



Muş Alparslan Üniversitesi  
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ / MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY

[www.alparslan.edu.tr](http://www.alparslan.edu.tr)

e-ISSN:2757-5896

Haziran/December 2024

Cilt/Volume 5

Sayı/Issue 2

# MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ

JOURNAL OF THE FACULTY of  
ENGINEERING and  
ARCHITECTURE



**Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**  
**Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

**YIL/YEAR: 2024 CİLT/VOLUME: 5 SAYI/NUMBER: 2**

Yazılarda ifade edilen düşünce ve görüşler yazarların kişisel görüşleridir. Derginin ve bağlı bulunduğu kurumun görüşlerini yansıtmamaktadır.

The views and opinions expressed in the articles are the personal views of the authors. It does not reflect the views of the journal and its affiliated institution.



**Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**  
**Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

**Dağıtım**

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi tarafından yapılmaktadır.

e-ISSN : 2757-5896

Basım Tarihi : 31/12/2024

Cilt : 5

Sayı : 2

İlk Yayın Tarihi : 2020

Basım Yeri : Muş

Yayın Türü : Yılda iki defa olmak üzere, altı ayda bir (Haziran ve Aralık) elektronik olarak yayımlanan uluslararası hakemli ve süreli bir yayındır.

Yayın Dili : Türkçe ve İngilizcedir.

Adres : Muş Alparslan Üniversitesi Kampüsü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Diyarbakır Yolu 7. Km, 49250 – MUŞ / TÜRKİYE

e-posta : b.taskan@alparslan.edu.tr

URL : <https://dergipark.org.tr/tr/pub/maummfd>

**Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**  
**Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

Yıl/Year: 2024 Cilt/Volume: 5 Sayı/Number: 2

<b>Yayın Kurulu • Editorial Board</b>	
<b>Muş Alparslan Üniversitesi Adına Sahibi / Owner</b>	<b>Prof. Dr. Muhammed ÇINAR (Dekan)</b> Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
<b>Editör / Editor</b>	<b>Dr. Öğr. Üyesi Buşra TAŞKAN</b> Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
<b>Yayın Kurulu Üyeleri / Editorial Board Members</b>	Necattin Cihat İÇYER, Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye Kemal SÜLÜK, Muş Alparslan Üniversitesi / Türkiye
<b>Yayın ve Danışma Kurulu/ Editorial and Advisory Board</b>	Prof. Dr. Malik YOUSEF, <a href="mailto:malik.yousef@gmail.com">malik.yousef@gmail.com</a> , Zefat Academic College; Assoc. Prof. Dr. Shuo GAO, <a href="http://buaa.edu.cn">buaa.edu.cn</a> , Beihang University; Asst. Prof. Mohannad Eid Issa JREISSAT, <a href="mailto:drjreissat@hu.edu.jo">drjreissat@hu.edu.jo</a> , Hashemite University; Dr. Yu WU, <a href="mailto:yu.wu.09@ucl.ac.uk">yu.wu.09@ucl.ac.uk</a> , London's Global University; Dr. Ziyad ABUNADA, <a href="mailto:z.abunada@cqu.edu.au">z.abunada@cqu.edu.au</a> , CQUniversity Australia; Prof. Dr. Ahmet GÜRAL, <a href="mailto:agural@gazi.edu.tr">agural@gazi.edu.tr</a> , Gazi Üniversitesi; Prof. Dr. Ali KARCI, <a href="mailto:ali.karci@inonu.edu.tr">ali.karci@inonu.edu.tr</a> , İnönü Üniversitesi; Prof. Dr. Coşkun ÖZALP, <a href="mailto:coskunozalp@osmaniye.edu.tr">coskunozalp@osmaniye.edu.tr</a> , Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi; Prof. Dr. İbrahim CAN, <a href="mailto:ican@cumhuriyet.edu.tr">ican@cumhuriyet.edu.tr</a> , Sivas Cumhuriyet Üniversitesi; Prof. Dr. Mustafa BAYRAM, <a href="mailto:mbayram@gantep.edu.tr">mbayram@gantep.edu.tr</a> , Gaziantep Üniversitesi; Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK, <a href="mailto:semraselcuk@gazi.edu.tr">semraselcuk@gazi.edu.tr</a> , Gazi Üniversitesi; Prof. Dr. Ulvi ŞEKER, <a href="mailto:useker@gazi.edu.tr">useker@gazi.edu.tr</a> , Gazi Üniversitesi; Prof. Dr. Yüksel ESEN, <a href="mailto:yesen@firat.edu.tr">yesen@firat.edu.tr</a> , Fırat Üniversitesi; Doç. Dr. Buket KARATOP, <a href="mailto:buket.karatop@iuc.edu.tr">buket.karatop@iuc.edu.tr</a> , İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa; Doç. Dr. Elanur ADAR YAZAR, <a href="mailto:aelanur@artvin.edu.tr">aelanur@artvin.edu.tr</a> , Artvin Çoruh Üniversitesi; Doç. Dr. Hare KILIÇASLAN, <a href="mailto:hkilicaslan@ktu.edu.tr">hkilicaslan@ktu.edu.tr</a> , Karadeniz Teknik Üniversitesi; Doç. Dr. Kübra ULUCAN ALTUNTAŞ, <a href="mailto:kualtuntas@itu.edu.tr">kualtuntas@itu.edu.tr</a> , İstanbul Teknik Üniversitesi; Doç. Dr. Melih KUNCAN, <a href="mailto:melihkuncan@siirt.edu.tr">melihkuncan@siirt.edu.tr</a> , Siirt Üniversitesi; Doç. Dr. Selim BUYRUKOĞLU, <a href="mailto:sbuyrukoglu@karatekin.edu.tr">sbuyrukoglu@karatekin.edu.tr</a> , Çankırı Karatekin Üniversitesi; Dr. Öğr. Üyesi Abdurrahim DAL, <a href="mailto:adal@atu.edu.tr">adal@atu.edu.tr</a> , Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi; Dr. Öğr. Üyesi Arif BALCI, <a href="mailto:arifbalcikafkas.edu.tr">arifbalcikafkas.edu.tr</a> , Kafkas Üniversitesi; Dr. Öğr. Üyesi Emre YURTKURAN, <a href="mailto:yurtkuranemre@sivas.edu.tr">yurtkuranemre@sivas.edu.tr</a> , Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi; Dr. Öğr. Üyesi Fatih BOZKURT, <a href="mailto:fbozkurt@yildiz.edu.tr">fbozkurt@yildiz.edu.tr</a> , Yıldız Teknik Üniversitesi; Dr. Öğr. Üyesi Fevzi ŞEVİK, <a href="mailto:fsevik@bingol.edu.tr">fsevik@bingol.edu.tr</a> , Bingöl

	<p>Üniversitesi; Dr. Öğr. Üyesi Fulya Pelin CENGİZOĞLU, <a href="mailto:pelincengizoglu@mu.edu.tr">pelincengizoglu@mu.edu.tr</a>, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi; Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Çağrı TÜZEMEN, <a href="mailto:cagrituzemen@nevsehir.edu.tr">cagrituzemen@nevsehir.edu.tr</a>, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi; Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat ÖKSÜZ, <a href="mailto:mkoksuz@erzincan.edu.tr">mkoksuz@erzincan.edu.tr</a>, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi; Dr. Öğr. Üyesi Taha ETEM, <a href="mailto:tahaetem@karatekin.edu.tr">tahaetem@karatekin.edu.tr</a>, Çankırı Karatekin Üniversitesi; Dr. Öğr. Üyesi Yaşar DAŞDEMİR, <a href="mailto:yasar.dasdemir@erzurum.edu.tr">yasar.dasdemir@erzurum.edu.tr</a>, Erzurum Teknik Üniversitesi.</p>
<b>Yazım ve Dil Editörü</b> <b>Yazım ve Dil Editörü</b>	Arş. Gör. Yusuf BUDAK Arş. Gör. Mustafa Ertürk SÖYLEMEZ

**Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**  
**Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

Yıl/Year: 2024 Cilt/Volume: 5 Sayı/Number: 2

**Amaç ve Kapsam**

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi dergisi, temel mühendislik bilimleri alanında, mühendisliğin güncel araştırma konularına odaklı hem deneysel hem de kuramsal çalışmaların yayınına öncelik tanır. Disiplinler arası çalışmaları ve teknolojileri içeren akademik yayınları teşvik eder. İlgili bilimlerin ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişimlerine katkıda bulunmayı, bu alanlarla ilgili kaynakları geliştirmeyi amaçlar. Derginin dili Türkçe ve İngilizcedir.

Mühendislik biliminin temeline ait kuramsal çalışmalara, teknolojik gelişmelere ve mühendislik odaklı disiplinler arası çalışmalara kapsamı dahilinde yer veren dergimiz; kuramsal, deneysel, araştırma ve derleme türünde içeriklerle yılda iki kez (Haziran, Aralık) yayımlanmakta, güncel akademik literatürü araştırmacılara ve kamuoyuna aktarmayı hedeflemektedir.

**Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**  
**Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

Yıl/Year: 2024 Cilt/Volume: 5 Sayı/Number: 2

**Aims and Scope**

Muş Alparslan University Faculty of Engineering and Architecture journal gives priority to the publication of both experimental and theoretical studies in the field of basic engineering sciences, focusing on current research topics in engineering. It encourages academic publications involving interdisciplinary studies and technologies. It aims to contribute to the national and international development of related sciences and individuals, and to develop resources related to these fields. The languages of the journal are Turkish and English.

Our journal, which includes theoretical studies on the foundation of engineering science, technological developments and interdisciplinary studies focused on engineering; It is published twice a year (June, December) with theoretical, experimental, research and compilation content, and aims to convey the current academic literature to researchers and the public.

# Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi

## Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture

Yıl/Year: 2024 Cilt/Volume: 5 Sayı/Number: 2

### Yayın Etiği ve Sorumluluklar

Dergimizin yayın süreci, sürece dahil olan herkes için (yazarlar, hakemler, editörler) akademik etik ilkelerine ve standartlara uymayı şart koşmaktadır. Bu kapsamda sürece dahil olan tüm akademisyenlerin aşağıdaki sorumlulukları kabul ettiği varsayılmaktadır. Bu kapsamda ifade edilen sorumluluklar belirlenirken açık erişim kurallarını düzenleyen Committee on Publication Ethics (COPE) tarafından belirtilen kurallar ve sorumluluklar kullanılmıştır.

#### Yazarların Etik Sorumlulukları

Yazar(lar), tüm akademik çalışmalarında özgün olmalıdır. Yaptıkları çalışmalarda diğer akademik çalışmalardan yararlanmaları durumunda eksiksiz bir şekilde kaynak gösterimi ve/veya alıntı yapmaları gerekmektedir. Çalışmaya katkı sunmayan kişiler yazar olarak çalışmaya dahil edilmemelidir. Araştırmacılar, çalışmalarını aynı anda birden fazla yayın organına gönderemezler. Her bir gönderim süreci, önceki başvurunun sonuçlanmasına müteakip yapılmalıdır. Başka bir mecrada yayımlanmış bir çalışma dergimize gönderilmemelidir. Gönderilen çalışmaların, çıkar çatışması teşkil edecek içerikler, durumlar ve ilişkiler barındırması durumunda bilgilendirme yapılmalıdır. Yazarlar, talep edilmesi durumunda çalışmaya ait ham verileri ve deney bilgilerini yayın kurulu ve bilim kuruluna sunmaya hazır olmalıdır. Değerlendirme süreci başlatılmış bir çalışma için, yazar ekleme, sırasını değiştirme veya yazar çıkarma gibi teklifler mümkün değildir. Yazar(lar) çalışmalarında kullandıkları verilerin (varsa) etik haklarına, kullanım haklarına, araştırma/analiz/deney gibi işlemler için gerekli izinlere sahip olduğuna dair belgelere sahip olmalıdırlar. Yazar(lar) değerlendirme sürecine alınmış, erken görünüm aşamasına geçmiş veya yayımlanmış çalışmalarında bir hata fark etmeleri durumunda, dergi editörünü veya dergi yayıncısını bilgilendirmeli, düzeltme veya geri çekme işlemlerinde işbirliği yapılmalıdır.

#### Editörlerin Etik Görev ve Sorumlulukları

Dergipark sayfasında açıkça belirtilmiş açık erişim kurallar bütünlüğünü sağlayan COPE tarafından ifade edildiği üzere; derginin gelişimine devamlılık kazandırma, dergide yayımlanan akademik çalışmaların kalitesini arttırmaya yönelik aşamaları titizlikle yürütme, okuyucuların ve yazarların ihtiyaçlarına yönelik çalışmalar yapma, düzeltme veya açıklama gerektiren hususlarda açık ve şeffaf iletişim kurma, fikri mülkiyet haklarından ve akademik etik kurallarından taviz vermemek koşuluyla tüm iş süreçlerini devam ettirme gibi işler, editörün başlıca etik görev ve sorumluluklarıdır.

#### Hakemlerin Etik Sorumlulukları

Bir hakem, kendi uzmanlık alanına ait akademik çalışmaları değerlendirmeye almalıdır. Yaptığı değerlendirmelerde tarafsız ve gizli olmalıdır. Bu ilkeler kapsamında yaptığı çalışmaların değerlendirme sonuçlarını süreç sonunda kamu ile paylaşmamalı ve imha etmemelidir. Değerlendirmesi neticesinde bir çıkar çatışması tespit etmesi durumunda ilgili editör bilgilendirilmeli ve çalışmayı inceleme süreci reddedilmelidir. Yapılan hakemlik değerlendirmesinin sonucunu yapıcı ve kibar bir üslup ile iletmeli, düşmanlık, iftira veya hakaret içeren negatif ve kişisel iletişim üslubu kullanılmamalıdır. Hakemliği kabul edilen çalışmaları taahhüt edilen süre içerisinde ve belirtilen akademik etik kuralları çerçevesinde değerlendirmeli ve sonucu iletmelidir.

#### Yayıncının Etik Sorumlulukları

Dergimiz sürece dahil ettiği tüm çalışmalar için editörleri sorumlu kılmaktadır. Dergide yapılan çalışmalardan politik veya ekonomik kazançlar elde edilmemesi için gereken tedbir çalışmalarını editör yürütmektedir. Dergimiz editör kararları oluşturulmasında bağımsızlığı taahhüt eder. Dergimiz, kabul ettiği tüm çalışmaların fikri mülkiyet ve telif haklarını koruduğunu taahhüt eder. Editörlerin süreçle ilgili akademik suistimaller ve intihalle ilgili konularda ilgili önlemleri alma sorumluluğu yine dergimizin taahhüdü altındadır.



## **Yazarlar ile İlişkiler**

Editörler, yazarların gönderdiği makalelerde çalışmanın özgünlüğü, anlatımın açıklığı ve derginin amaç-kapsamına uygunluğu noktasında değerlendirme yaparak olumlu veya olumsuz karar vermektedir. Bu kapsamda ciddi bir problem teşkil etmeyen tüm çalışmalar değerlendirme sürecine alınır. Editörler, hakem önerilerini dikkate almalıdır. Editörler, çalışmalarla ilgili önceki editörler tarafından verilen kararları, etik ve kapsam noktasında büyük bir problem tespit edilmemesi halinde değiştirmemelidir.

## **Hakemler ile İlişkiler**

Kör Hakemlik ve Değerlendirme Süreci politikaları, editör tarafından titizlikle yürütülmelidir. Hakemler, ilgili yayının uzmanlık sahasına göre seçilmelidir. Yayınla ve süreçle ilgili tüm bilgiler hakemlerle açık bir şekilde paylaşılmalıdır. Yazar-hakem arası çıkar çatışması olup olmadığı yönündeki tespit editörün sorumluluğundadır. Değerlendirme sürecinin başlamasıyla birlikte hakemlerin kimlikleri gizli tutulmalıdır. Editörler, hakemleri tarafsızlık, bilimsellik ve nesnellik hususlarında teşvik etmelidir. Hakem havuzlarının geniş tutulmasına dikkat edilmelidir. Hakemlerin değerlendirme sürecine yönelik performanslarını arttırmak için uygulamalar ve politikalar güdülmelidir. Bilimsellikten ve akademik etik kurallarından uzak süreçler engellenmelidir.

## **Okuyucu ile İlişkiler**

Editör, derginin hitap ettiği okuyucu kitlesinin ihtiyaç duyduğu beklentileri karşılamaya yönelik kararlar vermelidir. Yayınlanacak çalışmaların akademinin her türlü kademesine (okuyucu, araştırmacı) ve literatüre katkı sağlayacak özgün çalışmalar olmasına dikkat etmelidir. Okuyuculardan ve akademik camiadan gelecek geri bildirimleri dikkate almalı ve açıklayıcı geri bildirimlerde bulunmalıdır.

## **Yayın Kurulu ile İlişkiler**

Editör, yayın kurulunda bulunan üyelerin, ilgili politika ve yönergelere uyumlu şekilde çalışması adına sorumludur. Bu politikalar kapsamında ilgili üyeler bilgilendirilmeli ve gelişmelerden haberdar edilmelidir. Yeni üyelere gerekli eğitim ve bilgilendirme sağlanmalıdır.

## **Dergi Sahibi ve Yayıncı ile İlişkiler**

Akademik etik kuralları çerçevesinde, editör ile yayıncı bağımsızlık sözleşmesi imzalamaktadır. Yani editörler alacakları kararlarda yayıncı ve dergi sahibinden bağımsızdır.

## **Kişisel Verilerin Korunması**

Dergi editörü, dergide yayımlanan çalışmalarda bulunan tüm bilgilerin, deneklerin ve görsellerin korunmasını sağlamakla sorumludur. Çalışmada eğer varsa denek olarak kullanılan bireylerin izinleri belgelendirilmediği sürece çalışmayı reddetmelidir. Ayrıca dergi editörü, yayın sürecinde bulunan herkesin (yazar, hakem ve okuyucu) bireysel verilerini korumakla sorumludur.

## **Etik Kurul, İnsan ve Hayvan Hakları**

Editör, çalışma kapsamında genel anlamda insan ve hayvan haklarının korunmasını sağlamalıdır. Çalışma deneylerinde kullanılan verilere ve deneklere ve araştırmalara ilişkin gerekli izinlerin ve etik kurul raporlarının kontrolünü yapmakla mesuldür.

## **Olası Suiistimal ve Görevi Kötüye Kullanmaya Karşı Önlem**

Suiistimal ve görevi kötüye kullanma hallerine karşı tedbir almak editörün görevidir. Bu konuyla ilgili şikayetlerin tespit edilmesi ve değerlendirilmesi noktasında titiz bir çalışma yürüten editör, ilgili bulguları paylaşmalı ve akademik etik ortamının devam etmesini sağlamalıdır.

## **Fikri Mülkiyet Haklarının Korunması**

Dergi editörü, tüm çalışmaların fikri mülkiyet haklarını korumakla ve akademik etik ihlallerinde ve diğer olumsuzluklarda derginin, yazarların, hakemlerin haklarını savunmakla yükümlüdür. Ayrıca dergi editörü dergide yayımlanan çalışmaların intihal sonucu başka bir akademik çalışmanın fikri mülkiyetini ihlal edip etmediği yönündeki teyidi yapmalı ve gerekli önlemi almalıdır. Bu tedbirlerin başında değerlendirme sürecinde yazardan çalışmasıyla birlikte makalenin intihal raporu da talep edilmektedir.

**NOT:**Dergimizde akademik etiğe uygun olmayan bir durumla karşılaşmanız durumunda [muhammimdergi@alparslan.edu.tr](mailto:muhammimdergi@alparslan.edu.tr) adresi üzerinden ivedi bir şekilde bizimle iletişime geçiniz.

# **Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**

## **Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

Yıl/Year: 2024 Cilt/Volume: 5 Sayı/Number: 2

### **Editorial Ethics and Responsibilities**

**Publication Ethics and Responsibilities** The publication process of our journal requires everyone involved (authors, referees, editors) to comply with academic ethical principles and standards. In this context, it is assumed that all academicians involved in the process accept the following responsibilities. While determining the responsibilities expressed in this context, the rules and responsibilities specified by the Committee on Publication Ethics (COPE), which regulates open access rules, were used.

#### **Ethical Responsibilities of Authors**

The author(s) must be original in all their academic works. If they benefit from other academic studies in their studies, they are required to give full reference and/or citation. Persons who do not contribute to the study should not be included as authors. Researchers cannot submit their work to more than one publication at the same time. Each submission process must be made following the conclusion of the previous application. A study published in another medium should not be sent to our journal. In case the submitted works contain content, situations and relationships that will constitute a conflict of interest, information should be provided. Authors should be ready to present the raw data and experimental information of the study to the editorial board and scientific committee, if requested. It is not possible to add an author, change the order or remove an author for a work whose evaluation process has been started. Author(s) should have documents showing that the data they use in their studies (if any) have ethical rights, usage rights, and necessary permissions for research/analysis/experiment. Author(s) should inform the journal editor or journal publisher and cooperate in correction or retraction if they notice an error in their review, early view stage or published work.

#### **Ethical Duties and Responsibilities of Editors**

As stated by COPE, which ensures the integrity of open access rules clearly stated on the Dergipark page; To ensure continuity in the development of the journal, to carry out the steps to increase the quality of academic studies published in the journal, to work towards the needs of readers and authors, to communicate openly and transparently in matters that require correction or explanation, to continue all business processes without compromising intellectual property rights and academic ethical rules. are the main ethical duties and responsibilities of the editor.

#### **Ethical Responsibilities of Referees**

A referee should evaluate academic studies in his field of expertise. It should be impartial and confidential in its evaluations. Within the scope of these principles, the evaluation results of the studies should not be shared with the public at the end of the process and should be destroyed. If a conflict of interest is detected as a result of its evaluation, the relevant editor should be informed and the review process of the study should be rejected. The result of the refereeing evaluation should be conveyed in a constructive and polite manner, and negative and personal communication style containing hostility, slander or insult should not be used. He/she should evaluate the studies

accepted as referees within the promised time and within the framework of the specified academic ethical rules and communicate the result.

### **Ethical Responsibilities of Publisher**

Our journal makes the editors responsible for all the works included in the process. The editor carries out the necessary measures to prevent political or economic gains from the work done in the journal. Our journal is committed to independence in the creation of editorial decisions. Our journal undertakes to protect the intellectual property and copyrights of all accepted works. The responsibility of the editors to take the necessary precautions regarding academic misconduct and plagiarism related to the process is also under the commitment of our journal.

### **Relations with Authors**

In the articles sent by the authors, the editors make a positive or negative decision by evaluating the originality of the study, the clarity of the narrative, and the suitability of the journal's purpose-scope. In this context, all studies that do not pose a serious problem are included in the evaluation process. Editors should consider referee suggestions. Editors should not change the decisions made by previous editors about the studies unless a major problem in terms of ethics and scope is detected.

### **Relations with Referees**

Blind Review and Review Process policies should be meticulously followed by the editor. Reviewers should be selected according to the field of expertise of the relevant publication. All information about the publication and the process should be shared openly with the referees. It is the editor's responsibility to determine whether there is a conflict of interest between the author and the referee. With the start of the evaluation process, the identities of the referees should be kept confidential. Editors should encourage referees for impartiality, scientificity and objectivity. Care should be taken to keep the referee pools wide. Practices and policies should be pursued to increase the performance of referees in the evaluation process. Processes that are far from being scientific and academic ethical rules should be prevented.

### **Relations with the Readers**

The editor must make decisions to meet the expectations of the audience the magazine addresses. Care should be taken that the studies to be published are original studies that will contribute to all levels of the academy (readers, researchers) and the literature. It should take into account the feedback from the readers and the academic community and provide explanatory feedback.

### **Relations with the Editorial Board**

The editor is responsible for the members of the editorial board to work in compliance with the relevant policies and guidelines. Within the scope of these policies, the relevant members should be informed and informed about the developments. New members should be provided with the necessary training and information. Relations with Journal Owner and Publisher Within the framework of academic ethical rules, the editor and the publisher sign an

independence agreement. In other words, editors are independent of the publisher and journal owner in their decisions.

### **Relations with Owner of Journal and the Publisher**

Within the framework of academic ethical rules, the editor and the publisher sign an independence agreement. In other words, editors are independent of the publisher and journal owner in their decisions.

### **Protection of Personal Data**

The journal editor is responsible for ensuring that all information, subjects and images found in the studies published in the journal are protected. Individuals used as subjects in the study, if any, should refuse to work unless their consent is documented. In addition, the journal editor is responsible for protecting the individual data of everyone involved in the publication process (author, referee and reader).

### **Ethics Committee, Human and Animal Rights**

The editor should ensure the protection of human and animal rights in general within the scope of the work. It is responsible for controlling the necessary permissions and ethics committee reports regarding the data and subjects used in the study experiments and research.

### **Precaution against Potential Abuse and Abuse**

It is the editor's duty to take precautions against abuse and misconduct. The editor, who carries out a meticulous work in detecting and evaluating complaints about this subject, should share the relevant findings and ensure the continuation of the academic ethical environment.

### **Protection of Intellectual Property Rights**

The editor of the journal is responsible for protecting the intellectual property rights of all studies and defending the rights of the journal, authors and referees in case of violations of academic ethics and other negativities. In addition, the journal editor should confirm whether the studies published in the journal violate the intellectual property of another academic work as a result of plagiarism and take the necessary action. At the beginning of these measures, the plagiarism report of the article is requested from the author along with his/her work during the evaluation process.

**NOTE:** If you encounter a situation that does not comply with academic ethics in our journal, please contact us immediately via [muhmimdergi@alparslan.edu.tr](mailto:muhmimdergi@alparslan.edu.tr).

---

## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

---

### **ARASTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE**

---

*Mustafa ŞAHİN, Muhammed Fatih TALU*

“Beyin Damar Ağacına Göre Trajeksiyon Risk Haritasını Hesaplayan Yeni Bir Hedefleme Sistemi” 1-13

“A New Targeting System for Calculating a Trajectory Risk Map According to the Cerebral Vascular Tree”

*Selami BALCI* 20-38

“Pençe-Kutuplu Senkron Generatörlerde Yeni Nesil Çekirdek Malzemelerin Kullanımıyla Performans Artışı”

“The Performance Enhancement with the Use of New Generation Core Materials for Claw-Pole Synchronous Generators”

*Güneş MUTLU AVİNÇ* 39-56

“Biyofilik Bina Araştırmalarında Araştırma Eğilimlerinin Haritalanması Üzerine Bir İnceleme: 2006-2023 Yılları Arasında Bibliyometrik ve İçerik Analizi”

“Review of Research on Biophilic Building with Bibliometric Analysis Assessment”

### **DERLEME / REVIEW ARTICLE**

---

*Taha CEYLANI, Gizem Hazan AKÇAY*

“Mevcut ve Geleceğe Yönelik Gıda Sorunlarının Yenilikçi Çözümleri ve Çevresel Açıdan İncelenmesi” 14-19

“Innovative Solutions and Environmental Analysis of Current and Future Food Problems”

---

## Beyin Damar Ağacına Göre Trajeksiyon Risk Haritasını Hesaplayan Yeni Bir Hedefleme Sistemi

Mustafa ŞAHİN<sup>1\*</sup>, Muhammed Fatih TALU<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Gaziantep/Türkiye.  
ORCID: 0009-0006-1701-4566

<sup>2</sup>İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya/Türkiye.  
ORCID: 0000-0003-1166-8404

Sorumlu Yazar: mustafa.sahin@hku.edu.tr

Geliş Tarihi: 03.06.2024

Kabul Tarihi: 11.10.2024

### Özet

Beyin tümörlerinde doğru tedavi yönteminin belirlenebilmesi için tümör tipinin kesin olarak bilinmesi kritiktir. Bu çalışma, beyin biyopsisi operasyon bölgesi hacmi içindeki mekânsal risk faktörlerini gözeterek hacimsel yerel risk analizi modeli sunmaktadır. Bu risk modeli, operasyon bölgesinin genel riskini değerlendirmek için kullanılabilir. Risk faktörlerinin genel katkısını tahmin etmek amacıyla, parça bazlı Gauss olasılık fonksiyonu önerilmektedir. Önerilen yaklaşımın mevcut benzerlerinden üstünlüğü, beyin yüzeyindeki tüm aday giriş noktalarının giriş risk haritasını oluştururken, pin-yörüngesinin merkezinde bulunan silindirik bir yapı kullanmasıdır. Pin-yörüngelerinin risk değeri, silindir içindeki damar voksellerini mesafesi değerlendirilerek hesaplanır. Bu modeli kullanarak beyin yüzeyindeki noktalardan hedefe olan risk değerlendirmesinin ardından beyin yüzeyi risk değerlerine göre renklendirilmektedir. Uygulamada, ITKTUBETK veri seti kullanılarak beyin yüzeyindeki noktaların hacimsel yerel riskleri hesaplanarak damar hasarlarının en düşük riskine sahip biyopsi noktalarını tahmin etmek için bir risk haritası elde edilmiştir. Doğrulama amacıyla, 2 beyin cerrahı tarafından işaretlenmiş 15 hasta verisi kullanılmıştır. Yörünge riskleri tablolarında sunulmuştur. Elde edilen risk analizi sonuçlarına göre önerilen yöntem, Cerrah1 ve Cerrah2'ye kıyasla sırasıyla %46,66 ve %53,33 yüksek oranda daha düşük riskli yolları belirleyebilir. Sonraki çalışmada, fMRI bilgilerinin risk modeline entegrasyonu planlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Beyin Biyopsisi, Mekânsal Risk Analizi, Risk Atama, Risk Haritalama

### A New Targeting System for Calculating a Trajectory Risk Map According to the Cerebral Vascular Tree

#### Abstract

Determining the precise type of tumor is crucial for selecting the correct treatment method for brain tumors. This study presents a volumetric local risk analysis model that considers spatial risk factors within the volume of the brain biopsy operation region. This risk model can be used to assess the overall risk of the operation region. To estimate the general contribution of risk factors, a piecewise Gaussian probability function is proposed. The superiority of the proposed approach over existing ones lies in its use of a cylindrical structure centered on the pin trajectory to create an entry risk map for all potential entry points on the brain surface. The risk value of pin trajectories is calculated by evaluating the distance of vessel voxels within the cylinder. Using this model, after assessing the risk from surface points to the target, the brain surface is color-coded according to risk values. In practice, by calculating the volumetric local risks of surface points using the ITKTUBETK dataset, a risk map is obtained to predict biopsy points with the lowest risk of vascular damage. For validation purposes, data from 15

patients, marked by two neurosurgeons, were used. Trajectory risks are presented in tables. According to the obtained risk analysis results, the proposed method can identify significantly lower-risk paths, 46.66% and 53.33% more effectively compared to Surgeon1 and Surgeon2, respectively. In future work, integration of fMRI information into the risk model is planned.

**Keywords:** Brain Biopsy, Risk Assessment, Spatial Risk Analysis, Risk Mapping



[Bu makale Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\) License ile lisanslanmıştır.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## 1. GİRİŞ

Beyin biyopsileri ve cerrahi beyin operasyonları, modern tıptaki teknik gelişmelere uygun olarak epilepsinin yönetimi ve beyin tümörünün türünü belirleme gibi çeşitli hastalıkların erken teşhisi ve tedavisi için çok önemlidir. Bu çalışmada beyin cerrahlarının beyindeki önemli bir noktaya (tümör merkezi, epileptik bölge, STN hücre) minimum risk ile ulaşabilmesine yardımcı olacak yeni bir navigasyon yaklaşımı sunulmaktadır. Bu yaklaşım, cerrahın beyin içerisinde hedeflediği noktaya güvenli bir şekilde ulaşabilmesine yardımcı olacak bir damar risk haritasının üretilmesine ve ameliyat öncesi cerraha sunularak operasyon güvenliğini arttırmaya dayanır. Kafatasının üst yüzeyindeki vokseller olası giriş noktalarıdır. Bu giriş noktaları ile hedeflenen nokta arasındaki doğrusal çizgi trajektörü olarak adlandırılmaktadır. Yapılan çalışmada tüm trajektörlerin (giriş noktası-hedef nokta) damar ağacına değme riskleri hesaplanmakta ve sayısal risk değerleri renkli bir harita şeklinde görselleştirilmektedir. Trajektörü risk değeri hesaplanırken trajektörüye merkezine alan silindirik bir model kullanılmaktadır. Silindir içerisinde kalan damar yapısının trajektörüye olan uzaklıkları birlikte değerlendirilerek risk değeri hesaplanır ve renkli bir haritaya dönüştürülür. Üretilen bu harita ameliyat öncesi cerrahın değerlendirmesine sunulmaktadır. Böylece beyin cerrahının renkli risk haritasındaki en düşük riskli bölgeleri gözlemlemesi ve operasyonu güvenli bir şekilde gerçekleştirmesi hedeflenmektedir. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak özgün bir matematiksel risk modeli kullanılmakta ve damar risk haritası üretmek cerrahın operasyonu daha güvenli yapması hedeflenmektedir. Riskin modellenmesi ile ilgili literatürde farklı çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Mitchell, riski kayıp olasılığı ve bu kaybın önemi açısından ele almıştır [1]. Bu tanım, risk değerlendirmesi ve risk modellerinin matematiksel yönü için önemli bir temel oluşturmuştur. Daha sonra, bir olayın riski, olumsuz bir olayın meydana gelme olasılığı ile bu olayın ne kadar zararlı olacağını çarpımıyla tahmin edilir [2]. Smith ve Merrit, riski etkileyen faktörleri tanımlayarak standart bir risk modeli önermişlerdir. Standart risk modeli, riski, meydana gelme olasılığını ve olumsuz etkinin olasılığını etkileyebilecek faktörlerin birikimi olarak tanımlar [3]. Risk değerlendirmesi için, bu çalışmalar, risk puanlaması için ortak bir matematiksel bakış açısı sağlar, yani risk, risk faktörünün meydana gelme olasılıklarının ve riskli olayların olumsuz etkilerinin derecelerini belirleyen bir risk indeksinin çarpımlarının birikimiyle tahmin edilebilir. Olası riskli olayların bir koleksiyonu, risk faktörlerinin birikimi olarak kabul edilir. Mevcut çalışmada, hacimsel bir alanda mekânsal olarak dağıtılmış mekânsal risk faktörlerinin yerel risk değerlendirme modelini oluşturmak için kullandık. Caplan ve arkadaşları, Chicago'daki hırsızlık için mekânsal risk faktörlerini tartışmış ve mekânsal risk değerlendirmelerine dayalı bir risk bölgesi haritası elde etmek için bir risk bölgesi modellemesi [4]. Ayrıca, mekânsal risk değerlendirmesi ekolojide de önem taşımaktadır: Küresel ölçekte, uzun olta avcılığı faaliyetleri sırasında köpekbalıklarının yakalanma riskine maruz kalma durumu, mekânsal risk faktörleri için veri toplama temelinde incelenmiştir [5]. Başka bir çalışmada, Çin'de yabancı istilacı bitkilerin yayılma riski, yabancı bitkilerin dağılım desenlerine dayalı olarak incelenmiş ve mekânsal bir risk değerlendirmesi yapılmıştır [6]. Ayrıca, toprak ve su kaynaklarının kirlenmesi durumunda yerel sağlık riskini değerlendirmek için mekânsal risk faktörlerinin dikkate alınması gereken birçok çalışma bulunmaktadır [7-8], virüs ve salgın yayılımı (Winters ve arkadaşları, 2010; Li ve arkadaşları, 2023). Mevcut çalışmada, operasyon bölgesi etrafında mekânsal olarak dağıtılmış risk faktörlerinin bulunduğu durumlarda operasyon risk analizleri için hacimsel yerel risk modellemesi önerilmektedir. Bu risk modeli, çevresindeki operasyon bölgesinin geometrik özelliklerine (örneğin, mesafe, yollar, yüzey topolojisi, peyzaj üzerindeki dağılım vb.) bağlı olarak hacimsel olarak dağıtılmış risk faktörlerine dayalı bir operasyonun yerel riskini tahmin eder. Örneğin, tehlikeli maddeler bir alana döküldüğünde risk faktörleri, tehlikeli maddelerden uzaklığa, maddenin yerleştirildiği bölgenin coğrafi ve meteorolojik koşullarına bağlıdır. Bir başka örnek, cerrahi operasyonlarda önemli damarlar ve sinir bağlantıları gibi risk faktörleri, operasyon bölgesinin çevresindeki dokular içinde dağıtılmıştır [9-10].

Bu çalışmada, beyin biyopsi noktalarının hacimsel yerel risk puanları, hacimsel yerel risk modeline göre hesaplanmış ve nörocerrahın damar hasarı riski en düşük olan biyopsi noktalarını tahmin etmesine yardımcı



olmak amacıyla hedef noktaya doğrusal yörüngeleri olan giriş noktaları için bir risk haritası elde edilmiştir. Yazarlar, beyin bölgelerinin bölümlendirilmesi ile ilgili çalışmalara katkıda bulunmuştur [11].

Beyin tümörünün türünü belirlemek, tedavi aşamalarını (radyoterapi veya kemoterapi) planlamak için önemlidir. Bu nedenle, tümörden bir örnek almak ve patolojik inceleme yapmak, tedaviyi planlamak için önemli bir aşama haline gelir. Klasik cerrahi, beynin kritik bölgelerinde bulunabilecek patolojik bölgelere ulaşmada yüksek risk taşır. Günümüzde, cerrahi komplikasyon riskini azaltabilecek ve genel anestezi ile kraniyotomi gerektirmeyen stereotaktik veya robotik biyopsi yöntemleri tercih edilmektedir [12].

Stereotaktik biyopsi, derin bölgelerdeki tümör dokusundan örnek alırken güvenlik endişelerini azaltabilen, bilgisayar destekli yaygın bir tekniktir ve iki aşamadan oluşur: İlk aşamada, MRI ve CT taramaları yapılır ve beyin cerrahi, MRI ve CT verilerini kullanarak operasyon noktasını planlar. Planlama çalışmasında, tümör alanının merkezi konumu (hedef nokta), beyinde MRI veya CT ile görülebilen bazı yapılar (AC, PC ve MC noktaları) ve kafatasının tümöre doğru ilerleyeceği giriş noktası (giriş noktası) belirlenir. Bu operasyonlarda, cerrahinin klinik önemi ve kanamalı komplikasyonlar ile nörolojik hasarlara neden olma potansiyeli nedeniyle, ameliyat sırasında bir kan damarına zarar vermektan kesinlikle kaçınılır. Buna göre, biyopsi noktası seçiminde bazı önemli hedefler şu şekilde özetlenebilir: Delme açıklığının (pin) doğrusal yörüngesinde herhangi bir beyin damar yapısı bulunmamalıdır, motor korteks gibi yüksek işlevli bölgeler etkilenmemelidir ve bu koşullar altında, hedef noktaya (tümör bölgesi) olası kısa mesafe tercih edilmelidir. Bu nedenle, güvenli giriş noktalarının belirlenmesi, biyopsi cerrahisinin başarısı için önemli bir aşamadır ve delme yörüngesi bölgelerinin etrafındaki mekânsal risklerin değerlendirilmesini ve biyopsi operasyon bölgelerinin risk değerlendirmelerine göre en düşük risk noktasının seçilmesini gerektirir.

Literatürde, otomatik stereotaktik planlama araçlarının kapsamlı bir incelemesi Zanello ve diğerleri tarafından sunulmuştur (Zanello, 2021) Zanello ve arkadaşlarının anketi, otomatik yörünge seçiminin (kan damarlarından uzaklıklar 2.47 ila 7.0 mm arasında değişmektedir) cerrahi bölgede manuel yörünge seçimleri (nörocerrahların kan damarlarından uzaklıkları 1.96 ila 4.78 mm arasında değişmektedir) ile karşılaştırıldığında daha uzak operasyon yörüngesini kan damarlarına bulabilen otomatik yörünge seçiminin önemini ortaya koymaktadır ve bu rapor, tıbbi uygulamalar için bilgisayar destekli cerrahi planlama aracının geliştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır [13]. Hu ve arkadaşları, standart çerçeve tabanlı stereotaktik biyopsi ile robot destekli stereotaktik biyopsinin doğruluklarını karşılaştırdı (Hu ve arkadaşları, 2022). Hu ve arkadaşları, robot destekli stereotaktik biyopside giriş noktası hatası ve hedef nokta hatasının çerçeve tabanlı stereotaktik biyopsiden daha az olabileceği sonucuna vardı [14]. Jung ve arkadaşları, 2015 ile 2020 yılları arasında stereotaktik beyin cerrahileri sonrası biyopsi komplikasyonlarını inceleyerek biyopsinin güvenilirliği üzerine bir rapor sundular [15]. Trope ve arkadaşları, otomatik ve manuel yörünge planlamasının performanslarını incelemek için deneysel bir çalışma yaptılar (Trope, 2015). Bu çalışmada, manuel, görsel ve otomatik olmak üzere üç farklı giriş noktası planlama yöntemi incelendi. Otomatik yaklaşımda, beyin yüzeyi 1000 nokta ile modellendi ve her bir giriş pimi yörüngesi için her noktanın risk puanları hesaplandı. Çalışmada, Trope ve arkadaşları, cerrahi yörüngeye ait her bir vokselin maksimum hacimsel riskini hesaplayan bir risk puanı önerdiler. Bir vokselin hacimsel riski, vokselin en yakın yapıya olan minimum mesafesine bölünmüş yapıların tüm beklenen risk değerlerinin toplamı ile ifade edilir. (Beklenen risk katsayılarının değerleri, uzman nörocerrahın deneyimine dayanarak sağlanmıştır) Bu model, cerrahi yörüngeye olan minimum mesafesine ters orantılı olduğunu ima eder. Dolayısıyla, riskli yapıya yakınlığın beklenen risk olasılığını artırdığını gösterir [16].

## 2. MATERYAL ve METOT

Risk analizi, operasyon bölgesinde dağıtılmış olan tüm yerel risk faktörlerinin dikkate alınmasını gerektirir ve risk puanı, operasyon bölgesini çevreleyen bir hacim içindeki tüm risk faktörlerinin toplamı ile tahmin edilebilir. Bu nedenle, hacimsel yerel risk (Denklem (1)) şu şekilde ifade edilebilir:

$$Risk(V) = \sum_{(x,y,z) \in V} r(x, y, z) \quad (1)$$

V, cerrahi bölgeyi içeren bir uzay hacmidir ve R(V) 3B hacim  $V \in R^3$ 'nin yerel risk puanıdır.  $r(x,y,z) \in [0,1]$ , risk skorlama için  $(x,y,z) \in V$  lokasyonundaki mekânsal risk faktörlerinin konumdaki katkısını temsil eder.

MRI veya CT grafiklerinin ayrık veri alanında çalışılması nedeniyle  $(x,y,z)$  noktası hacimdeki her vokselin merkezidir. Doğrusal yörüngeli beyin biyopsisi operasyonunun risk puanlaması için, bir pim beyin yüzey noktasından hedef noktaya (tümör dokusu içinde) girerken etkilenen tüm dokuları içerdiği varsayılan silindirik bir hacim dikkate alınmalıdır. Şekil 1, bu silindirik hacmi ve önemli parametrelerini göstermektedir.

$\overrightarrow{TE}$  vektörü giriş noktasından hedef noktaya uzanan bir konum vektörü ve bu vektör aynı zamanda silindirik hacim  $V_c$ 'nin merkez çizgisini oluşturur. Hedef noktanın altındaki mekansal risk faktörlerini dikkate almak için,  $\overrightarrow{TE}$  vektörün uzunluğu giriş-hedef noktaları arasındaki uzaklıktan büyük olmalıdır.

Bu yüzden  $\|\overrightarrow{TE}\| = 1.1 * uzaklık(E,T)$  denklemi kullanılmıştır. Geometrik model varsayımları şöyle özetlenebilir:

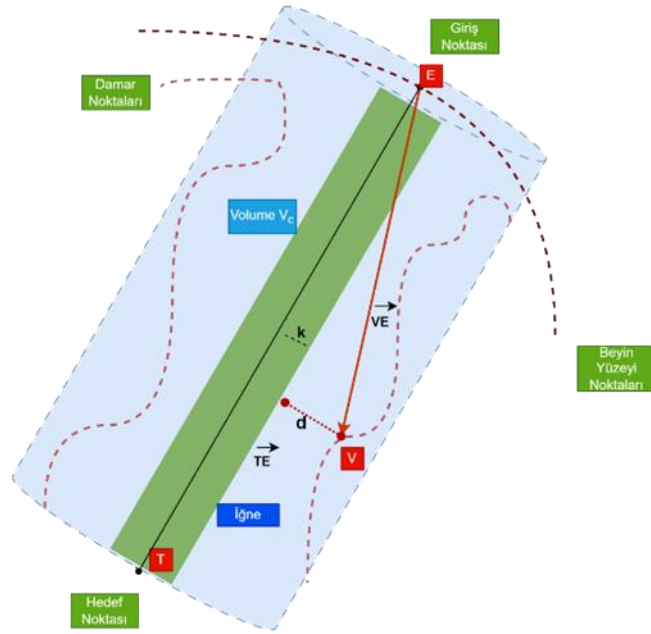
- i. Silindirik hacim  $V_c$ , bir pim doğrusal bir yörünge boyunca girerken aktif olan tüm mekansal risk faktörlerinin bir hacmi olarak varsayılır.
- ii. Bir voksel noktasındaki  $(x, y, z) \in V_c$  risk faktörünün oluşma olasılığı, bu noktanın vektörüne olan dik mesafesine ( $d$ ) oldukça bağlıdır.
- iii. Denklem (1) doğrultusunda, bir voksel noktasının  $(x,y,z)$  mekansal risk faktörü, oluşma olasılığı ile bir risk indeksi tahsisini ağırlıklandırarak şu şekilde nicelendirilebilir:

$$r(x, y, z) = P(d).H(x, y, z) \quad (2)$$

Burada,  $P(d)$  risk indeksi tahsisinin oluşma olasılığını ifade eder. Risk indeksi  $H(x, y, z)$ ,  $(x, y, z) \in V_c$  noktasındaki doğrusal yörünge biyopsi operasyonunun beyin dokuları veya beyin fonksiyonları üzerindeki olumsuz etkileri için ciddiyet derecesi atanmasında kullanılır. Nokta risk faktörlerini %0 riskten %100 risk'e ölçeklemek için tercihen  $[0,1]$  aralığında gerçek bir değer atanması tercih edilir. Bu çalışmada, sadece beyindeki vasküler sistemle ilişkilendirilen risk faktörleri dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, yüksek risk faktörü indeksi  $H = 1$  silindirik risk hacmi  $V_c$  içindeki damar noktalarına atanır.  $V_c$  hacmindeki diğer noktaların en düşük değere ( $H = 0$ ) sahip olduğu varsayılır.

$$H(x, y, z) = \begin{cases} 1, & (x, y, z) \in VeinPs \\ 0, & diğer bölgeler \end{cases} \quad (3)$$

Damar Noktaları (VeinPs) silindirik hacim  $V_c$  içindeki damar noktaları kümesi (damar ile ilişkili voxeller) ve bu nokta kümesi, ITKTubeTK veri setinden [17] alınan vasküler verilerden elde edilir.



Şekil 1.  $\vec{TE}$  vektörü ile belirtilen bir pin yörüngesi için silindirik risk hacmi

Damar noktalarının pin yörüngesine olan mesafesi arttıkça, gerçekleşme olasılığı azalır. Ölçülebilir doğal fenomenler genellikle Gauss dağılımına sahip olma eğilimindedir. Bu nedenle, risk faktörlerinin gerçekleşme olasılığının mesafeye bağımlılığını bir Gauss fonksiyonu şeklinde temsil etmek doğaldır. Ancak, pin deliklerinin sıfır olmayan kalınlığı, olasılık modelinin biyopsi operasyonunun fiziksel doğasıyla uyumunu zorlaştırır. Fiziksel dünyaya daha uygun olasılıksal modelleme için, noktaların mesafesi  $d$  ve pin kalınlık parametresine göre uzamsal risk faktörlerinin gerçekleşme olasılığını modellemek için parçalı Gauss benzeri bir fonksiyon önerilmektedir.

$$P(d, k, \sigma) = \begin{cases} 1 & , d \leq k \\ e^{-\frac{(d-k)^2}{\sigma^2}} & , d > k \end{cases} \quad (4)$$

Burada  $k$  parametresi, iğnenin maksimum yarıçapı  $d$  ise modellenen silindirin yarıçapıdır. (Pin penetrasyon sürecindeki hassasiyet sorunları nedeniyle, daha gerçekçi risk analizi için pratikte pin açıklığının doku hasarı yarıçapı maksimum pin yarıçapı  $k$  olarak kullanılabilir.) Standart sapma  $\sigma$ , pin yüzeyinden  $d - k$  olan mesafeye bağlı olarak gerçekleşme olasılığının azalma eğilimini belirler ve  $\sigma$  parametresi, çevresel risk bölgesinde risk faktörlerinin gerçekleşme olasılığının yayılımını ayarlamak için kullanılabilir. Pinin doğrusal bir yörüngeyi takip edebilmesi nedeniyle, pin yörüngesine dik olan mesafe  $d = \frac{\|\vec{TE} \times \vec{VE}\|}{\|\vec{TE}\|}$  formülü ile hesaplanabilir [18], bu

formül bir vektör noktası  $\vec{VE}$  (bir damar noktası) ile vektör  $\vec{TE}$  arasındaki dik mesafeyi ifade eder. Şekil 1,  $k$  ve  $d$  fiziksel parametreleri ile karakterize edilen yerel risk hacmi içinde iki alt bölgeyi göstermektedir. Birincisi pin bölgesi (pin-damar kesişmesi nedeniyle en yüksek risk faktörlerinin bulunduğu bölge) ve ikincisi çevresel risk bölgesi (pinin etrafındaki uzamsal risk faktörlerinin yayılımı). Geometrik bir bakış açısıyla,  $d$  yarıçapı, tüm uzamsal risk faktörlerinin toplandığı, bir pin giriş noktası E'nin hacimsel yerel risk puanına katkıda bulunabilecek silindirik bir risk hacmi  $V_c$ 'yi sınırlamaktadır. Gauss benzeri olasılık fonksiyonunun (Denklem (4)) risk hacmi modeli ile olan ilişkisini görsel olarak tanıtmak için, ilgili fiziksel parametreleri ve ilişkili alt

bölgeleriyle birlikte karşılık gelen parçalı Gauss benzeri gerçekleşme olasılığı fonksiyonunun bir taslağı da Şekil 5'te çizilmiştir.

$$R(V_c(\overrightarrow{TE})) = \sum_{\forall(x,y,z) \in V_c(\overrightarrow{TE})} P(d) \cdot H(x, y, z) \quad (5)$$

Hacimsel yerel risk modeli, hacim  $V_c(\overrightarrow{TE})$  içindeki tüm mekansal risk faktörlerinin (Denklem (5)) toplanması nedeniyle bir pin giriş noktasının genel riskini tahmin eder. (Aslında, bu model, tüm mekansal risk faktörlerini  $\overrightarrow{TE}$  güzergahı boyunca ekleyerek pinin uzunluğunu da hesaba katar.) Ancak, giriş noktası seçimi aşamasında, bu genel risk değerlendirmesi giriş noktası belirleme sürecini yanıltabilir. Örneğin, bir giriş noktasının hacimsel yerel riski başka bir noktadan daha düşük tahmin edilse bile, risk hacminde çok yüksek bir mekansal risk faktörü değeri (1 değeri) olabilir, bu da bir pin-damar kesişimini ve ciddi komplikasyonlara neden olur. Bu nedenle, giriş noktası seçilirken, çok yüksek mekansal risk faktörlerine sahip  $r(x, y, z) \approx 1$  giriş noktaları, genel risk haritasından çıkarılmalıdır.

Çok yüksek mekansal risk faktörlerine sahip  $\overrightarrow{TE}$  güzergahlarını tespit etmek ve ilgili giriş noktalarını giriş noktası seçeneklerinden elemek için, hacimsel maksimum risk indeksi,  $V_c(\overrightarrow{TE})$  hacminde mekansal risk faktörlerinin maksimum değerini bularak elde edilebilir:

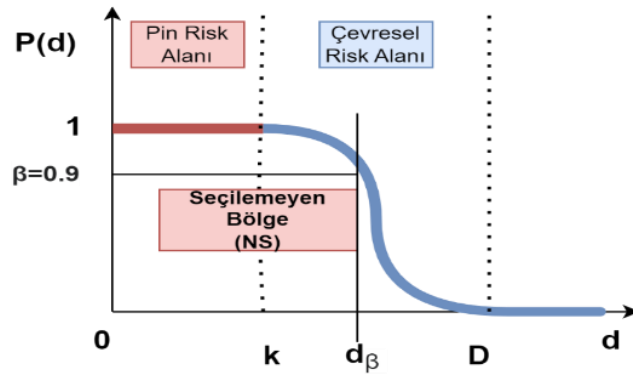
$$r_{max}(V_c(\overrightarrow{TE})) = \max_{\forall(x,y,z) \in V_c(\overrightarrow{TE})} \{r(x, y, z)\} \quad (6)$$

Bu maksimum risk faktörleri, yüksek riskli noktaları risk haritasından filtrelemek için kullanılır. Seçilebilir giriş noktaları içeren risk haritası, hacimsel maksimum risk faktörü göz önünde bulundurularak ve yüksek maksimum risk faktörlerine sahip giriş noktaları çıkarılarak oluşturulabilir.

$$R_S(V_c(\overrightarrow{TE})) = \begin{cases} R(V_c(\overrightarrow{TE})) & r_{max}(V_c(\overrightarrow{TE})) < \beta \\ NS & r_{max}(V_c(\overrightarrow{TE})) \geq \beta \end{cases} \quad (7)$$

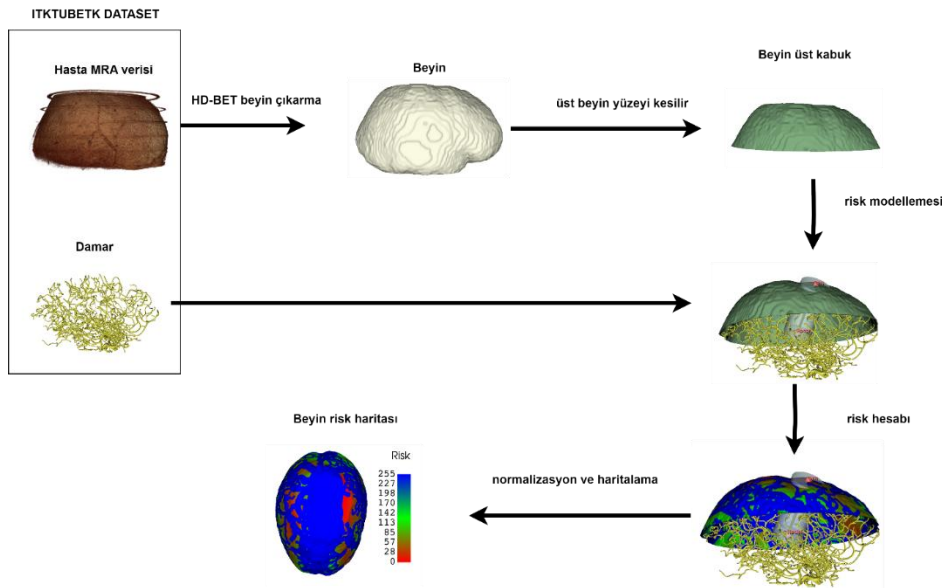
Burada  $\beta \in [0,1]$ , mekansal risk faktörleri için yüksek risk eşiğidir. NS etiketi, seçilemez noktaları gösterir ve bu etiket, ilgili giriş noktalarını beyin cerrahlarının seçim listesinden çıkarır. Giriş noktası seçme işlemi,  $R_S(V_c(\overrightarrow{TE}))$  ile gösterilen seçilebilir noktaların risk haritası dikkate alınarak gerçekleştirilebilir.

Şekil 2, yüksek risk eşiği değeri  $\beta = 0.9$ 'a göre seçilemez (NS) etiketlemesi için damar ile pin arasındaki mesafeyi göstermektedir. Bir damar noktası,  $d_\beta$  mesafesinden daha düşük bir mesafeye düştüğünde, damar-pin kesişimlerinin çok yüksek riskinden dolayı giriş noktası NS olarak atanır. Bu nedenle, yüksek risk eşiği bir güvenlik eşiği olarak değerlendirilebilir.



Şekil 2. NS olarak etiketlenen yüksek risk eşiğinin grafiksel temsili

Önerilen yöntem ile gerçekleştirilen beyin risk haritalandırılmasında öncelikle hastanın MRA verisi ve hastaya ait beyin damar modeli girdi olarak alınır MRA verisinde beyin çıkarma işlemi yapılır, üst beyin yüzeyi kesilir ve damar ağacı ile her bir beyin yüzeyi noktaları arasında oluşturulan yörünge merkezli silindirik modellerde ihtiva edilen damar hacmi dikkate alınarak bu damar noktalarının yörüngeye olan dik uzaklığına göre önerilen yöntem için belirtilen denklem 7 kullanılarak risk hesabı ve derecelendirilmesi yapılır. Önerilen yöntemin akış şemasına ait görsel şekil 3'da sunulmuştur.



Şekil 3. Önerilen yöntem risk hesabı ve akış şeması

### 3. YAZILIM UYGULAMASI ve SİMULASYON ÇALIŞMALARI

Simülasyon çalışması, Kitware şirketi tarafından sağlanan ITKTubeTK veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu veri seti, beş farklı yaş grubundan (18-29, 30-39, 40-49, 50-59 ve 60+) 100 sağlıklı bireyden toplanan T1, T2, MRA ve DTI görüntülerini içermektedir. Ayrıca, 15 kişinin beyin damar ağaçları uzmanlar tarafından etiketlenmiş ve veri setine bir damar modeli olarak kaydedilmiştir. Bu nedenle, ITKTubeTK veri seti, beyin damarlarını ele alan çalışmalar için çok önemli bir kaynak haline gelmiştir. Sayısal gösterim için, önerilen hacimsel yerel risk skorlama yöntemi, Python programlama dili ve Torch kütüphanesi kullanılarak açık

kaynaklı 3D Slicer [19-26] programında uygulanmıştır. Şekil 7, önerilen hacimsel risk skorlama yaklaşımı için bir sözdizimi kodunu göstermektedir. Bu kod, beyin lineer-trajectory biyopsisinde 3D damar ağacı risk haritalamasını elde etmek için kullanılmıştır. Hesaplama süresini azaltmak için, paralel hesaplama yöntemleri kullanılmış ve nöroşirurjilerin bilgisayar destekli giriş noktası seçim süreci için yerel risk haritaları, yaklaşık 259256 beyin veri noktası için ortalama 48 saniyede elde edilmiştir. Bu simülasyonlar, Intel Core i9-10 çekirdekli işlemci, NVIDIA'nın RTX A6000 GPU grafik kartı, 256 GB RAM gibi bir bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

```
Girişler: BrainSurfacePoints,D,k,β,ξ, VeinPs,TargetP  
Çıktılar: Risks,NotSelects  
σ = (D - k)/ξ # standard deviation  
for EnterPs in BrainSurfacePoints:  
    VE = VeinPs - EnterPs  
    TE = (TargetP - EnterPs) * 1.15  
    ||p|| = ||dotProduct(VE, TE)||/||TE||  
    d = norm(cross(VE, TE)/||TE||)  
    CylinderIn = (d ≤ D) ∧ (||p|| ≤ ||TE||)  
    NeedleIn = (d ≤ k)  
    A = NeedleIn * 1 + (NeedleIn) * exp(-(d - k)/σ)2 * CylinderIn  
    Risks.append(Σ(A, dim = 1))  
    NotSelects.append(Σ((A ≥ β), dim = 1))  
return Risks,NotSelects
```

Şekil 7. Önerilen risk hesaplama algoritmasının sözdizimi kodu

### Simülasyon Sonuçları:

Önerilen yaklaşım tarafından otomatik olarak tespit edilen yörüngelerin (Giriş-Hedef), iki farklı beyin cerrahı tarafından manuel olarak belirlenen biyopsi cerrahisi için belirlenen yörüngelerle karşılaştırılarak değerlendirilmesi için karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. ITKTubeTK veri setindeki 15 bireyin MRA verileri, yörünge karşılaştırması için kullanılmıştır. Her birey için damar ağacı bilgileri veri setinde mevcuttur. Başlangıçta, MRA verilerinden beyin bölgesi otomatik olarak HD BET [27] uygulaması kullanılarak 3D Slicer programının uzantıları içinde bulunur. Beyin bölgesinin çıkarılmasında yüksek doğrulukla, bu uzantı için ortalama işleme süresi kişi başına yaklaşık 15 saniyedir. Beyin bölgesinin çıkarılmasından sonra, beyin merkez noktası hesaplandı ve bu nokta Hedef Nokta olarak tanımlandı. Hedef noktaların beyin merkez noktası olarak seçilmesinin iki avantajı bulunmaktadır. İlk olarak, iç bölgelerde hedef noktaya sahip olmak, cerrahlar için beyin içindeki bir noktaya ulaşmanın zor olacağı anlamına gelir, çünkü damar ağacı gibi yapıları vurmada beyin derinliklerine ulaşmak zordur. İkincisi, tümör tespit sorunu bu çalışmanın kapsamı dışındadır. Okuyucunun ilgisini başka konulara kaydırmamak için, tümör tespiti faaliyetleri gerçekleştirilmemiş ve beyin merkez noktası tümör merkezi olarak seçilmiştir. İlk olarak, 3D Slicer programında, 15 bireyin MRA verilerinde iki farklı beyin cerrahı tarafından manuel olarak belirlenen Giriş Noktalarının kaydedilmesini sağlayan küçük bir eklenti yazılımı geliştirilmiştir. Her cerrah, deneyimlerine dayanarak MRA verilerini titizlikle inceleyerek, tümör biyopsi operasyonu için giriş noktasını belirlemiş, bu noktaya bir işaretçi yerleştirmiş ve geliştirilen eklentiyi kullanarak işaretçi noktalarını kaydetmiştir. Cerrahlar tarafından manuel olarak belirlenen giriş noktaları belirlendikten sonra, her MRA verisi önerilen yaklaşım için giriş noktaları otomatik olarak tespit edilmiştir. Bu bölümde, otomatik veya manuel olarak belirlenen yörüngelerin risk haritası üzerindeki etkileri, k ve Beta parametrelerinin değerlerine dayalı olarak incelenecektir. Beyin bölgesinin üst yüzeyi, çeşitli parametre ayarlarında farklı renklerle gösterilmektedir. Burada, k biyopsi iğnesinin yarıçapını temsil eder ve Beta iğnenin güvenlik marjını belirtir. k=1 ve Beta=0.999 durumu, güvenlik seviyesinin en aza indirildiği durumu ifade eder. Bu durumda, damar vokselini vuran yörünge maksimum risk değerini üretirken, çarpışma olmadığı alanlarda silindirik içindeki toplam risk değeri kullanılır. Beta parametresini 0,999 seviyesinden 0,99 ve 0,9 seviyelerine indirme, iğne etrafındaki güvenli bölgeyi artırır. k=1 ve Beta=0,9 durumunu incelediğimizde, mavi renkle gösterilen tehlikeli bölgenin beyin yüzeyinin önemli bir kısmını kapladığını görüyoruz. Kalan küçük parçalardan girilmesi, yörüngenin boyunca damar ağacı ile çarpışmanın olmadığından emin olur. k=1 seçilmesi, 2mm

çapında bir iğneyi ima eder. Şekildeki ilk sütundaki görüntüler, yüksek güvenlik marjına kalın iğne bağlantısı eklenerek elde edilir. Ancak,  $k=1$  seçildiğinde, Beta parametresinin risk haritası üzerindeki etkisinin düşük olduğu gözlemlenir. Bu, kalın bir iğne seçmenin, beyin yüzeyinin büyük bir kısmı için damar yapısına vurma riski üretmesi ve Beta parametresinin risk haritası üzerindeki etkisinin düşük olmasının bir sonucudur.

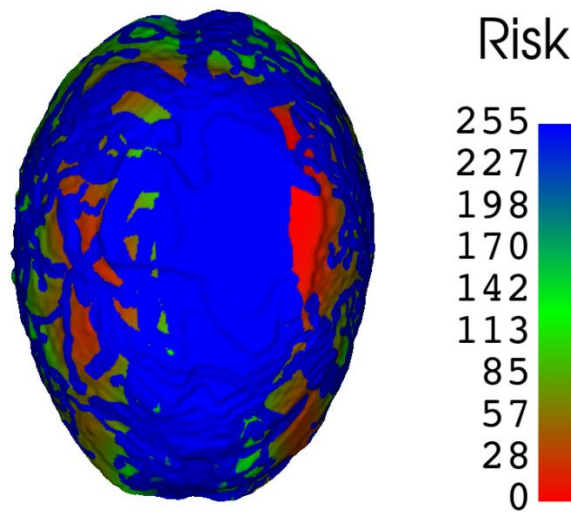
Risk hesaplamasındaki Gauss dağılımının standart sapması,  $\sigma = (D - k)/\xi$  formülüyle belirlenir, burada  $D$  ve  $k$  parametreleri Gauss dağılımının yayılma aralığını belirler. Bu nedenle, düşük  $D$  değerleri için dar bir yayılma, yüksek değerler için ise geniş bir yayılma beklenir.

Tablo 1, önerilen yöntemle otomatik olarak tespit edilen ve cerrahlar tarafından manuel olarak belirlenen farklı hastalara ait yolların (Giriş-Hedef) kapsamlı bilgisini sağlar. Tablo 1'deki her bir satır farklı bir hasta için olup, çalışmaya toplamda 15 hasta dahil edilmiştir. Her bir hastaya, iki cerrah ve bir yöntemle hesaplanan üç farklı yol istenmiştir. Daha sonra, her bir yol için damar ağacına dokunma risk değeri (sol), uzunluk (sağ) değeri hesaplanmıştır.

Tablo 1'deki risk değerleri dikkatlice incelendiğinde, önerilen yöntemin cerrahlara kıyasla daha düşük riskli yol noktalarını tespit edebildiği gözlemlenir. Bu gözlem, tüm 15 hastada geçerlidir ve şartıtcı değildir. Önerilen yöntem, hastanın beyin yüzeyindeki tüm noktaları tarar, her nokta için riski hesaplar ve sonunda hesaplanan risk değeri en düşük olan yolu seçer. Bu nedenle, beyin yüzeyinde önerilen yaklaşım tarafından tespit edilen giriş noktasından daha düşük bir risk değerine sahip ikinci bir nokta olmadığından emin olur. Cerrah1, Cerrah2 ve Önerilen Yöntem tarafından belirlenen 15 hastanın yolları için ortalama risk değerleri sırasıyla 1348, 1495 ve 660 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama yol riski sonuçlarına göre, önerilen yöntem, Cerrah1 ve Cerrah2'ye kıyasla sırasıyla %46,66 ve %53,33 yüksek oranda daha düşük riskli yolları belirleyebilir. Bu sonuçlar, önerilen yaklaşımın düşük riskli yolları belirlemedeki başarısını açıkça göstermektedir.

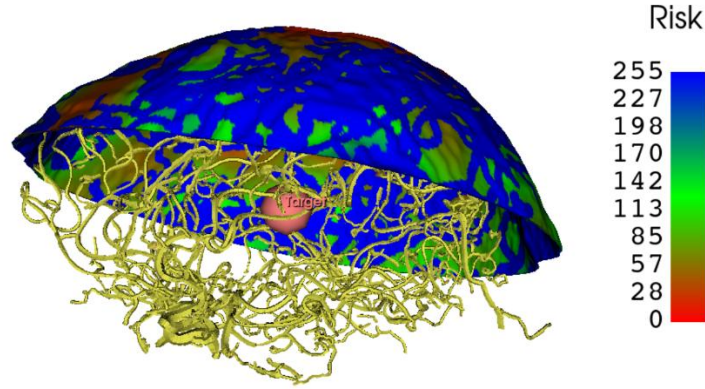
Buna karşın, önerilen yöntem tarafından bulunan en düşük riskli yolun 10 hastada en kısa mesafeye sahip olduğu ve 5 hastada en kısa olmadığı gözlemlenmiştir. Uzunluk açısından her zaman en kısa yolun bulunmaması beklenen bir sonuçtur. Çünkü bu çalışma, vasküler yapıya çarpma riskini en aza indirmeye odaklanmaktadır. Bu nedenle, yol uzunluğu parametresi risk formülasyonuna dahil edilmemiştir.

Önerilen yöntem ile elde edilen ITKTUBETK data setindeki 27 no'lu hastanın beyin risk haritası şekil 4'te sunulmuştur. Risk değerlerine göre en düşük risk kırmızı en yüksek risk mavi olacak şekilde renklendirilmiştir.



Şekil 4. 27 no'lu hastaya ait beyin risk haritası

Önerilen yöntem ile elde edilen ITKTUBETK datasetindeki 27 no'lu hastanın risk derecelendirmesi yapılmış beyin üst kabuğu, damar ağacı ve hedef nokta (Target) şekil 5'te farklı bir açıdan görüntüsü sunulmuştur. Risk değerlerine göre en düşük risk kırmızı en yüksek risk mavi olacak şekilde renklendirilmiştir.



Şekil 5. 27 no'lu hastaya ait beyin risk haritası beyin üst kabuğu, damar haritası, hedef nokta ile birlikte

**Tablo 1.** Önerilen hacimsel yerel risk haritalarına göre en düşük riskli nokta seçimlerinin iki cerrahın manuel cerrahi işaretlemelerine karşılık gelen risk değerleri ile karşılaştırılması, risk ve yörünge uzunluğuna göre en iyi değerler kalın karakterlerle belirtilmiştir. ( $k=10\text{mm}$ ,  $D=30\text{mm}$ ,  $\xi=3$ )

	Trajeksiyon Risk Değerleri			En İyi Yörüngelerin Uzunluğu		
	Cerrah 1	Cerrah2	Önerilen	Cerrah 1	Cerrah2	Önerilen
1	688	3580	<b>317</b>	70,39	70,85	<b>63,39</b>
2	1447	973	<b>243</b>	<b>69,74</b>	71,25	87,02
3	719	720	<b>73</b>	<b>68,53</b>	72,68	72,96
4	1328	1438	<b>860</b>	77,17	76,9	<b>64,51</b>
5	1768	862	<b>531</b>	72,21	68,52	<b>63,6</b>
6	1786	1686	<b>833</b>	75,35	76,48	<b>69,06</b>
7	728	1507	<b>377</b>	67,26	<b>59,06</b>	66,38
8	1271	1418	<b>722</b>	84,57	82,57	<b>72,32</b>
9	2064	1364	<b>1107</b>	84,12	79,92	<b>65,52</b>
10	2151	2173	<b>1276</b>	79,9	82,22	<b>62,23</b>
11	1884	2172	<b>1051</b>	67,04	<b>65,4</b>	67,8



12	1142	1348	<b>712</b>		87,42	87	<b>66,98</b>
13	1085	856	<b>395</b>		68,52	81,9	<b>62,84</b>
14	491	302	<b>134</b>		<b>83,66</b>	84,17	86,21
15	1665	2023	<b>1274</b>		92,89	92,95	<b>75,48</b>
ORT.	1348	1495	660		76,58	76,79	69,75

#### 4. TARTIŞMA

Beyin tümörü ameliyatlarında biyopsi noktalarının belirlenmesi için sunulan hacimsel yerel risk analiz modeli, operasyon hacmi içindeki mekânsal risk faktörlerini dikkate alarak en güvenli giriş noktalarını belirlemede umut verici sonuçlar göstermiştir. Risk faktörlerinin genel katkısını tahmin etmek için parçalı Gauss olasılık fonksiyonunun entegrasyonu, risk değerlendirmelerinin doğruluğunu artıran yenilikçi bir yaklaşımdır. Literatürdeki risk haritası çıkaran yaklaşımlar düşük nokta sayılı modeller üretirken önerilen yaklaşım yüksek nokta sayılı hassas modeller üretebilmektedir. Ayrıca literatürdeki risk hesaplama yaklaşımlarının tamamında trajektörü boyunca damara değip değmeme durumu kontrol edilir ve trajektörünün riskli veya risksiz olduğuna karar verilir. Buna karşılık önerilen yöntemde, her bir trajektörünün risk değeri 0-255 aralığında değişmektedir.

Önerilen yöntemin ana avantajlarından biri, pin yörüngesinin merkezinde silindirik bir yapı kullanarak giriş risk haritası oluşturma yeteneğidir. Bu yöntem, silindir içindeki damar voksellerinin mesafesini dikkate alarak riskin kapsamlı bir değerlendirmesini sağlar. Sonuç olarak, beyin yüzeyi risk değerlerine göre renklendirilir, bu da düşük riskli biyopsi noktalarının daha kolay belirlenmesini sağlar.

İki beyin cerrahı tarafından işaretlenen 15 hasta verisiyle yapılan doğrulama çalışması, risk modelinin etkinliğini göstermektedir. Sonuçlar, otomatik olarak tespit edilen yörüngeler ile deneyimli cerrahlar tarafından manuel olarak belirlenen yörüngeler arasında önemli bir korelasyon göstermektedir. Bu, modelin güvenilir bir şekilde düşük riskli biyopsi giriş noktalarını tahmin edebileceğini ve beyin ameliyatları sırasında vasküler yaralanma olasılığını potansiyel olarak azaltabileceğini göstermektedir.

Gelecekteki çalışmalar, risk modeline fonksiyonel MRI (fMRI) verilerinin entegrasyonuna odaklanacaktır. Bu ekleme, cerrahi sırasında önemli nörolojik işlevlerin korunması açısından kritik olan fonksiyonel beyin aktivitesini bilgisini de içerecek şekilde risk değerlendirmelerinin doğruluğunu daha da artırmayı amaçlamaktadır. Bu iyileştirmenin, cerrahi risk manzarasının daha bütünsel bir görünümünü sağlayarak hasta sonuçlarını iyileştirmesi beklenmektedir.

Hacimsel yerel risk analiz modeli, ayrıntılı ve doğru risk haritaları sağlayarak mevcut yöntemlere kıyasla önemli bir ilerleme sunmaktadır. Klinik verilerle yapılan başarılı doğrulama, bu modelin nöroşirürjik planlamada değerli bir araç olma potansiyelini vurgulamaktadır. Özellikle fMRI verilerinin entegrasyonu, bu modelin daha güvenli ve etkili beyin tümörü ameliyatlarını destekleme kapasitesini geliştirmeye devam edecektir. Bununla birlikte çalışmada kullanılan veri kümesi hastaya ait damar ağacı içerse de çalışmanın yaygın olarak kullanılabilmesi için hasta MRA veya MR görüntülerinin yanı sıra damar ağacı modeline de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden çalışmanın gerçek hayatta uygulanabilirliği beyin damarı ağacı modelinin de üretilir ve ulaşılabilir olmasına da bağlıdır.

#### 5. SONUÇ

Bu çalışmada beyin kritik bölgelerinde olabilen bir noktaya güvenli bir şekilde ulaşabilmek için bir yaklaşım sunulmaktadır. Bu yaklaşım, trajeksiyon boyunca beyin damar ağacına değme riskinin hesaplanması ve risk değerine göre kafatasının renklendirilmesine dayanmaktadır. Buna göre cerrahi operasyon esnasında beyin cerrahına renkli bir kafatası haritası gösterilerek en doğru noktadan giriş yapılabilmesi hedeflenmiştir. Böylelikle beyin operasyonlarında komplikasyon riskini minimize etme konusunda etkileyici sonuçlar sunulmakta ve cerrahlara düşük riskli bölgelerden operasyon yapma imkânı tanınmaktadır.

Bu çalışmanın çıktısı, açık kaynaklı 3d Slicer programı içerisinde çalışabilen yeni bir beyin hedefleme yazılımının geliştirilmesidir. Bu yazılım girdi olarak hastaya ait bir MRA verisini almakta ve üç aşamalı (beyin modeli tahmini, beyin üst kabuk kısmının elde edilmesi, aday giriş noktalarının üst kabukta beyin vasküler yapısı ve hedef nokta kullanılarak risk değerlerinin hesaplanması) bir çalışma sonucunda hedefe olan tüm trajeksiyonların risk değerlerini gösteren bir harita üretilmektedir. Cerrah hedefe ulaşabileceği en az riskli giriş noktasını belirlerken üretilen haritayı kullanmaktadır.

Önerilen yöntemin doğrulama faaliyetleri için farklı iki nörocerrah tarafından manuel olarak işaretlenmiş trajeksiyonlar kullanılmıştır. 15 farklı hastanın MRA verileri kullanılarak yapılan çalışmalar sonucunda, önerilen yaklaşımın cerraha risk haritasını tamamen sunabildiği ve bu sayede serebral vasküler ağ ile temas riskini neredeyse ortadan kaldırdığı görülmüştür. Bir sonraki çalışmada, risk haritasının hesaplanmasında sadece vasküler yapı değil, aynı zamanda farklı katsayılara sahip beyin fonksiyonel bölgeleri de dikkate alınacaktır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 122E495 numaralı proje ile desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız.

## KAYNAKLAR

1. Mitchell, V.W. (1995) Organizational Risk Perception and Reduction: A Literature Review. *British Journal of Management*, 6, 115-133.
2. Macdonald, D. (2004) *Practical Hazops, Trips and Alarms*. Elsevier, Oxford.
3. Smith, P. G., & Merritt, G. M. (2020). *Proactive risk management: Controlling uncertainty in product development*. CRC Press.
4. Caplan, J. M., Kennedy, L. W., Barnum, J. D., & Piza, E. L. (2015). Risk terrain modeling for spatial risk assessment. *Cityscape*, 17(1), 7-16
5. Queiroz, N., Humphries, N. E., Couto, A., Vedor, M., Da Costa, I., Sequeira, A. M., ... & Sousa, L. L. (2019). Global spatial risk assessment of sharks under the footprint of fisheries. *Nature*, 572(7770), 461-466.
6. Bai, F., Chisholm, R., Sang, W., & Dong, M. (2013). Spatial risk assessment of alien invasive plants in China. *Environmental Science & Technology*, 47(14), 7624-7632.
7. Li, F., Huang, J., Zeng, G., Yuan, X., Li, X., Liang, J., ... & Bai, B. (2013). Spatial risk assessment and sources identification of heavy metals in surface sediments from the Dongting Lake, Middle China. *Journal of Geochemical Exploration*, 132, 75-83.
8. Carlon, C., Pizzol, L., Critto, A., & Marcomini, A. (2008). A spatial risk assessment methodology to support the remediation of contaminated land. *Environment International*, 34(3), 397-411.
9. Li, S., Li, Z., Dong, Y., Shi, T., Zhou, S., Chen, Y., ... & Qin, F. (2023, May). Temporal-spatial risk assessment of COVID-19 under the influence of urban spatial environmental parameters: The case of Shenyang city. In *Building simulation* (Vol. 16, No. 5, pp. 683-699). Beijing: Tsinghua University Press.
10. Winters, A. M., Eisen, R. J., Delorey, M. J., Fischer, M., Nasci, R. S., Zielinski-Gutierrez, E., ... & Eisen, L. (2010). Spatial risk assessments based on vector-borne disease epidemiologic data: importance of scale for West Nile virus disease in Colorado. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 82(5), 945.
11. Gaffari Çelik. Muhammed Fatih Talu , A new 3D MRI segmentation method based on generative adversarial network and atrous convolution *Biomed. Signal Process. Control* (2022) Volume 71, Part A, 2022, 103155, ISSN 1746-8094
12. Lynagh R, Ishak M, Georges J, Lopez D, Osman H, Kakareka M, et al. Fluorescence-guided stereotactic biopsy: a proof-of-concept study. *J Neurosurg.* (2019) 22:1–7. doi: 10.3171/2018.11.JNS18629
13. Zanello, M., Carron, R., Peeters, S. et al..Automated neurosurgical stereotactic planning for intraoperative use: a comprehensive review of the literature and perspectives.*Neurosurg Rev* 44, 867-888 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10143-020-01315-1>.
14. Hu Yue, Cai Pu, Zhang Huawei, Adilijiang Aihemaitiniyazi, Peng Jun, Li Yun, Che Shanli, Lan Fei, Liu Changqing, (2022), A Comparison Between Frame-Based and Robot-Assisted in Stereotactic Biopsy, *Frontiers in Neurology*, Vol=13, Issn=1664-2295, <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.928070>.

15. Jung, I-H, Chang, KW, Park, SH, et al. Stereotactic biopsy for adult brainstem lesions: A surgical approach and its diagnostic value according to the 2016 World Health Organization Classification. *Cancer Med.* 2021; 10: 7514–7524. <https://doi.org/10.1002/cam4.4272>
16. Trope, M., Shamir, R.R., Joskowicz, L. et al. The role of automatic computer-aided surgical trajectory planning in improving the expected safety of stereotactic neurosurgery. *Int J CARS*10, 1127–1140 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11548-014-1126-5>
17. ITKTubeTK dataset shared on <https://public.kitware.com/Wiki/TubeTK> [Online] Erişim Tarihi: 16.04.2022.
18. Nagwa, “Lesson explainer: The Perpendicular distance between points and straight lines in Space Mathematics,” Nagwa. [Online].
19. Kikinis R, Pieper SD, Vosburgh K (2014) 3D Slicer: a platform for subject-specific image analysis, visualization, and clinical support. *Intraoperative Imaging Image-Guided Therapy*, Ferenc A. Jolesz, Editor 3(19):277–289 ISBN: 978-1-4614-7656-6 (Print) 978-1-4614-7657-3 (Online)
20. Kapur, Tina; Pieper, Steve; Fedorov, Andriy; Fillion-Robin, J-C; Halle, Michael; O'Donnell, Lauren; Lasso, Andras; Ungi, Tamas; Pinter, Csaba; Finet, Julien; Pujol, Sonia; Jagadeesan, Jayender; Tokuda, Junichi; Norton, Isaiah; Estepar, Raul San Jose; Gering, David; Aerts, Hugo J W L; Jakab, Marianna; Hata, Nobuhiko; Ibanez, Luiz; Blezek, Daniel; Miller, Jim; Aylward, Stephen; Grimson, W Eric L; Fichtinger, Gabor; Wells, William M; Lorensen, William E; Schroeder, Will; Kikinis, Ron; 2016. “Increasing the Impact of Medical Image Computing Using Community-Based Open-Access Hackathons: The NA-MIC and 3D Slicer Experience.” *Medical Image Analysis* 33 (October): 176–80.
21. Fedorov A., Beichel R., Kalpathy-Cramer J., Finet J., Fillion-Robin J-C., Pujol S., Bauer C., Jennings D., Fennessy F.M., Sonka M., Buatti J., Aylward S.R., Miller J.V., Pieper S., Kikinis R. 3D Slicer as an Image Computing Platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson Imaging.* 2012 Nov;30(9):1323-41. PMID: 22770690. PMID: PMC3466397.
22. Pieper S, Lorensen B, Schroeder W, Kikinis R. The NA-MIC Kit: ITK, VTK, Pipelines, Grids and 3D Slicer as an Open Platform for the Medical Image Computing Community. *Proceedings of the 3rd IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro 2006*; 1:698-701.
23. Pieper S, Halle M, Kikinis R. 3D SLICER. *Proceedings of the 1st IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro 2004*; 1:632-635.
24. Gering D.T., Nabavi A., Kikinis R., Hata N., O'Donnell L., Grimson W.E.L., Jolesz F.A., Black P.M., Wells III W.M. An Integrated Visualization System for Surgical Planning and Guidance using Image Fusion and an Open MR. *J Magn Reson Imaging.* 2001 Jun;13(6):967-75. PMID: 11382961.
25. Gering D.T., Nabavi A., Kikinis R., Grimson W.E.L., Hata N., Everett P., Jolesz F.A., Wells III W.M. An Integrated Visualization System for Surgical Planning and Guidance using Image Fusion and Interventional Imaging. *Int Conf Med Image Comput Comput Assist Interv.* 1999 Sep;2:809-19.
26. 3D Slicer application available at: <https://www.slicer.org/> [Online] Date of Access: 09.04.2022.
27. Isensee F, Schell M, Tursunova I, Brugnara G, Bonekamp D, Neuberger U, Wick A, Schlemmer HP, Heiland S, Wick W, Bendszus M, Maier-Hein KH, Kickingereder P. Automated brain extraction of multi-sequence MRI using artificial neural networks. *Hum Brain Mapp.* 2019; 1–13.

## Mevcut ve Geleceğe Yönelik Gıda Sorunlarının Yenilikçi Çözümleri ve Çevresel Açından İncelenmesi

Taha CEYLANI<sup>1</sup>, Gizem Hazan AKÇAY<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Muş Alparslan Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Gıda İşleme Bölümü, Muş/Türkiye.  
ORCID: 0000-0002-3041-6010

<sup>1</sup>Muş Alparslan Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Muş/Türkiye.  
ORCID: 0000-0002-5885-7934

Sorumlu Yazar: gh.caglayan@alparslan.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.10.2024

Kabul Tarihi: 11.12.2024

### Özet

Bu derleme, günümüz ve yakın gelecekte karşılaşılan gıda sorunlarına ve bu sorunlara getirilmesi gereken yenilikçi çözümlere odaklanmaktadır. Nüfus artışı, iklim değişikliği, artan gıda talebi ve sürdürülebilirlik zorlukları, gıda güvenliği ve beslenme kalitesi konularında ciddi sorunlar yaratmaktadır. Bu bağlamda, gıda teknolojisinin rolü, sadece mevcut sorunları çözmekle kalmayıp, aynı zamanda gelecekteki gıda ihtiyaçlarını karşılamak için de kritik öneme sahiptir. Derlemede, sürdürülebilir tarım teknikleri, biyoteknoloji, genetiği değiştirilmiş organizmalar, alternatif protein kaynakları ve gelişmiş gıda koruma ve paketleme teknolojileri gibi yenilikçi çözümleri ele alınmaktadır. Bu teknolojilerin, gıda üretimini artırma, gıda israfını azaltma, çevresel etkileri minimize etme ve beslenme güvenliğini iyileştirme potansiyelleri incelenmektedir. Ayrıca, bu teknolojilerin sosyoekonomik ve çevresel etkileri, tüketici kabulü ve etik konuları da tartışılmaktadır. Geleceğe yönelik bakış açısıyla, gıda teknolojilerinde beklenen gelişmeler ve araştırma ve geliştirme için öncelikli alanlar belirtilmektedir. Politika yapımcılar, araştırmacılar ve endüstri için stratejik öneriler sunulmaktadır. Bu derleme, gıda teknolojisinin gelecekteki gıda sorunlarına çözüm olarak oynayacağı rolü vurgulamakta ve bu alanda yapılan araştırmaların önemini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, gıda teknolojisinin gıda güvenliği ve sürdürülebilirliği konusundaki mevcut ve gelecekteki zorluklara nasıl katkıda bulunabileceğini kapsamlı bir şekilde ele almakta ve bu alanda yapılan çalışmalarını desteklemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Gıda Teknolojisi, Gıda Güvenliği, Çevresel Etki, Sürdürülebilirlik, İklim Değişikliği

### Innovative Solutions and Environmental Analysis of Current and Future Food Problems

#### Abstract

This review explores the pressing current and forthcoming food challenges and the innovative solutions that are necessary to address them. The rise in population, climate change, escalating food demand, and sustainability issues are leading to serious food security and nutritional quality concerns. In this context, the role of food technology is critical not only in resolving existing issues but also in fulfilling future food requirements. The review evaluates innovative solutions such as sustainable agricultural techniques, biotechnology, genetically modified organisms, alternative protein sources, and advanced food preservation and packaging technologies. The potential of these technologies to increase food production, reduce food waste, minimize environmental impacts, and enhance nutritional security is assessed. Furthermore, the socio-economic and environmental implications of these technologies, as well as consumer acceptance and ethical considerations, are discussed. Looking ahead, potential developments in food technologies and priority areas for research and development are

identified. Strategic recommendations are provided for policymakers, researchers, and industry stakeholders. This review emphasizes the role of food technology as a solution to future food challenges and underscores the importance of research in this area. In conclusion, this work comprehensively examines how food technology can contribute to food security and sustainability in current and future challenges, supporting ongoing research in this field.

**Keywords:** Food Technology, Food Security, Environmental Impact, Sustainability, Climate Change



[Bu makale Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\) License ile lisanslanmıştır.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## 1. GİRİŞ

Gıda güvenliği ve sürdürülebilirliği, 21. yüzyılın en acil küresel zorluklarından biridir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) tarafından yapılan tahminlere göre, 2050 yılına kadar dünya nüfusunun 9.7 milyara ulaşması beklenmektedir [1]. Bu hızlı nüfus artışı, gıda sistemlerimiz üzerinde büyük bir baskı yaratmakta ve gıda güvenliği ile sürdürülebilir tarım uygulamalarını ön plana çıkarmaktadır. Ayrıca, iklim değişikliği, tarımsal üretim üzerindeki etkileriyle gıda güvenliğini daha da tehlikeye atmaktadır. Örneğin, küresel ısınmanın tarımsal verimlilik üzerindeki olumsuz etkileri, gıda üretimindeki düşümlere ve dolayısıyla gıda fiyatlarında artışa yol açabilir [2].

Mevcut ve yakın gelecekteki gıda sorunları, sadece nüfus artışı ve iklim değişikliği ile sınırlı değildir. Gıda israfı, dünya genelinde ciddi bir sorun oluşturmaktadır. FAO'nun raporlarına göre, dünya genelinde üretilen gıdanın yaklaşık üçte biri israf edilmekte veya kaybedilmektedir [3]. Bu durum, gıda güvenliğini tehdit ederken, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirlik açısından da büyük bir kayıptır. Gıda israfının azaltılması, gıda güvenliğinin artırılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi için kritik öneme sahiptir. Gıda teknolojisinin bu sorunlara potansiyel çözümleri, yenilikçi ve sürdürülebilir yaklaşımlar sunmaktadır. Örneğin, biyoteknoloji ve genetik mühendisliği, tarımsal verimliliği artırmak ve bitkilerin hastalık ve kuraklığa karşı direncini güçlendirmek için kullanılmaktadır [4]. Ayrıca, gıda işleme ve koruma teknolojilerindeki yenilikler, gıda israfını azaltmak ve gıda güvenliğini artırmak için önemli fırsatlar sunmaktadır. Örneğin, gelişmiş paketleme teknolojileri ve gıda koruma yöntemleri, gıda ömrünü uzatarak israfı azaltabilir [5].

Gıda teknolojisinin bu sorunlara getireceği çözümler, sadece teknik ve bilimsel yönleriyle değil, aynı zamanda sosyoekonomik ve çevresel etkileriyle de değerlendirilmelidir. Sürdürülebilir gıda üretimi ve tüketimi, küresel gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasında kilit rol oynamaktadır. Bu nedenle, gıda teknolojisinin gelişimi, multidisipliner bir yaklaşım gerektirmekte ve politika yapıcılar, araştırmacılar ve endüstri tarafından dikkatle ele alınmalıdır. Bu derleme, gıda teknolojisinin mevcut ve gelecekteki gıda sorunlarına getirebileceği yenilikçi çözümleri, etkili ve güncel referans bilgileriyle destekleyerek, bu alandaki araştırmaların ve politikaların yönlendirilmesine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

## 2. MEVCUT GIDA SORUNLARI

### 2.1. Nüfus Artışı ve Gıda Talebinin Artması

Dünya nüfusunun sürekli artışı, gıda talebinde önemli bir artışa yol açmaktadır. Birleşmiş Milletler'in tahminlerine göre, 2050 yılına kadar dünya nüfusu 9.7 milyara ulaşacak ve bu durum, mevcut gıda üretim sistemlerinin sürdürülebilirliğini ciddi şekilde sorgulamaktadır [6]. Nüfus artışı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, gıda güvenliğini tehdit eden bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bu artan talebi karşılamak için, gıda üretim sistemlerinin verimliliğini artırmak ve kaynak kullanımını optimize etmek zorunluluğu doğmaktadır [7]. Öncelikle, dünya genelinde insanların sağlığı, yaşamlarını sürdürebilmeleri için yeterli ve güvenli gıdaya ulaşmaları ve dengeli beslenebilmeleri oldukça gereklidir. Bu gereksinimin nedeniyle güvenli ve sağlıklı gıdanın üretimi ve tüketimi zorunludur fakat dünya nüfusundeki hızlı artış ve buna bağlı olarak artan çevre kirliliği, ekonomik güçsüzlük ve eğitimsizlik beslenme sorunlarını da beraberinde getirmektedir [8].

## 2.2. İklim Değişikliği ve Tarımsal Üretim Üzerindeki Etkileri

İklim değişikliği, tarımsal üretim üzerinde ciddi etkilere sahiptir. Artan sıcaklıklar, değişen yağış modelleri ve aşırı hava olayları, tarım alanlarını olumsuz etkileyerek gıda üretimini düşürmektedir [2]. Bu durum, özellikle su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde ve kuraklık riskinin yüksek olduğu alanlarda ciddi sorunlara yol açmaktadır. İklim değişikliği, aynı zamanda tarımsal hastalıkların ve zararlıların yayılımını da etkileyebilir, bu da gıda güvenliğini daha da zorlaştırmaktadır [9]. Ayrıca gıda israfı da küresel gıda sisteminin en büyük sorunlarından biridir. FAO'nun raporlarına göre, dünya genelinde üretilen gıdanın yaklaşık üçte biri israf edilmekte veya kaybedilmektedir [3]. Gıda israfı, üretimden tüketime kadar olan süreçte meydana gelmekte ve hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde ciddi kaynak kayıplarına yol açmaktadır. Gıda dağıtım ve lojistiği ise özellikle kırsal ve uzak bölgelere ulaşım zorlukları nedeniyle gıda güvenliği sorunlarını artırmaktadır.

## 2.3. Beslenme ve Gıda Güvenliği

Beslenme güvenliği, yeterli, güvenli ve besleyici gıdaya erişimin sağlanması anlamına gelir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve FAO, beslenme güvenliğinin sadece yeterli miktarda gıda bulunmasını değil, aynı zamanda gıdanın kalitesini ve besin değerini de kapsadığını vurgulamaktadır [10]. Gıda kalitesi, gıda güvenliği ve halk sağlığı için kritik öneme sahiptir. Gıda kalitesinin iyileştirilmesi, beslenme eksikliklerinin önlenmesi ve kronik hastalıkların azaltılması için önemlidir.

## 3. GIDA TEKNOLOJİSİNDEKİ YENİLİKLER

### 3.1. Sürdürülebilir Tarım Teknikleri ve Akıllı Tarım Uygulamaları

Sürdürülebilir tarım teknikleri ve akıllı tarım uygulamaları, gıda üretimini artırırken çevresel etkiyi azaltmayı hedeflemektedir. Bu teknikler, su ve enerji kullanımını optimize eder, toprak sağlığını korur ve verimliliği artırır. Örneğin, hassas tarım uygulamaları, veri analizi ve uydu görüntüleme teknolojilerini kullanarak, tarım alanlarının daha etkin yönetilmesini sağlar [11]. Akıllı tarım uygulamaları, sensör teknolojileri ve yapay zekâ kullanarak, bitki sağlığı ve toprak koşullarını izler ve tarımsal girdilerin daha etkin kullanılmasını sağlar [12].

### 3.2. Biyoteknoloji ve Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar

Biyoteknoloji ve genetiği değiştirilmiş organizmalar (GDO), gıda güvenliği ve sürdürülebilirlik sorunlarına yenilikçi çözümler sunmaktadır. GDO'lar, hastalık ve zararlılara karşı dirençli, kuraklık ve tuzluluk gibi çevresel streslere dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesini sağlar. Bu teknolojiler, aynı zamanda besin değeri yüksek gıdaların üretimine olanak tanır [13]. Biyoteknolojinin kullanımı, gıda üretiminde verimliliği artırırken, çevresel etkiyi azaltma potansiyeline sahiptir.

### 3.3. Alternatif Protein Kaynakları

Alternatif protein kaynakları, geleneksel hayvansal protein kaynaklarına sürdürülebilir ve etik alternatifler sunmaktadır. Laboratuvar ortamında üretilen et, hayvan hücrelerinden yararlanarak gerçek etin laboratuvar koşullarında üretilmesini sağlar ve hayvan refahı ile çevresel sürdürülebilirlik konularında önemli avantajlar sunar [14]. Bitki bazlı proteinler ise, soya, bezelye ve mercimek gibi bitkilerden elde edilir ve hayvansal proteinlere karşı sürdürülebilir bir alternatif oluşturur [15].

### 3.4. Gıda Koruma ve Paketleme Teknolojilerindeki Yenilikler

Gıda koruma ve paketleme teknolojilerindeki yenilikler, gıda ömrünü uzatmak ve gıda güvenliğini artırmak için kritik öneme sahiptir. Akıllı paketleme sistemleri, gıda bozulmasını izleyerek tüketicilere bilgi sağlar ve gıda israfını azaltmaya yardımcı olur [16]. Nanoteknoloji tabanlı paketleme malzemeleri, gıda kalitesini korurken, mikrobiyal büyümeyi engelleyebilir ve gıda güvenliğini artırabilir [17].

## 4. GIDA TEKNOLOJİSİNİN SOSYOEKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

Gıda Teknolojilerinin Ekonomik Etkileri ve Erişilebilirliği: Teknolojinin gelişmesi, sanayileşme, eğitim düzeyinin, ekonomik ve sosyal refahın artması insanların gıdalara ve sağlıklı beslenmeye olan ilgisini arttırmıştır [18]. Gıda teknolojilerinin gelişimi, ekonomik etkileri ve erişilebilirliği açısından önemli bir konudur. Yenilikçi gıda teknolojileri, üretim maliyetlerini düşürebilir ve gıda ürünlerinin verimliliğini artırabilir, böylece gıda fiyatlarını düşürme potansiyeline sahiptir [7]. Ancak, bu teknolojilerin gelişmekte olan ülkelerdeki küçük çiftçilere erişimi, teknolojik ve finansal engeller nedeniyle sınırlı olabilir. Bu durum, gıda teknolojilerinin faydalarının eşit bir şekilde dağıtılmasını engelleyebilir ve sosyoekonomik eşitsizlikleri artırabilir [19].

#### 4.1. Çevresel Sürdürülebilirlik ve Karbon Ayak İzinin Azaltılması

Sürdürülebilir gıda üretiminde, her insanın yeterli miktarda gıdaya erişimi sağlanırken, dengeli ve sağlıklı besinlerin eldesi, mevcut doğal kaynakların ve iklimin zarar görmemesi amaçlanmaktadır. Bu amaçlar dikkate alınarak üretilen gıdanın erişilebilirliği, güvenliği ve yüksek besin değeri, üretimi esnasında tüketilen temiz su miktarı, küresel ısınma potansiyeli (kg CO<sub>2</sub> bazında), ozon tabakasına etkisi, fosil yakıt tüketimi vb. ilgili parametrelerin de düşük olması ve oluşturduğu atıkların uygun şekilde bertarafı gerekmektedir [20].

Gıda teknolojilerinin çevresel açıdan sürdürülebilirliği dikkate alındığında; karbon ayak izinin azaltılması konusu oldukça önem arz etmektedir. Yenilikçi tarım teknikleri ve gıda işleme yöntemleri, su ve enerji kullanımını azaltabilir ve sera gazı emisyonlarını düşürebilir [21]. Örneğin, alternatif protein kaynakları, geleneksel hayvansal protein üretimine kıyasla daha düşük çevresel etkiye sahiptir. Laboratuvar ortamında üretilen et ve bitki bazlı proteinler, karbon ayak izini ve su kullanımını önemli ölçüde azaltabilir [22].

#### 4.2. Tüketici Kabulü ve Etik Konular

Gıda teknolojilerinin tüketici kabulü ve etik konuları, bu teknolojilerin başarısında önemli bir rol oynamaktadır. Tüketicilerin gıda teknolojilerine karşı tutumları, kültürel, sosyal ve kişisel faktörlere bağlı olarak değişebilir. Özellikle genetiği değiştirilmiş organizmalar ve laboratuvar ortamında üretilen et gibi yenilikçi gıda ürünleri, tüketici endişelerini ve etik tartışmaları gündeme getirebilir [23]. Bu nedenle, tüketici eğitimi ve şeffaf bilgilendirme, bu teknolojilerin toplum tarafından kabul edilmesi için kritik öneme sahiptir.

### 5. GELECEĞE BAKIŞ

*Yakın Gelecekte Gıda Teknolojilerinde Beklenen Gelişmeler:* Yakın gelecekte, gıda teknolojilerinde önemli gelişmeler beklenmektedir. Bu gelişmeler, özellikle yapay zekâ ve makine öğrenimi, gen düzenleme teknolojileri ve nanoteknoloji gibi alanlarda yoğunlaşacaktır. Yapay zekâ, tarım ve gıda üretiminde verimliliği artırmak için kullanılabilirken, gen düzenleme teknolojileri, daha dayanıklı ve besleyici gıda ürünlerinin geliştirilmesine olanak tanıyacaktır [24]. Nanoteknoloji ise, gıda paketlenme ve koruma alanında yenilikçi çözümler sunarak gıda güvenliğini ve raf ömrünü artıracaktır [17].

*Araştırma ve Geliştirme için Öncelikli Alanlar:* Gıda teknolojilerinde araştırma ve geliştirme faaliyetleri, sürdürülebilirlik, verimlilik ve gıda güvenliği odaklı olmalıdır. Öncelikli alanlar arasında, iklim değişikliğine dayanıklı tarım ürünleri geliştirilmesi, gıda israfını azaltacak yenilikçi teknolojiler ve alternatif protein kaynaklarının geliştirilmesi bulunmaktadır. Ayrıca, tüketici sağlığı ve beslenme üzerine odaklanan gıda bilimi araştırmaları da önem taşımaktadır [7].

*Politika Yapıcılar, Araştırmacılar ve Endüstri için Öneriler:* Politika yapıcılar, araştırmacılar ve endüstri, gıda teknolojilerinin gelişimini desteklemek için birlikte çalışmalıdır. Politika yapıcıların, yenilikçi gıda teknolojilerinin araştırılması ve geliştirilmesi için uygun düzenlemeleri ve teşvikleri sağlaması gerekmektedir. Araştırmacılar, sürdürülebilir ve etik gıda teknolojileri üzerine odaklanmalı ve endüstri ile işbirliği içinde olmalıdır. Endüstri, yenilikçi teknolojilerin ticarileştirilmesi ve geniş çapta uygulanması için gerekli yatırımları yapmalı ve tüketici eğitimi ve şeffaflık konularına öncelik vermelidir [19].

*12. Kalkınma Planı (2024-2028):* Mevcut kalkınma planında gıda güvenliği ve gıda teknolojilerine ait hedefler mevcuttur. Bu hedeflerin bir kısmı;

- Gıda güvenliğini teminen israfın önlenmesi, etkin stok yönetimi ile pazarlamaya yönelik altyapı ve uygulamaların geliştirilmesi sağlanacaktır.
- Gıda güvenilirliğini teminen altyapının iyileştirilmesine yönelik yatırımlar sürdürülecek, gıda denetimi,

bitki ve hayvan hastalık ve zararlılarıyla mücadele hizmetleri etkinleştirilecektir.

- Çevrenin korunması ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında tarım sektöründe sera gazı salımının azaltılması için çevre dostu tarımsal uygulamalar desteklenerek yaygınlaştırılacaktır.
- Ürün güvenilirliğini artırmak ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımına katkı sağlamak amacıyla iyi tarım uygulamaları ve organik tarım desteklenecektir.
- Gıda güvenliği ve güvenilirliğinin sağlanmasına yönelik başta tarımda girdi kullanımı, bitki ve hayvan sağlığı, örgütlenme, pazarlama ve sulama konularında olmak üzere eğitim ve yayım faaliyetleri sosyal medya dâhil bilgi ve iletişim teknolojilerinden etkin bir şekilde faydalanılarak artırılacaktır.

şeklinde. Bu maddeler incelendiğinde; gıda güvenliği ve teknolojisinin çevresel ve ekonomik etkilerinin oldukça önemli olduğu görülmektedir [25].

## 6. SONUÇ

Bu derleme, gıda teknolojilerinin mevcut ve gelecekteki gıda sorunlarına getirebileceği çözümleri kapsamlı bir şekilde ele almıştır. Ana bulgular, sürdürülebilir tarım teknikleri, biyoteknoloji, alternatif protein kaynakları ve gıda koruma ve paketleme teknolojilerindeki yeniliklerin gıda güvenliği ve sürdürülebilirliği üzerindeki potansiyel etkilerini vurgulamaktadır. Bu teknolojiler, nüfus artışı, iklim değişikliği, gıda israfı ve beslenme güvenliği gibi küresel zorluklara yenilikçi çözümler sunmaktadır. Gıda teknolojisinin, gelecekteki gıda sorunlarına çözüm olarak oynayacağı rol hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir. Gıda teknolojileri, gıda üretimini artırma, gıda israfını azaltma ve çevresel etkileri minimize etme potansiyeline sahiptir. Ayrıca, tüketici sağlığı ve beslenme üzerine olan etkileri, bu teknolojilerin gelişiminde önemli bir odak noktası olmalıdır.

Araştırma ve politika geliştirmede atılacak sonraki adımlar, bu teknolojilerin sürdürülebilir ve etik bir şekilde geliştirilmesini ve uygulanmasını desteklemelidir. Politika yapıcılar, araştırma ve geliştirme faaliyetlerini teşvik etmeli ve uygun düzenlemeleri sağlamalıdır. Araştırmacılar, multidisipliner yaklaşımlar benimseyerek, gıda teknolojilerinin sosyoekonomik ve çevresel etkilerini daha iyi anlamak için çalışmalıdır. Endüstri, yenilikçi teknolojilerin ticarileştirilmesi ve geniş çapta uygulanması için gerekli yatırımları yapmalı ve tüketici eğitimi ve şeffaflık konularına öncelik vermelidir. Bu yaklaşımlar, gıda teknolojilerinin gelecekteki gıda sorunlarına etkili çözümler sunmasını sağlayacak ve küresel gıda güvenliği ve sürdürülebilirliğine katkıda bulunacaktır.

## KAYNAKLAR

1. FAO. The state of food security and nutrition in the World 2019. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2019.
2. Wheeler, T., Von Braun, J. Climate change impacts on global food security. *Science*, 341(6145), 508-513, 2013.
3. Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., Meybeck, A. Global food losses and food waste. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2011.
4. Qaim, M. Genetically modified crops and agricultural development. Palgrave Macmillan, New York, 2020.
5. Robertson, G. L. Food packaging: Principles and practice. CRC Press, Boca Raton, 2016.
6. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2019: Highlights. United Nations, New York, 2019.
7. Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Toulmin, C. Food security: The Challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818, 2010.
8. Erkmen, O. (2010). Gıda kaynaklı tehlikeler ve güvenli gıda üretimi. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, 53(3), 220-235.
9. Lesk, C., Rowhani, P., Ramankutty, N. Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84-87, 2016.
10. World Health Organization (WHO). Food safety. World Health Organization, Geneva, 2020.
11. Li, M., Liu, P., Wiley, J., Ouellette, S., Madramootoo, C. Precision agriculture: A global overview. *Earth and Environmental Science*, 54(1), 012002, 2017.



12. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M. J. Big data in smart farming – A review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80, 2017.
13. Klümper, W., Qaim, M. A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. *Plos One*, 9(11), e111629, 2014.
14. Post, M. J. Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat Science*, 92(3), 297-301, 2012.
15. Schmidt, J. H. Life cycle assessment of five vegetable oils. *Journal of Cleaner Production*, 87, 130-138, 2018.
16. Yam, K. L., Takhistov, P. T., Miltz, J. Intelligent packaging: Concepts and applications. *Journal of Food Science*, 70(1), R1-R10, 2005.
17. Duncan, T. V. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1-24, 2011.
18. Sağlam, K., & Gümüş, T. (2019). YAZILI, GÖRSEL VE SOSYAL MEDYADA GIDA İLE İLGİLİ BİLGİ KİRLİLİĞİNİN HALKIN GIDA TERCİHİ ÜZERİNE ETKİLERİ. *Gıda*, 44(1), 153-162.
19. Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260-20264, 2011.
20. Özkan, G., Subaşı, B. G., Beştepe, S. K., & Güven, E. Ç. (2022). Sürdürülebilir gıda ve tarımsal atık yönetimi. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 23(2), 145-160.
21. Smith, P., Haberl, H., Popp, A., Erb, K. H., Lauk, C., Harper, R., Nkonya, E. How much land-based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals? *Global Change Biology*, 19(8), 2285-2302, 2013.
22. Tuomisto, H. L., Teixeira de Mattos, M. J. Environmental impacts of cultured meat production. *Environmental Science & Technology*, 45(14), 6117-6123, 2011.
23. Lusk, J. L., Roosen, J., Bieberstein, A. Consumer acceptance of new food technologies: Causes and roots of controversies. *Annual Review of Resource Economics*, 4, 381-405, 2012.
24. Bogue, R. The Use of artificial intelligence in food processing. *Food Technology*, 12(1), 45-50, 2018.
25. T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı On İkinci Kalkınma Planı (2024-2028)

## The Performance Enhancement with the Use of New Generation Core Materials for Claw-Pole Synchronous Generators

Selami BALCI

Karamanoglu Mehmetbey University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Karaman/Türkiye. ORCID: 0000-0002-3922-4824

Corresponding Author: sbalci@kmu.edu.tr

Arrival Date: 23.06.2024

Acceptance Date: 25.12.2024

### Abstract

Synchronous generators (also known as alternators) used in conventional vehicles can also be used to charge batteries in power systems of hybrid electric vehicles. As the alternator type, a synchronous generator with a claw pole (CPSG) is generally preferred, which has similar features to quadrature-axis flux synchronous generators. The pole structures of CPSGs are mostly excitation winding, but they can be designed as permanent magnets in recent years. In this study, comparative electromagnetic modeling and simulation of a 0.55 kVA rated power and 4-pole permanent magnet CPSG according to the core material type was performed with ANSYS-Electronics software. The performance of the proposed new generation core materials as amorphous and JFE supercore is investigated in comparison with the conventional core material (SiFe alloy). Thus, it has been determined that the JFE supercore material is a much more suitable core material in the stator design of CPSGs in terms of improving the performance in terms of core losses and efficiency. Comparative simulation studies have reported that the highest efficiency of approximately 87% is achieved using new generation core materials such as amorphous and jfe supercore. In addition, it was emphasized that a more compact generator could be designed thanks to the new generation core materials with high electromagnetic characteristics and the power density of a much higher kVA/kg.

**Keywords:** Claw-Pole Synchronous Generator, New Generation Core Materials, Core Losses, Finite Element Analysis (FEA) Modelling.

### Pençe-Kutuplu Senkron Generatörlerde Yeni Nesil Çekirdek Malzemelerin Kullanımıyla Performans Artışı

#### Özet

Geleneksel taşıtlarda kullanılan senkron generatörler (alternatör olarak da bilinir) hibrit elektrikli taşıtların güç sistemlerindeki bataryaları şarj etmek için de kullanılabilir. Alternatör tipi olarak genellikle, kare-eksen akılı senkron generatörlere benzer özelliklere sahip pençe kutuplu senkron generatör (CPSG) tercih edilir. CPSG'lerin kutup yapıları çoğunlukla uyarma sargılıdır, ancak son yıllarda kalıcı mıknatıslı olarak da tasarlanabilmektedir. Bu çalışmada, 0,55 kVA anma gücüne sahip ve 4 kutuplu kalıcı mıknatıslı bir CPSG'nin çekirdek malzeme tipine göre karşılaştırmalı elektromanyetik modellemesi ve benzetimi ANSYS-Electronics yazılımı ile yapılmıştır. Önerilen yeni nesil çekirdek malzemelerinin performansı amorf ve JFE super çekirdek olarak geleneksel çekirdek malzemesi (SiFe alaşımı) ile karşılaştırmalı incelenmiştir. Böylece, JFE süperçekirdek malzemesinin, çekirdek kayıpları ve verimlilik açısından performansı iyileştirme açısından CPSG'lerin stator tasarımında çok daha uygun bir çekirdek malzemesi olduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen karşılaştırmalı benzetim çalışmaları ile en yüksek verimin yaklaşık %87 olarak amorf ve jfe supercore gibi yeni nesil nüve materyalleri kullanılarak sağlandığı rapor edilmiştir. Ayrıca, yüksek elektromanyetik özelliklere sahip yeni nesil çekirdek malzemeleri ve çok daha yüksek kVA/kg güç yoğunluğu sayesinde daha kompakt bir generatör tasarlanabileceği vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Pençe-Kutuplu Senkron Generatör, Yeni Nesil Çekirdek Malzemeleri, Çekirdek Kayıpları, Sonlu Elemanlar Analizi (SEA) Modellemesi

NOMENCLATURE			
		Greek Symbols	
$B_m$	Magnetic flux density (Tesla)		
$E_{ph}$	Induced phase voltage of stator windings (Volts)	$\psi_d$	Direct axis of stator phase fluxes
$f$	Frequency (Hertz)	$\psi_q$	Quadrature-axis of stator phase fluxes
$K_e$	Coefficients for the eddy-current losses	$\varphi$	Phase angle
$K_h$	Coefficients for the hysteresis losses	$\Phi$	Magnetic flux (Weber)
$K_{wl}$	Coefficient of stator windings	$\Phi_m$	Maximum flux (Weber)
$N_w$	Number of turns for stator winding	$\mu_r$	Relative permeability
$R_c$	Stator winding resistance	$n_r$	Rotor speed (rpm)
$X_d$	Direct-axis reactance	$\omega$	Angular synchronous speed (rad./sec.)
$X_q$	Quadrature-axis reactance	$\mathcal{R}$	Magnetic circuit reluctance
$T_{cog}$	Cogging torque of synchronous generators	$\theta$	Rotor position angle



[Bu makale Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\) License ile lisanslanmıştır.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## 1. INTRODUCTION

To obtain electrical energy, different types of generators with rated power values ranging from a few kW to MW levels with varying design concepts depending on the usage area have been developed. Historically, the squirrel-cage induction generator has often been used commercially. A second popular type is the wound rotor generator, and the third is the separately excited synchronous generator. In this context, replacing the rotor excitation winding with permanent type magnets in a synchronous machine does not require the use of additional electrical and mechanical devices such as field windings, brush-ring arrangement, and excitation generators. At the same time, it is highly advantageous that a simple rotor design with direct drive (without gearbox) allows higher efficiency to be achieved with lower temperature rise and power loss. Permanent magnet synchronous machines are designed with three different rotor topologies: surface-mounted permanent magnets, embedded permanent magnets, and claw-pole configuration [1]. CPSGs are frequently preferred as automobile, wind and hydroelectric generators in the past literature due to their simple structure, multipolar design and low manufacturing costs. Thus, the high number of poles makes CPSGs an important alternative in variable speed systems such as automobiles. Permanent magnets replace the excitation coil in the rotor and increase the overall efficiency of the synchronous machine [2].

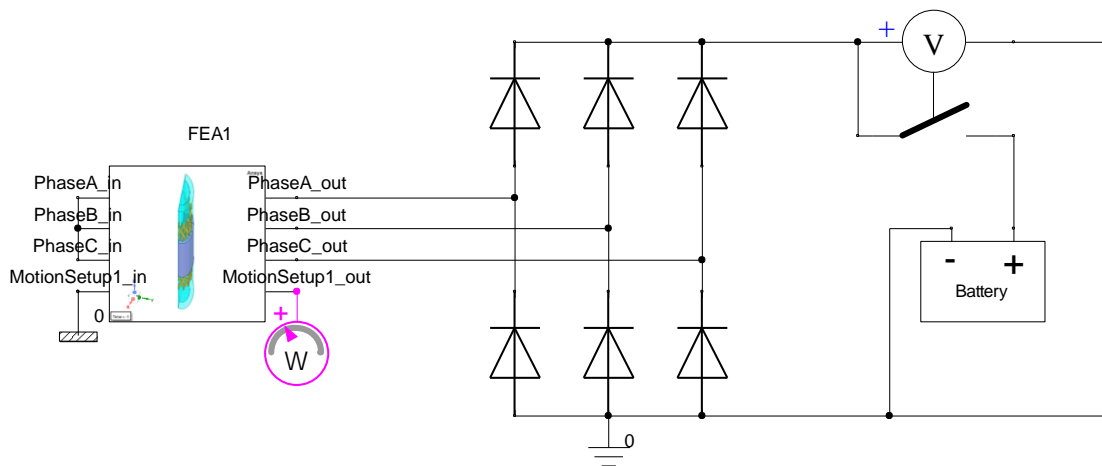
Traditionally, the claw-pole synchronous generator (CPSG) has been used with 100–200 W DC-excited power to the rotor and has been used only with controlled diode rectified output in road vehicles since 1975 due to its low cost, easy manufacturing, and high reliability despite the DC-conducting rings and brushes to the excitation windings. However, the overall efficiency (with diode rectifier, DC excitation, stator core, rotor claw eddy current and mechanical losses) is moderate (about 70% at 2.5 kW at 14 V DC and 6000 rpm). While using copper (aluminum) coils to increase the winding fill factor of the stator slots and thus further reduce copper losses, research continues the use of soft magnetic composites in core structures to reduce losses in the rotor, especially in the stators. [3, 4]. CPSGs are widely used for automobile generators. In addition, with the increase in hybrid and electric components in automobiles in recent years, the electrical power requirements have increased. For this reason, studies on the design and performance improvements of claw pole alternators, especially in hybrid electric vehicles (HEVs), have become one of the most important issues in automobile technologies [5]. The popularity of this type of generator is mainly due to the compact structural features of the multipole rotor design (integrating in a low volume) and the heteropolar structure of its rotor, which provides a distinctive electricity generation capability. However, despite these advantages, the CPG has two major drawbacks: its low efficiency, mainly due to the structural claw feature at the poles and the leakage fluxes between the poles, the use of a brush-ring system to feed the magnetic field in the rotor in types with excitation windings [6, 7, 8].

According to the degree of hybridization, hybrid vehicles can be divided into three categories: micro hybrid, mild hybrid, and heavy hybrid [9]. The electric motor of micro-hybrid vehicles is connected to the internal combustion engine via a belt-pulley system. When the internal combustion engine is idling for a long time, the control system in the vehicle automatically stops the engine. When the car needs to be restarted, the electric motor as the starter will quickly pull the engine from the belt to idle speed to realize the restart of the internal combustion engine. In other normal driving conditions, this electric motor is driven by the internal combustion engine (ICE) to generate electricity that powers the electrical devices and batteries inside the vehicle. Thus, the CPSG operates both as a starter motor and as a generator to generate electricity, so it is also called a belt-driven

starter generator (BSG). It uses low carbon steel (Steel 1008) as a base [10]. Therefore, many automakers are working on the standardization of this type of technology for all ICEs, gasoline, or diesel, small or large. The purpose of the electric machine used in a starter-alternator system is to both start the internal combustion engine and charge the lead-acid battery [11].

The development of more electric vehicles has been an important trend worldwide, driven by increasing energy consumption, the gradual reduction of fossil fuels and environmental protection concerns [12]. So far, the all-electric vehicle has suffered from issues such as a limited driving range and more time consumption for battery charging compared to refueling. Therefore, for now, HEVs can be considered a better transition option [13].

Claw pole alternators are a type of winding field synchronous machine with salient pole structure that can generate electricity in the stator coils, where the rotor acts as an electromagnet. It has been widely used in automobiles for many years to power batteries through the three-phase rectifier circuit as shown in Figure 1 [14]. In addition, a study conducted for six-pulse rectifier (three-phase full bridge rectifier circuit) load cases CPSG modeled with ANSYS-Maxwell 3D software. Filter circuits have been proposed for terminal voltage and current harmonic distortion problems for power quality [15]. Thus, the use of low-pass type filters significantly reduces the terminal voltage and current harmonic distortion levels for a six-pulse rectifier load [16].



**Figure 1.** The basic topology of three-phase rectifier circuit connected to CPSGs

A permanent magnet claw pole machine can solve the mechanical problem in the brush-ring system and increase the power density (kVA/kg) and efficiency by reducing the dimensions of the permanent magnet (PM) excitation type machine [17]. On the other hand, the hybrid excitation method is very suitable for the power system of electric vehicles because of the difficulty of voltage adjustment in PM type excitation method and being easily affected by temperature changes [18, 19, 20]. In [21], the mechanical performance of a CPSG is calculated using 3D finite element analysis (FEA). Thus, the CPSG core volume was successfully reduced to 78% and the amount of permanent magnet used was also reduced by 4%. The air gap distance between the stator and rotor parts of claw pole alternators is greater than that of conventional salient pole generators. Thus, CPSGs have more air circulation and the more easier cooling [22]. On the other hand, new design approaches proposed in recent years are PMSG with permanent magnet excitation in the rotor and the phase windings only in the stator. The rotor of CPSG has four pieces of poles and is based on electromagnetic modeling and simulation studies using FEA software [13, 23].

In this study, a comparative modeling of a CPSG with 0.55 kVA rated power and 4 piece of PM poles, with a rated speed of 1500 rpm, was performed using FEA software. Comparative simulation studies were conducted for the case of using classical non-oriented M19 core (3% SiFe), JFE supercore material (10JNEX900) and amorphous core material (2605SA1) as stator core material. Thus, various suggestions have been made in terms of performance enhancement, reducing power losses, and improving efficiency, for the use of new generation core materials for CPSGs.

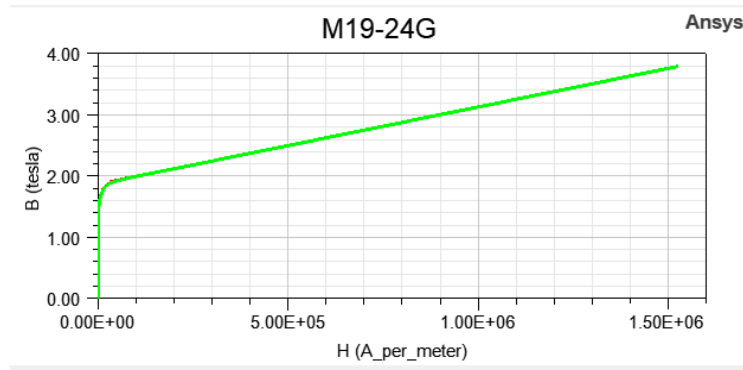
## 2. MATERIALS and METHODS

In recent years, soft magnetic composite materials have gained popularity due to their many unique properties such as high magnetic isotropy [24], much lower core losses, great mechanical design flexibility in magnetic circuit elements such as inductors, transformers and electric motors/generators, and great potential for mass production at very low cost. Research and development studies on technological development and their application in electromagnetic devices have become very popular [25].

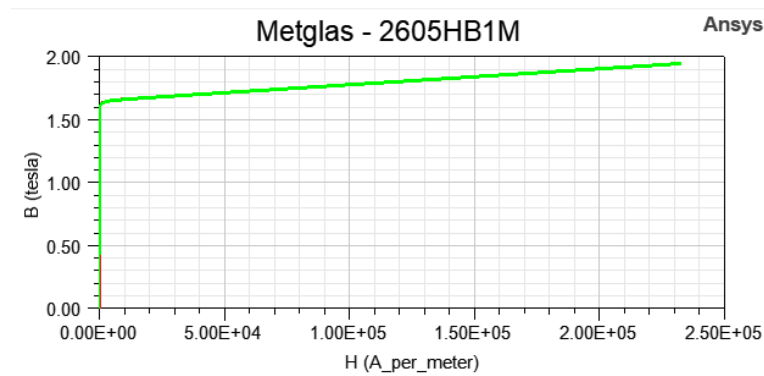
When designing electric motors or generators with new generation core materials, the accuracy of simulation studies is very important before prototype production in determining the real energy savings that can be expected from a new technology that is improved electrically and mechanically. In claw-pole generator design, modeling and simulation studies, it becomes very difficult to examine the control laws such as electromagnetic theory related to the realistic design of electrical machines, the temperature increases of the generator and the efficiency of the obtained electrical energy with classical methods [26]. In this section, a brief technical comparison of the classical core material and the new generation core materials is made. Also, the electromagnetic modeling approach and the steps of simulation studies are explained with the FEA software.

### 2.1. Technical Comparison of the Core Materials

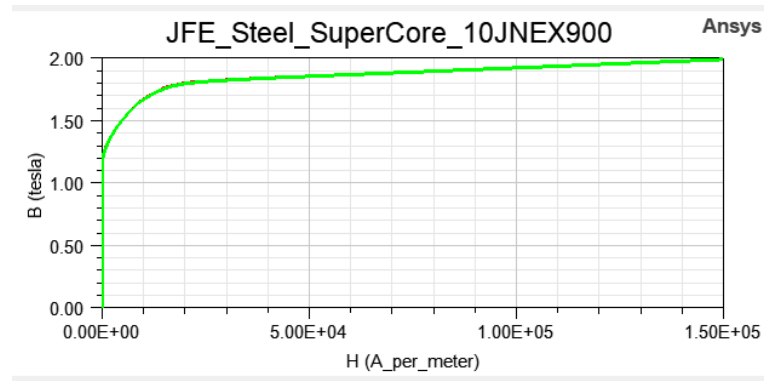
Today, the need to increase the efficiency of electrical machines and the magnetic materials used in the core structures provide less specific power losses thanks to thinner and higher magnetic flux density materials. The biggest problem in generator design in general is that the manufacturing process can be subjected to mechanical stress and thermal stress that can degrade the magnetic quality of the core materials. In addition, with the current knowledge, the rate of deterioration of the core materials during generator manufacturing is not linear and cannot be predicted exactly. Therefore, the magnetic measurement techniques must be developed and applied to assess the quality of core materials at various stages of the manufacturing [27, 28].



(a)



(b)



(c)

**Figure 2.** B–H curve comparison of the core materials, (a) M19\_24G, (b) 2605SA1 core, (c) 10JNEX900 core.

In order to obtain the properties of magnetic materials used in the stator and rotor core parts of electric motors and generators in general, core material manufacturers present them as datasheets after experimental studies according to IEC 60404-6. B-H curves are magnetization curves describing the saturation flux and magnetic field strength values of the materials. In addition, specific power loss values for flux values up to saturation point according to operating frequency values are given with graphics.

The technical specs of the core materials are given in the material library of the FEA software, and if a different material is to be used, the B-H values and the B-P values showing the specific power losses can be added to the material library of the software. B–H curves of three different core materials used in this study are given in comparison with Figure 2 (a), (b), and (c), respectively [29]. As the supply frequency increases in asynchronous motors, the losses in the magnetic core increase and gradually begin to dominate. Therefore, lamination of reduced specific power losses, especially amorphous steel and JFE supercore, is recommended to increase efficiency in such machines. However, such laminations tend to have lower repellent magnetizing properties, which may affect the running characteristics of the motor, and are referred to as soft core material [30].

**Table 1.** Comparison the technical specs of the core materials [31,32,33,34,35,36]

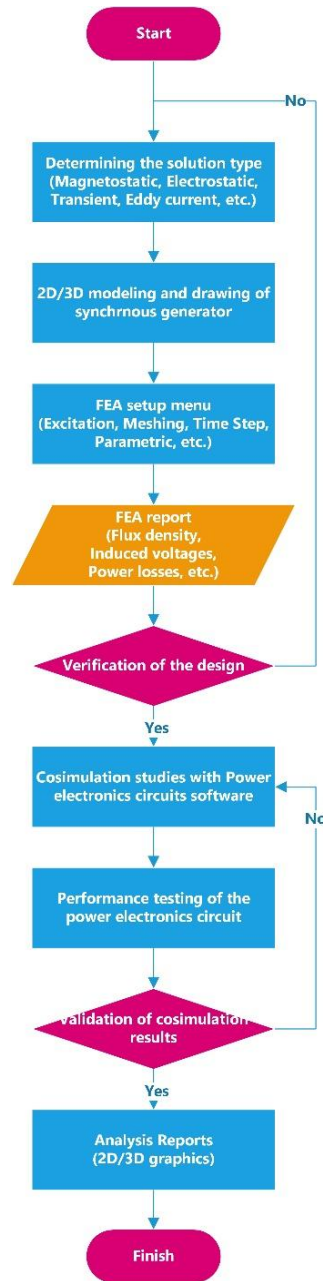
Parameters	Core Material Type		
	Conventional	Amorphous	JFE
Material Content	FeSi(3%)	Fe(80%)Si(9%)B(11%)	FeSi(6.5%)
Saturation Flux Density [T]	1.7	1.56	1.9
Relative Permeability, [ $\mu_r$ ]	4000	20000	23000
Curie Temperature [ $^{\circ}$ C]	550	395	700
Coercivity Force, $H_c$ [A/m]	150	4	30
Mass Density [kg/m <sup>3</sup> ]	7650	7330	7490
Thickness of material [mm]	0.35	0.025	0.10
Stacking Factor	0.98	0.83	0.95
Electrical Resistivity [ $\mu\Omega$ m]	0.82	1.37	0.72
Hysteresis loss coefficient (Kh)	172.842	22.292	133.474
Eddy-current loss coefficient (Ke)	1.3684	1.173	0.01346
Specific Core Loss (W/kg at 50 Hz)	3.3	0.14	1.17
Thermal Conductivity [(W/m K)]	53	10	19.6
Manufacturer and Material Code	Cogent M19-24G (M330-350A)	Metglas 2605SA1	JFE Steel 10JNEX900

The core material, which is frequently used in the design of stator and rotor parts of electric motors in general, is a 0.35 mm thickness of 3% SiFe alloy, also known as M19\_24G type motor sheet. The specific core loss value of this core material is 3.3 W/kg for an operating frequency of 50 Hz and a flux density of 1.5 T. In addition, the JFE supercore core material, which has become popular in recent years, is commercially available with a lamination structure three times thinner than the M19\_24G core material. The saturation flux density value of this material is 1.9 T and the specific core loss value is 1.7 W/kg, which remains quite low. In addition, the permeability of 10JNEX900 core material as JFE supercore as 6.5% SiFe for 0.10 mm thickness is approximately five times that of conventional core material for 0.10 mm thickness. Ribbon steel, with a thickness of 0.025 mm as amorphous core material, is often used in inductor and transformer design with much lower magnetic field strength values and much lower specific core loss values as soft magnetic material [31]. Comparative specs of core materials with these three different characteristics are given in Table 1. [32, 33, 34, 35, 36].

## 2.2. FEA modelling methodology

In order to design and simulate electrical machines (such as transformers, electric motors and generators, etc.) with ANSYS-Maxwell software, the steps followed in electromagnetic modeling are followed systematically as given in Figure 3. After determining the solution type in the steps given in the flow diagram, 2D/3D geometric drawings of electrical machines, meshing operations and excitation conditions should be assigned for electromagnetic modeling. In the analysis settings stage, simulation conditions are determined for the solution setup. According to the technical data obtained from FEA simulation studies, reports such as numerical values such as current, voltage, inductance and power losses, 2D/3D graphics and flux distributions are received [37, 38].

The power electronics circuits and FEA modeling equivalent circuits are run by co-simulation, and both power electronics circuit performance and synchronous generator performance can be considered together. Thus, the performances of electrical machines and power electronic circuits can be tested in detail before experimental studies are carried out. Electromagnetic modeling analysis using FEA consists of three stages: preprocessing, field solution, and postprocessing. In the preprocessing stage, the geometry is developed, the problem is defined (core material selection, the nonlinear characteristics of ferromagnetic iron are introduced, magnetization of the magnets in the required direction) and the mesh is produced. Electromagnetic modelling is performed using FEA software, which is a powerful tool for the design of electrical machines and other electrical systems [23].



**Figure 3.** FEA modelling methodology flowchart

### 2.3. Theoretical background for CPSGs

Generally, the synchronous generator induction principle and theory apply. Thus, the phase EMF in the stator windings of a claw-pole synchronous generator whose stator windings are designed with 120 electrical degrees of phase difference can be given as Equation 1 [23]:

$$e_f = \Phi N_w k_b n_r \quad (1)$$

where,  $\Phi$  represents the magnetic flux,  $N_w$  is the number of turns for stator winding,  $k_b$  is the winding factor, and  $n_r$  is the rotor speed as rpm.



The calculation of the magnetic flux induced by one full rotation of the permanent magnet rotor in the stator depends on the magnetic field intensity. In addition, the rotor structure of the claw pole alternator is different from ordinary generators and has a cylindrical pole structure surrounded by claw-shaped soft iron parts. The modeled CPSG has a full mold three-phase winding structure and a cylindrical claw structure rotor with 4-pole placed on the 24-slot stator. In steady state, the expression for the current of the stator windings with the dq0 conversion is given by Equation 2 [22]:

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_o \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \varphi & \cos\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\varphi - \frac{4\pi}{3}\right) \\ -\sin \varphi & -\sin\left(\varphi - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\varphi - \frac{4\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

Thus, the three-phase stator currents that are 120 degrees electrically out of phase between them can be clearly written as  $I_a$ ,  $I_b$ , and  $I_c$ , respectively, with Equations 3-5:

$$I_a = I_p \cos(\omega t + \varphi) \quad (3)$$

$$I_b = I_p \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{2\pi}{3}\right) \quad (4)$$

$$I_c = I_p \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{4\pi}{3}\right) \quad (5)$$

where,  $I_p$  is the peak value of the stator phase current. Stator phase voltages for d-q axis are given in Equations 6-7:

$$V_d = I_d r_a + \frac{d\psi_d}{dt} - \omega \psi_q \quad (6)$$

$$V_q = I_q r_a + \frac{d\psi_q}{dt} - \omega \psi_d \quad (7)$$

The stator winding fluxes can be expressed by Equations 8-9 for the d-q axis form:

$$\psi_d = -I_d L_d + I_f L_{afd} \quad (8)$$

$$\psi_q = -I_q L_q \quad (9)$$

Thus, the direct-axis reactance and quadrature-axis reactance of CPSG can be expressed as Equations 10-11 in the form of the d-q axis:

$$X_d = \frac{\omega_b L_d}{Z_b} \quad (10)$$

$$X_q = \frac{\psi_q}{I_q} \quad (11)$$

Finally, the expression for the induced EMF per phase of a synchronous generator can be given by Equation 12:

$$E_{ph} = 4.44 K_{w1} \Phi_m f N_w \quad (12)$$

where,  $\Phi_m$  represents the maximum flux circulating between the stator and rotor cores, and  $f$  represents the frequency. Also,  $N_w$  is total number of turns per stator phase. Also, a simplified expression for the EMF value induced in the stator windings can be written as Equation 13 [7]:

$$E_{ph} = \frac{1}{\sqrt{2}} N_w \omega \Phi_m \quad (13)$$

The cogging torque ( $T_{cog}$ ) of synchronous generators is a periodic torque oscillation without any excitation current which can be derived with Equation 14 [13]:

$$T_{cog} = \frac{1}{2} \Phi^2 \frac{d\mathfrak{R}}{d\theta} \quad (14)$$

where  $\theta$  is the rotor position angle,  $\Phi$  is the main flux, and  $\mathfrak{R}$  is the general magnetic circuit reluctance of the CPSG core.

#### 2.4. Efficiency and Power Losses

In general, eddy current loss ( $P_{edd}$ ) accounts for most core losses, depending on the lamination thickness of the core material. Hysteresis losses ( $P_{hys}$ ) occur with the change of direction of the magnetic field poles depending on the frequency. However, in case of poor heat dissipation of the core material, eddy current loss also causes higher temperature to rise in the core parts. The losses of the stator windings ( $P_{cu}$ ) depend on the square of the current and the resistance values ( $R_c$ ) of the windings, as given by Equation 15, and are released as heat. The core losses can be given with Equations 16-17 for CPSG, and Equation 18 is given for efficiency ( $\eta$ ) [10, 21].

$$P_{cu} = R_c I^2 \quad (15)$$

$$P_{hys} = K_h f B_m^{1.6} \quad (16)$$

$$P_{edd} = K_e f^2 B_m^2 \quad (17)$$

$$\eta = \frac{P}{P + P_{cu} + P_{hys} + P_{edd}} \quad (18)$$

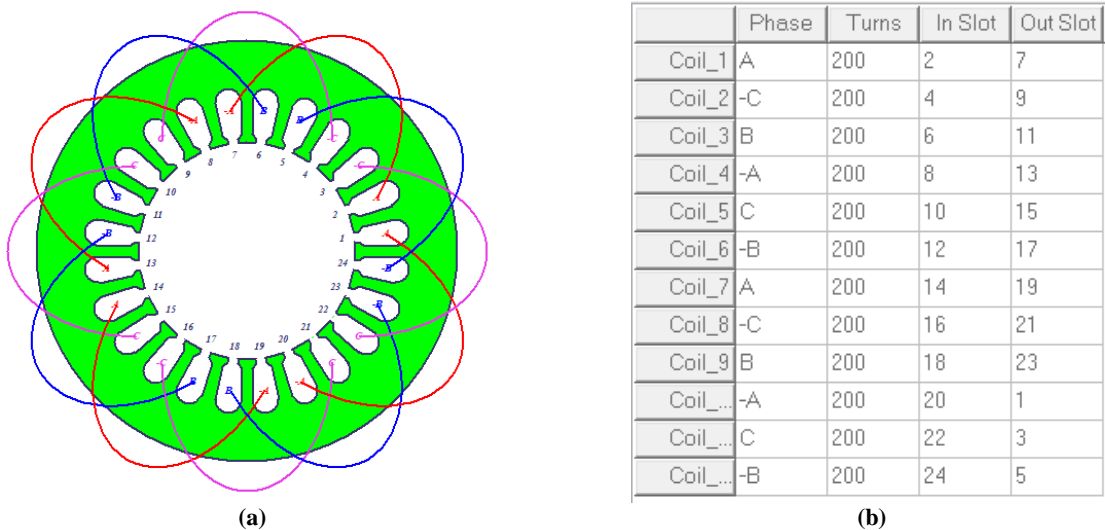
where,  $P$  is the electrical power from the generator,  $B_m$  is the magnetic flux density, and  $K_h$  and  $K_e$  are the coefficients for the hysteresis and eddy current losses of the core material, respectively.

### 3. MODELLING of CPSG with FEA SOFTWARE

In general, CPSGs can be classified as synchronous generators. However, the operating conditions of HEVs are quite different from other generator applications. The armature current is very large due to the low battery voltage level connected to the alternator. The stator and rotor core parts are highly saturated due to machine size limitations. Therefore, it is very difficult to fully apply the design methodologies of other synchronous generators to CPSGs. For example, the technical characteristics of the alternator cannot be accurately predicted by magnetic equivalent circuits whose parameters are determined under linear superposition assumptions based on classical mathematical expressions using no-load voltage and armature reaction. Three-dimensional (3D) electromagnetic field analysis is generally applied in many papers in the past literature that propose modeling methodology with FEA software to predict the properties of CPSGs [5].

Finite Element analysis (FEA) 3D software can be used directly to accurately predict the electrical and mechanical behavior of machines. However, electromagnetic modeling the claw poles is difficult, as it requires a lot of computation time and memory, and using 3D FEA in the initial design is not recommended [39]. Therefore, CPSG was first performed with a short one-dimensional analysis using the ANSYS-Rmxprt module. In this context, winding structures and core materials can be assigned by sizing the stator and rotor parts of the generator.

ANSYS-Rmxprt academic version software is used primarily for the electromagnetic modeling of the three-phase CPSG, and the three-phase 24-slot stator shown in Figure 4(a) and the proposed example as a permanent magnet excited 4-pole rotor structure are selected. To compare the stator core structure, three different core materials, namely M19\_24G (3% SiFe), 2605SA1 (Amorphous) and 10JNEX900 (6.5% JFE supercore), are determined and sizing processes are carried out according to the specs given in Table 2. The full slot pitch for the stator phase windings is  $24/4=6$  according to the number of stator slots and the number of poles in the rotor, but in this modeling, the slot pitch is set as 2-7 as seen in Figure 4(b) with a step abbreviation.



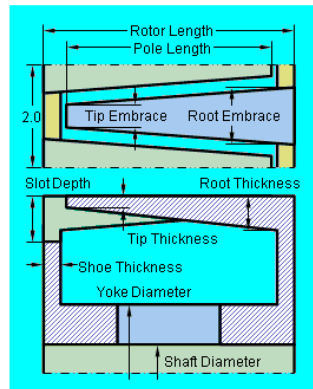
**Figure 4.** CPSG phase windings, (a) stator winding arrangement and (b) edited winding layout.

The stator phase windings consist 200 turns, and placed in the stator slots with 120 electrical degrees between them. Thus, the CPSG is designed as if it were fabricated in a virtual environment and can be simulated almost realistically.

**Table 2.** CPSG's modelling specs [40]

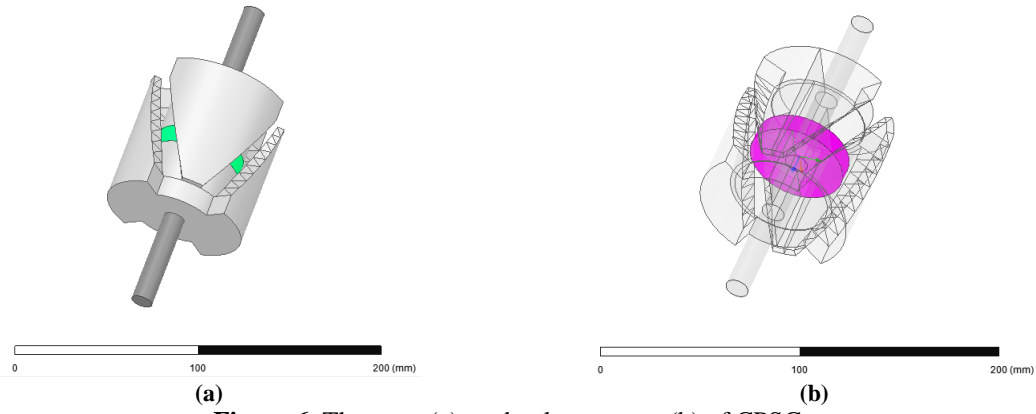
Parameters	Value
Rated apparent power	0.55 kVA
Rated power factor	0.71
Number of phases	3
Rated voltage	115 V
Frequency	50 Hz
Stator outer diameter	120 mm
Stator inner diameter	80 mm
Stator length	65 mm
Number of stator slots	24
Stator core material	*Comparative analysis
Stacking factor	0.95
Rotor outer diameter	78.8 mm
Rotor inner diameter	12 mm
Rotor length	80 mm
Rotor yoke diameter	50 mm
Rotor core material	Steel_1008
Number of rotor poles	4
Pole magnet type	XG196/96_3DSF1.000_X
Length of Magnet	10 mm
Air-gap length	0.60 mm
Rated synchronous speed	1500 rpm
Load type	Infinite bus

The cross-sectional view of the claw pole structure on the rotor is as in Figure 5 in the sizing section of ANSYS-Rmxprt. Therefore, many changes regarding dimensioning such as rotor and pole lengths, pole foot thickness and yoke diameter dimensions, slot depth, shaft diameter can be made as desired.



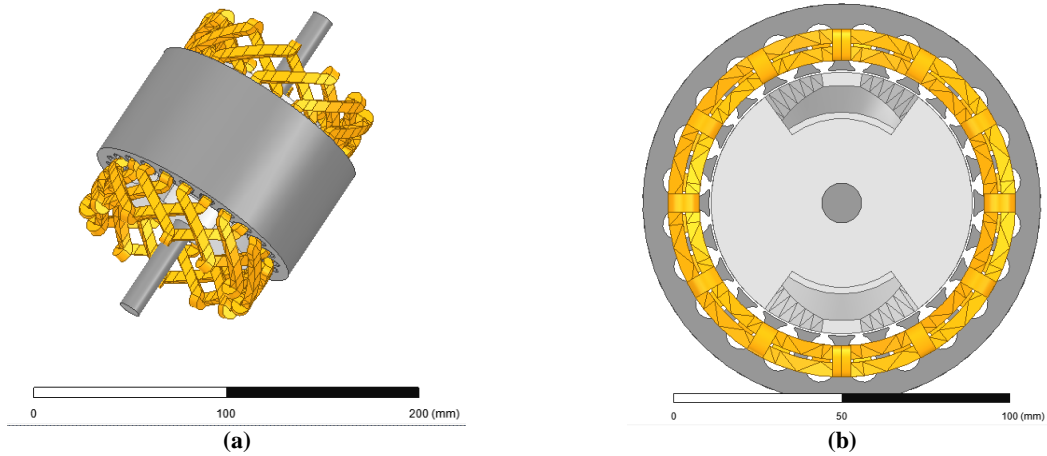
**Figure 5.** Sizing parameters of claw pole rotor [40].

The rotor and pole structure of the modeled CPSG is shown in Figure 6. An extremely powerful magnet is used with a disk-shaped XG196/96\_3DSF1.000\_X type Coercive Force value of 690 kA/m and Residual Flux Density 0.96 T, which provides the excitation of the rotor poles.



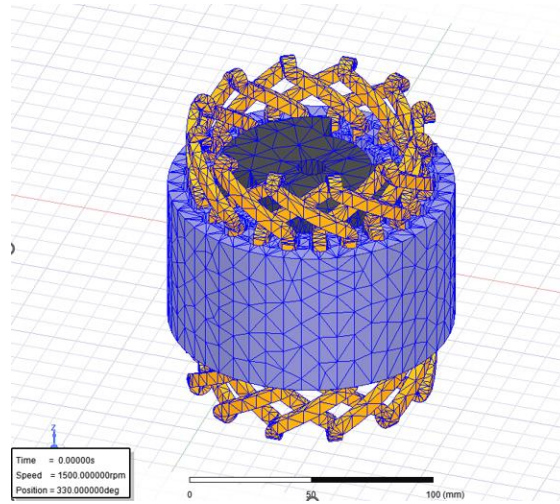
**Figure 6.** The rotor (a), and pole structure (b) of CPSG.

The claw pole structure of the rotor resembles a crankshaft and can produce voltage in sinusoidal wave form with its cylindrical pole structure. The full modeling image for the CPSG with the stator windings is given in Figure 7. The stator windings are essentially like the stator windings of a three-phase asynchronous motor and are placed with a 120-degree electrical angle between them.



**Figure 7.** The full modeling 3D image for the CPSG, (a) 3D image, (b) front view of generator.

The meshing process for CPSG modeled in 3D with Maxwell software is given in Figure 8. Mesh refinement is very important for the convergence of the solution results, but at this point, the performance of the computer running the software comes to the fore. In fact, the better the RAM memory capacity in performing the meshing process, the more the solution start time changes. Since Maxwell software solves according to the finite element method, if the meshing process fails, it cannot proceed to the solution. The solution process depends on the processor capacity and memory capacity of the computer. The technical features of the computer used in this study can be summarized as i7-8 cores, 16 GB RAM and 250 GB SSD. As the meshing precision increases, the running times of the software also change.



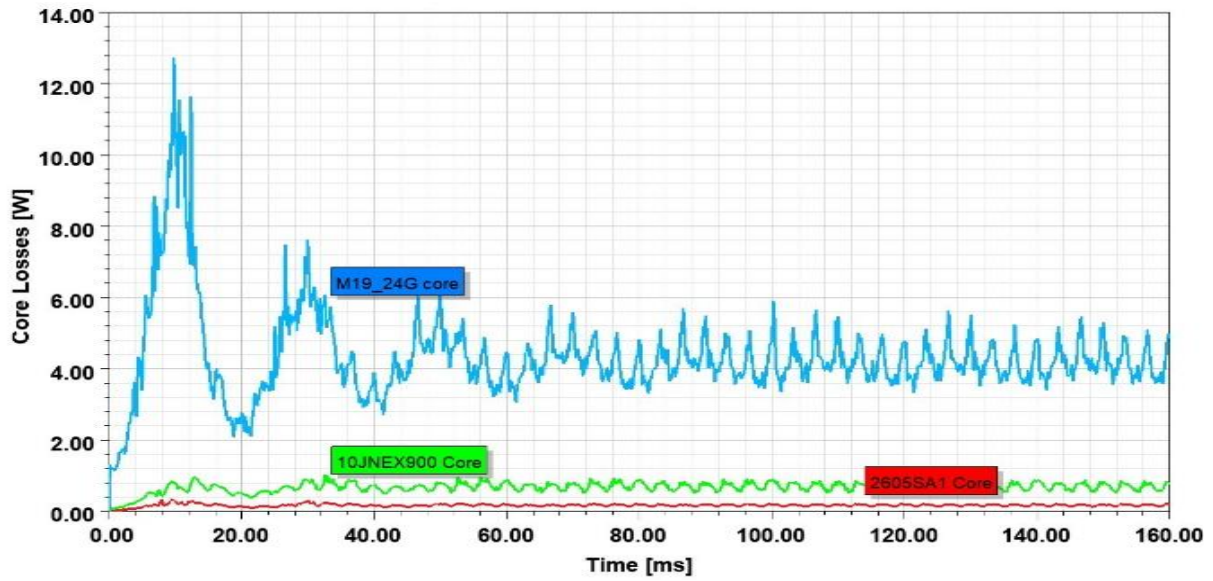
**Figure 8.** Mesh refinement of CPSG.

The power losses and efficiency of the CPSG, whose electromagnetic modeling was performed with ANSYS-Electronics Rmxprt and Maxwell software, according to the full load technical data information, are explained in detail in Table 3.

**Table 3.** Full load technical data of the modeled CPSG.

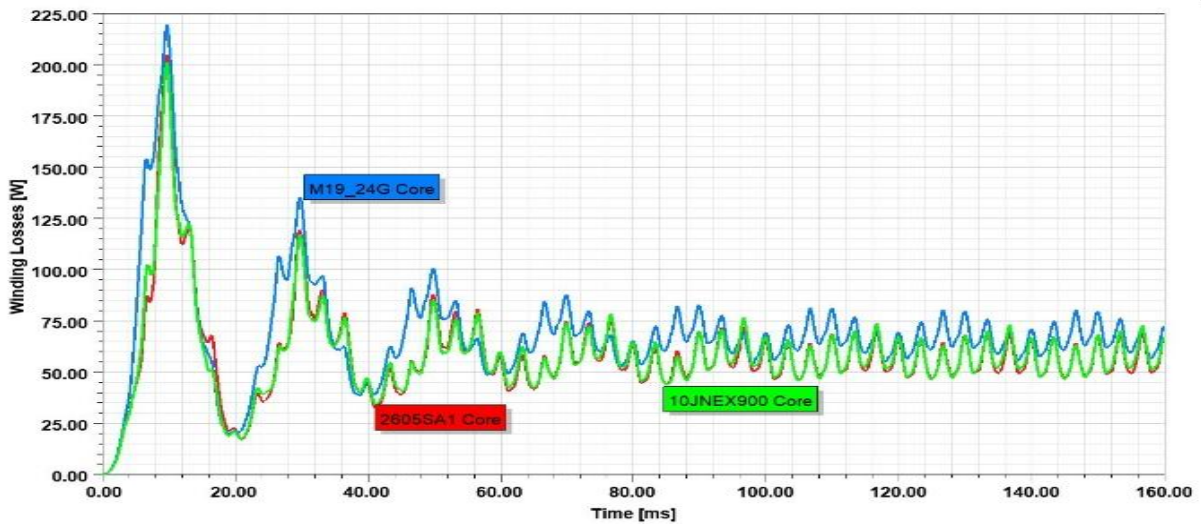
Parameters	Value
Stator Phase Current (rms)	1.6 A
Stator Phase Voltage (rms)	115 V
Apparent Power	0.55 kVA
Power Factor (Cos $\varphi$ )	0.98
Induced Phase Voltage (rms)	152.7 V
Frictional and Windage Losses	24 W
Core Losses	4.25 W for M19_24G core material
Stator Copper Losses	72.45 W
Total Losses	100.7 W
Output Electrical Power	539.897 W
Input Mechanical Power	640.597 W
Efficiency (%)	84.28%
Maximum Output Power	669.41 W

Even when only core losses are considered, CPSG performance varies significantly with core material type. According to the graph given in Figure 9, the core loss behavior of the generator designed with Amorphous, 3%SiFe and JFE super core material is given comparatively.



**Figure 9.** The core loss behavior of CPSG designed with M19\_24G, Amorphous and JFE super core materials.

Thus, it was determined that the most suitable core material in terms of core losses was 2605SA1 core. M19 core, known as the classical core lamination, used in the application, is the worst material in terms of core losses and the core material where the temperature increase will be the highest. In addition, winding losses for CPSG are also examined comparatively. In fact, winding losses are the most important cause of thermal increase in a generator, and a slight difference was observed in winding losses due to reasons such as inductance that changes according to the core material type. Thus, according to the comparative winding losses graph given in Figure 10, the most loss emerges as the classical core material M19. The winding loss behavior for the other two materials (Amorphous and JFE super core) is almost the same.



**Figure 10.** The copper loss behavior of CPSG designed with M19\_24G, Amorphous and JFE super core materials.

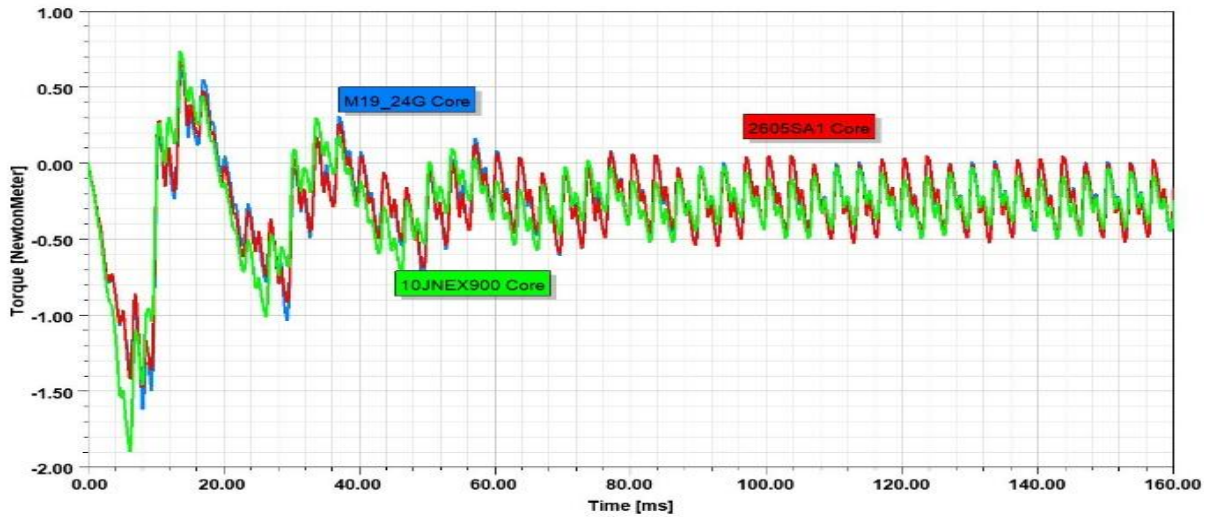
Thus, it is summarized in Table 4 that higher efficiency can be obtained with the new generation core materials for CPSG, which is analyzed comparatively according to the core material type.



**Table 4.** The power losses and efficiency comparison of CPSG according to core material type

Comparison of Parameters	Core Material Type		
	M19_24G	10JNEX900	2605SA1
Frictional and Windage Losses	24 W (fixed)	24 W (fixed)	24 W (fixed)
Core Losses	4.25 W	0.75 W	0.35 W
Stator Copper Losses	72.45 W	55.82 W	55.35 W
Total Losses	100.70 W	80.57 W	79.70 W
Efficiency (%)	84.28%	87.02%	87.13%

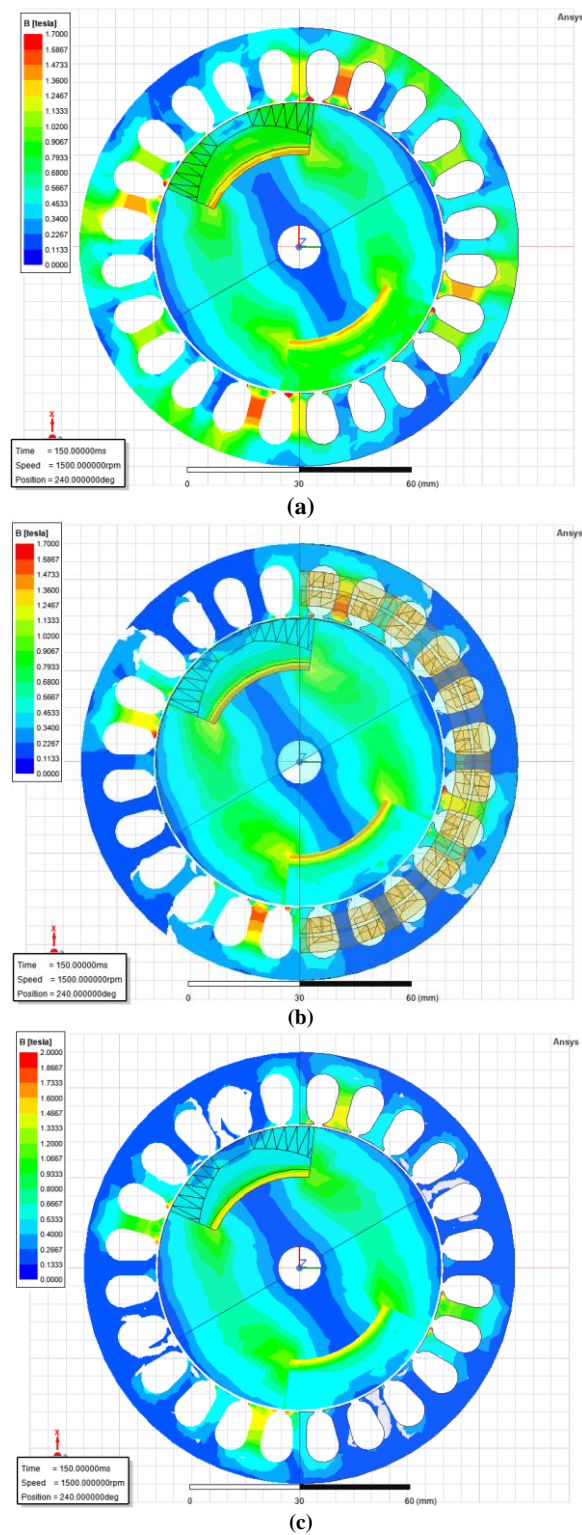
The highest efficiency is achieved with amorphous material, but the design is limited to this material according to the structural features of the stator grooves. Because amorphous materials are very hard and not resistant to mechanical stresses with their crystallized film feature. However, JFE supercore material has almost the same efficiency as amorphous. The core material type is also extremely important in terms of torque behavior as seen in Figure 11. The core material with the least torque fluctuation can be summarized as a JFE core with a high flux density of 1.9 T and a non-oriented core material.



**Figure 11.** The torque behavior of CPSG designed with M19\_24G, Amorphous and JFE super core materials.

The flux distributions in the CPSG core for the different core materials are given in Figure 12 in 2D. Since the saturation flux value for M19 is 1.7 Tesla, it is seen that it is very close to the saturation point. There is no saturation for the JFE supercore, which has a saturation flux value of about 1.9 T. For amorphous with a saturation flux value of 1.56 T, there are regions close to the saturation point. However, since it is a soft magnetic material due to its amorphous structure, the canceling magnetic field strength is very small, and the thermal coefficient and specific core loss are at the lowest values.





**Figure 12.** The flux distributions of CPSG core, (a) M19\_24G core, (b) amorphous core, (c) JFE supercore.

The findings obtained because of the modeling and simulation studies of the CPSG performed with the FEA software can be listed as follows, comparatively according to the core material type:

- M19 classical core material is widely used in practice.
- When the core loss behavior is examined, M19 core material is the most unsuitable material.
- JFE supercore core loss is higher than amorphous material core loss values, but when design and manufacturing are considered, amorphous material is not very suitable for the design of stator slots. Amorphous material is mostly recommended for inductor and transformer design.
- JFE supercore is the most suitable material in terms of electromagnetic and torque performance.
- In recent years, JFE supercore material has become popular both in electric motor design [33] and generator design in terms of power losses and temperature behavior compared to M19 material. It also allows more compact design such as core size reduction in motor/generator sizing.
- Although the classical core material (M19) is much cheaper than the new generation core materials, the new generation core materials can be preferred for high efficiency CPSG designs due to their more compact design and lower power loss values.
- The core material comparison discussed in this study highlights that JFE supercore material is very suitable for performance enhancement for CPSG, which is frequently used in ICE and hybrid electric vehicles in recent years.
- It is known that if the magnetic properties of the core materials are taken into account in the design process of the CPSG dimensioning, it may lead to structures with different sizes. However, in this study, a short performance comparison was performed using different magnetic materials for 0.55 kVA power. Thus, it was seen that even for the same size, the power loss values of the new generation core materials were lower, and the performance was improved.
- Maybe a few W core and winding losses will be reduced, but CPSGs, which are used as battery charging units for millions of vehicles, can be used in the coming years for much larger power capacities, especially in the stator core structures of wind generators. In this context, JFE supercore material is advantageous in terms of high flux density, much finer lamination, and much smaller specific core losses.

#### 4. CONCLUSION

In this study, the electromagnetic modeling and simulation studies of performance improvement are carried out by using new generation core materials of CPSG, which is frequently used as a battery charging alternator of ICE vehicle. Since the new generation core materials are produced with higher magnetic flux density and much thinner structures than conventional core laminations, they have become the focus of attention in recent years with less specific core loss values. In particular, the need for a more compact design and higher efficiency in the power system for energy storage in hybrid electric vehicles has also intensified the efforts to increase the performance of CPSGs.

The CPSG considered in this study is only 0.55 kVA power value, and this will gain more importance as the power values increase, as the lamination material used in the core structure will increase. On the other hand, when it is used in internal combustion land vehicles and considering millions of places of use, a reduction in power loss of a few W may positively affect many factors such as the global economy and environmental pollution. M19\_24G core material is commercially easily available compared to others, but considering its performance characteristics such as size, power losses and temperature behavior, it will leave its place to new generation core materials as the technology of the future. Depending on the core material type, the CPSG efficiency was determined as 84.28% for the classical core material M19, 87.02% for the jfe supercore, and 87.13% for the amorphous core material, respectively. Thus, it is seen that the CPSG designed with the new generation core materials has higher efficiency. As a future study, a CPSG can be designed using new generation core materials, for example, with jfe supercore, and its sizing, electrical and electromagnetic behavior can be determined experimentally.

## REFERENCES

- 
- Nasiri-Zarandi, R., Mohammadi Ajamloo, A., and Abbaszadeh, K. Cogging Torque Minimization in Transverse Flux Permanent Magnet Generators using Two-step Axial Permanent Magnet Segmentation for Direct Drive Wind Turbine Application. *International Journal of Engineering*, 34(4), 2021, 908-918. doi: 10.5829/ije.2021.34.04a.17.
- Jurca, F., Martis, C., and Biro, K. Claw-pole generator analysis using flux 3D, *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Ischia, Italy, 2008*, pp. 1286-1291, doi: 10.1109/SPEEDHAM.2008.4581153.
- Boldea, I., Tutelea, L. N., and Popa, A. A. "Claw Pole Synchronous Motors/Generators (CP-SMs/Gs) Design and Control: Recent Progress," in *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 10, no. 4, pp. 4556-4564, Aug. 2022, doi: 10.1109/JESTPE.2021.3125044.
- Wang, X., Yuan, P., Li, Y., Chen, S., Shi Z., and Xie W., Performance research and optimization of vehicle-mounted claw-pole generator based on 3D electromagnetic field and circuit coupling modeling, *IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC), Guangzhou,Guangdong, China, 2022*, pp. 886-891, doi: 10.1109/PEAC56338.2022.9959606.
- Yamazaki, K., Suzuki, R., Nuka, M., and Masegi, M. Analysis and Characteristics Improvement of Claw-Pole Alternators by Reducing Armature Reaction, in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 11, pp. 8740-8748, Nov. 2018, doi: 10.1109/TIE.2018.2811405.
- Ibala, A. and Masmoudi, A. 3D-FEA based comparison of the features of two hybrid-excited claw pole alternators, *International Conference on Sustainable Mobility Applications, Renewables and Technology (SMART), Kuwait, Kuwait, 2015*, pp. 1-8, doi: 10.1109/SMART.2015.7399239.
- Cao, Y., Liu, C., and Yu, J. Mesh-Based 3D MEC Modeling of a Novel Hybrid Claw Pole Generator. *Energies* 2022, 15, 1692. <https://doi.org/10.3390/en15051692>.
- Kuroda, Y., Morita, M., Hazeyama, M., Azuma, M., and Inoue, M. Improvement of a claw pole motor using additional ferrite magnets for hybrid electric vehicles, *The XIX International Conference on Electrical Machines - ICEM 2010, Rome, Italy, 2010*, pp. 1-3, doi: 10.1109/ICELMACH.2010.5608267.
- Emadi, A., Lee, Y. J., and Rajashekara, K. Power electronics and motor drives in electric, hybrid electric, and plug-in hybrid electric vehicles, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 6, pp. 2237–2245, Jun. 2008.
- Du, W., Zhao, S., Zhang, H., Zhang, M., and Gao, J. A Novel Claw Pole Motor With Soft Magnetic Composites, in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 57, no. 2, pp. 1-4, Feb. 2021, Art no. 8200904, doi: 10.1109/TMAG.2020.3019830.
- Bruyere, A., Semail, E., Bouscayrol, A., Locment, F., Dubus, J. M., and Mipo, J. C. Modeling and control of a seven-phase claw-pole integrated starter alternator for micro-hybrid automotive applications, *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, Harbin, China, 2008*, pp. 1-6, doi: 10.1109/VPPC.2008.4677668.
- Suh, K. and Moon, J. Electric Vehicle Architecture Design Based on Database. *Int.J Automot. Technol.* 25, 2024, 427–444, <https://doi.org/10.1007/s12239-024-00035-5>.
- Zhao, X., Niu, S., and Ching, T. W. Design and Analysis of a New Brushless Electrically Excited Claw-Pole Generator for Hybrid Electric Vehicle, in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 54, no. 11, pp. 1-5, Nov. 2018, Art no. 8108505, doi: 10.1109/TMAG.2018.2823743.
- Ming-Fa Tsai et al. Phase-Variable Modeling and Comparative Study between a PMA-CPA and a CPA Alternator by Simulation Analysis 2022 *J. Phys.: Conf. Ser.* 2179 012014.
- Toprak, Y., Karakaya, O., Canturk, S., and Balci, M.E., Analysis on Performance of Claw Pole Synchronous Generators for 6-Pulse Rectifier Load, *4th International Turkish World Engineering and Science Congress, 2023, Türkiye*.
- Toprak, Y., Karakaya, O., Canturk, S., and Balci, M.E., Design of Passive Harmonic Filter for the Claw-Pole Synchronous Generators under Non-linear Loading, *The 3rd International Conference on Applied Mathematics in Engineering (ICAME'24), 26-28 June 2024, Ayvalık, Balıkesir, Türkiye*.
- Saati, M., Hashemipour, O., Afjei, E., and Nezamabadi, M. A New Hybrid Brushless DC Motor/Generator without Permanent Magnet. *International Journal of Engineering*, 20(1), 77-86, 2007.
- Cao, Y., Zhu, S., Yu, J., and Liu, C. Optimization Design and Performance Evaluation of a Hybrid Excitation Claw Pole Machine. *Processes* 2022, 10, 541. <https://doi.org/10.3390/pr1003054>.
- Li, W. and Huang, S. Analysis and Design of Hybrid Excitation Claw-pole Generator, *Electric Power Components and Systems*, 39:7, 680-695, 2011, DOI: 10.1080/15325008.2010.536811.
- Zhang, D., Zhao, C., Zhu, L., Ding, Y., Yu, C., and Tian, C. On hybrid excitation claw-pole synchronous generator with magnetic circuit series connection, *International Conference on Electrical Machines and Systems, Wuhan, China, 2008*, pp. 3509-3513.

- Ukaji, H., Hirata, K., and Niguchi, N. Claw pole magnetic-gear generator for hub dynamos, International Conference on Electrical Machines (ICEM), Berlin, Germany, 2014, pp. 416-421, doi: 10.1109/ICELMACH.2014.6960214.
- Arumugam, D., Logamani, P., and Karuppiah, S. Improved performance of integrated generator systems with claw pole alternator for aircraft applications, Energy, Volume 133, 2017, Pages 808-821, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.132>.
- Liang, J., Parsapour, A., Cosoroaba, E., Wu, M., Boldea, I., and Fahimi, B. A High Torque Density Outer Rotor Claw Pole Stator Permanent Magnet Synchronous Motor, IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Long Beach, CA, USA, 2018, pp. 389-393, doi: 10.1109/ITEC.2018.8450106.
- Shen, J., Wang, B., Cai, L. et al. Magnetic properties and thermal stability of Fe-based amorphous/carbonyl iron soft magnetic composites. J Mater Sci: Mater Electron 34, 1169, 2023, <https://doi.org/10.1007/s10854-023-10512-9>.
- Guo, Y., Zhu, J., and Dorrell, D. G. Design and Analysis of a Claw Pole Permanent Magnet Motor with Molded Soft Magnetic Composite Core, in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 45, no. 10, pp. 4582-4585, Oct. 2009, doi: 10.1109/TMAG.2009.2022745.
- Rakotovo, M. Modeling approach for system analysis: Case of claw pole machine in mild hybrid system, XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM), Lausanne, Switzerland, 2016, pp. 818-822, doi: 10.1109/ICELMACH.2016.7732620.
- Clerc, A. J. and Muetze, A. Measurement of stator core magnetic characteristics, IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), Niagara Falls, ON, Canada, 2011, pp. 1433-1438, doi: 10.1109/IEMDC.2011.5994818.
- Khan, M. A., Chen, Y., and Pillay, P. Application of soft magnetic composites to PM wind generator design, IEEE Power Engineering Society General Meeting, Montreal, QC, Canada, 2006, pp. 4 pp.-, doi: 10.1109/PES.2006.1709048.
- Tong, W., Sun, R., Zhang, C., Wu, S., and Tang, R. Loss and Thermal Analysis of a High-Speed Surface-Mounted PMSM With Amorphous Metal Stator Core and Titanium Alloy Rotor Sleeve, in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 55, no. 6, pp. 1-4, June 2019, Art no. 8102104, doi: 10.1109/TMAG.2019.2897141.
- Dems M. and Komez, K. Performance Characteristics of a High-Speed Energy-Saving Induction Motor with an Amorphous Stator Core, in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 6, pp. 3046-3055, June 2014, doi: 10.1109/TIE.2013.2251739.
- Hasegawa, R. Applications of amorphous magnetic alloys, Materials Science and Engineering: A, Volumes 375–377, 2004, Pages 90-97, <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.258>.
- Battal, F., Balci, S., and Sefa, I. Power electronic transformers: A review, Measurement, Volume 171, 2021, 108848, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108848>.
- Balci, S. and Akkaya, M. Reduction of the core size and power losses by using soft magnetic material for a single-phase induction motor, Measurement, Volume 198, 2022, 111421, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111421>.
- M19\_24G Core Material Datasheet, Non-Oriented Fully Process Electrical Steel – ASTM, <https://www.scribd.com/document/98899985/Non-Oriented-Fully-Process-Electrical-Steel-ASTM>.
- Metglas 2605 SA1 Datasheet, Iron Based Alloy, <https://metglas.com/magnetic-materials/metglas-2605-sa1-iron-based-alloy-2/>.
- 10JNEX900 Datasheet, Non-Oriented Electrical Steel Sheet, <https://www.jfe-steel.co.jp/en/products/electrical/product/supercore/index.php>.
- Balci, S. Senkron Generatörlerde Farklı Stator Oluk Yapılarının Uç Gerilimine Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(3), 947-957, 2019, DOI: <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.518348>.
- Cheshmehbeigi, H. M. and Khanmohamadian, A. Design and Simulation of a Moving-magnet-type Linear Synchronous Motor for Electromagnetic Launch System, International Journal of Engineering (IJE), Transactions C: Aspects Vol. 30, No. 3, (March 2017) 351-356.
- Soon-O. K., Ji-Young, L., Jung-Pyo, H., Yang-Soo, L., and Yoon, H. Practical analysis method for claw-pole type generator using 2-dimensional equivalent model, IEEE International Conference on Electric Machines and Drives, 2005., San Antonio, TX, USA, pp. 1661-1664, doi: 10.1109/IEMDC.2005.195942.
- ANSYS Electronics 2024R1, Rmxprt User's Guide, Generators-CPSGs, 2024.

## A Review on Mapping Research Trends in Biophilic Building Research: Bibliometric and Content Analysis between 2006-2023

Güneş MUTLU AVINÇ

Muş Alparslan University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Architecture, Muş/Türkiye.  
ORCID: 0000-0003-1049-2689

Corresponding Author: g.avinc@alparslan.edu.tr

Geliş Tarihi: 14.11.2024

Kabul Tarihi: 26.12.2024

### Abstract

Biophilic design, an approach emphasizing the integration of nature into human life, is gaining increasing importance. The bibliometric review and content analysis conducted within the scope of the study aims to comprehensively analyze and synthesize the scientific literature in the field of biophilic building design. In this context, a comprehensive bibliometric analysis and content analysis were conducted to identify trends and research gaps in biophilic building research conducted between 2006 and 2023. Using Scopus data, the analysis was performed with the Bibliometrix tool. The study results identify the most influential countries, institutions, studies, authors, and keywords focusing on concepts such as biophilic design, biophilic architecture, and biophilic building. According to the findings, the study highlights the importance of incorporating natural systems and processes into the design of the built environment to enhance human health. This research underscores the significance of studies on the impact of biophilic design on mental health, overall well-being, and social relationships.

**Keywords:** Bibliometric Analysis, Biophilic, Biophilic design, Biophilic Building Research, R Studio-Biblioshiny.

### Biyofilik Bina Araştırmalarında Araştırma Eğilimlerinin Haritalanması Üzerine Bir İnceleme: 2006-2023 Yılları Arasında Bibliyometrik ve İçerik Analizi

### Özet

Doğanın insan yaşamıyla bütünleşmesini vurgulayan bir yaklaşım olan biyofilik tasarım giderek önem kazanmaktadır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen bibliyometrik inceleme ve içerik analizi ile, biyofilik bina tasarımı alanındaki bilimsel literatürün kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi ve sentezlenmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, 2006-2023 yılları arasında yapılan biyofilik bina araştırmalarındaki eğilimleri ve araştırma boşluklarını belirlemek için kapsamlı bir bibliyometrik analiz ve içerik analizi yapılmıştır. Analiz, Scopus verileri kullanılarak Bibliometrix aracı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları, biyofilik tasarım, biyofilik mimari ve biyofilik bina gibi kavramlara odaklanan en etkili ülkeleri, kurumları, çalışmaları, yazarları ve anahtar kelimeleri tanımlamaktadır. Bulgulara göre çalışma, insan sağlığını geliştirmek için doğal sistem ve süreçlerin yapılı çevre tasarımına dahil edilmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu araştırma, biyofilik tasarımın ruh sağlığı, genel refah ve sosyal ilişkiler üzerindeki etkisine ilişkin çalışmaların öneminin altını çizmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bibliyometrik Analiz, Biyofili, Biyofilik Tasarım, Biyofilik Bina Araştırması, R Studio-Biblioshiny.



[Bu makale Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\) License ile lisanslanmıştır.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## 1. INTRODUCTION

Modern life is increasingly challenging individuals' access to nature. However, the longing for individuals to establish a connection with nature continues to grow [1]. Nevertheless, the rapid increase in urban population and the decrease of natural areas due to construction have led to a weakening connection between humans and nature [2]. Additionally, it is known that individuals spend 90% of their time in enclosed spaces [3]. In this context, efforts to integrate nature into the built environment have gained momentum recently, considering people's living spaces and evolving needs.

Biophilic design, known as one of these efforts, is a design approach that aims to bring humans closer to nature by integrating natural objects, patterns, and components into the built environment [1]. The term "biophilia," used as one of the initial concepts of biophilic design, is defined by Ryan et al. [4] as "...the deep-seated need of humans to connect with nature." According to Browning et al. [5] the integration of nature into the built environment is not considered a luxury but, on the contrary, is interpreted as a crucial need based on neurological and physiological evidence for health and productivity. The integration of nature into the built environment through biophilic design has been shown to have positive effects on general health and well-being, such as reducing attentional fatigue and stress [6]. In addition to these benefits, biophilic design possesses features such as enhancing the quality of life, increasing creativity, and strengthening cognitive clarity [7].

New design strategies focusing on the psychological benefits of nature when applied in the built environment are increasingly being implemented in building design [8]. The positive effects of nature, especially plants, on human psychology, health, and well-being have been extensively studied by many researchers [9]; [10]; [11]. Particularly in response to growing environmental challenges, there is an increasing interest in "nature" and "biophilic design" in architecture. However, unclear questions and ongoing debates about the conceptualization and handling of "nature" persist at both the practical and research levels [12]. Against this backdrop, the aim of this study is to conduct a bibliometric analysis on studies focusing on the biophilic design approach in buildings. For this purpose, a search was conducted in the Scopus database using the keywords "biophilic design OR biophilic architecture AND building," and a total of 168 publications were analyzed. These analyses were conducted using the Bibliometrix/Biblioshiny graphical program, a significant package of the R programming language, and the obtained data were visualized with maps.

### 1.1. Biophilia Hypothesis Theory

The rapidly advancing urbanization process has provided a foundation for the emergence of biophilic design, turning it into an appealing research topic related to human living spaces. Biophilic design, as an approach inspired by nature, promotes ecological diversity and positively contributes to the development of both physical and mental health.

"Biophilia" concept, which forms the basis of the biophilic approach, was first introduced by the social psychologist Erich Fromm in 1964. Subsequently, the term "biophilic" was defined as the innate need of humans for close contact with nature. Similarly, [13] in his book "Biophilia" described the biophilia hypothesis as an innate tendency of humans to focus on life and lifelike processes. Biophilic design is a design method developed to enhance environmental quality, health, and productivity. This trend, incorporating elements such as nature-inspired systems, engineering principles, and design cues, has the potential to positively impact the well-being of individuals in living spaces [14]. In this context, biophilic design, which involves integrating natural elements into the built environment, has been gaining increasing interest in the field of architecture [15].

Efforts to maintain human interaction with nature have been observed throughout history [16]. As evidence of this, examples such as medieval Chinese villages, Persian settlements, and the homes of ancient Egyptian nobles are cited [17]. Today, academics such as Edward Wilson, Stephen Kellett, Browning, and Ryan propose design concepts, principles, and strategies that are grounded in nature and aim to establish a balance between humans and the natural world [18]; [19]. These proposed principles encourage the use of natural elements and processes in the built environment as a source of inspiration for design [19].

In this context, overcoming the adverse effects of the built environment and redefining the relationship between humans and nature to enhance human well-being has become crucial [20]. Therefore, biophilic design is an innovative approach aimed at addressing the natural conflict between people and the urban environment in the

context of rapid urbanization, specifically focusing on designing living, working, healing, and learning spaces. Biophilic design establishes a solid foundation for the development of healthy structures by utilizing artificial environmental design methods that harness the beneficial effects of nature, thus proposing a healthier and more natural living environment [21]. Within this framework, examining studies on biophilic design in buildings through bibliometric analysis has gained importance for understanding the state of the literature, identifying trends and developments, determining connections between relevant topics and disciplines, analyzing interactions through citation analysis, and identifying gaps in the literature.

## 2. MATERIALS and METHODS

Literature reviews, processes aimed at developing research fields by effectively utilizing existing knowledge sources, applying and sustaining professional expertise and judgment, increasingly involve the synthesis of findings from past research [22]. In this context, bibliometric analysis is defined as a quantitative technique useful for determining the intellectual structure of a scientific field [23; 24]. Information obtained within the scope of bibliometric analysis is presented as visual knowledge maps. In this framework, visual representation through network mapping is a commonly used technique for researchers to understand, analyze, and visualize complex relationships. This method leverages visual data to represent information in a more understandable and interactive way compared to raw data. In the study, this method reveals trends in the development of a research field, research paths, key points, evaluation processes, and trends in the development of the research area. The visualization method takes the literature (published articles) as an example to visualize the time trend in a specific research field. Consequently, researchers utilize network mapping through visualization to understand and analyze complex relationships [25].

In this study, bibliometrix software, a package of the R program, was used. It is an effective tool in bibliometric analysis, which allows analyzing the literature, understanding publication trends and research dynamics. It helps to discover information such as the most influential authors, collaborative networks and keyword trends in academic work. Biblioshiny, the web interface of Bibliometrix, enables data upload, analysis and visualization without the need to write code [26].

Based on this, within the scope of this study, the subject of biophilic design in buildings has been determined for bibliometric analysis. Biophilic design, as a design approach emphasizing the integration of nature into human life, is gaining increasing importance. This bibliometric review and content analysis aim to comprehensively analyze and synthesize the scientific literature in the field of biophilic building design. In this context, out of 168 studies conducted between 2006 and 2023, 165 were selected for evaluation. A comprehensive bibliometric and content analysis was conducted to identify trends and research gaps in biophilic building research included in these studies. In the research, analysis was performed using Bibliometrix tool with Scopus data, and visual maps were created (Figure 1).

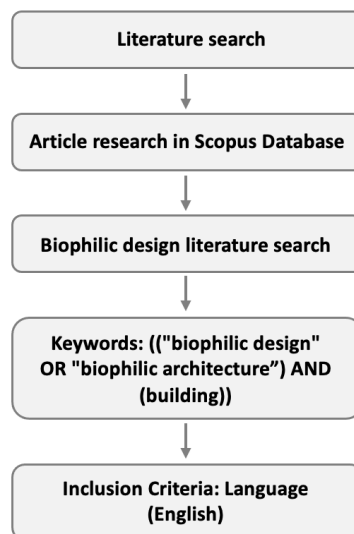


Figure 1. Research methodology

A search was conducted in the SCOPUS database using the keywords "biophilic design," "biophilic architecture," and "building" within the title, abstract, and keywords. As a result of this search, 168 publications were identified. After downloading these studies in BibTeX format, they were analyzed using the Bibliometrix program. A restriction was applied to include only publications published in English for the evaluated studies. Thus, focusing on 165 studies related to concepts such as biophilic design, biophilic architecture, and biophilic building, the most influential countries, institutions, studies, authors, and keywords were identified.

### 3. Results

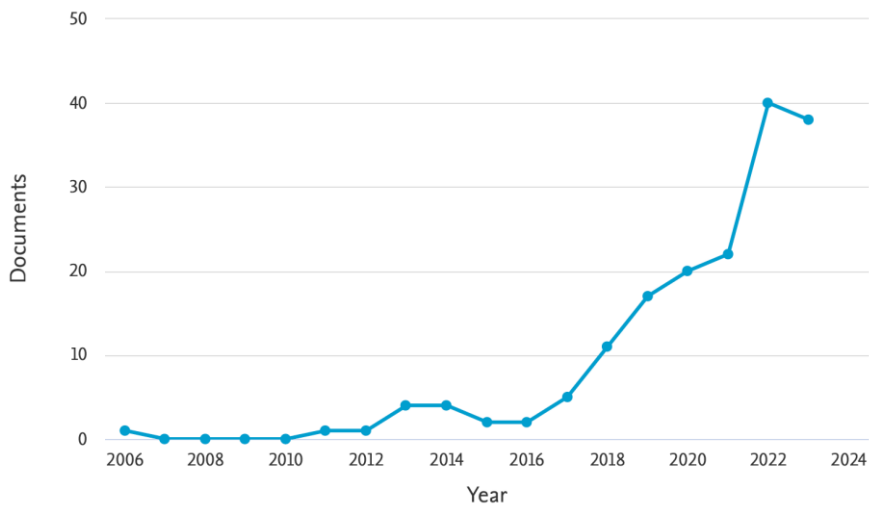
#### 3.1. Analysis Findings in Scopus Database

On November 9, 2023, a search was conducted in the Scopus database using the query (TITLE-ABS-KEY ("biophilic design" OR "biophilic architecture") AND TITLE-ABS-KEY (building)). Without a starting year limitation, this search identified a total of 168 studies produced between 2006 and 2023 (Figure 2).

Search within Article title, Abstract, Keywords	Search documents * "biophilic design" OR "biophilic architecture"
AND	
Search within Article title, Abstract, Keywords	Search documents building
+ Add search field	Reset Search

**Figure 2.** Search conducted with the identified keywords in Scopus.

The development of articles published from 2006 to 2023 is presented in Figure 3. The analysis of this graph reveals the changes in scientific production over the years. In this context, according to the graph, in the field of "biophilic building design," it is observed that only 1 publication was produced in 2006, and no publications were produced between 2007 and 2010. However, it is noted that the number of publications on this topic increased in 2018 (N=40). In this framework, a relationship can be established between the increased number of publications and the understanding of the importance of people's connection to nature, particularly in the context of the COVID-19 pandemic.



**Figure 3.** Documents by year



As a result of the analysis, the document types were determined as follows: Article (N=98), Conference Paper (N=38), Book Chapter (N=16), Review (N=9), Conference Review (N=5), Book (N=2) (Figure 4).

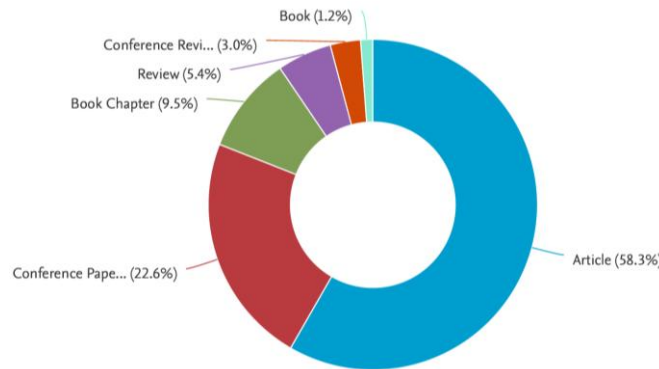


Figure 4. Document types

When documents are classified according to the subject area in the Scopus database, the following distribution was identified: Engineering (N=90), Environmental Science (N=65), Social Sciences (N=55), Energy (N=26), and Earth and Planetary Sciences (N=19). These represent the top five areas with the highest number of publications (Figure 5).

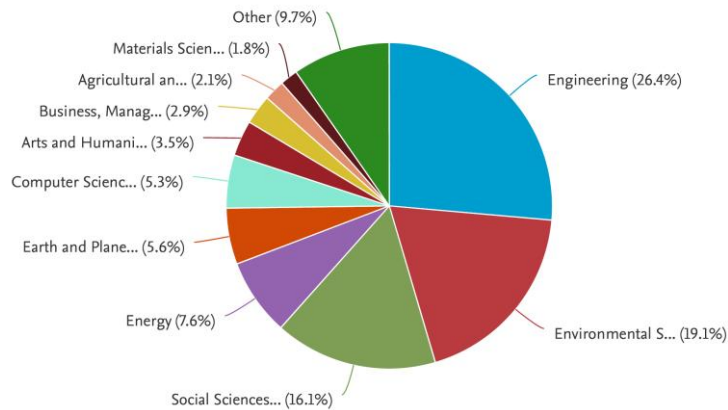


Figure 5. Classification of documents based on subject area.

### 3.2. Analysis of Articles with Bibliometrics

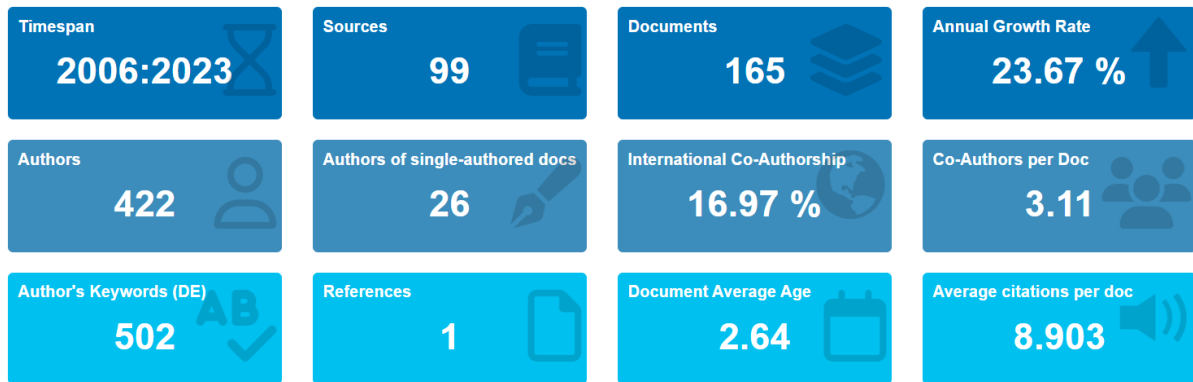
In this section of the study, initially, based on the Scopus database, it was determined which publications on "biophilic building design" would be evaluated using the Bibliometrix software and which ones would be excluded (Table 1). The assessment of the studies included in the bibliometric analysis is elaborated in detail with graphs and maps.

Table 1. Criteria for inclusion and exclusion in bibliometric analysis.

Inclusion Criteria	Exclusion Criteria
Research conducted between 2006 and 2023	Publications of the year 2024
Studies related to the development of "Biophilic building design"	Studies unrelated to "Biophilic building design"
Documents related to "Biophilic building design"	Duplicate documents in the database
Article, Conference Paper, Book Chapter, Review,	Studies where "Biophilic building design" is not the

Conference Review, Book	main focus of the research
Studies in the English language	Studies produced in the Korean language

In this context, with the limitations imposed using R Studio-Biblioshiny software, a total of 165 articles were included from 99 sources. According to the information in Figure 6, in the studies conducted between 2006 and 2023, the number of single-authored documents is 26, while the number of collaborative works is 422. The bibliometric analysis method of the study was conducted using a total of 502 keywords between 2006 and 2023, and it is noted that each document received an average of 8,903 citations.

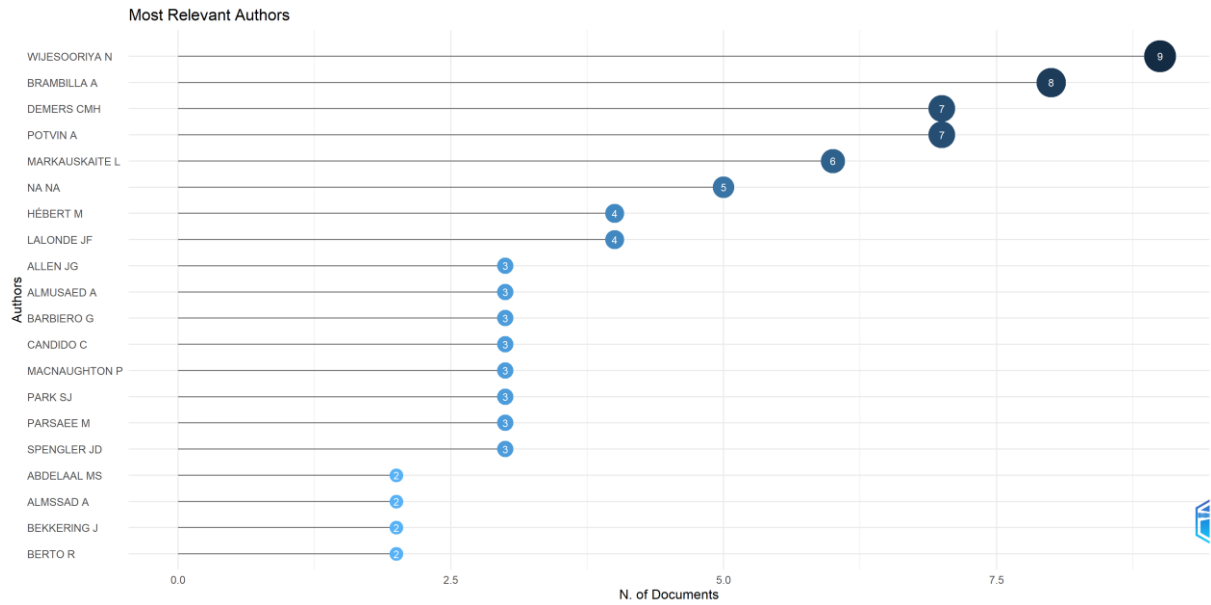


**Figure 6.** Basic information about the studies included in the bibliometric analysis using Biblioshiny software.

Determining the number of authors in bibliometric analysis studies is crucial for understanding whether research is conducted collaboratively or individually. Examining the number of authors in academic studies serves as a guide to understanding whether the research in the field requires individual or collaborative efforts [27]. Additionally, identifying the most productive authors and collaborations is important for funding institutions and organizations [28]. Therefore, revealing authorship trends helps provide valuable information for stakeholders in research and academic fields.

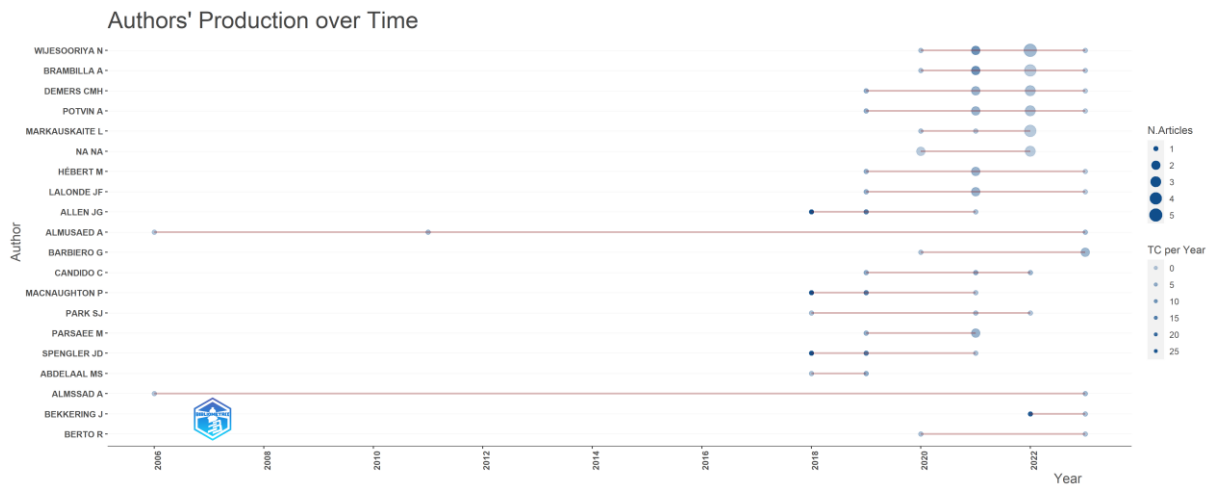
On the other hand, Figure 7 presents an analysis of the most relevant authors in the field of "biophilic building design." Conducting a bibliometric analysis of the most relevant authors is crucial for understanding the dynamics of research in a specific field.

In Figure 7, the ranking of the top 20 authors who have published the most in "biophilic building design" research is shown. Wijesooriya N ranks first with a total of 9 scientific articles. Brambilla A is in second place with 8 studies. Following these authors are Demers CMH (N=7), Potvin A (N=7), and Markauskaite L (N=6). It is important to note that this graph encompasses all types of authorship, including corresponding authors, co-authors, and similar categories.



**Figure 7.** Authors with the highest scientific production

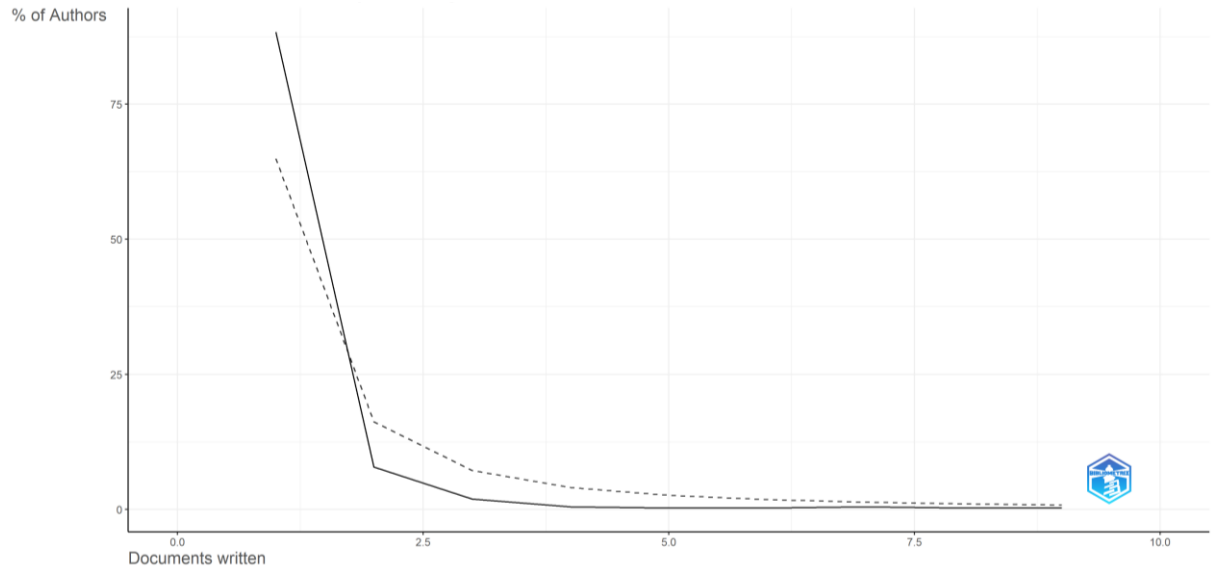
The top authors over time are depicted in Figure 8. This analysis is crucial for illustrating the development of each author over the years. In the graph presented in Figure 4, the darkening of the blue circles indicates more total citations per year, while the growing circles represent more published articles. Wijesooriya N emerges as the most productive author from 2006 to 2023, with a total of 9 articles.



**Figure 8.** Author's production over time

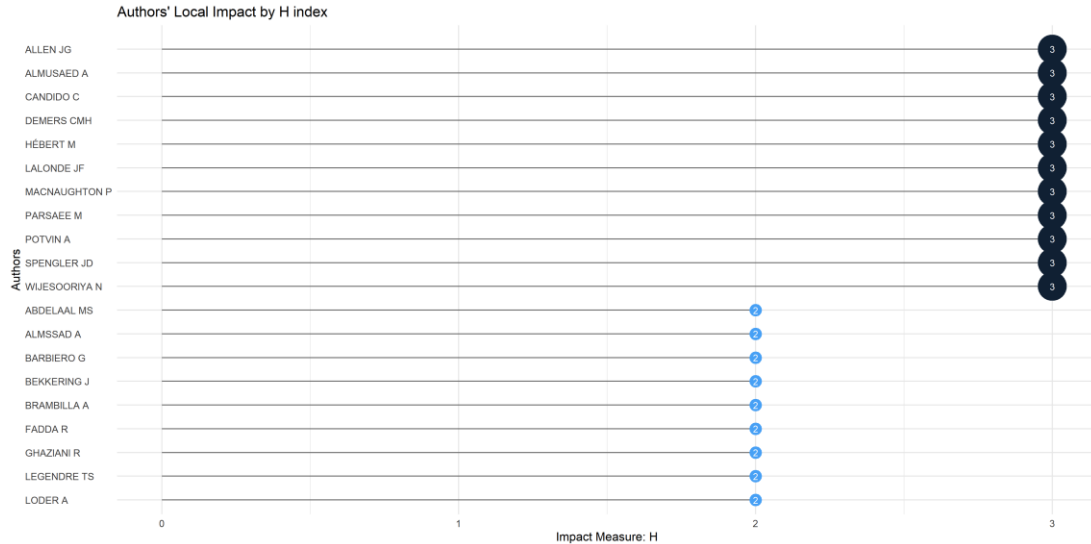
The assessment of research quality, analysis of emerging trends, examination of impacts within the academic community, and identification of potential collaborations contribute significantly not only to individual researchers but also to institutions and funding organizations.

In the study, Lotka's Law was employed to examine the productivity and impact levels of researchers in a specific knowledge domain. The data presented in Figure 9 illustrates how Lotka's Law is applied based on numerical values representing each author's contribution to articles. While 73% of authors contributed with at least one work, 15% contributed with at least two articles, and less than 1% contributed with at least six articles. Lotka's Law is commonly used as a tool in bibliometric studies to understand the distribution of productivity among researchers in a particular discipline, identify pioneers, and assess the impact of research.



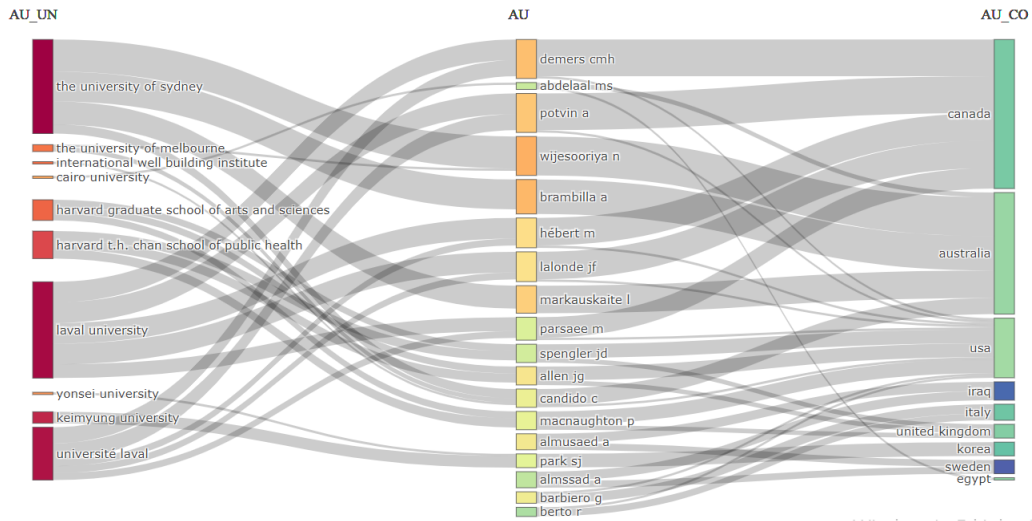
**Figure 9.** The productivity of authors as analyzed through Lotka's law.

Evaluating the impact of authors is commonly done through indices such as the H-index, which measures the productivity of publications and the impact of citations, considering both the quantity (number) of highly cited articles and the citation count received in other research. Therefore, this index is crucial for bibliometric analyses. In Figure 10, different groups of authors are observed. The H-index for authors in the first group is 3, while authors in the second group have an H-index of 2.



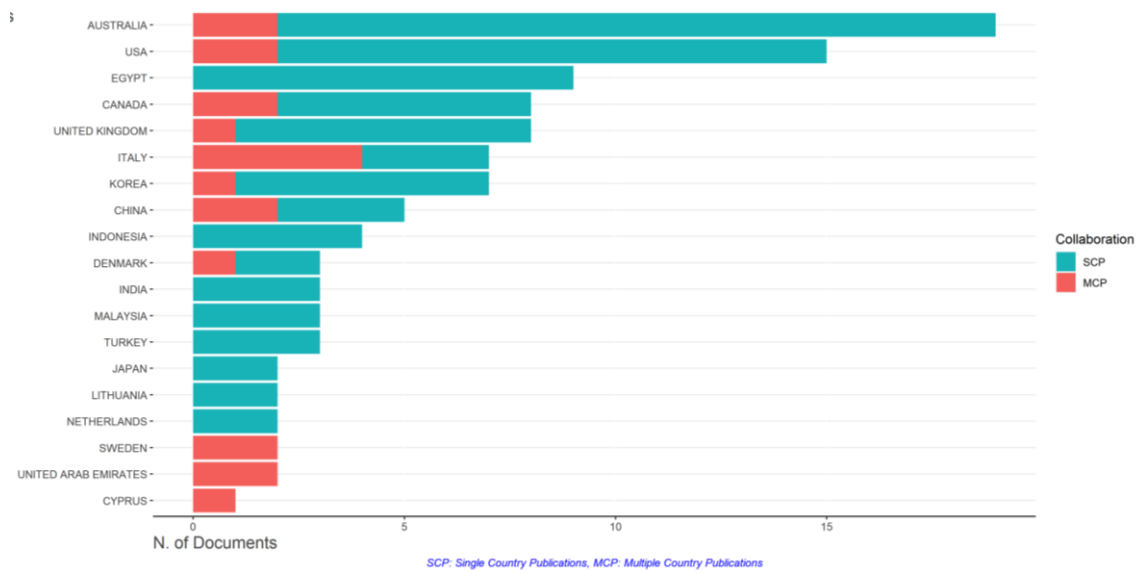
**Figure 10.** Author H-indexes

In Figure 11, authors collaborating with different institutions and countries are observed. The height of the bars shown in different colors indicates the level of effectiveness.



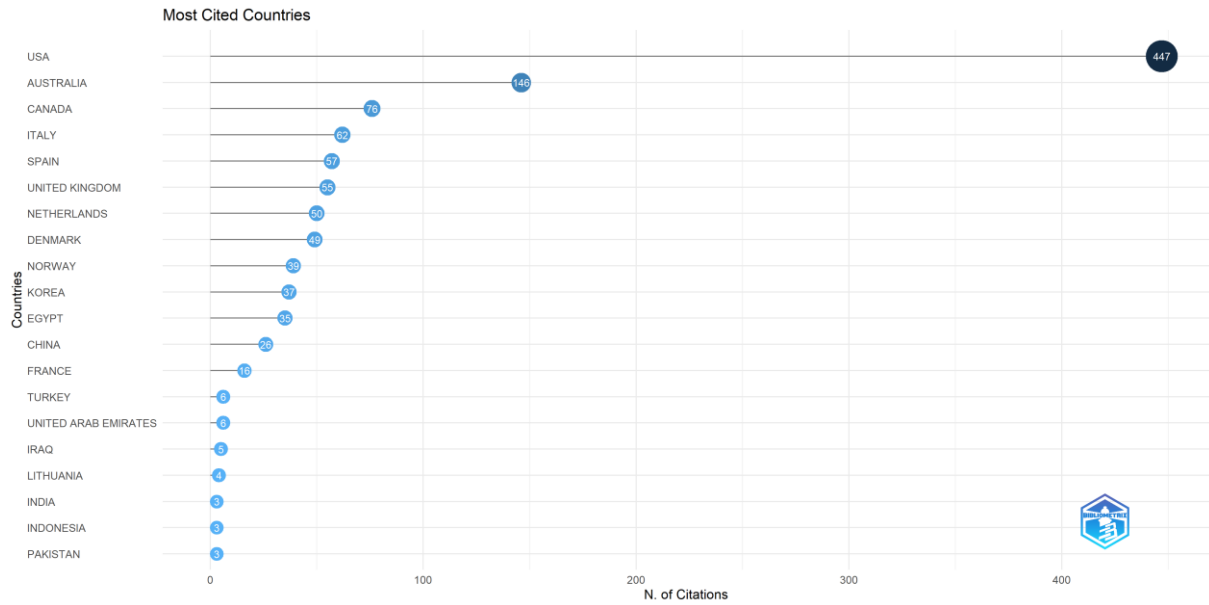
**Figure 11.** Tree field of Author-institution-country collaboration

The distribution based on the number of publications produced individually or in collaboration with other countries by the top 20 countries is shown in Figure 12. Australia ranks first with 2 multiple and 17 single publications. The USA is in second place with 2 individual publications and 13 multiple publications. Egypt, on the other hand, has no collaboration outside its country and is in third place with 9 individual publications. These countries are followed by Canada and the United Kingdom.



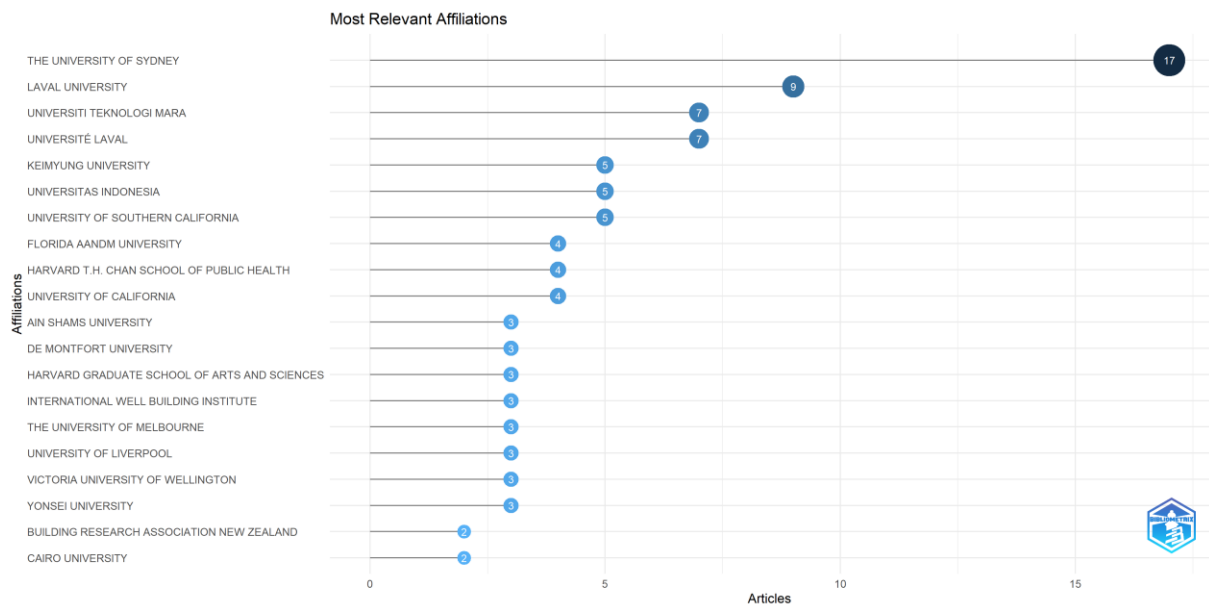
**Figure 12.** Corresponding author's country

Figure 13 displays the total citation counts for each country in the field of 'biophilic building design.' The USA is ranked first with 447 citations, followed by Australia with 146 citations, Canada with 76 citations, Italy with 62 citations, and Spain with 57 citations.



**Figure 13.** Most cited Countries

The top 20 institutions with the highest number of publications are shown in Figure 14. At the forefront of the list is The University of Sydney with a total of 17 studies. Additionally, Laval University, University Technology Mara, Laval University, and Keimyung University are among the top five universities.



**Figure 14.** Most relevant affiliations

Figure 15 displays the most relevant sources. The top three positions are occupied by IOP Conference Series (N=11), Buildings (N=9), and Building and Environment (N=7) sources, respectively.

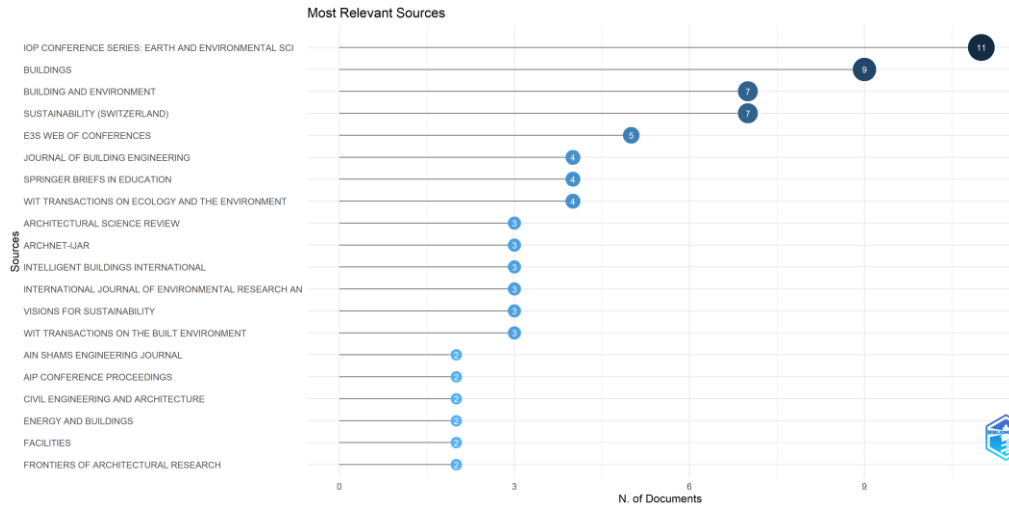


Figure 15. Most relevant sources

In addition to all of these, Figure 16 illustrates the local impact of sources based on the H index. Building and Environment and Sustainability take the top position with a 4 H index, followed by Arcnet-IJAR and Buildings with a 3 H index.

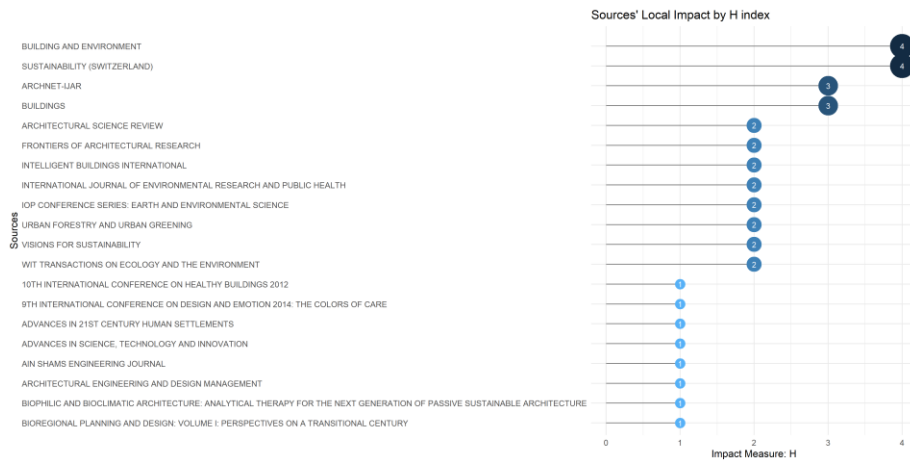
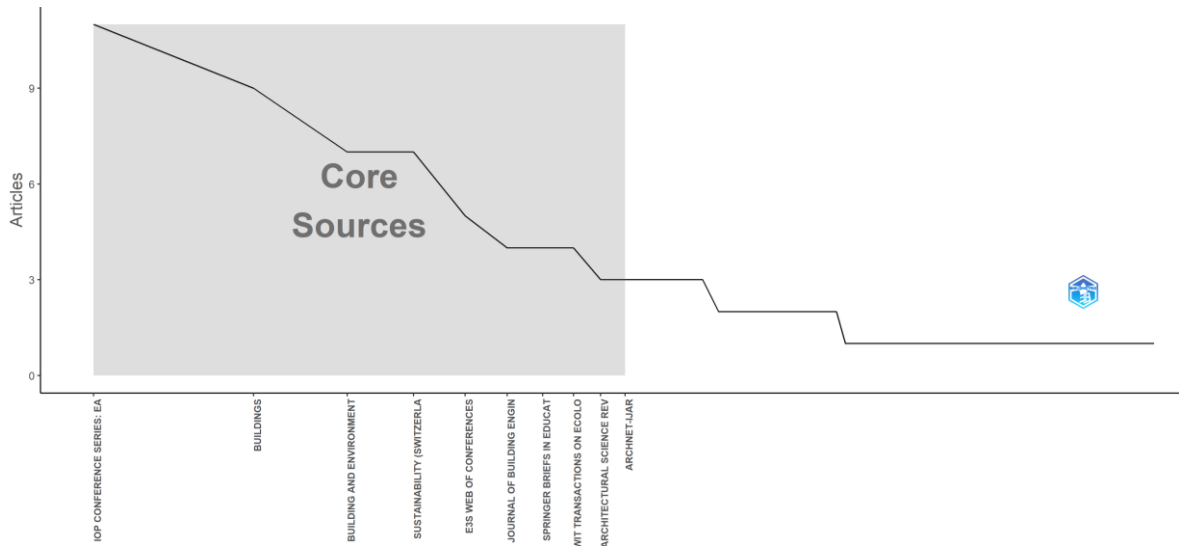


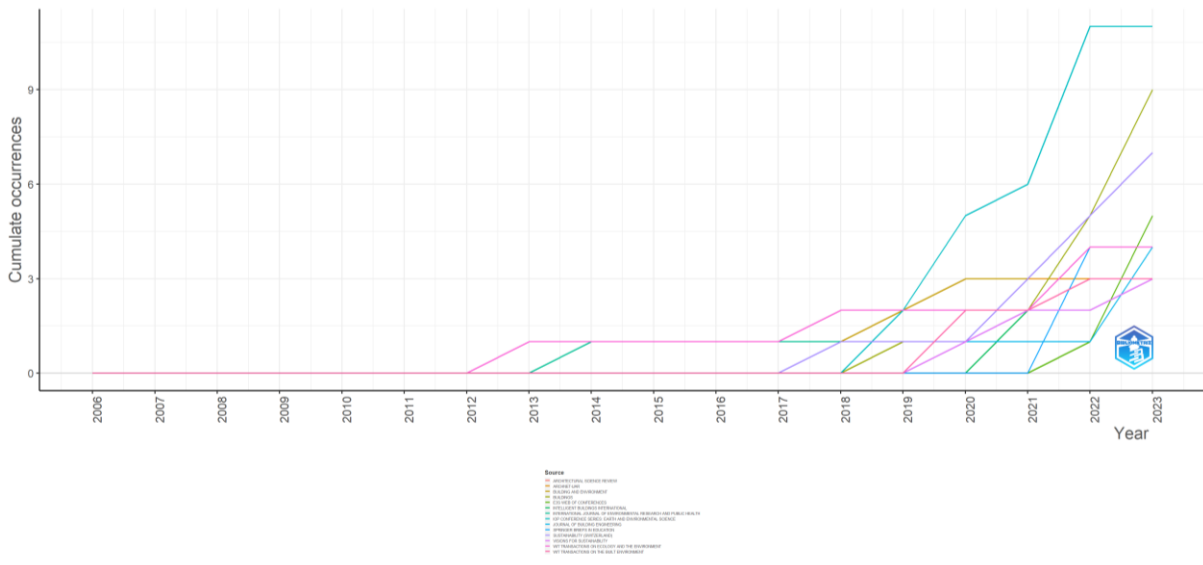
Figure 16. Sources' Local Impact by H Index

Bradford's Law classifies sources based on their productivity to manage the use and access of information. In this context, Figure 17 lists the leading sources in the field of 'biophilic building design'. While the first central zone contains a limited number of sources, each subsequent zone contains an increasing number of sources. The most productive sources can be observed in the graph below.



**Figure 17.** The leading sources in the field of biophilic building design.

Figure 18 illustrates the cumulative source dynamics. This graph reveals the cumulative numbers of documents in sources over the years. It is observed that until the year 2012, only one source produced documents. However, from 2017 to 2023, source diversity becomes apparent.



**Figure 18.** Sources' production over time

Citation signifies the recognition of a writer's contributions to the scientific field. Therefore, determining which publications receive the most citations is crucial not only for an author's reputation but also for evaluating the impact of a journal [29].

Figure 19 displays the top 20 authors with the most cited publications. The research article titled 'Biophilic Design Patterns, Emerging Nature-Based Parameters for Health and Well-Being in the Built Environment' by Ryan et al. [4 ] has received the highest number of citations. Following this, the study 'Physiological and Cognitive performance of Exposure to Biophilic Indoor Environment' by Yin et al. [15] holds second place with 160 citations. It is succeeded by 'The impact of a view from a window on thermal comfort, emotion, and cognitive performance' by Ko et al. [6] with 106 citations.



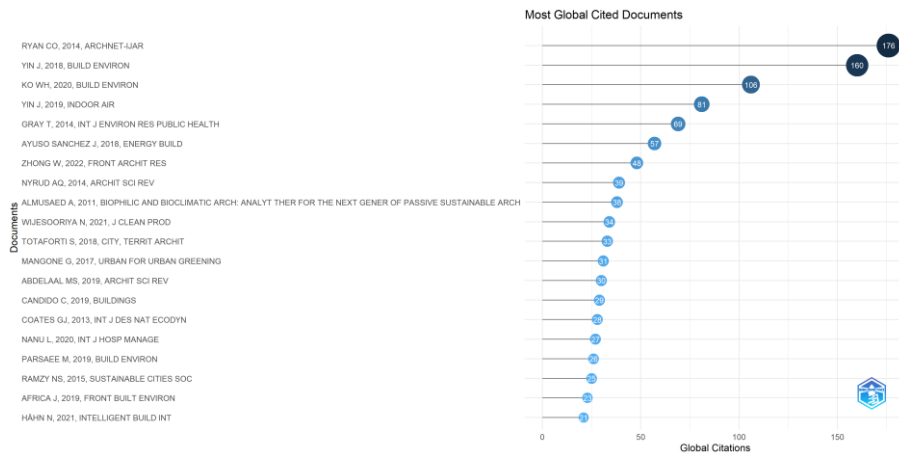


Figure 19. Most Global Cited Documents

The analysis results reveal in Figure 20 that the most frequently used keyword is 'biophilic design.' Following this term, keywords such as biophilia, sustainability, well-being, biophilic architecture, sustainable architecture, nature, and virtual reality are identified. The presence of workplace biophilic design in these keywords indicates a frequent focus on the impact of biophilic design on workspaces.

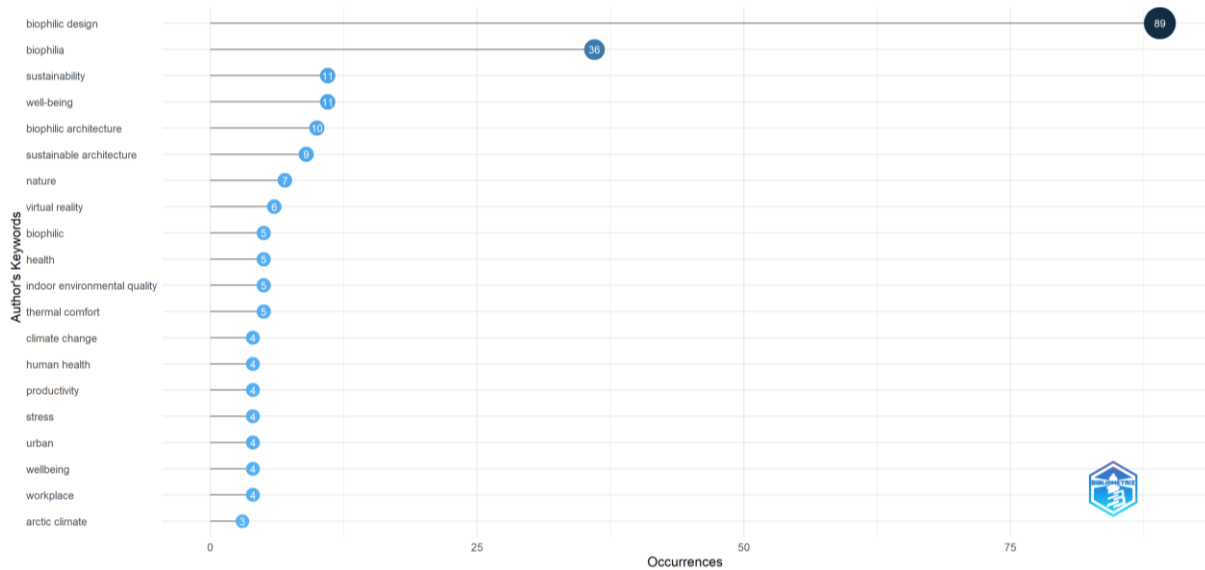
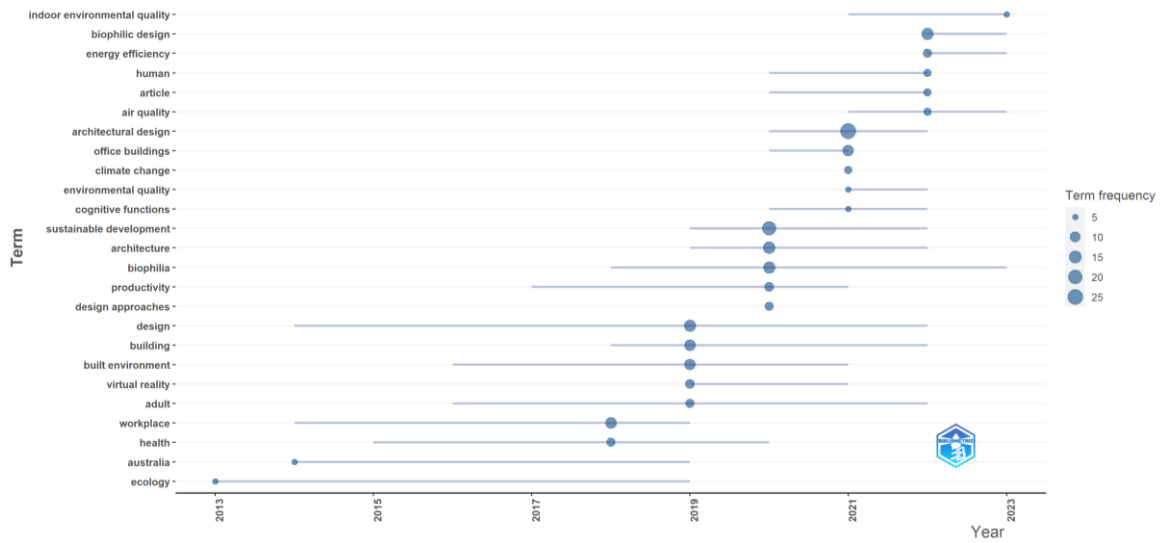


Figure 20. Most frequent words

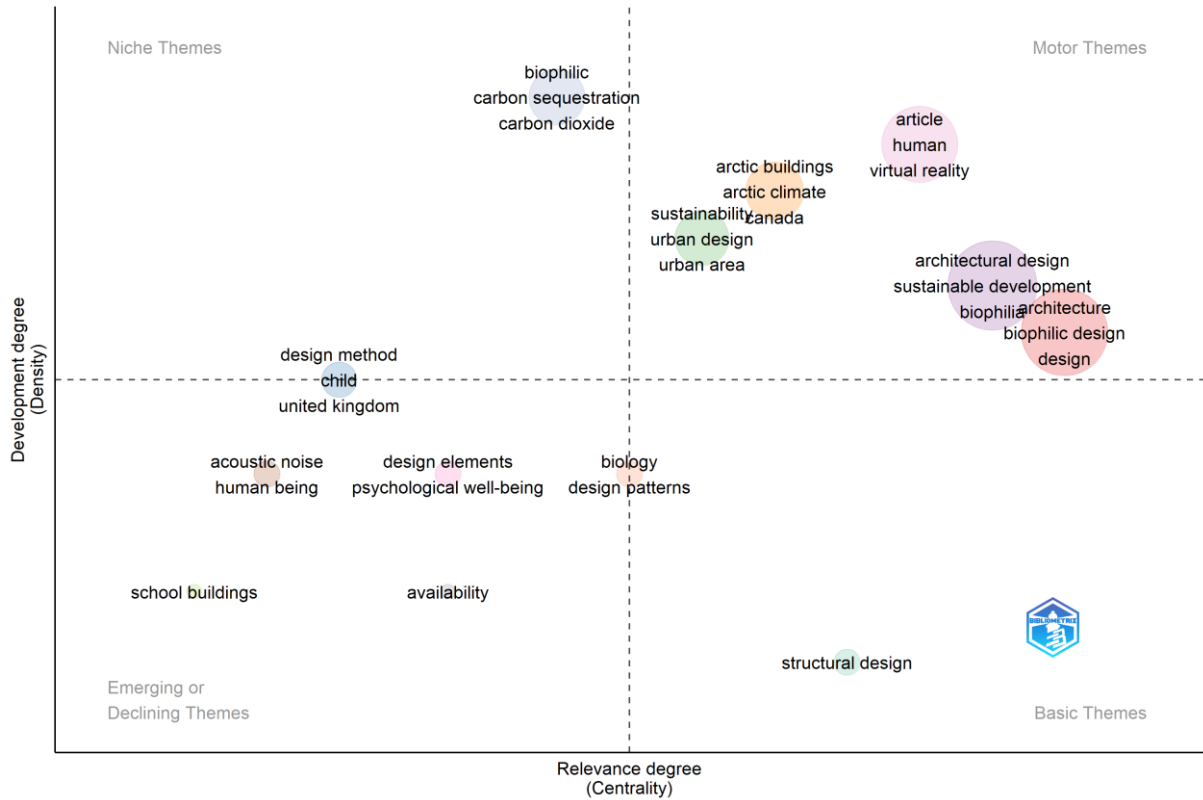
In addition, an analysis of the trending topic based on the keywords in the dataset of the authors was conducted. Figure 21 illustrates the trending topics within the studies. For this analysis, the time range was set from 2006 to 2023, with a minimum word frequency of 5 and an annual word count of 5. 'Architectural design (N=26), sustainable development (N=19), architecture (N=14), design (N=13), biophilia, and biophilic design (N=13)' emerge as trending topics. This analysis provides insights into the trending keywords in the literature on 'biophilic building design' from 2006 to 2023.



**Figure 21.** Trending topics from 2006 to 2023

In the thematic mapping analysis, the size of the clusters determines the formation of word clusters. The X-axis shows the importance of the study theme, the centrality of network clusters, or the degree of interaction with other graphic clusters. The Y-axis represents the importance within a cluster network and the density of theme size [30; 31; 32]. In the graphical representation of emerging themes in the study, different patterns have become apparent. (a) Located in the first quadrant (top right), reflecting motor themes characterized by high density and centrality, indicating strong developments and critical roles in structuring the research topic. (b) In the second quadrant (top left), low centrality and high density, indicating niche themes with limited relevance. (c) In the third quadrant (bottom left), low density and centrality, representing developing or declining themes with marginal importance and minimal development. Finally, (d) in the fourth quadrant (bottom right), high centrality and low density, emphasizing the importance of interdisciplinary research topics, representing core themes. The visual representation also includes the temporal dimension; here, the trajectory defines the segmentation of time into sections. In particular, an upward trend over time is indicated towards the top right, while a downward path towards the bottom left signifies a decreasing trend [33].

In this context, as seen in Figure 22, the thematic map has been created based on Keywords Plus and mapped into four themes: niche (top left), motor (top right), emerging or declining (bottom left), and core themes (bottom right). In motor themes, well-developed research themes are shown in the top right, and among them, in Cluster 1: architectural design, sustainable development, biophilia; Cluster 2: architecture, biophilic design, design; Cluster 3: article, human virtual reality are observed.



**Figure 22.** Visualization of thematic mapping.

#### 4. CONTENT ANALYSIS

In this section, content analysis has been conducted for the top 20 most cited articles. Information related to content analysis is presented in Table 2.

**Table 2.** Content Analysis of the Most Cited Articles

No	Article Content	Reference
1	Developing a Conceptual Framework for Biophilic Design	[4]
2	Measuring the Physiological and Cognitive Benefits of Indoor Biophilic Features	[15]
3	The Effects of Observed Landscape through Windows on Thermal Comfort, Emotional State, and Cognitive Performance	[6]
4	Measuring the Effects of Cognitive Function and Stress Response of Biophilic Approach in a Virtually Designed Office Environment	[34]
5	Evaluation of the Impact of Biophilic Design-Equipped Construction Site Offices on Users	[35]
6	Measuring the Impact of Biophilic Design Approach on Workplace Performance	[36]
7	Critical Examination of the Effects of Biophilic Design Approach in Architecture on Health, Well-being, and Sustainability	[37]
8	Evaluation of the Use of Natural Building Materials in Patient Rooms by Hospital Staff	[8]
9	Benefits of Biophilic Approach and Its Application in Architecture	[38]

10	A Critical Review on the Relationship between Biophilic Design and Sustainable Design	[39]
11	Application of biophilic approach to hospital design	[40]
12	Investigating user preferences and perceptions of indoor and outdoor workspaces integrated with nature	[41]
13	A systematic literature review in the context of investigating the characteristics of the design of biophilic healthcare spaces	[42]
14	Investigation of spatial comfort and user satisfaction in open office buildings designed with biophilic design approach	[43]
15	Investigating the use of biophilic approach in the design of sustainable urban area	[44]
16	Determining the elements used in hotel lobby design and how they affect guests' booking intentions	[45]
17	Investigation of biophilic design approach as a solution for the harsh climatic conditions of northern regions in terms of daylight availability	[20]
18	Investigation of biophilic criteria in historical buildings	[46]
19	A review on the benefits of biophilic design on the built environment and human health	[14]
20	Measuring the performance, health and well-being of employees in the office organised with biophilic design	[47]

This research, which examines different aspects of biophilic design and is based on a review of the 20 most cited papers, emphasises the need for an interdisciplinary approach and the use of a variety of methodologies. Topics such as conceptual framework development, measurement of indoor biophilic properties, evaluation of the cognitive effects of designs in virtual environments show that biophilic design has a wide application potential. Critically examining the effects of biophilic design, especially in areas such as workplace performance, health, well-being and sustainability, is an important step towards evaluating the potential of this design approach on general architectural applications. A systematic literature review on the evaluation of the use of natural building materials in patient rooms by hospital staff and the characteristics of biophilic design in the design of healthcare spaces contributes to our understanding of the effects of design decisions on user experience. At the same time, studies such as examining the relationship of biophilic design with sustainable design and investigating user preferences and perceptions of indoor and outdoor workspaces provide a comprehensive view to understand how design affects not only aesthetics but also important factors such as usability and satisfaction. As a result, by addressing the potential impacts of biophilic design in a variety of contexts, this information can contribute to more informed decisions in future design projects and a wider acceptance of this design approach.

## 5. CONCLUSIONS

Within the scope of this research, a bibliometric analysis was conducted using the keywords ("biophilic design" OR "biophilic architecture" AND "buildings") between 2006-2023 and 168 studies were identified as a result of this analysis. Among these 168 studies, the most influential studies, keywords, authors, countries and institutions were identified. Then, the 20 most cited publications were analysed by content analysis and the topics, methodologies and objectives addressed in the biophilic approach were identified. The findings in this context emphasise the importance of incorporating natural systems and processes into the design of the built environment to improve human health.

The data obtained within the scope of the study can guide researchers, authors and publishers in determining the direction of future research. As a result, this study can create knowledge maps by contributing to academic development and sustainable development. The analysis carried out within the scope of the study provides an important contribution to the biophilic building design literature, providing an opportunity to better understand the theoretical and conceptual framework of existing studies. The data and maps obtained contribute to the enrichment of academic discussions by forming the basis for future research. As a result, the data obtained within the scope of the study can support more informed decisions in future design projects and a more widespread acceptance of this design approach by considering the multifaceted effects of biophilic design.

## REFERENCES

1. Mohammed, I., Onur, Z., & Çağnan, Ç. (2023). An Exploration of Biophilic Design Features within Preschool Interiors. *Sustainability*, 15(15), 11913.
2. Nieuwenhuis, M., Knight, C., Postmes, T., & Haslam, S. A. (2014). The relative benefits of green versus lean office space: Three field experiments. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 20(3), 199.
3. Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., ... & Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 11(3), 231-252.
4. Ryan, C. O., Browning, W. D., Clancy, J. O., Andrews, S. L., & Kallianpurkar, N. B. (2014). Biophilic design patterns: emerging nature-based parameters for health and well-being in the built environment. *ArchNet-IJAR: International Journal of Architectural Research*, 8(2), 62.
5. Browning, B., Garvin, C., Ryan, C., Kallianpurkar, N., Labruto, L., Watson, S. & Knop, T. (2012). The Economics of Biophilia. In *The Economics of Biophilia*, 2nd ed.; Terrapin Bright Green LLC: New York, NY, USA, p. 40.
6. Ko, W. H., Schiavon, S., Zhang, H., Graham, L. T., Brager, G., Mauss, I., & Lin, Y. W. (2020). The impact of a view from a window on thermal comfort, emotion, and cognitive performance. *Building and Environment*, 175, 106779.
7. Browning, W. D., Ryan, C. O., & Clancy, J. O. (2014). 14 patterns of biophilic design Improving Health & Well-Being in the Built Environment. New York: Terrapin Bright Green, LLC.
8. Nyrud, A. Q., Bringslimark, T., & Bysheim, K. (2014). Benefits from wood interior in a hospital room: A preference study. *Architectural Science Review*, 57(2), 125-131.
9. Kaplan, S. (1995). The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. *Journal of environmental psychology*, 15(3), 169-182.
10. Wilson, E. O. (2001). Nature matters I. *American Journal of Preventive Medicine*, 20(3), 241-242.
11. Nielsen, T. S., & Hansen, K. B. (2007). Do green areas affect health? Results from a Danish survey on the use of green areas and health indicators. *Health & place*, 13(4), 839-850.
12. Zhong, W., Schröder, T., & Bekkering, J. (2022). Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. *Frontiers of Architectural Research*, 11(1), 114-141.
13. Wilson 1984
14. Africa, J., Heerwagen, J., Loftness, V., & Ryan Balagtas, C. (2019). Biophilic design and climate change: performance parameters for health. *Frontiers in Built Environment*, 5, 28.
15. Yin, J., Zhu, S., MacNaughton, P., Allen, J. G., & Spengler, J. D. (2018). Physiological and cognitive performance of exposure to biophilic indoor environment. *Building and Environment*, 132, 255-262.
16. Gullone, E. (2000). The biophilia hypothesis and life in the 21st century: increasing mental health or increasing pathology?. *Journal of happiness studies*, 1(3), 293-322.
17. Ulrich, R.S.(1993) 'Biophilia, biophobia, and natural landscapes', in S.R. Kellert and E.O. Wilson (eds.), *The Biophilia Hypothesis* (Island Press, Washington DC), pp. 73-137.
18. Kellert, S. R., & Wilson, E. O. (Eds.). (1993). *The biophilia hypothesis*. Island press.
19. Kellert, S. R. (2008). Dimensions, elements, and attributes of biophilic design. In *Biophilic design: the theory, science, and practice of bringing buildings to life*, 3-19, John Wiley & Sons.
20. Parsaee, M., Demers, C. M., Hébert, M., Lalonde, J. F., & Potvin, A. (2019). A photobiological approach to biophilic design in extreme climates. *Building and Environment*, 154, 211-226.
21. Gong, Y., Zoltán, E. S., & János, G. (2023). Healthy Dwelling: The Perspective of Biophilic Design in the Design of the Living Space. *Buildings*, 13(8), 2020.
22. Rousseau, D. M. (Ed.). (2012). *The Oxford handbook of evidence-based management*. Oxford University Press.
23. Garfield, E. (1979). Is citation analysis a legitimate evaluation tool?. *Scientometrics*, 1, 359-375.
24. Goyal, S., Chauhan, S., & Mishra, P. (2021). Circular economy research: A bibliometric analysis (2000-2019) and future research insights. *Journal of cleaner production*, 287, 125011.
25. Wang, H., Sun, F., Su, J., Bold, S., & Koonthar, M. A. (2023). Mapping research trends and identifying missing research gaps in green environment and public health: a bibliometric analysis for 2003-2021. *Environment, Development and Sustainability*, 1-30.
26. Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975.
27. Mora Forero, J. A., Nieto Mejía, A., & León-Gómez, A. (2023). A Bibliometric Analysis and Systematic Review of Dark Tourism: Trends, Impact, and Prospects. *Administrative Sciences*, 13(11), 238. <https://doi.org/10.3390/admsci13110238>
28. León-Gómez, A., Mora Forero, J. A., & Santos-Jaén, J. M. (2023). A Bibliometric Analysis of Sustainability Education in Tourism Universities. *SAGE Open*, 13(3), 21582440231193215.

29. Virú-Vásquez, P., Pardavé, R. H., Coral, M. F. C., Bravo-Toledo, L., & Curaqueo, G. (2022). Biochar and Compost in the Soil: A Bibliometric Analysis of Scientific Research. *Environmental Research, Engineering and Management*, 78(3), 73-95.
30. Cahlik, T. (2000). Comparison of the maps of science. *Scientometrics*, 49(3), 373-387.
31. Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. *Journal of informetrics*, 5(1), 146-166.
32. Cobo, M. J., Martínez, M. Á., Gutiérrez-Salcedo, M., Fujita, H., & Herrera-Viedma, E. (2015). 25 years at knowledge-based systems: a bibliometric analysis. *Knowledge-based systems*, 80, 3-13.
33. Alkhamash, R. (2023). Bibliometric, network, and thematic mapping analyses of metaphor and discourse in COVID-19 publications from 2020 to 2022. *Frontiers in Psychology*, 13, 1062943.
34. Yin, J., Arfaei, N., MacNaughton, P., Catalano, P. J., Allen, J. G., & Spengler, J. D. (2019). Effects of biophilic interventions in office on stress reaction and cognitive function: A randomized crossover study in virtual reality. *Indoor air*, 29(6), 1028-1039.
35. Gray, T., & Birrell, C. (2014). Are biophilic-designed site office buildings linked to health benefits and high performing occupants?. *International journal of environmental research and public health*, 11(12), 12204-12222.
36. Sanchez, J. A., Ikaga, T., & Sanchez, S. V. (2018). Quantitative improvement in workplace performance through biophilic design: A pilot experiment case study. *Energy and Buildings*, 177, 316-328.
37. Zhong, W., Schröder, T., & Bekkering, J. (2022). Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. *Frontiers of Architectural Research*, 11(1), 114-141.
38. Almusaed, A. (2010). *Biophilic and bioclimatic architecture: analytical therapy for the next generation of passive sustainable architecture*. Springer Science & Business Media.
39. Wijesooriya, N., & Brambilla, A. (2021). Bridging biophilic design and environmentally sustainable design: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 283, 124591.
40. Totaforti, S. (2018). Applying the benefits of biophilic theory to hospital design. *City, Territory and Architecture*, 5, 1-9.
41. Mangone, G., Capaldi, C. A., van Allen, Z. M., & Luscuere, P. G. (2017). Bringing nature to work: Preferences and perceptions of constructed indoor and natural outdoor workspaces. *Urban forestry & urban greening*, 23, 1-12.
42. Abdelaal, M. S., & Soebarto, V. (2019). Biophilia and Salutogenesis as restorative design approaches in healthcare architecture. *Architectural science review*, 62(3), 195-205.
43. Candido, C., Chakraborty, P., & Tjondronegoro, D. (2019). The rise of office design in high-performance, open-plan environments. *Buildings*, 9(4), 100.
44. Coates, G. J. (2013). The sustainable urban district of Vauban in Freiburg, Germany. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 8(4), 265-286.
45. Nanu, L., Ali, F., Berezina, K., & Cobanoglu, C. (2020). The effect of hotel lobby design on booking intentions: An intergenerational examination. *International Journal of Hospitality Management*, 89, 102530.
46. Ramzy, N. S. (2015). Biophilic qualities of historical architecture: In quest of the timeless terminologies of 'life' in architectural expression. *Sustainable Cities and Society*, 15, 42-56.
47. Hähn, N., Essah, E., & Blanus, T. (2021). Biophilic design and office planting: a case study of effects on perceived health, well-being and performance metrics in the workplace. *Intelligent Buildings International*, 13(4), 241-260.

**Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**  
**Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

**YAZIM KURALLARI**

Dergimizde yayınlanmak üzere gönderilen makaleler, dergi makale yazım formatına göre hazırlanmalıdır. Yazın kurallarına ait genel bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

**Genel**

Hakem değerlendirmesi sonrası yayına kabul edilen çalışmalar, yazarlar tarafından baskı formatına uygun şekilde tekrar düzenlendikten sonra sisteme yüklenmelidir. Editörlerimizin formatla ilgili uygulama işlemleri dışında herhangi bir dizgi işlemi yapılmayacaktır. Çalışmalar Office 2013 veya daha üst versiyon bir kelime işlem uygulaması ile yazılmalıdır.

**Sayfa Yapı ve Düzeni**

A4 boyutunda hazırlanacak çalışmalarda, tüm kenarlardan 2.5 cm boşluk bırakılmalıdır. Üstbilgi, tek ve çift sayfalarda farklı olarak işaretlenmelidir. Üstbilgi, 8 punto büyüklüğünde ve Times New Roman fontu ile yazılmalıdır. Sayfa, tek sütun olarak düzenlenmelidir.

**Makale Ana Başlığı**

Türkçe: Makale başlığı Times New Roman fontuyla 12 punto, sadece baş harfleri büyük olacak şekilde, her iki yana ortalı ve koyu font ile yazılmalı, ayrıca Türkçe başlıktan önce ve sonra 1 satır boşluk bırakılmalıdır. İngilizce: Sadece baş harfleri büyük, ortalı ve koyu olarak Times New Roman fontu ile 10 punto olarak yazılmalıdır. İngilizce başlıktan sonra 1 satır boşluk bırakılmalıdır.

**Yazar Adları**

Yazar adları Times New Roman fontu ile ortalı, koyu ve 10 punto olarak yazılmalıdır. Yazar adları ile adres arasında boşluk olmamalıdır. Yazar adlarına ait adres referansları üslü ifade 5 font büyüklüğünde belirtilmelidir.

**Adresler**

Adresler Times New Roman fontu ile ortalı ve 9 punto olarak yazılmalı. Sadece sorumlu yazarın e-posta adresi, adres satırlarının alt kısmına yine aynı font ve punto ile yazılmalıdır. Adresin hemen alt satırında boşluk bırakmadan 9 punto ile e-posta adresi yazılmalıdır.

**Özet**

Türkçe: Özet, koyu Times New Roman fontunda 9 punto ile yazılmalı, baş harfi büyük ve ilk satırın başına yazılmalıdır. Özet tek paragraf ve en az 50 olmak üzere 150 kelimeyi geçmeyecek şekilde yazılmalıdır. İngilizce: Abstract, Türkçe özetle olduğu gibi koyu Times New Roman fontu ile 9 punto büyüklüğünde, baş harfi büyük, tek paragraf en az 50 olmak üzere 150 kelimeyi geçmeyecek şekilde yazılmalıdır.

**Anahtar Kelimeler**

Türkçe: Özet metnin altına 1 satır boşluk bırakıldıktan sonra, harfleri büyük ve koyu Times New Roman formatında 9 punto ile yazılacak anahtar kelimeler, en az 3 en fazla 6 adet olmalıdır. Anahtar kelimelerden sonra 2 satır boşluk olmalıdır. İngilizce: Abstract metnin altına 1 satır boşluk bırakıldıktan sonra, harfleri büyük ve koyu Times New Roman formatında 9 punto ile yazılacak anahtar kelimeler, en az 3 en fazla 6 adet olmalıdır. Anahtar kelimelerden sonra 2 satır boşluk olmalıdır.

## **Makale Başlıkları**

Başlıklar numaralandırılmalı, bütün başlıklar Times New Roman fontunda 10 punto büyüklüğünde olmakla birlikte;

- Birinci derece başlıklarda tüm kelimelerin tüm harfleri büyük koyu,
- İkinci derece alt başlıklarda tüm kelimelerin ilk harfi büyük,
- Üçüncü derece başlıklarda sadece ilk kelimenin baş harfi büyük olacak şekilde yazılmalıdır.

Başlıklardan önce ve sonra bir satır boşluk bırakılmalı. Başlıklar sola dayalı olmalıdır. Makalelerin başlıkları sırayla şu içerikleri ifade edebilecek şekilde olmalıdır;

- Giriş
- Materyal ve Metod
- Deneysel Kısım
- Gereç ve Yöntemler
- Tartışma
- Sonuç

## **Metin Hakkında**

Metin, Keywords'den sonra 1 satır boşluk (10 punto) bırakılarak tek satır aralıklı 10 punto ile yazılmalıdır. Paragraf girintisi 0,7 cm olmalı ve paragraflardan önce ve sonra 6nk boşluk bırakılmalıdır. Metin iki yana yaslı şekilde yazılmalıdır.

## **Tablo, Şekil ve Denklemler**

Tablo ve şekiller, kullanıldıkları sıraya göre numaralandırılmalıdır. Tabloların başlıkları üst-orta hizada, şekillerin başlıkları ise alt-orta hizada olmalıdır. Her tablo ve şekil mutlaka sırası bozulmadan Tablo 1., Şekil 1. gibi yazılmalı, koyu Times New Roman 10 punto olmalıdır. Tablo ve şekillere ait açıklamalarda sadece ilk harf büyük, Times New Roman 10 punto olmalı ve koyu font ile yazılmamalıdır. Formüller ve denklemler Math Type ya da Word Denklem Düzenleyici kullanılarak yazılmalıdır.

## **Kaynak Belirtme**

Makalemizde kaynak gösterimi köşeli parantez içerisinde numara vererek yapılmalı “[1]”, kaynaklar orijinal dilinde verilmelidir. Kaynakların yazıldığı kısım Times New Roman 9 punto olmalıdır. Örnek kaynakça içeriği aşağıdaki gibidir:

1. Chen Y. R., Chao K., Kim M. S. Machine vision technology for agricultural applications, Computers and Electronics in Agriculture, 36 173-191, 2002.
2. Kumar A. Computer vision based fabric defect detection: a survey, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 55 348-363, 2008.
3. Yetis H., Baygin M., Karaköse M. A New Micro Genetic Algorithm Based Image Stitching Approach for Camera Arrays at Production Lines, The 5th International Conference on Manufacturing Engineering and Process (ICMEP 2016), 25-27 May, 2016.



# Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture

## Instruction for Authors

The articles submitted for publication in our journal should be prepared in accordance with the journal article writing format. General information about the rules of the literature is summarized below.

### General

Studies accepted for publication after peer-review should be uploaded to the system after they are rearranged by the authors in accordance with the print format. No typesetting will be done except for the format-related application procedures of our editors. Studies must be written with an Office 2013 or higher word processing application.

### Page Structure and Layout

For works to be prepared in A4 size, 2.5 cm margins should be left on all sides. The header should be marked differently on odd and even pages. The header should be written in 8-point Times New Roman font. The page should be arranged as a single column.

### Article Main Title

**Turkish:** The title of the article should be written in Times New Roman font, 12 points, only the initials should be capitalized, centered on both sides and in dark font, and 1 line space should be left before and after the Turkish title.

**English:** Only the initials should be capitalized, centered and bold, with Times New Roman font and 10 points. One line space should be left after the English title.

### Author Names

Author names should be written in Times New Roman font, centered, bold and 10 point. There should be no spaces between the names of the authors and the address. Address references of author names should be specified in exponential 5 font size.

### Addresses

Addresses should be written in Times New Roman font, centered and 9 points. Only the e-mail address of the responsible author should be written at the bottom of the address lines in the same font and size. The e-mail address should be written in 9 points, without leaving any spaces, just below the address.

### Summary

**Turkish:** The abstract should be written in bold Times New Roman font, 9 points, the initials should be capitalized and written at the beginning of the first line. The abstract should be written in a single paragraph and not exceeding 150 words, at least 50.

**English:** The abstract should be written in bold Times New Roman font, as in the Turkish abstract, in 9 font size, with capital letters, and not exceeding 150 words, with a single paragraph of at least 50.

### Keywords

**Turkish:** Key words to be written in 9 font size, capitalized and bold Times New Roman format, after leaving 1 line of space under the abstract text, must be at least 3 and at most 6 words. There should be 2 lines of space after the keywords.

**English:** Key words to be written in 9 font size, capitalized and bold Times New Roman, after leaving 1 line space under the abstract text, must be at least 3 and at most 6 words. There should be 2 lines of space after the keywords.

### **Article Titles**

Headings should be numbered, all headings should be in Times New Roman font and 10 points;

- In first-degree titles, all letters of all words are capitalized,
- In secondary sub-headings, the first letter of all words is capitalized,
- In third degree titles, only the first letter of the first word should be capitalized.

One line space should be left before and after the headings. Headings should be left aligned.

The titles of the articles should be able to express the following contents in order;

- Introduction
- Material and Method
- Experimental Part
- Materials and Methods Discussion
- Conclusion

### **About the Text**

The text should be written in 10 font size with single line spacing, leaving 1 line space (10 points) after the Keywords. Paragraph indent should be 0.7 cm and 6 pt spacing should be left before and after paragraphs. The text should be written in justified form.

### **Table, Figure and Equations**

Tables and figures should be numbered in the order in which they are used. The titles of the tables should be in the upper-middle position, and the titles of the figures must be in the lower-middle position. Each table and figure must be written as Table 1, Figure 1 without breaking the order, and must be in 10 pt Times New Roman bold. In the explanations of tables and figures, only the first letter should be capitalized, Times New Roman 10 points and should not be written in bold font. Formulas and equations should be written using Math Type or Word Equation Editor.

### **References**

References in our article should be cited in square brackets by numbering “[1]”, references should be given in their original language. References should be written in Times New Roman 9 points. Sample bibliography content is as follows:

1. Chen Y. R., Chao K., Kim M. S. Machine vision technology for agricultural applications, *Computers and Electronics in Agriculture*, 36 173-191, 2002.
2. Kumar A. Computer vision based fabric defect detection: a survey, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55 348-363, 2008.
3. Yetis H., Baygin M., Karaköse M. A New Micro Genetic Algorithm Based Image Stitching Approach for Camera Arrays at Production Lines, *The 5th International Conference on Manufacturing Engineering and Process (ICMEP 2016)*, 25-27 May, 2016.

**Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**  
**Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

**Değerlendirme Süreci**

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi'ne gönderilen yazılar, öncelikle Yayın Kurulunca dergi ilkelerine uygunluk açısından ön değerlendirmeye tabi tutulur. Dergi kapsamına girmeyen veya bilimsel bir yazı formatına içerik ve şekil açısından uymayan yazılar, hakemlik süreci başlatılmadan geri çevrilir veya bazı değişiklikler istenebilir. Yayın için teslim edilen makalelerin değerlendirilmesinde akademik tarafsızlık ve bilimsel kalite en önemli şartlardır.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi'ne yayın kurallarına uygun olarak gönderilen makaleler, daha sonraki aşamada intihal denetiminden geçirilir. Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi'nde intihal denetimi, Ithenticate paket programı aracılığıyla gerçekleştirilmekte ve intihal denetiminde, benzerlik oranının %20'nin üstüne çıkmaması gerekmektedir. İlgili çalışmada herhangi bir intihale rastlanmadığı takdirde değerlendirilmek üzere o alandaki çalışmalarıyla tanınmış iki hakeme gönderilir. MSUFBD Dergisi, sürecin her aşamasında, hakem ve yazarların isimlerinin saklı tutulduğu çift-kör hakemlik sistemini kullanmaktadır. Hakem raporlar beş yıl süreyle saklanır. Makaleyi değerlendiren iki hakemden birisinin olumlu diğerinin olumsuz rapor vermesi durumunda makale üçüncü hakeme gönderilmekte veya Yayın Kurulu, hakem raporlarını inceleyerek nihai kararı vermektedir.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi'ne gönderilen çalışmalarda yazarlar, hakem ve Yayın Kurulunun eleştiri ve önerilerini dikkate alırlar. Katılmadıkları hususlar varsa gerekçeleriyle birlikte itiraz etme hakkına sahiptirler. Dergideki hakemlik sürecinde, akademik unvana sahip kişilerin yayınları için ancak eşit ya da üst derecede akademik unvana sahip kişiler hakem olabilir.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi'ne hakem değerlendirme süreci, istenilmeyen nedenlerden dolayı bazen uzun sürebilmektedir. Normal koşullarda editör tarafından ön değerlendirme aşaması 20 gün; hakem değerlendirme süreci de 60 gün olarak planlanmaktadır. Ancak hakemlerden zamanında dönüş olmaması nedeniyle yeniden hakem atama vb. nedenlerden dolayı hakem değerlendirme süreci uzayabilmektedir.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi'ne makale gönderen yazar/yazarlar, Derginin söz konusu hakem değerlendirme koşullarını ve sürecini kabul etmiş sayılırlar.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi'ne yayımlanmasına karar verilen (kabul edilen) çalışmaların telif hakkı, Muş Alparslan Üniversitesi'ne devredilmiş sayılır.

**Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**  
**Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

**Peer Review Process**

Articles submitted to the Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture are first evaluated by the Editorial Board in terms of compliance with the journal's principles. Articles that are not covered by the journal or that do not comply with a scientific writing format in terms of content and form are rejected or some changes may be requested without starting the refereeing process. Academic impartiality and scientific quality are the most important conditions in the evaluation of the articles submitted for publication.

Articles submitted to the Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture in accordance with the publication rules are then checked for plagiarism. In Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, plagiarism control is carried out through the Ithenticate package program and the similarity rate should not exceed 20% in plagiarism control. If no plagiarism is found in the relevant work, it is sent to two referees who are known for their work in that field for evaluation. Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture uses the double-blind peer-review system where the names of the referees and authors are kept at every stage of the process. Referee reports are kept for five years. If one of the two referees evaluating the article gives a positive report and the other a negative report, the article is sent to the third referee or the Editorial Board makes the final decision by examining the referee reports.

In the articles submitted to the Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, the authors take into account the criticisms and suggestions of the referee and the Editorial Board. If there are issues that they do not agree with, they have the right to object together with their reasons. During the refereeing process in the journal, only people with equal or higher academic titles can be referees for the publications of people with academic titles.

The referee evaluation process for Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture can sometimes take a long time due to undesirable reasons. Under normal circumstances, the preliminary evaluation phase by the editor is 20 days; The referee evaluation process is also planned as 60 days. However, due to the lack of timely return from the referees, re-appointment etc. For reasons, the referee evaluation process may take longer.

The author(s) who submit an article to Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture are deemed to have accepted the referee evaluation conditions and process of the Journal.

The copyright of the articles decided (accepted) to be published in the Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Muş Alparslan University is deemed to have been transferred to Muş Alparslan University.

# **Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**

## **Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

### **Yayın İlkeleri**

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, ulusal ve uluslararası düzeyde yapılan, mühendislik ve mimarlık bilimleri alanında özgün ve nitelikli çalışmaları, bilimsel bir yaklaşımla ele alır. Alandaki çalışmaların niteliğinin yükselmesine, yöntem ve uygulamaların gelişmesine, kuram ve uygulama alanlarındaki çalışmalar arasında iletişimin güçlenmesine ve alanındaki literatürün zenginleşmesine katkı sağlamak amacıyla yayımlanmaktadır.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisine gönderilecek çalışma, alanında bir boşluğu dolduracak özgün bir yazı olmalı ya da daha önce yayımlanmış çalışmaları değerlendiren, konuya dair yeni ve dikkate değer görüşler ortaya koyan inceleme olmalıdır.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisine gönderilecek yazılar makale, çeviri ve kitap tanıtımı türünde olmalıdır. Dergimize gönderilen çeviri yazılar için, makale sahibinin yayın izni ve orijinal metin gereklidir.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisinin yayın dili Türkçe ve İngilizcedir.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi gönderilen çalışmalar daha önce hiçbir yerde yayımlanmamış ve halihazırda yayımlanmak üzere sunulmamış olmalıdır. Bilimsel bir toplantıda sunulmuş bildiriler, durum açıkça belirtilmek şartıyla dergiye gönderilebilir.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Kış/Aralık ve Yaz/Haziran sayısı olmak üzere yılda iki defa düzenli olarak yayımlanmaktadır.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisine gönderilen yazılara telif hakkı ödenmez. Yayımlanan makalelerin telif hakkı Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisine aittir.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisinde yayımlanan yazıların bilimsel ve hukuki sorumluluğu yazarlarına aittir.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisinde yer alan yazılardaki görüş ve düşünceler yazarlarının kişisel görüşleri olup derginin ve bağlı olduğu kurumların görüşlerini yansıtmaz.

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisine gönderilen çalışmalar, TÜBİTAK ULAKBİM'in DergiPark Sistemi (UDS) üzerinden elektronik ortamda gönderilmektedir. Bu sisteme <http://dergipark.gov.tr/maummfd> de yer alan "Keşfet" kısmı altındaki "Makale Gönder" linkinden ulaşılabilir. Söz konusu sisteme kayıt yapıp makale gönderildikten sonra hakem süreciyle ilgili gelişmeler ve hakem değerlendirme raporları yazarlar tarafından kolaylıkla takip edilebilir.

**Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**  
**Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

**Editorial Principles**

Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture deals with original and qualified studies in the field of engineering and architectural sciences, made at national and international level, with a scientific approach. It is published in order to contribute to the improvement of the quality of studies in the field, the development of methods and applications, the strengthening of communication between studies in the field of theory and practice, and the enrichment of the literature in the field.

The study to be submitted to Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture should be an original article that will fill a gap in its field, or it should be a review that evaluates previously published studies and presents new and remarkable views on the subject.

Articles to be sent to Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture should be in the form of articles, translations and book presentations. For the translated articles sent to our journal, the publication permission of the article owner and the original text are required.

The publication languages of Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture are Turkish and English.

Studies submitted to Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture must not have been published anywhere before and should not have been submitted for publication. Papers presented at a scientific meeting can be sent to the journal, provided that the situation is clearly stated.

Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture is published regularly twice a year, in Winter/December and Summer/June.

Copyright is not paid for the articles sent to Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture. The copyright of the published articles belongs to Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture.

Scientific and legal responsibility of the articles published in Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture belongs to the authors.

The views and opinions in the articles in Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture are the personal views of the authors and do not reflect the views of the journal and its affiliated institutions.

Studies submitted to Muş Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture are sent electronically via TÜBİTAK ULAKBİM's DergiPark System (UDS). This system can be accessed from the "Send Article" link under the "Discover" section at <http://dergipark.gov.tr/maummfd>. After registering to the system in question and submitting the article, the developments related to the referee process and the referee evaluation reports can be easily followed by the authors.

**Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**  
**Mus Alparslan University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture**

**Yazışma Adresi / Correspondence Address**

Muş Alparslan Üniversitesi  
Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergi Editörlüğü  
Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
49250 – MUŞ/TÜRKİYE  
Tel: 0 436 249 49 49 / 1968 - Fax: 0 436 249 13 18  
Web: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/maummfd>  
e-mail: [muhmimdergi@alparslan.edu.tr](mailto:muhmimdergi@alparslan.edu.tr)