441,94± 0,10	123,34± 0,01	2,72± 0,03	5,49± 0,05
DC4-21	1,47 ± 0,01	428,44± 0,15	137,9± 0,1	7,57±0,02	4,90±0,03
DC4-22	1,92 ± 0,02	435,70± 0,31	113,47± 0,02	5,03± 0,01	4,43± 0,03
Ortalama	1,16 ± 0,01	432,21± 0,20	125,94± 0,06	4,35± 0,02	5,26± 0,01

Hekimhan ilçesi cevizleri için sonuçlar incelendiğinde;

2021 yılı örneklerinde ortalama, Zn 4,31 mg/kg, Mg 173,42 mg/kg, Se 18,84 µg/kg, Cu 2,20 mg/kg, Na 1,41 mg/kg, K 405,40 mg/kg, Ca 130,74 mg/kg, Mn 3,28 mg/kg, Fe 3,97 mg/kg olarak bulundu. İçerik sıralaması şu şekildedir:

Se <Na < Cu < Mn < Fe < Zn < Ca < Mg < K

2022 yılı örneklerinde ortalama, Zn 4,59 mg/kg, Mg 174,27 mg/kg, Se 17,21 µg/kg, Cu 2,29 mg/kg, Na 1,36 mg/kg, K 427,13 mg/kg, Ca 92,39 mg/kg, Mn 4,35 mg/kg, Fe 3,78 mg/kg dir. İçerik sıralaması şu şekildedir:

Se <Na < Cu < Fe < Mn < Zn < Ca < Mg < K

Doğanşehir ilçesi cevizleri için yağ asitleri incelendiğinde;

2021 yılı örneklerinde ortalama, Zn 4,42 mg/kg, Mg 152,47 mg/kg, Se 18,76 µg/kg, Cu 2,38 mg/kg, Na 1,14 mg/kg, K 427,34 mg/kg, Ca 127,24 mg/kg, Mn 5,17 mg/kg, Fe 5,14 mg/kg dır. İçerik sıralaması şu şekildedir:

Se < Na < Cu < Zn < Fe < Mn < Ca < Mg < K

2022 yılı örneklerinde ortalama, Zn 4,64 mg/kg, Mg 165,73 mg/kg, Se 19,49 µg/kg, Cu 2,87 mg/kg, Na 1,56 mg/kg, K 438,82 mg/kg, Ca 118,40 mg/kg, Mn 3,87 mg/kg, Fe 4,96 mg/kg olarak bulunmuştur. İçerik sıralaması şu şekildedir:

Se < Na < Cu < Mn < Zn < Fe < Ca < Mg < K

3.1.1. Elementlerin insan sağlığı üzerindeki etkisi

İnsan vücudunda bulunan başlıca elementlerden oksijen(O), azot(N), hidrojen(H), fosfor(P), potasyum(K), kalsiyum(Ca), sodyum(Na), karbon(C), magnezyum(Mg), kükürt(S) ve silisyum(Si) bünyenin % 99.95 lik kısmını oluşturur. Yalnızca % 0.05 lik kısmı mikro elementlerin oluşturduğu belirtilmiştir. Mikro elementler organizmalar içerisinde çok düşük miktarda bulunmalarına rağmen oldukça önemli fizyolojik etkilere sahiptir. Mineral maddeler insan organizmasının faaliyeti için oldukça önem arz eden bileşenleridir. Bu elementler iki gruba ayrılırlar. I. grup: potasyum, sodyum, kalsiyum, magnezyum, silisyum, klor, fosfor elementleridir ve bunlara makro elementler denir.

II. grup: demir, bakır, çinko, iyot , baryum, kobalt, flor gibi elementler ikinci gruba aittir ki az miktarda bulunmalarına rağmen hayati öneme sahiptirler ve bu elementlere mikro elementler denir.

Demir, canlı organizmaların birçok faaliyetlerinde önemli biyolojik role sahip eser elementtir. Demir vücudun dışarıdan aldığı, ihtiyaç duyduğu bir maddedir. Hemoglobinin vücutta en çok demir içeren bileşiktir. Vücutta demir eksikliğinin neden olduğu sorunlar; bağışıklık sisteminin bozulması, anemi, bağışıklığın düşük olması, yorgunluk, iştahsızlık, toprak ve buz yeme isteği, çarpıntı gibi olaylardır.

Çinko, canlıda çok önemli görevleri olan eser elementtir. Çinko birçok enzim ve hormonun üretilmesinde başrolüdür. Başlıca işlevleri arasında; protein sentezi, RNA, DNA, insülinin aktifleşmesi, A vitamininin hücrelere taşınımı ve kullanılması, yaraların iyileşmesi, hücre bölünmesi ve çoğalması, sperm üretimi, bebekler ve çocukların büyüme ve gelişimi, kanda lipidlerin taşınması gibi çok sayıda işlevi bulunmaktadır. Aynı zamanda toprakta ve gıdalarda çinkonun fazla bulunması toksik etki yaparak insanlarda kansere sebep olmaktadır.

Bakır, madde döngüsünde enzim bileşeni olarak önemli bir yeri vardır. Oksidasyon olaylarında, enzimlerin çalışmasında, bitkilerde fotosentez olayında gereklidir. Enzim etkilerini yükseltme işlevi vardır.

Mangan, enzimlerin yapısında yer alır ve enzimlerin aktifleşmesini sağlar. Bağ dokularının yapımına, üre oluşumuna, protein sentezine katılır. Toksik etkisi yoktur, ancak uzun süreli maruziyette zehir etkisi görülebilir.

Selenyum, canlılar için son derece faydalı ve oldukça önemli bir eser elementtir. Tüm elementlerin olduğu gibi selenyumunda fazlası zarar, azı gerekli ve yeterli, eksikliği ise riskli bir elementtir. 2 ppm'in altında ki miktarı hastalıklara, 30 ppm'in üstündeki miktarı zehirlenmelere neden olur. Antioksidan özelliğe sahiptir, kanserden koruyucu

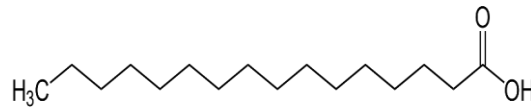
olarak bilinir, E vitamininin etkinliğini artırması ile sağlıklı yaşam için olmazsa olmazdır. Kalp kaslarında var olan bir proteine bağlı olduğundan kalbin düzenli çalışmasını sağlar. Romatizma önleyicidir ve görme yetisini artırır. Yaraları iyileştirici olduğu ve büyüme üzerinde olumlu etkisi olduğu bilinmektedir. Nikel, kansorejen bir elementtir ve allerjik özelliğe sahiptir. Bunlara rağmen canlılar için büyük öneme sahiptir. Ni vücuda alınan demirin daha iyi kullanılmasına yardımcı olur. Canlı sistemdeki birçok enzimi aktifleştirdiği sanılmaktadır. Asit fosfataz enziminin etkisini azaltıp, hormonları da etkilediği düşünülmektedir. Kurşun, kemiklerde kalsiyum yerine geçebilir. Vücutta birikimi zararlıdır. Özellikle tetra etil kurşun çok tehlikelidir. Kurşun zehirlenmelerinden merkezi sinir sistemi etkilenir. Zehirlenme belirtileri, kramp hali, yorgunluk, uykusuzluk, daha ileri safhalarda işitme ve görme bozuklukları, vb.

3.2 GC-MS analizi sonuçları

Ceviz yağlarının GC-MS cihazı ile içerik tayini yapıldı ve sonuçları Tablo 6. de verildi.

3.2.1 GC-MS analizi sonucu bulunan bileşikler ve özellikleri

Palmitik asit Formülü: $C_{16}H_{32}O_2$



IUPAC adı hexadekanoic asit olan 16 karbonlu bu yapı en yaygın doymuş yağ asitidir. Hayvan ve bitkilerde bulunur. Ester haline palmitat denir. Kimyasal formülü $CH_3(CH_2)_{14}COOH$ 'tür. Palmiye ağacı yağında ve palmiye çekirdeğinde fazla bulunur. Canlı sistemlerinde yağ asitlerinin oluşumuna bakarsak ilk sentezlenen yağ asidi palmitik asittir. Daha uzun zincirli yağ asitleri palmitik asitten üretilir. Palmitik asit karbolsilik bir asit olduğu için bunların özelliklerini gösterir ve organik alkoller ile esterleşebilirler.

Tablo 6. Ceviz örneklerinin GC-MS cihazı analiz sonuçları

	HC1-21 (%)	HC1-22 (%)	HC2-21 (%)	HC2-22 (%)	HC3-22 (%)	HC4-22 (%)	HC örnekleri ortalama
Palmitik asit	13.33	2.38	9.47	7.57	16.35	5.26	9,06
Oleik asit	15.49	25.92	11.59	11.25	8.75	10.39	13,90
Linoleik asit	18.19	32.56	13.77	15.06	10.94	14.94	17,57
α linolenik asit	-	7.04	-	-	-	-	-
	DC1-21 (%)	DC1-22 (%)	DC2-22 (%)	DC3-22 (%)	DC4-21 (%)	DC4-22 (%)	DC örnekleri ortalama
Palmitik asit	11.35	2.88	7.07	7,22	11.13	9.27	8,15
Oleik asit	29.71	6.98	10.84	16,51	28,96	11.76	17,46
Linoleik asit	27.40	11.67	14.82	34,05	32,02	15.20	22,53
Alfa linolenik asit	5.37	-	-	8,82	6.98	-	-
Stearik asit	-	-	-	2,72	-	-	-
Tokoferol	-	6.75	-	-	-	-	-

Palmitik asit esterlerine palmitate denir. Az yağlı süt üretmek için sütün yağı alınır ve bu yağla birlikte vitamin A (retinol) da kaybolur, retinol ve palmitate esterleştirilerek retinal palmitate süte eklenir ve vitamin A'nın yerini alır. Böyle bir ekleme işlemi A vitamini içeren kozmetik ürünlerde de yapılır. Gıda sanayisinde de yağların bozulmaması

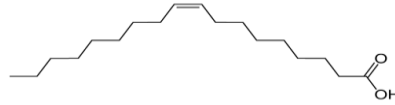
için palmitat türleri kullanılır. Böylece antioksidan özelliği olan askorbik asit ve palmitatın yağda çözünme özelliğinden faydalanılır

Stearik asit Formül: $C_{18}H_{36}O_2$



$CH_3(CH_2)_{16}COOH$ formülüne sahip bir doymuş yağ asidi çeşididir. Bitkisel ve hayvansal yağların içeriğinde genel olarak gliserid stearin halinde bulunur. Stearik asit esterleri yani stearatlar ticari olarak önemlidir. Gres yağlarının bileşiminde, boyalarda, ilaç kimyasında metalik stearatlar halinde kullanılmaktadır. Özellikle çinko stearatlar sıklıkla kozmetik sanayisinde kullanılmaktadır. Stearik asitlerin amit türevleri tekstil sanayisinde su geçirmez kumaş üretiminde kullanılır.

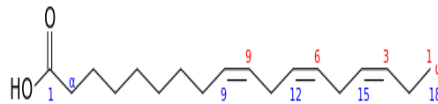
Oleik asit Formül: $C_{18}H_{34}O_2$



Açık formülü $CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$ olan oleik asit, Latince *oleum* (yağ) kelimesinden türemiştir. Çeşitli hayvansal ve bitkisel yağlarda sıklıkla bulunduğu için doğada en yaygın bulunan yağ asidi çeşididir. Kokusu yoktur ve renksizdir. Oleik asit tekli doymamış yağ asidi grubundadır ve omega-9 yağ asidi olarak da bilinir. 18:1 *cis*-9 lipit numarası ile gösterilir. Oleik asit, insan dokularında palmitik asitten sonra en fazla bulunan yağ asididir. Oleik asit en çok sabun sanayisinde kullanılır. Kullanım sırasını ilaç, tekstil ve deri sanayi izler. Tekli doymamış yağ asitlerinin yüksek tansiyona ve kalp-damar hastalıklarına karşı koruyucu olduğu yönündeki çalışmalar oleik asiti değerli kılmaktadır. Oleatlar oleik asidin tuzları ve esterleridir. Yağ asitleri biyolojik sistemlerde her zaman bulundukları şekilleriyle oluşmazlar. Bunlar yağ asitleri yerine esterleri olarak meydana gelirler. Yağların (trigliseritler), fosfolipidlerin yapısında bulunurlar. Zeytinyağında var olan trigliserit esterlerinin büyük çoğunluğunu oleik asit oluşturmaktadır. Serbest haldeki oleik asit acılaşılmaya sebebiyet verdiği için zeytinyağını yenilemeyecek hale getirir.

Alfa-linolenik asit (ALA)

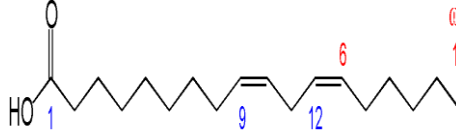
Formül: $C_{18}H_{30}O_2$



IUPAC adı 9,12,15-Oktadekatrienoik asittir. α -linolenik asit (ALA) E vitamini olarak bilinir ve 18 karbonlu, 3 tane çift bağ içeren, insan vücudunda sentezlenmediği için esansiyel olan bir yağ asididir. İlk $C=C$ çiftli bağ, 3. karbondan bulunur ve buna bağlı olarak omega 3 (ω -3) yağ asitlerinin öncüsüdür. 9-12-15 nolu karbon atomlarında çiftli bağ içeren α -linolenik asit, insan vücudu için son derece gerekli bir yağ asididir. İnsan vücudunda sentezlenemediği için esansiyeldir. Alfa-linolenik asit canlı biyokimyasında bulunan desaturaz ve elongaz enzimleri ile aktif metabolitlere dönüştürülür. Bu metabolitler yine uzun zincir yapısına sahip; eikosapentaenoik

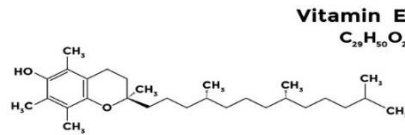
asit ve dokosaheksaenoik asittir. Bu metabolitler görme fonksiyonu ve sinir sisteminin gelişiminde büyük öneme sahiptir.

Linoleik asit Formül: $C_{18}H_{32}O_2$



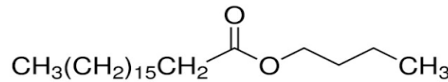
18 karbonlu bir yağ asididir. İki tane çift bağ içeren karbon atomu vardır. Çiftli bağlar cis konumundadır. 18:2 (n-6) veya 18:2 cis -9,12 olarak gösterilebilir. Latince linum "keten" + oleum "yağ" kelimesinden türetilmiştir. Ve ilk kez keten tohumlarının yağında görülmüştür. Linoleik asidin tuzu veya esteri linoleattır. Linoleik asit omega-6 yağ asidi olarak bilinir. Suda nerdeyse hiç çözünmez, ancak birçok organik çözücünde çözünür, renksizdir. İnsan vücudunda sentezlenmediği için besinler yardımıyla alınması gereken iki temel yağ asidinden biridir ve vücut onu diğerlerini yapmak için bir baz olarak kullandığı için en gerekli olanıdır.

Tokoferol Formül: $C_{29}H_{50}O_2$



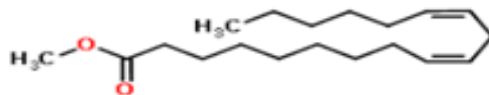
Tokoferoller antioksidan madde olduğu bilinen bu özelliği ile de hücre zarı bütünlüğünü koruyan, lipidlerde kararlılığı sağlayan maddelerdir. Yapısında tokoferol içeren yağlar daha geç bozulurlar. Birçok bitkide, tohumda ve bunların yağlarında doğal olarak bulunur. Yağda ve alkolde çözünürken suda çözünmezler. E vitamini olarak etkindirler (Çakır, 2004).

Bütıl Stearat Formül: $C_{22}H_{44}O_2$



Stearik asitin esteridir. Stearat esterleri cilde yumuşaklık ve pürüzsüzlük kazandırır. Bütıl stearat ruj üretiminde önemli bir maddedir. Stearat esterlerin düşük viskoziteye sahiptir ve rujun yapısını incelterek dudaklarda sürtünmeyi azaltır.

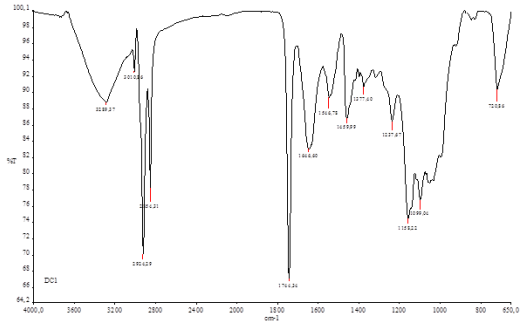
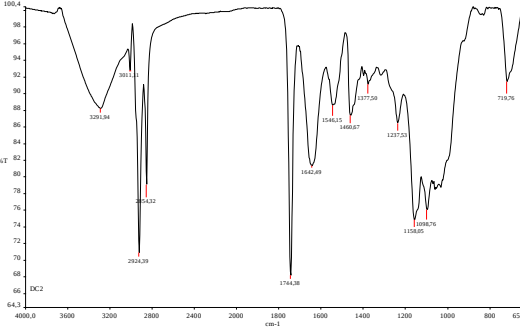
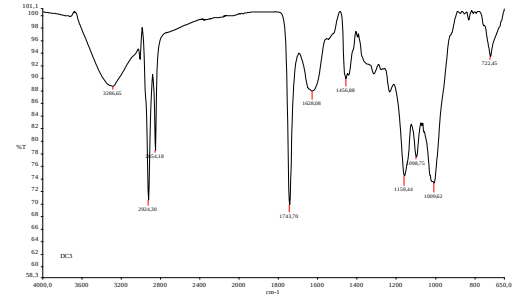
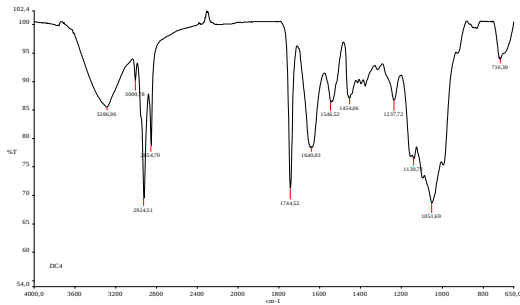
Metil Linoleat Formül: $C_{19}H_{34}O_2$



Metil linoleat, linoleik asidin metil esteridir.

3.3. FTIR analizi sonucu bulunan bileşikler ve özellikleri

Doğanşehir cevizleri FTIR sonuçları Şekil 3. de Hekimhan cevizleri FTIR sonuçları Şekil 4.de verildi.

FT-IR Grafiği	Bileşenler
DC1	 METİL LİNOLEAT DOĞAL BÜTİL STEARAT ETİL PALMİTAAT METİL ELAİDAT GC REFERANS ETİL MİRİSTAT CIS-ANDROSTERON DİMETİL AZELAT % 90-95 19-HİDROKSİ-4-ANDROSTEN-3,17-DİON DİĞİTOKSİJENİN DİĞİTOKSİN USP
DC2	 METİL LİNOLEAT DOĞAL BÜTİL STEARAT ETİL PALMİTAAT METİL ELAİDAT GC REFERANS ETİL MİRİSTAT 19-HİDROKSİ-4-ANDROSTEN-3,17-DİON CIS-ANDROSTERON HİDROKORTİZON ASETAT DİĞİTOKSİJENİN DİĞİTOKSİN USP
DC3	 METİL LİNOLEAT DOĞAL BÜTİL STEARAT ETİL PALMİTAAT METİL ELAİDAT GC REFERANS DİMETİL AZELAT %90-95 ETİL MİRİSTAT CIS-ANDROSTERON BİS(2-ETİLHEKZİL) SEBAKAT DİĞİTOKSİN USP DİĞİTOKSİJENİN
DC4	 METİL LİNOLEAT DOĞAL BÜTİL STEARAT ETİL PALMİTAAT 19-HİDROKSİ-4-ANDROSTEN-3,17-DİON HİDROKORTİZON ASETAT METİL ELAİDAT GC REFERANS KUABAİN L(-)-GLİSERALDEHİT DOĞAL OLMAYAN FORM ETİL MİRİSTAT DİĞİTOKSİN USP

Şekil 3. Doğanşehir ilçesi ceviz örneklerinin IR spektrumları

FT-IR Grafiği	Bileşenler
HC1	METİL LİNOLEAT DOĞAL BÜTİL STEARAT 19-HİDROKSİ-4-ANDROSTEN-3,17-DİON ETİL PALMİTAAT L(-)-GLİSERALDEHİT DOĞAL OLMAYAN FORM HİDROKORTİZON ASETAT METİL ELAİDAT GC REFERANS B-SİKLODEKSTRİN KUABAİN CIS-ANDROSTERON
HC2	19-HİDROKSİ-4-ANDROSTEN-3,17-DİON HİDROKORTİZON ASETAT BÜTİL STEARAT METİL LİNOLEAT DOĞAL L(-)-GLİSERALDEHİT DOĞAL OLMAYAN FORM KOENZİM Q10 KUABAİN TOMATİN DİĞİTONİN ETİL PALMİTAT
HC3	METİL LİNOLEAT DOĞAL BÜTİL STEARAT ETİL PALMİTAAT METİL ELAİDAT GC REFERANS DİMİTİL AZELAT % 90-95 ETİL MİRİSTAT CIS-ANDROSTERON ETİL LİNOLEAT BİS(2-ETİLHEKZİL) SEBAKAT DİĞİTOKSİN USP
HC4	METİL LİNOLEAT DOĞAL BÜTİL STEARAT ETİL PALMİTAAT 19-HİDROKSİ-4-ANDROSTEN-3,17-DİON HİDROKORTİZON ASETAT METİL ELAİDAT GC REFERANS KUABAİN ETİL MİRİSTAT TRİKLOROASETİK ASİT KOENZİM Q10

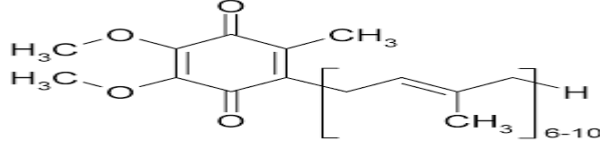
Şekil 4. Hekimhan ilçesi ceviz örneklerinin IR spektrumları

L(-)-Gliseraldehit Formül: $C_3H_6O_3$



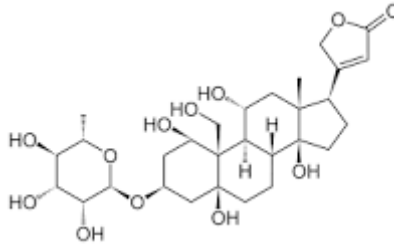
Vücudumuzda az da olsa önemi olan bileşiklerdendir. Karbonhidrat metabolizması için de yer almaktadır.

Koenzim Q10 Formül: $C_{59}H_{90}O_4$



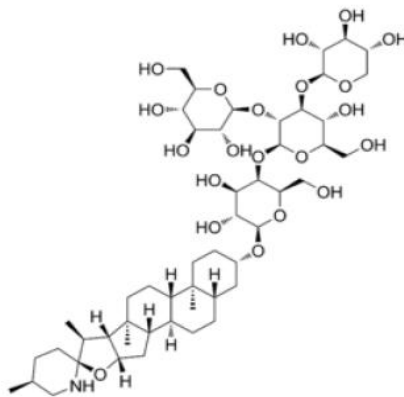
Koenzim Q₁₀ Ubiquinone olarak da bilinen, yağda çözünen vitamin benzeri bir maddedir. Hücreler arasında elektron taşıma zincirinde yer alan bir bileşendir. Son zamanlarda tavsiye edilen bir besin takviyesi olmuştur. Koenzim Q10 enzimlerle birlikte çalışarak hücreler için gerekli enerjiyi sağlayarak kaslara güç verir.

Kuabain Formül: $C_{29}H_{44}O_{12}$



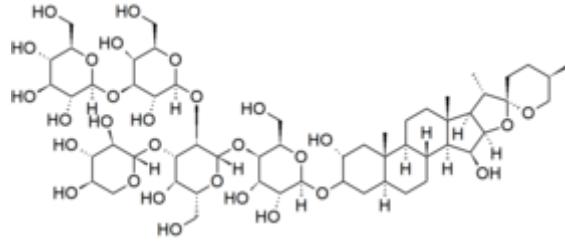
Bir kardiyak glikoziddir ve Na^+/K^+ -ATPaz enzimini inhibe eder. Her ne kadar kendisi ok zehri olarak avcılıkta kullanılmış ve ünlenmiş olsa da küçük dozlarda aritmiler ve hipotansiyon tedavisinde kullanılmaktadır.

Tomatin Formül: $C_{50}H_{83}NO_{21}$



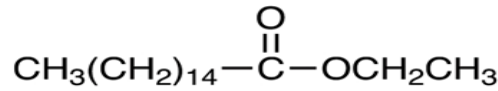
Tomatin toksik alkaloidlerdendir ve adından anlaşılacağı üzere domatesin içeriğinde bulunur. Domatesin, kanserden koruma ve kanser hastalarında tedaviye yardımcı olması amacıyla yapılan çalışmalarda, domatesin erkeklerde prostat kanserine yakalanma riskini düşürdüğü belirtilmektedir. Bu etkisinin içerisinde bulunan alfa-tomatin (α -tomatine) adlı bileşenin kansere neden olan hücrelerin üretimini baskılamasından ileri geldiği düşünülmektedir.

Digitonin Formül: C₅₆H₉₂O₂₉



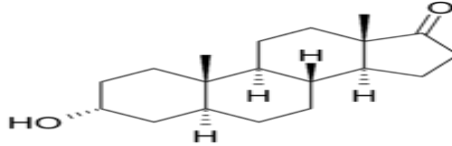
Steroid türü bir bileşiktir. Beş adet sakkarid grubu içermektedir. ihtiva eden bir steroid bileşiğidir. Digitonin yapısındaki bir glikozil grubu ile bir hidrojen atomu yer değiştirmesinden sonra oluşan bileşik yani aglikonu digitogenin bileşiğidir. Digitonin, kolesterol miktarı belirlemede çöktürücü ajanı olarak kullanılmıştır. Digitonin bileşiğinin kolesterol ile birlikte çözünmeyen kompleks oluşturduğu belirlendikten sonra karmaşık yapılardan kolesterol ayrımı ve tayini için bu çöktürme yöntemi kullanılmaktadır (Shingla, 2018).

Etil Palmitat Formül: C₁₈H₃₆O₂



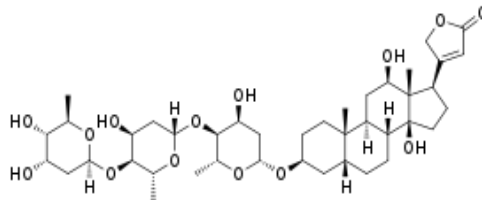
Etil palmitat, kimyasal formülü C₁₈H₃₆O₂ olan palmitik asit esteri organik bir bileşiktir. Kokusu balmumuna benzeyen renksiz bir katıdır. Kozmetik sanayisinde cilt ve saç bakım maddesi olarak kullanılır.

Cis-Androsteron Formül: C₁₉H₃₀O₂



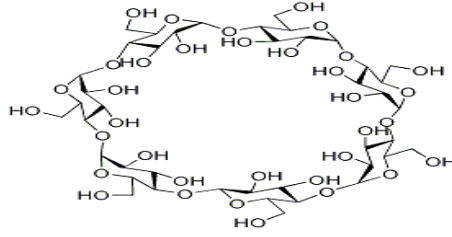
Androsteron steroid bir hormondur. Testosterondan daha az potansiyeli olan zayıf androjendir. Androsteronun genelde, testosteron hormonunun vücuttan atılmasını sağlayan testosteronun inaktif bir metabolitidir. Fakat beyne geçebilir ve beyin işlevleri üzerinde etkisi olabilen bir bileşiktir. Genel olarak vücut için çok da önemli olmadığı düşünülse de dişi fetüslerde erkekleşmeyi etkilediği yönünde görüşler vardır (Bhat ve ark., 2023)

Digitoksin Formül: C₄₁H₆₄O₁₃



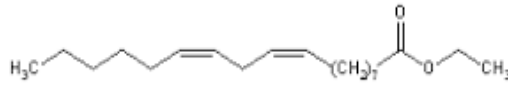
Digitoksin, kalp yetmezliği ve belirli kalp aritmi türlerinin tedavisinde kullanılan bir kardiyak glikozittir. Bu bir fitosteroiddir ve etkileri daha uzun süreli olmasına rağmen yapı ve etkileri digoksine benzer. Vücuttan böbrekler yoluyla atılan digoksinin aksine, karaciğer yoluyla atılır ve bu nedenle zayıf veya düzensiz böbrek fonksiyonu olan hastalarda kullanılabilir.

B-Siklodekstrin Formül: C₄₂H₇₀O₃₅



Siklodekstrinler glikozidik bağ ile bağlanmış glikoz ünitelerinden oluşmuştur. Yapısındaki glikoz miktarına göre isimlendirilir ve 7 glikoz ünitesinden oluştuğu için β -Siklodekstrin olarak adlandırılır. İç yüzeyleri hidrofob, dış kısımları ise hidrofil özelliktedir. Bu özellik ile çok farklı inklüzyon kompleksleri oluşturarak konuk molekülün özelliklerini değiştirebilmektedirler. Siklodekstrinler kozmetik, tarım, eczacılık, tekstil gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Etil Linoleat Formül: $C_{20}H_{36}O_2$



Etil lineleatta linoleik asitteki karboksi grubunun etanoldeki hidroksi grubu ile tepkimesiyle oluşan yağ asidi etil esteridir. Ödem azaltma özelliğine sahip olması nedeniyle kozmetik cilt ürünlerinde bulunur. Ciltte linoleik asit eksikliği nedeniyle meydana gelen olduğu ölü hücrelerin birikimini önlemektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, analiz yapılması için kullanılan ceviz numuneleri Malatya ili Hekimhan ve Doğanşehir, ilçesinden getirildi. Numuneler kabuklarıyla ve kabuktan ayrıldıktan sonra iç olarak tartılmış ve iç oranları; Hekimhan ceviz örnekleri için ortalama % 48,74, Doğanşehir ceviz örnekleri için ortalama % 49,07 bulundu. Bu sonuçlara bakıldığında iç oranlarının literatürle benzeştiği görülmektedir. Doğanşehir ilçesinde yetişen ceviz örneklerinin iç oranının daha fazla olduğu belirlendi. Ceviz örneğinden yağ eldesi için clevenger yöntemiyle sırasıyla su ve hekzan ile deneme işlemi yapıldı ancak yağ elde edilemedi. Yapılan çalışmalar incelendiğinde ceviz örnekleri için kullanılan ekstraksiyon yöntemlerinde clevenger işleminin tercih edilmediği görüldü. Ceviz örneklerinin hekzan kullanılarak mikrodalga ekstraksiyonu ile yağı elde edilmiştir. GC-MS cihazı ile yapılan analizlerde aranan yağ asitleri bulunamadı. Bunun nedeninin ekstraksiyon sonrası çözgen uzaklaştırma işleminin kapalı sistemde yapılmaması nedeniyle bileşenlerin kaybı olduğudur. Örneklerin yağ çıkarma işlemleri laboratuvar tipi soğuk pres makinesinde gerçekleştirildi. Soğuk preslemeyle ürün eldesinde organik çözücüler kullanılmadığı ve kimyasal kirlilik oluşmayacağı düşünüldüğü için tercih edildi. Hem ekonomik olması hem de içeriğindeki biyoaktif bileşikler kaybetmemesinden dolayı soğuk presle elde edilen yağlar bitkisel yağ sektörünün önemli ürünleridir. Bu yağlarda kimyasal çözücü ve yüksek sıcaklık uygulamaları olmadığı için bu yöntemle elde edilen yağlarda trans yağ asitleri ve kloropropanoller oluşumları görülmemektedir (Gürpınar G.Ç., 2013). Soğuk pres yönteminin dezavantajı ise verimin düşük olması ve ürün kalitesinin standardize edilememesidir. Coğrafi konum, ürün çeşidi, üretim tekniği gibi birçok faktör son ürünü etkilemektedir. Soğuk pres yağların raf ömrü rafine yağlara oranla daha kısa olabilmektedir. Bunun nedeni soğuk pres yağları prooksidatif bileşenleri daha fazla içerebilmesidir. Soğuk presle elde edilen yağlar ısıya karşı dayanıklı değilken, rafine yağlar daha fazla dayanıklılık göstermektedir. Diğer taraftan, rafinasyon işlemlerinde pestisit kalıntılarının, çevresel bileşenlerin ve ağır metallerin uzaklaştırılması mümkün olmaktadır (Rotkiewicz, 1999).

DC1-21, DC1-22 örneklerinin SEM-EDX cihazı ile element içeriği belirlenmiş bu sonuçlar dikkate alınarak AAS ve ICP-MS analizlerinde hangi elementlere bakılacağına karar verildi. Analiz sonuçları incelendiğinde, Doğanşehir ilçesi ceviz örneklerinin Cu, Se, K, Ca, Fe, Mn içerikleri daha yüksek bulundu. Na, Mg değeri açısından Hekimhan ilçesi ceviz örneklerinin değerleri daha yüksek iken, Zn değerleri arasında ciddi bir fark görülmemiştir. En fazla bulunan mineraller potasyum, magnezyum ve kalsiyum en az bulunan ise sodyum ve bakır elementleridir. Bu sonuçlara toprak yapısı, iklim koşulları gibi değişkenlerin neden olduğu düşünülmektedir.

Gıdalarda ağır metaller ve diğer toksik bileşiklerin bulunmaması gerekmektedir. Fakat hava, toprak ve su gibi kaynakların kirliliğinde meydana gelen artışlar tükettiğimiz gıdalarda da kirliliğe sebep olmaktadır. Ağır metallerin bulaşma kaynakları tespit edilerek bu kaynaklar temizlenmeli ve bilinçsiz tarım ilaçları kullanılmamalıdır. Bu önlemler dışında bitkisel yağ üretim yerlerine yağlı hammadde kabulü sırasında toksik madde tespiti yapılmalıdır. Çalışmamızda, analizi yapılan Al, Ag, Co, Ni, Pb elementleri hiçbir örnekte tespit edilebilir düzeyde bulunmadı. Bu da örneklerin toksik içeriği olmadığını göstermektedir.

Malatya ili önemli bir demir maden sahasındadır ve özellikle Hekimhan ilçesi bu madene çok yakındır. Bu mantıkla bakıldığında cevizlerin bu maden alanlarından ciddi bir şekilde etkilenmediği söylenebilir. İncelenen ceviz numunelerinde ağır metaller tespit edilmedi.

Lipitlerin fiziksel, kimyasal ve fizyolojik özellikleri yapılarındaki yağ asitlerinin cinsine ve miktarına bağlıdır. Doymuş yağ asitlerinin genellikle kalp-damar hastalıkları ile kilo alımına neden olduğu, doymamış yağ asitlerinin ise genellikle olumlu etkisi olduğu bilinmektedir (Çakmakçı, 2012).

Cevizin en önemli bileşenlerinden olan yağ, cevizi fonksiyonel bir gıda haline getirmiştir. Bu yağın özellikle çoklu doymamış yağ asitleri oranının fazla olması diyetlerdeki önemini iyice artırmaktadır. Ceviz yağının içeriğinde %72 oranında çoklu doymamış yağ asidi, %18 oranında tekli doymamış yağ asidi ve %10 oranında doymuş yağ asidi olduğu belirlenmiştir (Lavedrine ve ark.,1999). E-Vitamininin LDL kolesterol düzeyini koruduğu ve kalp hastalıkları geçirme riskini azalttığı belirtilmektedir (Rietjens, 2002). Cevizin α - tokoferol bileşenini de içerdiği belirtilmektedir (Reiter, 2005).

Çalışmamızda GC-MS ile ceviz yağı örneklerinin içeriği incelendiğinde tablo 6. da verilen doymuş yağ asidi olarak palmitik asit % 2,38-16,35 arasında bütün örneklerde görülürken, stearik asit %2,72 sadece bir örnekte görüldü. Doymamış yağ asitlerini daha fazla içerdiği, özellikle linoleik asit açısından zengin olduğu %10,94-35,05, ayrıca % 6,98-29,71 oleik asit ve %5,37-8,82 α -linolenik asit içeriği de tespit edildi. Ayrıca Doğanşehir ilçesine ait bir ceviz örneğinde diğer örneklerden farklı olarak %6,75 tokoferol içeriğine rastlandı. Ceviz yağı örneklerinde palmitik asit Hekimhan ceviz örneklerinde daha yüksek bulunurken, oleik asit, α -linolenik asit ve linoleik asit Doğanşehir ceviz örneklerinde daha yüksek bulundu. Düşük linoleik asit ve α -linolenik asit içerikli yağlar daha uzun raf ömrüne sahiptir ancak bu yağ asitlerinin yüksek oranlarının sağlık açısından yararları nedeni ile daha çok tercih edildiği bildirilmektedir. Yüksek linoleik asit içerikli yağların daha çabuk yanması nedeniyle kızartmalarda kullanımının sağlıksız olduğu, fakat bisküvi, kek ve ekmek gibi gıda maddelerinin üretiminde kullanılabileceği tavsiye edilmektedir. Canlı organizmalar tarafından kullanılan lipitler, yağ asidi esterleridir ya da esterleri hâline gelebilirler.

Bu çalışmada Şekil 3. ve şekil 4. de verilen FTIR analizi sonuçlarına bakıldığında neredeyse bütün örneklerde insan vücudundaki farklı işlevlerden sorumlu olan ve vücuda yüksek enerji veren ve yağ asitlerinin esterlerine rastlandı.

Fakat Hekimhan ilçesinin bazı örneklerinde, kuabain ve koenzim Q₁₀, Doğanşehir ilçesine ait bazı örneklerde digitoksin tespit edildi. Günümüzde tavsiye edilen bir besin takviyesi olan. Koenzim Q₁₀ enzimlerle birlikte çalışarak hücreler için gerekli enerjiyi sağlayarak kaslara güç verir. Kuabain zehir olarak kullanılmış olmasına rağmen az miktarda alındığında aritmiler ve hipotansiyon tedavisinde kullanılmaktadır. Digitoksin, kalp yetmezliği ve belirli kalp aritmi türlerinin tedavisinde kullanılan bir kardiyak glikozittir. Vücuttan karaciğer yoluyla atılır ve bu nedenle zayıf veya düzensiz böbrek fonksiyonu olan hastalarda kullanılabilir.

Ayrıca analiz sonuçları genel olarak incelendiğinde; 2021 yılına ait örnekler kabuklu olarak 1 yıl saklanıp analiz edildiğinde sonuçlarda azalma olmadığı görüldü. 2022 yılı mahsülü sonuçları ile kıyaslandığında aradaki farklılıkların iklim koşulları, toprak verimliliği, ilaç ve gübre kullanımı, hasat zamanı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Ceviz tıbbi tedavilerin yanında destekleyici olması ve de diyet açısından önemli yere sahip olması fonksiyonel bir gıda olmasını desteklemektedir. Bunun sonucunda ceviz tüketiminin önemi daha fazla duyurulmalı ve tüketimin arttırılması yönünde çalışılmalıdır. Bu amaçla birçok gıdanın üretiminde ceviz kullanımı ile toplumun tüketim alışkanlığını değiştirmede etkili olabileceği düşünülmektedir. Ceviz üretimi yapan çiftçiler desteklenmelidir.

Kaynakça

- Akça, Y., Sutyemez, M., Ozgen, M., Tuzen, M., Mendil, D., 2016. Determination of chemical properties of walnut (*Juglans regia* L.) cultivars grown in Turkey. *Asian Journal of Chemistry*, 17(1): 548–552.
- Aytaç, S., Karaca, E., 2007. Yağ bitkilerinde yağ asitleri kompozisyonu üzerine etki eden faktörler. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 123-131.
- Bhat, A.A., Shakeel, A., Rafiq, S., Farooq, I., Malik, A.Q., Alghuthami, M.E., Alharthi, S., Qanash, H., Alharthy, S.A., 2023. *Juglans regia* Linn.: A Natural Repository of Vital Phytochemical and Pharmacological Compounds. *Life (Basel, Switzerland)*, 13(2): 380.
- Çakır, M.Ü., Bayrak, A., 2004. Ekstraksiyon ve presyon yöntemleriyle elde edilen ayçiçek ve mısırözü yağlarının tokoferol ve tokotrienol içeriklerinin hplc ile tayini. *Gıda*, 29(5): 329-334.
- Çakmakçı S.K.D., 2012. Yağ asitlerinin sağlık ve beslenme üzerine etkilerine genel bir bakış. *Akademik Gıda*, 103-113.
- Demirci, M., 2010. Gıda Kimyası. Gıda Teknoloji Derneği Yayınları, Tekirdağ.
- Gogus, U., Smith C., 2010. n-3 Omega fatty acids: a review of current knowledge. *International Journal of Food Science & Technology*, 45: 417–436.
- Gürpınar G.Ç., Geçgel, Ü., Taşan, M., Ay, O., Geçgel, Ü., 2013. Bitkisel yağ sanayinde ekstraksiyon tesislerinde kullanılan heksanın çevre üzerine etkileri. 4. *Ekoloji Sempozyum*, 2-4 Mayıs, Tekirdağ.
- Holub B.J., 2002. Clinical nutrition: 4. Omega-3 fatty acids in cardiovascular care. *CMAJ: Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne*, 166(5): 608–615.
- Lavedrine, F., Zmirou D., Ravel, A., 1999. Cholesterol and Walnut Consumption: A Cross-Sectional Survey in France. *Preventive Medicine*, 28: 333-339.
- Mol Tokay S., 2008. Balık yağı tüketimi ve insan sağlığı üzerine etkileri. *Journal of fisheriessciences.com*, 2: 601-607.

- Muller, E.I., Muller, C.C., Souza, J.P., Muller, A.L., Enders, M.S., Doneda, M., ... Anschau, K.F., 2017. Green microwave-assisted wet digestion method of carbohydrate-rich foods with hydrogen peroxide using single reaction chamber and further elemental determination using ICP-OES and ICP-MS. *Microchemical Journal*, 134: 257-261.
- Reiter, R.J., Manchester, L.C., Tan, X., 2005. Melatonin in Walnuts: influence on levels of melatonin and total antioxidant capacity of blood. *Nutrition*, 21: 920-924.
- Rietjens, I.M., Boersma, M.G., Haan, L., Spenkelink, B., Awad, H.M., Cnubben, N.H., van Zanden, J.J., Woude, H., Alink, G.M., Koeman, J.H., 2002. The pro-oxidant chemistry of the natural antioxidants vitamin C, vitamin E, carotenoids and flavonoids. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 11(3-4): 321-333.
- Rotkiewicz, D., Konopka, I., Zylik, S., 1999. State of works on the rapeseed oil processing optimalization. I. *Oil obtaining. Rosliny Oleiste/Oilseed Crops*, 151-168.
- Samur, G., 2006. Kalp Damar Hastalıklarında Beslenme. Ankara: Sinem Matbaacılık
- Semma, M., 2002. Trans fatty acids: Properties. *Journal of Health Science*, 7-13.
- Şen, S., 1986. Ceviz Yetiştiriciliği. Samsun: Eser Matbaası.
- Shingla, M., Mehta, B., 2018. Cholesterol and its oxidation products: occurrence and analysis in milk and milk products. *Health, Animal Science, and Food Safety*, 4: 13-39.



An Alternative Evaluation of the Integral of Bessel-Gauss Beam

Hüsnü Deniz BASDEMİR^{1*}, Fuat ERDEN²

¹ Sivas University of Science and Technology, Faculty of Engineering and Naturel Sciences & Faculty of Aviation and Space Sciences, Sivas

² Sivas University of Science and Technology, Faculty of Aviation and Space Sciences, Sivas
Sorumlu Yazar (Corresponding author): denizbasdemir@gmail.com

Abstract

The integral solution used to obtain the Bessel-Gauss beam is revisited using the analytical method. It is seen that an alternative form of representation of the Bessel-Gauss beam is achieved other than in the literature.

Review Article

Article History

Received : 28.05.2025

Accepted: 30.06.2025

Keywords

Hankel Transforms,
Bessel Functions,
Convolution Theorem

1. Introduction

Unlike most beams, which are the solutions of paraxial wave equations, such as the Gauss beam, the Bessel beam is a solution of the Helmholtz equation (Yalçın, 2010). It is possible to reduce the Helmholtz equation to a paraxial wave equation for optical wave propagation analysis (Durnin, 1987). Bessel beam has a non-diffracting property (Yalçın, 2019). This means that when it propagates, it does not spread in the transverse plane. In addition, the Bessel beam has another essential feature, which is self-healing (Chu, 2012). This property is related to subcomponents where the Bessel beam is composed of two oppositely propagating Hankel beams (Basdemir, 2024). Bessel beam has an infinite amount of energy in the theory. However, to generate a Bessel beam experimentally, optical elements such as axicons are used (Brzobohatý et al., 2008; Williams and Pendry, 2005). This process limits its energy. Therefore, new beam types called Bessel-Gauss are revealed. Theoretically, the Bessel-Gauss beam is obtained by integrating the Huygens-Fresnel integral at $z = 0$ plane with an expression including the Bessel expression (Gori et al. 1987). They used the expression 6.615, which is given in (Gradshteyn and Ryzhik, 2007). In the evaluated Bessel-Gauss beam expression, when z is set to zero, the field distribution in the z -axis yields zero value. This can be connected to the deficiency of the expression 6.615 Gradshteyn and Ryzhik, 2007). In this study, an alternative result is derived using the Hankel transform and convolution property instead of this expression.

2. Theory

The Fresnel diffraction integral expression, which is related to the Bessel-Gauss, is written as

$$\int_0^\infty e^{-\alpha x} J_\nu(2\beta\sqrt{x}) J_\nu(2\gamma\sqrt{x}) dx = \frac{1}{\alpha} I_\nu\left(\frac{2\beta\gamma}{\alpha}\right) \exp\left(-\frac{\beta^2+\gamma^2}{\alpha}\right) \quad (1)$$

where α , β and γ are possible complex parameters for any choice and I_ν is the first kind modified Bessel function given in (Gradshteyn and Ryzhik 2007). The new variables can be defined as

$$\sqrt{x} = u, \quad (2)$$

$$x = u^2, \quad (3)$$

and

$$dx = 2u du \quad (4)$$

for evaluation of the Eq. (1). Equation (1) is rewritten as

$$I = 2 \int_0^\infty e^{-\alpha u^2} J_\nu(2\beta u) J_\nu(2\gamma u) u du \quad (5)$$

taking into account Eq. (2), (3), and (4). The main idea, which is the evaluation of Eq. (1), is based on the Hankel transform and convolutional properties. Let $f(x)$ be a function defined for $x \geq 0$. The ν th order Hankel transform of $f(x)$ is defined as

$$H_\nu\{f(x)\} \equiv \int_0^\infty x f(x) J_\nu(sx) dx \quad (6)$$

from a reference book (C. A. Balanis 2012). The integral I is divided into two sub-integrals. The first part is written as

$$II = \int_0^\infty J_\nu(2\beta u) e^{-\alpha u^2} u du \quad (7)$$

according to the Hankel transform. The variables have to be changed for evaluation of the Eq. (7). The new variables are defined as

$$u^2 = x, \quad (8)$$

$$u = \sqrt{x}, \quad (9)$$

and

$$2u du = dx. \quad (10)$$

which are related with the Eq. (7). The Eq. (7) is rearranged as

$$II = \frac{1}{2} \int_0^\infty J_\nu(2\beta\sqrt{x}) e^{-\alpha x} dx \quad (11)$$

with using Eq. (8), Eq. (9), and Eq. (10). The integral expression can be written

$$\int_0^\infty e^{-\alpha x} J_\nu(\beta\sqrt{x}) dx = \frac{1}{\alpha} e^{-\frac{\beta^2}{4\alpha}} \quad (12)$$

from the Ref. (Gradshteyn and Ryzhik 2007) where the expression number is 6.614. When Eq. (12) is taken into account, Eq. (11) is evaluated as

$$II = \frac{1}{2\alpha} e^{-\frac{\beta^2}{4\alpha}}. \quad (13)$$

The second part of the Eq. (5) is written as

$$III = \int_0^\infty J_\nu(2\beta u) J_\nu(2\gamma u) u du \quad (14)$$

according to the Hankel transform (C. A. Balanis 2012). The integral expression which is used for the evaluation of the Eq. (14) is given as

$$\int_0^\infty k J_n(ka) J_n(kb) dk = \frac{1}{a} \delta(b - a) \quad (15)$$

from the Ref. (Gradshteyn and Ryzhik 2007), the expression number is 6.512-8. The evaluated expression of the Eq. (14) is written as

$$III = \frac{1}{2\gamma} \delta(2\beta - 2\gamma) \quad (16)$$

where $\delta(x)$ is the direct delta function. The final case of the Eq. (5) can be found as

$$I = 2(II * III) \quad (17)$$

where $*$ is the convolutional operation (C. A. Balanis 2012). Convolutional integral is written as

$$I = 2 \int_{-\infty}^\infty \frac{1}{2\gamma} \delta(2\tau - 2\gamma) \frac{1}{2\alpha} e^{-\frac{(\beta-\tau)^2}{\alpha}} d\tau. \quad (18)$$

The evaluation of the Eq. (18) is possible by using the variable transformation. The new variables are defined as

$$2\tau - 2\gamma = u, \quad (19)$$

$$\tau = \frac{u+2\gamma}{2}, \quad (20)$$

and

$$d\tau = \frac{du}{2}. \quad (21)$$

The new form of the Eq. (18) is written as

$$I = \frac{1}{4\gamma\alpha} \int_{-\infty}^\infty \delta(u) e^{-\frac{\left(\frac{2\beta-u-2\gamma}{2}\right)^2}{\alpha}} du \quad (22)$$

by using Eq. (19), (20) and (21). Hence, the ultimate form of the Eq. (22) is found as

$$I = \frac{1}{4\gamma\alpha} e^{-\frac{(\beta-\gamma)^2}{\alpha}} \quad (23)$$

by inserting the $u = 0$ instead of u in Eq. (22). As can be seen from Eq. (23), the result is not the same as the Eq. (1) which is given (Gradshteyn and Ryzhik, 2007).

3. Conclusions

In this study, an integral solution used to obtain the Bessel-Gauss beam was revisited. Hankel transform and convolutional theorem were used to evaluate the integral. The reached solution of Bessel-Gauss beam expression from the analytical calculation differs from what is familiar in the literature. This alternative expression does not return the zero value when z is set to zero. Therefore, the derived form may be used to analyze the Bessel-Gauss beam for different optical propagation or scattering scenarios.

References

- Balanis, C.A., 2012. Advanced engineering electromagnetics: second edition. Wiley, NY.
- Basdemir, H.D., 2024. Diffraction of a pseudo nondiffracting Bessel beam by a circular perfect electromagnetic conductor disk. *Journal of the Optical Society of America A*. 41.

- Brzobohatý, O., Cižmár, T., Zemánek, P., 2008. High quality quasi-Bessel beam generated by round-tip axicon. *Opt Express*. 16.
- Chu, X., 2012. Analytical study on the self-healing property of Bessel beam. *European Physical Journal D*, 66.
- Durnin, J., 1987. Exact solutions for nondiffracting beams I The scalar theory. *Journal of the Optical Society of America A*. 4.
- Gori, F., Guattari, G., Padovani, C., 1987. Bessel-Gauss beams. *Opt. Commun*, 64.
- Gradshteyn, I.S. and Ryzhik, I.M., 2007. Table of integrals, series, and products: Seventh edition. AcademicPress, Amsterdam.
- Williams, W.B., Pendry, J.B., 2005. Generating Bessel beams by use of localized modes. *Journal of the Optical Society of America A*. 22.
- Yalçın, U., 2010. Gauss ışınlarının saçılmasının sınır kırınım dalgası teorisi ile incelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 15.
- Yalçın, U., 2019. Sınır kırınım dalgası teorisi ile yarım düzlemden bessel ışınlarının kırınımı. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24.



Alternative Approach to The Line Integral Representations of Fringe Waves

Hüsnü Deniz BASDEMİR^{1*}

¹ Sivas University of Science and Technology, Faculty of Engineering and Naturel Sciences & Faculty of Aviation and Space Sciences, Sivas
Sorumlu Yazar (Corresponding author): denizbasdemir@gmail.com

Abstract

In this paper, the line integral representations of fringe field expressions are derived analytically and generalized using the unit vectors of the related edge contours. The derived expressions are applied to the perfectly electric conducting (PEC) parabolic reflector geometry to investigate the exact diffracted fields.

Review Article

Article History

Received : 28.05.2025

Accepted: 30.06.2025

Keywords

Fringe Fields,
Parabolic Reflector,
Diffraction

1. Introduction

Young first proposed the physical meaning of the scattered fields from a knife edge by superpositioning the incident and edge-diffracted fields (Rubinowicz, 1957). Although his valuable idea was allowed to show the interference characteristic of the scattered fields, he could not base it on the mathematical basis of this explanation. Therefore, this proposal was dominated by the Fresnel's theory of diffraction. Later on, Maggi and Rubinowicz independently derived the mathematical expressions, which are realized in Young's idea using Kirchoff's integral formula (Maggi, 1888; Rubinowicz, 1917). The obtained line integrals are the reduction forms of the surface integrals to the line integrals, and the evaluation of these integrals directly gives rise to the edge-diffracted fields. This theory leads to investigating the diffracted fields independently from the scattered fields. However, Ganci's works on the half plane showed that the solution of the Maggi-Rubinowicz (boundary diffraction wave, BDW) gives an approximate solution like physical optics (PO) (Ganci, 1996; Ganci, 1995). PO is a high-frequency asymptotic technique, and it is widely used in the literature to investigate scattering problems (Guan et al., 2011; Hamel et al., 2012; Huang et al., 2011; Lee et al., 2008; Letrou and Boag, 2012; Roudstein and Boag, 2011; Wu et al., 2011). Although it is accurate for analyzing the scattering from large metallic objects, PO gives wrong diffracted fields at the edges. The second defeat of the PO is the definition of surface currents. The definition of the surface currents doesn't include the contributions of the shadow parts. The physical theory of diffraction (PTD) is one of the well-known integral-based techniques suggested by Ufimtsev in the 1950s (Ufimtsev, 2006). PTD method corrects the defeats of the PO by defining additional correction currents. These currents are called fringe currents.

Ufimtsev also improved this theory by reducing his surface integrals to reduce the edge point contributions, but he did it indirectly, using heuristic considerations (Ufimtsev, 1962). Mitzner and Michaeli also independently used this surface to edge reduction technique (Mitzner, 1974; Michaeli, 1984). The result of Mitzner's work was formulated in terms of the incremental length diffraction coefficients (ILDC), and Michaeli's work was formulated in terms of the equivalent edge currents (EEC) for wedge like solutions. Both approaches were compared by Knott (Knott, 1985). Michaeli's expressions are finite for all directions of incidence and observation for edges. The observation point is described in the oblique incidence with two different angles. The first one, β is related to the edge contour, and the second one, φ is associated with the plane of the perpendicular incidence. The scattering angle β was taken differently than the incident angle by Michaeli for the oblique incidence. Hence, the equivalent edge currents were improved for the observation points out of the Keller's cone. The angle β is the function of the integral variable, but he did not modify the φ angle. According to Michaeli's equivalent edge current method, the angle of φ is not a function of the integration variable. However, the φ angle takes different values at the discontinuity of the edges than the values on the edges. Because of this, the method gives wrong diffracted fields at the corners. Umul has overcome this corner problem by defining the exact form of the equivalent edge currents using the axioms of the modified theory of physical optics (MTPO) (Umul 2009; Umul 2008a). This study will obtain and generalize a rigorous form of the fringe field expressions using the unit vectors. The obtained expressions will be applied to the parabolic reflector geometry, which has the perfectly electric conducting (PEC) boundary condition and is fed by the H-polarized magnetic line source. The method, which is based on the MTPO axioms, will be applied. Many researchers have studied curved surface diffraction. The scattering of the electromagnetic fields from the curved surfaces was studied by Büyükaksoy and Uzgören (Bueyuekaksoy and Uzgoeren, 1987) and Akduman and Büyükaksoy (Akduman and Büyükaksoy, 1995). Umul investigated the scattering of a line source from a cylindrical parabolic impedance reflector (Umul, 2008b). Yalcin investigated scattering from a cylindrical reflector fed by an offset electrical line source (Yalçin, 2007).

The time factor of $\exp(j\omega t)$ is assumed and suppressed throughout the paper where ω is the angular frequency.

2. Derivation of the Fringe Fields

First, the PO diffraction field will be obtained for the half plane problem. The geometry of the half plane is given in the Fig. 1. The half plane is lying on the surface $\{x \in [0, \infty], y = 0, z \in [-\infty, \infty]\}$. P and Q are the arbitrary observation and integration points, respectively.

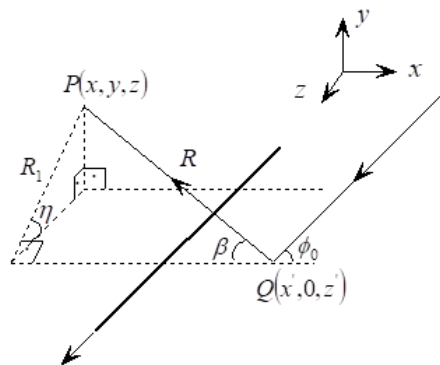


Figure 1. The geometry of the half plane

The incident field can be given as

$$\vec{H}_i = \vec{e}_z H_0 e^{jk(x \cos \varphi_0 + y \sin \varphi_0)} \quad (1)$$

for the magnetic field polarization. PO current is defined as

$$\vec{J}_{PO} = 2\vec{n} \times \vec{H}_i|_s \quad (2)$$

where $\vec{n}$ is the unit normal vector of the half plane and equal to $\vec{e}_y$. Magnetic vector potential is written as

$$\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \iint_S \vec{J}_{PO} \frac{e^{-jkR}}{R} dS'. \quad (3)$$

The connection between the magnetic vector potential and the scattered magnetic field can be satisfied by

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times \vec{A} \quad (4)$$

PO current is written as

$$\vec{J}_{PO}|_s = \vec{e}_x 2H_0 e^{jkx' \cos \varphi_0} \quad (5)$$

with using the Eq. (1) and Eq. (2). Diffraction integral can be composed as

$$\vec{H} = \frac{H_0}{2\pi} \int_{z'=-\infty}^{\infty} \int_{x'=0}^{\infty} e^{jkx' \cos \varphi_0} \nabla \times \left(\vec{e}_x \frac{e^{-jkR}}{R} \right) dx' dz' \quad (6)$$

with using the Eq. (3), Eq. (4), and Eq. (5) where R is the ray path and equal to $[(x - x')^2 + y^2 + (z - z')^2]^{1/2}$. The curl operation in the Eq. (6) is given as

$$\nabla \times \left(\vec{e}_x \frac{e^{-jkR}}{R} \right) = -\vec{e}_y \frac{jk(z-z')}{R} \frac{e^{-jkR}}{R} + \vec{e}_z jk \frac{y}{R} \frac{e^{-jkR}}{R} \quad (7a)$$

and from the Fig. 1 Eq. (7a) is decomposed as

$$\nabla \times \left(\vec{e}_x \frac{e^{-jkR}}{R} \right) = -\vec{e}_y jk \cos \eta \sin \beta \frac{e^{-jkR}}{R} + \vec{e}_z jk \sin \eta \sin \beta \frac{e^{-jkR}}{R} \quad (7b)$$

where $\cos \eta = \frac{z-z'}{R_1}$, $\sin \beta = \frac{R_1}{R}$ and $\sin \eta = \frac{y}{R_1}$ respectively. Hence, Eq. (6) is decomposed as

$$\vec{H} = \frac{H_0}{2\pi} \int_{z'=-\infty}^{\infty} \int_{x'=0}^{\infty} e^{jkx' \cos \varphi_0} (-\vec{e}_y jk \cos \eta \sin \beta + \vec{e}_z \sin \eta \sin \beta) \frac{e^{-jkR}}{R} dx' dz' \quad (8)$$

according to the Eq. (7b). x' part of the Eq. (8) can be taken using the well-known edge point technique. The edge point technique is given

$$\int_a^{\infty} f(x) e^{-jk g(x)} dx = \frac{1}{jk} f(a) \frac{1}{g'(a)} e^{-jk g(a)}. \quad (9)$$

The phase function of the diffraction integral is written as

$$\psi = x' \cos \varphi_0 - R \quad (10)$$

where the first derivative ψ' is equal to $\cos \varphi_0 + \frac{x-x'}{R}$. The amplitude function is written as

$$f(x) = \frac{\cos \eta \sin \beta}{R}. \quad (11)$$

At the $x' = 0$ point the phase function and its derivative takes the form as

$$\psi = R_e \quad (12a)$$

and

$$\psi' = \cos\varphi_0 - \cos\beta_e \quad (12b)$$

where R_e is the ray path at the $x' = 0$ and equal to $[\rho^2 + (z - z')^2]^{1/2}$. The amplitude function takes the form as

$$f(x' = 0) = \frac{\cos\eta \sin\beta_e}{R_e}. \quad (13)$$

Hence, the diffraction integral takes the form as

$$\vec{H} = \frac{H_0}{2\pi} \int_{z'=-\infty}^{\infty} (-\vec{e}_y \cos\eta \sin\beta_e + \vec{e}_z \sin\eta \sin\beta_e) \frac{1}{\cos\varphi_0 - \cos\beta_e} \frac{e^{-jkR_e}}{R_e} dz' \quad (14)$$

using Eq. (12a), (12b), and Eq. (13). The stationary phase method can be used to evaluate the z' part of the diffraction integral. The phase function of the integral is written as

$$\psi = R_e \quad (15)$$

where the first derivative of the phase function is equal to $-\frac{z-z'}{R_e}$. The stationary phase point can be found by equating the first derivative of the phase function to zero. Then, the stationary phase point is found as

$$z_s = z. \quad (16)$$

At the stationary phase points η and β_e values are equal to $\frac{\pi}{2}$ and $\pi - \varphi$ respectively. The second derivative of the phase function is written as

$$\psi'' = -\frac{-R_e^2 + (z-z')^2}{R_e^3} \quad (17)$$

and it is equal to $\frac{1}{R_e}$ at the stationary phase point. The amplitude function can be written as

$$f(z' = z) = \frac{\sin\varphi_0}{\cos\varphi_0 + \cos\varphi} \frac{1}{\rho} \quad (18)$$

at the stationary phase point. Hence, PO diffracted magnetic field is written as

$$\vec{H} = \vec{e}_z \frac{H_0}{\sqrt{2\pi}} e^{-j\frac{\pi}{4}} \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi + \cos\varphi_0} \frac{e^{-jk\rho}}{\sqrt{k\rho}}. \quad (19)$$

The exact diffracted field from the half plane is written as

$$\vec{H}_d = -\vec{e}_z H_0 \frac{e^{-j\frac{\pi}{4}}}{2\sqrt{2\pi}} \left(\frac{1}{\cos\frac{\varphi-\varphi_0}{2}} + \frac{1}{\cos\frac{\varphi+\varphi_0}{2}} \right) \frac{e^{-jk\rho}}{\sqrt{k\rho}}. \quad (20)$$

Equation (20) is rearranged as

$$\vec{H}_d = -\vec{e}_z H_0 \frac{e^{-j\frac{\pi}{4}}}{\sqrt{2\pi}} \frac{2 \cos\frac{\varphi}{2} \cos\frac{\varphi_0}{2}}{\cos\varphi + \cos\varphi_0} \frac{e^{-jk\rho}}{\sqrt{k\rho}}. \quad (21)$$

The difference between the exact diffracted field and the PO diffracted field can be found as

$$\vec{H}_f = -\vec{e}_z \frac{e^{-j\frac{\pi}{4}}}{\sqrt{2\pi}} \frac{2 \cos\frac{\varphi}{2} \cos\frac{\varphi_0}{2} - \sin\varphi}{\cos\varphi + \cos\varphi_0} \frac{e^{-jk\rho}}{\sqrt{k\rho}} \quad (22)$$

where $\vec{H}_f$ is found to be a fringe field. A new coordinate system and other related angles are given in Fig. 2 to generalize the magnetic fringe current.

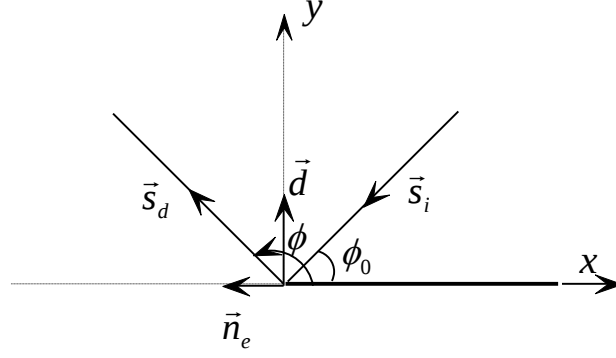


Figure 2. The geometry of the related angles

The following relations are written

$$\cos \varphi = -\vec{s}_d \cdot \vec{n}_e, \sin \varphi = \vec{s}_d \cdot \vec{d}, \quad (23a)$$

$$\cos \varphi_0 = \vec{s}_i \cdot \vec{n}_e \quad (23b)$$

and

$$\cos \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 - \vec{s}_d \cdot \vec{n}_e} \quad (24a)$$

$$\cos \frac{\varphi_0}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \vec{s}_i \cdot \vec{n}_e} \quad (24b)$$

from the kinds of direction vectors where $\vec{n}_e$ is the vector that is outwards from the edge in the direction of the tangent of the surface. The expression of the fringe field is found as

$$\vec{H}_f = -\vec{e}_z \frac{e^{-j\frac{\pi}{4}}}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sqrt{1+\vec{s}_i \cdot \vec{n}_e} \sqrt{1-\vec{s}_d \cdot \vec{n}_e} - \vec{s}_d \cdot \vec{d}}{(\vec{s}_i - \vec{s}_d) \cdot \vec{n}_e} \frac{e^{-jk\rho}}{\sqrt{k\rho}} \quad (25)$$

in terms of the direction vector. Hence, generalized magnetic fringe fields integral expression is defined as

$$\vec{H}_f = -\vec{e}_z \frac{1}{2\pi} \int_C H_i(Q_e) \frac{\sqrt{1+\vec{s}_i \cdot \vec{n}_e} \sqrt{1-\vec{s}_d \cdot \vec{n}_e} - \vec{s}_d \cdot \vec{d}}{(\vec{s}_i - \vec{s}_d) \cdot \vec{n}_e} \frac{e^{-jkR_e}}{R_e} dl \quad (26)$$

3. Application

The geometry of the problem is presented in Fig. 3 where φ' is the angle of incidence, ρ is the distance between the source and observation points, ρ' is the distance between the source and the reflector, $\vec{n}$ is the unit normal vector, R is the ray path and P , Q are the observation and reflection points, respectively. The angle between $\vec{n}$ and ρ' is equal to $\frac{\varphi'}{2}$. f is the focal length of the PEC reflector. The PEC cylindrical reflector is lying between the angles $-\varphi_0$ and φ_0 .

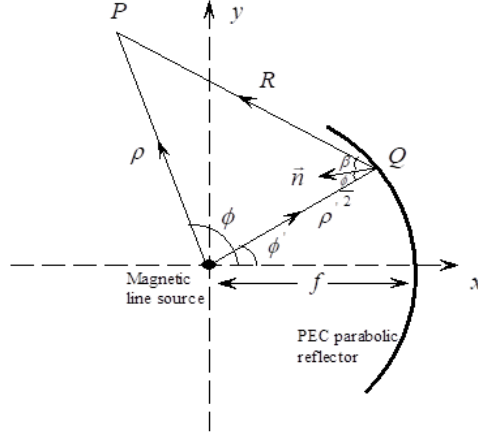


Figure 3. The geometry of the parabolic reflector, which is illuminated by the magnetic line source

As can be seen from Fig. 3, the parabolic reflector is fed by the magnetic line source, which is defined as

$$\vec{H}_i = \vec{e}_z I_m \frac{e^{-jk\rho}}{\sqrt{k\rho}} \quad (27)$$

where I_m is the complex amplitude factor. PO electric current can be written directly

$$\vec{J}_{PO} = 2 \left(\cos \frac{\varphi'}{2} \vec{e}_\varphi + \sin \frac{\varphi'}{2} \vec{e}_\rho \right) I_m \frac{e^{-jk\rho'}}{\sqrt{k\rho'}} \quad (28)$$

where $\vec{n}$ is the unit normal vector which is defined in the Eq. (2) and equal to $-\cos \frac{\varphi'}{2} \vec{e}_\rho + \sin \frac{\varphi'}{2} \vec{e}_\varphi$ for the problem geometry. The scattered magnetic field is written as

$$\vec{H}_{PO} = \frac{I_m}{2\pi} \iint_{S'} \nabla \times \left(\vec{e}_\varphi \cos \frac{\varphi'}{2} \frac{e^{-jkR}}{R} + \vec{e}_\rho \sin \frac{\varphi'}{2} \frac{e^{-jkR}}{R} \right) \frac{e^{-jk\rho'}}{\sqrt{k\rho'}} dS' \quad (29)$$

from expressions of the Eq. (3), (4), and Eq. (27). R is the ray path and equal to $\left[\rho^2 + \rho'^2 - 2\rho\rho' \cos(\varphi - \varphi') + (z - z')^2 \right]^{1/2}$ where ρ' is equal to $\frac{f}{\cos^2 \frac{\varphi'}{2}}$. The curl operation of the Eq. (29) is written as

$$\frac{1}{\rho} \left(\vec{e}_z \left(\cos \frac{\varphi'}{2} \frac{e^{-jkR}}{R} - \cos \frac{\varphi'}{2} jk \frac{e^{-jkR}}{R} \frac{\partial R}{\partial \rho} + \sin \frac{\varphi'}{2} jk \frac{e^{-jkR}}{R} \frac{\partial R}{\partial \varphi} \right) \right) \quad (30)$$

where the derivatives of the ray path according to the ρ and φ are equal to $\frac{\rho - \rho' \cos(\varphi - \varphi')}{R}$ and $\frac{\rho \rho' \sin(\varphi - \varphi')}{R}$ respectively. The angle equalities of the derivative values can be written as

$$\frac{\partial R}{\partial \rho} = \cos \left(\varphi - \frac{\varphi'}{2} + \beta \right) \quad (31a)$$

and

$$\frac{\partial R}{\partial \varphi} = \sin \left(\varphi - \frac{\varphi'}{2} + \beta \right) \quad (31b)$$

from Fig. 3. The angle equalities are inserted into Eq. (30), and the rearranged form of Eq. (30) is written as

$$\vec{e}_z \left\{ \frac{e^{-jkR}}{R} \left(\frac{1}{\rho} \cos \frac{\varphi'}{2} + jk \cos(\varphi - \varphi' + \beta) \right) \right\} \quad (32)$$

to be the end of the curl operation. The Eq. (29) is rewritten as

$$\vec{H}_{PO} = \vec{e}_z \frac{I_m}{2\pi} \int_{z'=-\infty}^{\infty} \int_{\varphi'=-\varphi_0}^{\varphi_0} \frac{e^{-jk\rho'}}{\sqrt{k\rho'}} \left(\frac{1}{\rho} \cos \frac{\varphi'}{2} + jk \cos(\varphi - \varphi' + \varphi) \right) \frac{e^{-jkR}}{R} \rho' d\varphi' dz' \quad (33)$$

with using Eq. (29) and Eq. (32). The z' part of the integral can be eliminated

$$\int_c e^{-jkR_1 \alpha} d\alpha = \frac{\pi}{j} H_0^{(2)}(kR_1) \quad (34)$$

where $z - z' = R_1 \sin \alpha$ and $R = [R_1^2 + (z - z')^2]^{1/2}$. Hence, Eq. (33) is written as

$$\vec{H}_{PO} = \vec{e}_z \frac{I_m}{2j} \int_{\varphi'=-\varphi_0}^{\varphi_0} \frac{e^{-jk\rho'}}{\sqrt{k\rho'}} \left(\frac{1}{\rho} \cos \frac{\varphi'}{2} + jk \cos(\varphi - \varphi' + \beta) \right) H_0^{(2)}(kR_1) \rho' d\varphi' \quad (35)$$

for Eq. (34). The effect of the edges of the parabolic reflector can be found by applying the fringe field expression. The geometry of the diffracted field is given in the Fig. 4.

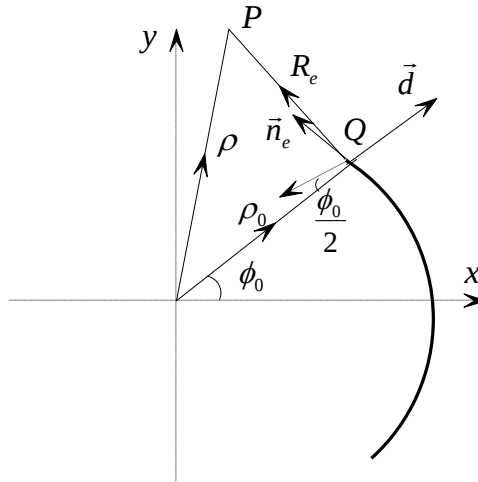


Figure 4. The geometry of the diffracted field

The related expressions are defined as

$$\vec{s}_i = \vec{d} \cos \frac{\varphi_0}{2} + \vec{n}_e \sin \frac{\varphi_0}{2} \quad (36)$$

and

$$\vec{s}_d = \vec{n}_e \cos \beta + \vec{d} \sin \beta \sin \eta \quad (37)$$

where $\vec{d} = \vec{e}_\rho$ and $\vec{n}_e = \vec{e}_\varphi$ for the upper edge. When the Eq. (36) and Eq. (37) are inserted to the Eq. (26), the fringe field expression is written as

$$\vec{H}_f^u = -\vec{e}_z \frac{1}{2\pi} \int_{z'=-\infty}^{\infty} I_m \frac{e^{-jk\rho_0}}{\sqrt{k\rho_0}} \frac{\sqrt{1 + \sin \frac{\varphi_0}{2}} \sqrt{1 - \cos \beta} - \sin \beta \sin \eta}{\sin \frac{\varphi_0}{2} - \cos \beta}$$

$$\frac{e^{-jkR_e}}{R_e} dz' \quad (38)$$

where R_e is the ray path and equal to $[\rho^2 + \rho_0^2 - 2\rho\rho_0 \cos(\varphi - \varphi_0) + (z - z')^2]^{1/2}$. The phase function is written as

$$\psi = R_e \quad (39)$$

where the first derivative of the phase function is equal to $\psi' = -\frac{z-z'}{R_e}$. The stationary phase point can be found by equating the first derivative of the phase function to zero. Hence, the stationary phase point z'_s is equal to z . The second derivative of the phase function can be written as

$$\psi''_s = \frac{1}{R_{es}} \quad (40)$$

at the stationary phase point where R_{es} is equal to $[\rho^2 + \rho_0^2 - 2\rho\rho_0 \cos(\varphi - \varphi_0)]^{1/2}$. The amplitude function is written as

$$f(z'_s = z) = \frac{\sqrt{1 + \sin \frac{\varphi_0}{2} \sqrt{1 - \cos \beta} - \sin \beta_s \sin \eta_s}}{\sin \frac{\varphi_0}{2} - \cos \beta_s} \frac{1}{R_{es}} \quad (41)$$

at the stationary phase point. Hence, Eq. (38) can be rewritten as

$$\begin{aligned} \vec{H}_f^u &= -\vec{e}_z \frac{I_m}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-jk\rho_0}}{\sqrt{k\rho_0}} \\ e^{-j\frac{\pi}{4}} &\frac{\sqrt{1 + \sin \frac{\varphi_0}{2} \sqrt{1 - \cos \beta_s} - \sin \beta_s \sin \eta_s}}{\sin \frac{\varphi_0}{2} + \cos \beta_s} \frac{e^{-jkR_{es}}}{\sqrt{kR_{es}}} \end{aligned} \quad (42)$$

where the β_s and η_s is equal to $\pi - \varphi$ and $\frac{\pi}{2}$, respectively. The related expressions for the lower edge of the PEC cylindrical reflector are defined as

$$\vec{s}_i = \vec{d} \cos \frac{\varphi_0}{2} + \vec{n}_e \sin \frac{\varphi_0}{2} \quad (43)$$

and

$$\vec{s}_d = \vec{n}_e \cos \beta + \vec{d} \sin \beta \sin \eta \quad (44)$$

where $\vec{d}$ and $\vec{n}_e$ is equal to $\vec{e}_\rho$ and $-\vec{e}_\varphi$ respectively. The Eq. (26) is written as

$$\begin{aligned} \vec{H}_f^l &= \vec{e}_z \frac{I_m}{2\pi} \frac{e^{-jk\rho_0}}{\sqrt{k\rho_0}} \\ \int_{z=-\infty}^{\infty} &\frac{\sqrt{1 + \sin \frac{\varphi_0}{2} \sqrt{1 - \cos \beta} - \sin \beta \sin \eta}}{\sin \frac{\varphi_0}{2} - \cos \beta} \frac{e^{-jkR_e}}{R_e} dz \end{aligned} \quad (45)$$

for the lower edge where R_e is equal to $[\rho^2 + \rho_0^2 - 2\rho\rho_0 \cos(\varphi + \varphi_0) + (z - z')^2]^{1/2}$. The phase function of the Eq. (45) is written as

$$\psi = R_e \quad (46)$$

and its first derivative ψ' is equal to $-\frac{z-z'}{R_e}$. The stationary phase point can be found as $z'_s = z$ with equating the first derivative of the phase function to zero. The second derivative of the phase function is written as

$$\psi''_s = \frac{1}{R_{es}} \quad (47)$$

at the stationary phase point and R_{es} is equal to $[\rho^2 + \rho_0^2 - 2\rho\rho_0 \cos(\varphi + \varphi_0)]^{1/2}$. The value of the amplitude function is written as

$$f(z'_s = z) = \frac{\sqrt{1+\sin\frac{\varphi_0}{2}}\sqrt{1-\cos\beta_s}-\sin\beta_s \sin\eta_s}{\sin\frac{\varphi_0}{2}-\cos\beta_s} \frac{1}{R_{es}} \quad (48)$$

at the stationary phase point and the values of the angles β_s, η_s are equal to $\pi - \varphi$ and $\frac{\pi}{2}$, respectively. Hence, Eq. (45) is rewritten as

$$\vec{H}_f^l = -\vec{e}_z \frac{I_m}{\sqrt{2\pi}} \frac{e^{-jk\rho_0}}{\sqrt{k\rho_0}} e^{-j\frac{\pi}{4}} \frac{\sqrt{1+\sin\frac{\varphi_0}{2}}\sqrt{1-\cos\beta_s}-\sin\beta_s}{\sin\frac{\varphi_0}{2}-\cos\beta_s} \frac{e^{-jkR_{es}}}{\sqrt{kR_{es}}}. \quad (49)$$

The exact diffracted field can be found as

$$\vec{H}_E = \vec{H}_{PO} + \vec{H}_f^u + \vec{H}_f^l \quad (50)$$

with adding the contributions of the fringe fields to the PO diffracted field.

4. Numerical Analysis

In this analysis, the exact diffracted fields, fringe fields, and diffracted PO fields will be investigated. The observation distance is taken reasonably from the scatterer to investigate the far field radiation. The observation distance will be taken as 7λ , where λ is the wavelength. The focal length f will be taken as 2λ . The parabolic reflector will be positioned between the angles $-\varphi_0$ and φ_0 .

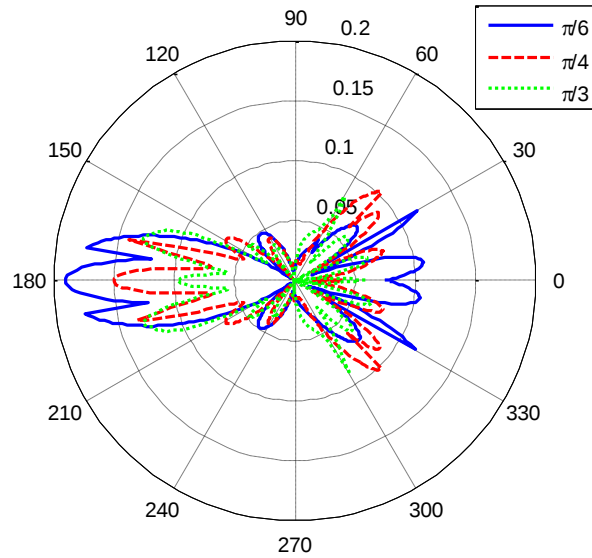


Figure 5. Exact diffracted fields

Figure 5 shows the exact diffracted fields from the edges of the parabolic reflector, which is given in Eq. (49) for different incident angles. The amplitude values of the diffracted fields are significant in the reflection region. The main beams can be observed between the angles 150° and 210° . The maximum radiation is observed at 180° . The fields' amplitudes take the minimum values at 90° and 270° . The effect of the incident angle φ_0 can be seen directly from Fig. 5. The diffracted fields' amplitudes decrease in the reflection region when the incident angle increases.

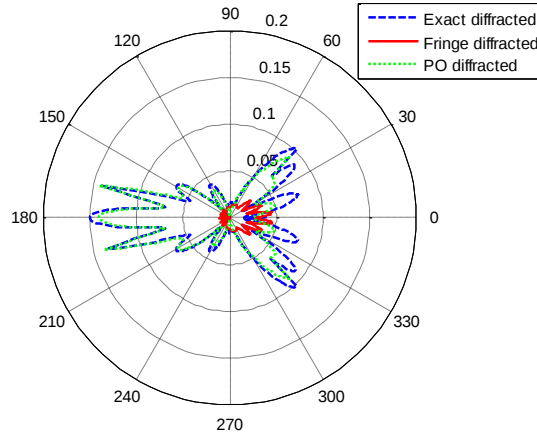


Figure 6. PO, fringe, and exact diffracted fields for $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$

Figure 6 shows the exact, fringe and PO diffracted fields. PO diffracted field is in perfect harmony with the exact diffracted field except for the reflection boundaries, which are the angles 45° and 315° , respectively. PO and exact diffracted fields take maximum amplitude values at 180° . Although the PO diffracted field's amplitude goes to zero at 90° and 270° , exact diffracted fields take different amplitude values at that angle. The fringe diffracted fields' amplitude takes the major values between the reflection regions. The minor lobes are observed between the angles 90° and 270° . The fringe diffracted fields fix the defects of the PO diffracted fields in reflection and shadow boundaries and reflection and shadow regions.

4. Conclusions

In this study, scattering surface integrals were reduced to the line integrals to investigate the exact diffracted fields. In addition, this formulation was generalized for various diffraction applications. This formulation is based on the MTPO axioms. In contrast to the other approaches, this derived expression is based on the MTPO axioms, and the scattering angle is variable at the corners and the edges. This is the main advantage of this approach. This new formulation was applied to the PEC cylindrical parabolic reflector geometry, which was fed by the H-polarized line source. The PO diffracted fields were found. Fringe field expressions were derived. The asymptotic evaluations of the diffraction integrals were yielding the fringe fields. The fringe fields were used to fix the PO diffracted fields, and the exact diffracted fields were obtained. The PO, fringe, and exact diffracted fields were analyzed numerically. The exact diffracted fields were investigated numerically for different incident angles. It is observed that the results are in harmony with the theory.

References

- Akduman, I., Büyükaksoy, A., 1995. Asymptotic expressions for the surface currents induced on a cylindrically curved impedance strip. *IEEE Trans Antennas Propag*, 43.
- Büyükaksoy, A., Uzgören, G., 1987. High-frequency scattering from the impedance discontinuity on a cylindrically curved surface. *IEEE Trans Antennas Propag*, AP-35.

- Ganci, S., 1995. A general scalar solution for the half-plane problem. *Journal of Modern Optics*, 42.
- Ganci, S., 1996. Half-plane diffraction in a case of oblique incidence. *Journal of Modern Optics*, 43.
- Guan, Y., Gong, S.X., Zhang, S., Hong, T., 2011. Improved time-domain physical optics for transient scattering analysis of electrically large conducting targets. *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, 5.
- Hamel, P., Adam, J.P., Kubické, G., Pouliguen, P., 2012. An improved hybridization technique of geometrical optics physical optics. *15th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics*, Antem.
- Huang, K., He, Z.L., Zhang, H.W., Liang, C.H., 2011. Efficient analysis of antenna around electrically large platform with improved non-uniform rational B-spline hybrid method of moments and physical-optics method. *IET Microwaves, Antennas and Propagation*. 5.
- Knott, E.F., 1985. The relationship between mitzner's ILDC and michaeli's equivalent currents. *IEEE Trans Antennas Propag*, 33.
- Lee, J., Havrilla, M., Hyde, M., Rothwell, E.J., 2008. Scattering from a cylindrical resistive sheet using a modified physical optics current. *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, 2.
- Letrou, C., Boag, A., 2012. Generalized multilevel physical optics (MLPO) for comprehensive analysis of reflector antennas. *IEEE Trans Antennas Propag*, 60.
- Maggi G.A., 1888. Sulla propagazione libre e perturbata delle onde luminose in un mezzo isotropo. *Annals of Mathematics*, 16.
- Michaeli A., 1984. Equivalent edge currents for arbitrary aspects of observation. *IEEE Trans. Antennas Propagat*, AP-32.
- Mitzner K.M., 1974. Incremental length diffraction coefficients. Aircraft Division Northrop Corp., Tech. Rep. No. AFAL-TR-73-296.
- Roudstein, M., Boag, A., 2011. Double-bounce multi-level physical optics algorithm for far-field scattering. *IEEE International Conference on Microwaves, Communications, Antennas and Electronic Systems*.
- Rubinowicz, A., 1957. Thomas Young and the theory of diffraction. *Nature*, 180.
- Rubinowicz A., 1917. Die beugungswelle in der Kirchhoffschen theorie der beugungsercheinungen. *Annals of Physics*, 4.
- Ufimtsev P. Ya., 1971. Method of Edge Waves in the Physical Theory of Diffraction. Air Force Systems Command, Foreign Tech. Div. Document ID No. FTD-HC-23-259-71.
- Ufimtsev, P.Y., 2006. Fundamentals of the Physical Theory of Diffraction.
- Umul, Y.Z., 2008a. MTPO based potential function of the boundary diffraction wave theory. *Optics & Laser Technology*, 40.
- Umul, Y.Z., 2008b. Scattering of a line source by a cylindrical parabolic impedance surface. *Journal of the Optical Society of America A*, 25.
- Umul, Y.Z., 2009. Rigorous expressions for the equivalent edge currents. *Progress In Electromagnetics Research B*.

- Wu, S.Z., Zhang, S.Q., Jiang, J.H., Li, Y., Wei, B., 2011. Research on electromagnetic scattering characteristics of electrically large object based on time-domain physical optics. *Proceedings of 2011 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference*, CSQRWC.
- Yalçın, U., 2007. Scattering from a cylindrical reflector: modified theory of physical optics solution. *Journal of the Optical Society of America A*, 24.