

# Kırıkkale University International Journal of Engineering Research and Development

International Peer Reviewed Journal  
e-ISSN: 1308-5514



Volume: 13  
Issue: 3

**DECEMBER 2021**  
Special Issue

Kırıkkale Üniversitesi  
Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi  
Uluslararası Hakemli Dergi

Cilt: 13 Sayı:3 Aralık 2021 Özel Sayı



**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY**

**Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi**  
**International Journal of Engineering Research and Development**

**Sahibi / Owner**

Ersan ASLAN  
Rektör / Rector

**Baş Editör/Editor in Chief**

Ali Payıdar AKGÜNGÖR

**Yardımcı Editörler / Associate Editors**

Murat LÜY  
Özer SEVİM  
Hüseyin AYDİLEK

**Özel Sayı Editörleri / Special Issue Editors**

Süleyman ERSÖZ

**26. Ulusal Ergonomi Kongresi / 26th National Ergonomics Congress**

Recep ÇALIN

**3. Uluslararası Savunma Sanayi Sempozyumu / The 3rd International Defense Industry Symposium**

**Alan Editörleri / Area Editors**

Atilla ERGÜZEN- **Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering**  
Enes AYAN- **Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering**  
Murat İNAL- **Biyomühendislik / Bioengineering**  
Burak BİRGÖREN- **Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering**  
Hacı Mehmet ALAĞAŞ- **Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering**  
Tolga EREN- **Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering**  
Mustafa Yasin ERTEN- **Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering**  
Ersin KORKMAZ- **İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering**  
Saruhan KARTAL- **İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering**  
Hakan ARSLAN- **Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering**  
Tolga DEMİRCAN- **Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering**  
Tuna AYDIN – **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği / Metallurgical and Materials Engineering**  
Aziz Barış BAŞYİĞİT – **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği / Metallurgical and Materials Engineering**

**Dergi Sekreteryası / Journal Secretariat**

Buğra HATİPOĞLU

**Yazışma Adresi /Address**

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi 71450-

Kampüs- Kırıkkale- TÜRKİYE

<http://ijerad.kku.edu.tr>

[ijerad@kku.edu.tr](mailto:ijerad@kku.edu.tr)

**Tel :** +90-318-357-42 42 (1001)

**Fax:** +90-318-357-24 59

**ISSN- Online:** 1308-5514

**Aralık 2021 / December 2021**

**Özel Sayı / Special Issue**

**Kapak Tasarım / Graphics Design:** Hüseyin AYDİLEK

**Danışma Kurulu / Editorial Board**  
(*Alfabetik Sıralama / Alphabetical*)

- A. Serdar YILMAZ Sütçü İmam Üniversitesi  
Ahmet Kürşat TÜRKER Kırıkkale Üniversitesi  
Ayten ÇELEBİ KESKİN Kırıkkale Üniversitesi  
Ertuğrul ÇAM Samsun Üniversitesi  
Hasan Şakir BİLGE Gazi Üniversitesi  
Hüseyin CANBOLAT Yıldırım Beyazıt Üniversitesi  
İbrahim UZUN Kırıkkale Üniversitesi  
İlhami DEMİR Kırıkkale Üniversitesi  
İlhan KOCAARSLAN İstanbul Üniversitesi  
İsa NAVRUZ Ankara Üniversitesi  
M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU Gazi Üniversitesi  
M. Tunay GENÇOĞLU Fırat Üniversitesi  
Mehmet Ali AKÇAYOL Gazi Üniversitesi  
Metin DAĞDEVİREN Gazi Üniversitesi  
Mustafa YİĞİTOĞLU Kırıkkale Üniversitesi  
Mustafa TÜRK Kırıkkale Üniversitesi  
Nihat İNANÇ Kırıkkale Üniversitesi  
Osman YILDIZ Kırıkkale Üniversitesi  
Ömer Muhammet SOYSAL Louisiana State University  
Recep ÇALIN Kırıkkale Üniversitesi  
Süleyman ERSÖZ Kırıkkale Üniversitesi  
Tamer EREN Kırıkkale Üniversitesi



**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY**

**Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi**  
**International Journal of Engineering Research and Development**

### **Amaç**

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi mühendisliğin tüm disiplinlerinde çalışılmış olan orijinal ve yüksek kalitedeki araştırma sonuçlarını basan ve teşvik eden bir araştırma dergisidir. Akademisyenler, bilim adamları, üniversitelerdeki araştırmacılar ve ilgi duyan herkesin çalışmaları basım için düşünülebilir.

### **Aim**

International Journal of Engineering Research and Development is a peer-reviewed international research journal aiming at promoting and publishing original high-quality research in all disciplines of engineering sciences and technology. Manuscripts are invited from academicians, scientists, researchers of universities and industry and for all interested people for publication consideration.

### **Araştırma Alanı**

Mühendislik Teorisi ve Uygulamaları

### **Research Highlights**

Engineering Theory and Applications

### **Kapsam**

Derginin ilgi alanlarında, sınırlama olmaksızın, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Makina Mühendisliği, İnşaat Mühendisliği, Bilgisayar Mühendisliği ve Endüstri Mühendisliği bulunmaktadır.

### **Scope**

Areas includes (but not limited to) all issues in Electrical&Electronics Engineering, Mechanical Engineering, Civil Engineering, Computer Engineering and Industrial Engineering.

### **Yazarlara Bilgi**

Ayrıntılı bilgi için lütfen <http://ijerad.kku.edu.tr/> adresini ziyaret ediniz.

### **Authors Information**

For detailed information please visit <http://ijerad.kku.edu.tr>

## **Yayın Etiği**

Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi (UMAGD) temel olarak, ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors) tavsiyeleri ile COPE (Committee on Publication Ethics)'un Editör ve Yazarlar için Uluslararası Standartları'na uymayı taahhüt etmektedir.

UMAGD, bilime hizmet etmek amacıyla tüm yayın süreçlerini tarafsız, saygın, hesap verebilir bir şekilde yürütmeyi taahhüt eder. Bu doğrultuda, yazarların din, dil, ırk gibi farklılıklarını gözetmeksizin çalışmalarını etik kurallara uygun ve adil olarak değerlendirmektedir.

UMAGD, yayınlanmak üzere başvuru alan çalışmayı en az iki hakem tarafından kör hakem değerlendirilmesi usullerine uygun olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Yazar ve hakemlerin kimlik bilgileri ve çalışmanın gizli kalacağı UMAGD'nin garantisidir.

UMAGD, çalışmayı değerlendirmek üzere alanında uzman kişileri hakem olarak seçmektedir.

UMAGD tarafından yayınlanan makaleler, bilime katkı sağlayan, özgün ve başka bir yerde ve/veya başka bir dilde yayınlanmamış makalelerdir.

UMAGD, tüm paydaşları arasında çıkar çatışmasının oluşmasına müsaade etmez. Çalışmanın muhattapı olan kişi ve kurumların zarar görmesini engelleyecek şekilde değerlendirme süreçlerini yönetir.

UMAGD, etik kuralların ihlal edildiğini belirlediği tüm makaleler için düzeltme yayını yayınlamayı ve paydaşlarını bilgilendirmeyi taahhüt eder.

UMAGD'de yayınlanan tüm eserlerin telif hakkı UMAGD'ye aittir. Bu eserlerin izinsiz olarak veya referans verilmeden kullanılmasına izin vermez.

Yazar, çalışmanın orijinal, başka yerde ve başka dilde yayınlanmamış / yayınlanmak üzere değerlendirilmeye alınmamış, etik kaygılar içermediği konusunda taahhütte bulunmalıdır. Çalışmalarda kullanılan görsel, şekil, tablolar ve alıntılar için gerekli izinler alınmalı, referans ve teşekkürle belirtilerek kullanılmalıdır. Telif ile ilgili kanunlara riayet edilmelidir.

Çalışmada yer alan tüm yazarların çalışmaya bilimsel olarak katkısı olmalı, yazar sıralaması en çok katkı sağlayan yazardan daha az katkı sağlayan yazara doğru olmalıdır. Yazar sıralamasında tüm yazarların rızası alınmalıdır. Çalışmaya yazar olacak kadar yeterli katkısı olmayan kişiler ile kurumlar teşekkür kısmında belirtilmelidir.

Çalışmayı değerlendirmek üzere gönderilen daveti kabul eden hakemler, değerlendirme sürecinde etik kurallara uymayı, çalışmanın içeriğinin gizli tutulmasını ve tarafsız bir yargıya varacağını kabul etmiş sayılır.

Çalışma değerlendirme sürecinde hakemler, çalışma hakkında bilgi danışmak / tartışmak üzere 3. kişiler ile yayın hakkında görüşmemeyi, çalışmanın içeriğini korumayı taahhüt ederler.

## **Araştırma Etiği**

Araştırma konusunun seçiminde insalığın ve bilimin yararı gözetilmelidir. Yapılan çalışmalar şeffaf ve hesap verilebilir olmalıdır.

Araştırma konusuna uygun olarak etik kurul izinleri ve gerekli yasal/özel izin belgeleri alınmalıdır. İzinsiz veya etik bulunmayan araştırmalar yapılmamalıdır.

Araştırma insan ve / veya hayvan deneklerinin kullanımını gerektiriyor ise çalışmanın uluslararası deklarasyon, kılavuz vb. uygun gerçekleştirildiği beyan edilmelidir.

Araştırmacılar araştırmaya katılan kişileri, kurum ve kuruluşları araştırmanın konusu, yöntemi, beklenen çıktı ve olası kullanımları ile içerdiği riskler hakkında şeffaf bir şekilde bilgilendirmelidirler.

Araştırmaya katılan kişiler tamamen gönüllü olarak katılmalı, zorlama altında olmamalıdır. Katılımcılardan, araştırmaya başlamadan önce rıza belgesi alınmalı, istenildiği takdirde ibraz edilebilmelidir. 18 yaşından küçükler ile vesayet altında olan kişilerin yasal vasisinden rıza onayı alınmalıdır.

Araştırmacılar, katılımcıları riske sokmayacak şekilde çalışmalarını gerçekleştirmelidirler.

Araştırmacılar, katılımcıların kişisel bilgileri ile sağladıkları diğer bilgilerin gizliliğini sağlamalıdır. Katılımcıların, maddi veya manevi zarar görmelerine neden olacak paylaşımlara izin vermemelidirler.

Araştırmacılar, çalışma sonuçlarının herhangi bir ülke veya bölgede yaşayan kişileri, farklı dil, din, ırk gibi özelliklere sahip olan insanların maddi veya manevi olarak zarar görmelerine izin vermemelidirler.

### **Etik Kurulu ve Yasal / Özel İzin Belgesi Alınması**

Aşağıdaki hususlarda araştırma yapmak için “Etik Kurul İzni” gerekmektedir.

- Anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen her türlü araştırmalar
- İnsan ve hayvanların (materyal/veriler dahil) deneysel ya da diğer bilimsel amaçlarla kullanılması,
- İnsanlar üzerinde yapılan klinik araştırmalar,
- Hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalar,
- Kişisel verilerin korunması kanunu gereğince retrospektif çalışmalar.

Ayrıca;

- Olgu sunumlarında “Aydınlatılmış onam formu”nun alındığının belirtilmesi,
- Başkalarına ait ölçek, anket, fotoğrafların kullanımı için sahiplerinden izin alınması ve belirtilmesi,
- Kullanılan fikir ve sanat eserleri için telif hakları düzenlemelerine uyulduğunun belirtilmesi gereklidir.
- Araştırmacılar, etik kurulu onayı gerektiren tüm çalışmalar için bölgelerinde bulunan etik kurullarına başvurarak gerekli izinleri almalıdırlar.
- Etik kurul iznine ait kurul adı, değerlendirme tarihi ve etik izin belgesi sayı numarası belirtilecek şekilde çalışmanın yöntem kısmında yer almalıdır.
- Çalışmanın değerlendirilmek üzere sisteme yüklenmesi esnasında, etik kurul izni belgesinin kopyasında sisteme yüklenmesi gerekmektedir.
- Çalışmanın bir kuruma ait verileri içermesi durumunda ilgili kurumdan verilerin kullanılmasına rıza gösterdiğine dair özel izin alınmalıdır. İzin veren kurum bilgisi ile hangi verilerin kullanılmasına izin verdiği teşekkür bölümünde belirtilmelidir.
- Çalışmanın özel mülkiyete ait bir alanda geçmesi durumunda ilgili kişi ve kurumdan elde edilen verilerin kullanılmasına rıza gösterdiğine dair özel izin alınmalıdır. İzin veren kişi ve kurum bilgisi ile hangi verilerin kullanılmasına izin verdiği teşekkür bölümünde belirtilmelidir.
- Çalışmanın girişi veya tahribatı özel izin gerektiren bir alanda gerçekleşmesi durumunda ilgili kurumlardan araştırmanın gerçekleştirilmesi için özel izin alınmalıdır. İzin veren kuruluşların bilgisi ile izin türü hakkında teşekkür bölümünde bilgi verilmelidir.
- Çalışmanın değerlendirilmek üzere sisteme yüklenmesi esnasında, alınan özel izin belgelerinin bir kopyasında sisteme yüklenmesi gerekmektedir.
- Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi herhangi bir itilaf çıkması durumunda hukuki haklarını saklı tutmaktadır.

## **Publication Ethics**

International Journal of Engineering Research and Development (IJERAD) basically undertakes to comply with the recommendations of ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors) and the International Standards for Editors and Authors of COPE (Committee on Publication Ethics).

IJERAD undertakes to carry out all publishing processes in an impartial, respectable and accountable manner in order to serve science. In this respect, it evaluates the works of the authors as ethical and fair, regardless of differences such as religion, language, race.

IJERAD ensures that the study applied for publication is evaluated by at least two referees in accordance with the blind referee evaluation procedures. The identity information of the authors and referees and that the work will be kept confidential are under the guarantee of IJERAD.

IJERAD selects experts in their fields as referees to evaluate the study.

Articles published by IJERAD are original articles that contribute to science and have not been published elsewhere and / or in any other language.

IJERAD does not allow any conflict of interest between all of its stakeholders. Manages the evaluation processes in a way that prevents the persons and institutions that are the addressee of the study from being harmed.

IJERAD undertakes to publish correction publication and inform its stakeholders for all articles that it determines that the ethical rules are violated.

The copyright of all works published in IJERAD belongs to IJERAD. It does not allow these works to be used without permission or reference.

The author must make a commitment that the study is original, not published elsewhere or in another language / evaluated for publication, and does not contain ethical concerns. Necessary permissions should be obtained for the visuals, figures, tables and quotations used in the studies, and they should be used with reference and acknowledgment. Copyright laws must be respected.

All authors involved in the study should have a scientific contribution to the study, and the author order should be correct from the most contributing author to the less contributing author. Consent of all authors must be obtained in the author ranking. Individuals and institutions that do not contribute enough to be authors to the study should be stated in the acknowledgment section.

The referees who accept the invitation sent to evaluate the study are deemed to have accepted to comply with ethical rules during the evaluation process, to keep the content of the study confidential and to reach an impartial judgment.

In the study evaluation process, the referees undertake not to meet with third parties about the publication to consult / discuss information about the study, and to protect the content of the study.

## **Research Ethics**

The benefits of humanity and science should be considered in the selection of the research topic. Studies should be transparent and accountable.

Ethical board permissions and necessary legal / special permissions should be obtained in accordance with the research subject. Unauthorized or unethical research should not be done.

If the research requires the use of human and / or animal subjects, international declaration, guideline etc. it must be declared appropriate.

Researchers should transparently inform research participants, institutions and organizations about the subject, method, expected output, possible uses and risks involved.

People participating in the research should participate completely voluntarily and not be under coercion. Before starting the research, a consent document must be obtained from the participants and can be presented if requested. The consent of those under the age of 18 and under guardianship must be obtained from their legal guardian.

Researchers should conduct their work in a way that does not put participants at risk.

Researchers should ensure the confidentiality of participants' personal information and other information they provide. Participants should not allow sharing that may cause material or moral damage.

Researchers should not allow people living in any country or region, or people with different language, religion, race, etc., to suffer material or moral harm.

### **Ethics Committee and Obtaining Legal / Special Permit Certificate**

Ethics Committee Permission is required to conduct research on the following issues.

- All kinds of research conducted with qualitative or quantitative approaches that require data collection from participants using questionnaires, interviews, focus group work, observation, experimentation, interview techniques,
- Using humans and animals (including material / data) for experimental or other scientific purposes,
- Clinical researches on humans,
- Researches on animals,
- Retrospective studies in accordance with the law on protection of personal data.

Also;

- Stating that "Informed Consent Form" was obtained in case presentations,
- Obtaining permission from the owners for the use of scales, questionnaires and photographs belonging to others,
- It should be stated that the copyright regulations are complied with for the intellectual and artistic works used.
- Researchers must obtain the necessary permissions by applying to the ethics committees in their region for all studies that require ethics committee approval.
- The name of the ethics committee for permission, the date of evaluation and the number of the ethical permission document should be included in the method part of the study.
- While the study is uploaded to the system for evaluation, a copy of the ethics committee permission document must be uploaded to the system.
- In case the study includes data belonging to an institution, special permission must be obtained from the relevant institution that the data is used. The information of the permitting institution and what data it allows to use should be specified in the acknowledgment section.
- If the study takes place in a privately owned area, special permission must be obtained indicating that he consents to the use of the data obtained from the relevant person and institution.
- The information about the person and institution that gave permission and which data they allow to be used should be specified in the acknowledgment section.
- In case the entry or destruction of the study takes place in an area that requires special permission, special permission must be obtained from the relevant institutions to carry out the research. Information about the permitting organizations and the type of permit should be given in the acknowledgment section.
- While the study is uploaded to the system for evaluation, a copy of the special permits received must be uploaded to the system.
- International Journal of Engineering Research and Development reserves its legal rights in case of any dispute.



## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

- Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Karbon Nanotüp Takviyeli Mg Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi**
- 1 *An Investigation of Wear Behaviours of Mg Matrix Composites Reinforced Carbon Nanotube Produced by Powder Metallurgy Method* s1-s8  
*Musa Yıldırım, Dursun Özyürek*  
DOI: 10.29137/umagd.1038336
- Tikso Şekillendirme ile Üretilen A356 Alaşımında Sıkıştırma Süresinin Mikro Yapı ve Sertlik Üzerine Etkisi**
- 2 *Effect of Compression Time on Microstructure and Hardness of A356 Fabricated via Thixoforming* s9-s14  
*Bekir Yavuzer, Dursun Özyürek*  
DOI: 10.29137/umagd.1038092
- Effects of Heat Treatment on the Hardness Properties and Microstructure of Al-6505 Alloy**
- 3 s15-s18  
*Che Nor Aiza Jaafar, Ismail Zainol, Recep Calin*  
DOI: 10.29137/umagd.1040029
- Otonom Tabanlı İşaret ve Şerit Tanımak Amacı ile Bir Öğrenme Sisteminin Geliştirilmesi**
- 4 *An Autonomous-Based Learning System Development for Sign and Lane Recognition* s19-s25  
*Ömer Küçük, Emrehan Yavşan, Barış Gökçe*  
DOI: 10.29137/umagd.1037237
- Sıvı Hidrojen ve Sıvı Oksijen ile Çalışan bir Roket Motorunun Rejeneratif Soğutma Analizi**
- 5 *Regenerative Cooling Analysis of Rocket Engine Operated by Liquid Hydrogen and Liquid Oxygen* s26-s31  
*Safa Korkmaz, Hayri Yaman*  
DOI: 10.29137/umagd.1039069
- WE43 Magnezyum Alaşımlarının RF Sıçratma Yöntemi ile Tantal-Oksit Kaplanması ve Karakterizasyonu**
- 6 *Tantalum-Oxide Coating and Characterization of WE43 Magnesium Alloys by RF Sputtering Method* s32-s39  
*Canser Gül, Sevda Albayrak, Hanifi Çinici*  
DOI: 10.29137/umagd.1035754
- The Effect of Mould Filling on the Mechanical Properties of Wall Tile Production**
- 7 *Müge Tarhan, Baran Tarhan, Tuna Aydın* s40-s48  
DOI: 10.29137/umagd.1036506
- Autotransporter Proteins**
- 8 *Şeyma Göksel, Mustafa Akçelik* s49-s57  
DOI: 10.29137/umagd.1037361
- Askeri Ergonomi Çalışmaları için Literatür Taraması**
- 9 *Literature Review for Military Ergonomics Studiesby Hot Pressing Method* s58-s74  
*Kemal Gürol Kurtay, Yunus Gökmen, Hakan Ayhan Dağıştanlı, Recep Semih Topaklı*  
DOI: 10.29137/umagd.1011499

- 10 Otomotiv Sektöründe Çalışan Kadın İşçilerin Ergonomik Risk Değerlendirmesi**  
*Ergonomic Risk Assessment of Female Workers Working in the Automotive Industry* s75-s82  
Seher Arslankaya, Miraç Tuba Çelik  
DOI: 10.29137/umagd.1013990
- 11 Arge Departmanında Süreç İyileştirme Yöntemlerinin Uygulanması**  
*Application of Process Improvement Methods in R&D Department* s83-s97  
Bedriye Denizler, Süleyman Ersöz, Kezban Albayrak  
DOI: 10.29137/umagd.1014396
- 12 Hasta Ergonomisi Açısından Servis Güzergâhlarının İyileştirilmesi**  
*Improving Service Bus Routes for Patient Ergonomics* s98-s108  
Beyza Günesen, Muzaffer Kapanoğlu  
DOI: 10.29137/umagd.1014407
- 13 Tarımsal Faaliyetlerde Sırtta Taşınarak Kullanılan Bazı Makinaların Ergonomik Açından Değerlendirilmesi**  
*Ergonomic Evaluation of Some Carry-on Back Machines Used in Agricultural Activities* s109-s116  
İkbal Aygün, Erkan Urkan, Fazilet N. Alayunt, Bülent Çakmak  
DOI: 10.29137/umagd.1014574
- 14 Atış Performanslarının Ergonomik Test Analizleri ile Tahmini**  
*Prediction Of Shooting Performances with Ergonomic Test Analysis* s117-s129  
Kemal Gürol Kurtay, Yunus Gökmen, Aygün Altundaş, Hakan Ayhan Dağistanlı  
DOI: 10.29137/umagd.1014585
- 15 Sürdürülebilir Üretim Çizelgeleme Problemlerinde İnsan Faktörü**  
*The Human Factor in Sustainable Production Scheduling Problems* s130-s136  
Muhammed Zahid Koç, Çağrı Sel, Fatih Keskinliç  
DOI: 10.29137/umagd.1014876
- 16 Pandemi Döneminde Çalışma Ortamlarında Oluşan Risk Faktörlerinin Değerlendirilmesi**  
*Evaluation Of Risk Factors In Working Environments During The Pandemic Period* s137-s149  
İlayda Ardiç, İrem Düzdar  
DOI: 10.29137/umagd.1015333
- 17 Temizlik Çalışanlarının Çalışma Duruşlarının REBA Yöntemi İle Ergonomik Risk Analizi**  
*Ergonomic Risk Analysis of Cleaning Staff's Working Postures by REBA Method* s150-s160  
Seher Arslankaya, Miraç Tuba Çelik  
DOI: 10.29137/umagd.1033415
- 18 Kalite Fonksiyon Göçerimi ile COVID- 19 Pandemisinde Uzaktan Eğitimin İyileştirilmesi**  
*Improving Distance Education in the COVID-19 Pandemic with Quality Function Deployment* s161-s171  
G. Sena Daş, A. Kürşad Türker, Adnan Aktepe, Nilay Ay, İrem Alici  
DOI: 10.29137/umagd.1024435
- 19 Hastane Kan Toplama Merkezinde Yalın Üretim Uygulaması**  
*A Lean Manufacturing Application in a Hospital Blood Collection Center* s172-s187  
Volkan Sönmez, Ceren Yağmur  
DOI: 10.29137/umagd.1014702

- Tasarım Öğrencilerinin COVID-19 Kapanmasındaki Yoğun Uzaktan Eğitim Döneminde Ortaya Çıkan Ergonomik Sorunlarının İncelenmesi**  
20 *A Study on Ergonomic Problems of Design Students During Intense Distant Education Period in COVID-19 Lockdown* s188-s201  
*Mehmet Ali Altın, Onur Ülker*  
DOI: 10.29137/umagd.1026731
- Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibi İçin Değiştir – Gözle, Artan İletkenlik ve Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmalarının Karşılaştırılması**  
21 *Comparison of The Perturb & Observe, Increased Conductivity and Particle Swarm Optimization Algorithms for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems* s202-s214  
*Murat Lüly, Fuat Türk, Nuri Alper Metin*  
DOI: 10.29137/umagd.997229
- Akıllı Şebekelerde Müdahaleci Olmayan Cihaz Yükü İzleme Yöntemi Ve Talep Tarafı Yönetimi İçin Veri Toplama Cihazı Oluşturma**  
22 *Creating Data Collection Device For Non-Intrusive Device Load Monitoring Method And Demand Side Management In Smart Grids* s215-s229  
*Ramazan Güngüneş, Ertuğrul Çam, Volkan Ateş*  
DOI: 10.29137/umagd.1035908
- Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Genetik Algoritma Kullanılarak Birleşik Isı ve Güç Ekonomik Dağıtım Probleminin Çözümü**  
23 *Solution of the Economic Dispatch of Combined Heat and Power Problem Using Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm* s230-s241  
*Tarık Koç, İbrahim Eke, Süleyman Sungur Tezcan*  
DOI: 10.29137/umagd.986082
- Kablosuz Sensör Ağlarında Parçacık Sürü Optimizasyonu, Sürekli Zaman Karınca Koloni Algoritması, Girdap Arama Algoritması, Yabani Ot Optimizasyon Algoritmaları ile Konum Belirleme ve K- Bağlılık İnceleme**  
24 *Localization with Particle Swarm Optimization, Continuous Time Ant Colony Algorithm, Vortex Search Algorithm, Invasive Weed Optimization Algorithms with Wireless Sensor Networks and K-Connectivity Analysis* s242-s255  
*Feyza Nur Çakıcı, Tolga Eren*  
DOI: 10.29137/umagd.1033219
- Gömülü Sistemler ve Mühendislikte Uygulama Alanları**  
25 *Embedded Systems and Application Areas in Engineering* S256-s265  
*Fuat Türk, Murat Lüly*  
DOI: 10.29137/umagd.1053602



## Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilen Karbon Nanotüp Takviyeli Mg Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi

### An Investigation of Wear Behaviours of Mg Matrix Composites Reinforced Carbon Nanotube Produced by Powder Metallurgy Method

Musa Yıldırım<sup>1</sup> , Dursun Özyürek<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Karabük University Technology Faculty, Department of Industrial Design Eng. 78050 KARABÜK TURKEY

<sup>2</sup> Karabük University Technology Faculty, Department of Manufacturing Eng. 78050 KARABÜK TURKEY

**Başvuru/Received:** 18/12/2021

**Kabul / Accepted:** 28/12/2021

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 31/12/2021

**Son Versiyon/Final Version:** 31/12/2021

#### Öz

Toz metalurjisi yöntemi ile AZ91-Karbon nanotüp takviyeli metal matrisli kompozitlerin üretimi ve aşınma davranışlarının incelendiği bu çalışmada, AZ91 Magnezyum alaşımına çok duvarlı karbon nanotüp ilave edilerek kompozit tozlar üretilmiştir. Üretilen kompozit tozlar soğuk preslenerek ön şekillendirilmiş arkasından 550 °C’de 1 saat sinterlenmiştir. Sinterlenen kompozitlerin karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Pin-on disk tipi aşınma cihazında 30 N yük altında üç farklı kayma mesafesinde aşınma testleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda karbon nanotüp ilave edilen kompozitlerde sertlik değerinin arttığı en yüksek sertlik %0,25 karbon nanotüp ilave edilen kompozitte elde edilmiştir. Ancak yapılan aşınma testleri sonucunda takviye elemanının yapı içerisinde homojen dağılması ve oluşan aglomerasyonlar sonucu ilave edilen takviye miktarıyla aşınmanın arttığı, ağırlık kaybındaki en yüksek değer %2 karbon nanotüp takviyeli kompozitte elde edilmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“Mg matrisli kompozit, karbon nanotüp, toz metalurjisi, aşınma davranışları”

#### Abstract

In this study, production, and wear behaviours of AZ91-carbon nanotube reinforced metal matrix composites by powder metallurgy method were investigated. Composite powders were produced by multi wall carbon nanotube powders (four different amount) were added to AZ91 Mg. Produced composite powders were pre-formed by cold press then they were sintered at 550 °C for 1 hour. Sintered samples were characterized. Wear tests were done by pin-on disc type wear device under 30 N load with three sliding distances. At the end of the study, it was seen that hardness values were increased with increasing carbon nanotube amount. The maximum hardness value was measured in the 0.25% carbon nanotube added sample. However, according to wear test, the weight loss values were increased with increasing reinforcement amount due to non-homogenous distribution and occurred agglomeration of reinforcement. The maximum weight loss values were measured in added 2 % sample.

#### Key Words

“Mg matrix composites, carbon nanotube, powder metallurgy, wear behaviours”

## 1. Giriş

Metal matrisli kompozitler sahip olduğu yüksek elastikiyet modül oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda göstermiş olduğu yüksek dayanım, sertlik ve aşınma direnci gibi özelliklerinden dolayı otomotiv, havacılık ve askeri alanda kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Kumar vd., 2011; Zhou vd., 2014; Tjong, 2013). Metal matrisli kompozitlerde matris malzemesi olarak tüm metaller kullanılabilir. Ancak Al, Mg, Ti gibi yoğunluğu düşük malzemeler matris olarak tercih edilmektedir (Chawla, 2012). Mg düşük yoğunluğu, yüksek spesifik mukavemet iyi gürültü ve titreşim sönümlenme, çevre dostu ve geri dönüştürülebilirliği gibi özelliklere sahip olmasından dolayı otomotiv ve havacılık sektörü için umut vadeden bir metaldir. Ancak yüksek sıcaklıklarda kullanımı, zayıf aşınma ve korozyon direnci bu malzemelerin kullanımını sınırlamaktadır (Aydın & Durgut, 2021; Jayabharathy & Mathiazhagan, 2020). Düşük maliyet, kullanım kolaylığı, iyi mukavemet ve süneklik atmosferik korozyona karşı direnç gibi özelliklerinden dolayı AZ serisi Mg alaşımları içerisinde ön plana çıkmaktadır (Paramsothy vd., 2011). AZ91 alaşımı %9 Al ve %1 Zn içeren bir alaşım olup otomotiv sektöründe en yaygın kullanılan Mg alaşımları arasındadır (Wang vd., 2010). Zayıf mekanik özellikler ve düşük aşınma direncinden dolayı bu alaşım grubuna çeşitli takviyeler ilave edilerek Mg matrisli kompozitler üretilmektedir. Mg alaşımlarına ilave edilen en yaygın takviye elemanları SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC gibi seramik yapılarıdır. Alaşım içerisine ilave edilen bu takviyeler ile çekme dayanımı, akma dayanımı, aşınma direnci gibi mekanik özellikler geliştirilmektedir. Bu takviye elemanları dışında günümüzde karbon nanotüp, grafen gibi nano boyutlara sahip takviye elemanları da kullanılmaktadır (Dey & Pandey, 2015). Karbon nanotüpler keşfedildiği 1991 yılından beri araştırmacıların ilgisini oldukça çeken bir malzemedir. 150 GPa çekme dayanımı 1 TPa gibi yüksek elastikiyet modülüne sahip olması bu malzemelerin kompozit yapılarda takviye elemanı olarak kullanılması düşüncesiyle birçok çalışma yürütülmektedir (Li vd., 2009; Bakshi vd., 2010). Karbon nanotüp ilave edilerek üretilen kompozitlerde en yaygın görülen problem takviye elemanının yapı içerisinde homojen dağıtılamamasıdır. Nanopartiküller arasında bulunan yüksek Van der Waals etkileşimi bu malzemelerin ayrışmasını zorlaştırmaktadır. Geleneksel takviye elemanlarına göre oldukça fazla yüzey alanına sahip (yaklaşık 1000 m<sup>2</sup>/g) olması bu malzemelerin aglomere olmasını sağlamaktadır (Li vd., 2009). KNT takviyeli metal matrisli kompozit üretilmesi için toz metalürjisi, çeşitli döküm yöntemleri infiltrasyon, termal sprey gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında en yaygın olan toz metalürjisi yöntemidir. Bu yöntemde metal matris ile karbon nanotüp mekanik alaşımlama /mekanik öğütme yöntemleri ile karıştırılarak, ön şekillendirme ve sinterleme aşamalarıyla kompozitler üretilmektedir (Bakshi vd., 2010). Bu çalışmada AZ91 alaşımına farklı miktarlarda KNT ilave edilerek toz metalürjisi metoduyla kompozitler üretilerek bu kompozitlerin aşınma davranışları incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Deneyisel çalışmalarda matris malzemesi olarak Karabük Üniversitesi İmalat Mühendisliği'nde üretilen ve Tablo 1'de kimyasal bileşimi verilen gaz atomize AZ91 Magnezyum tozu (Dv 50 155 µm) alaşımı kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak yaklaşık 9,5 nm çapında 1,5 µm uzunluğunda çok duvarlı karbon nanotüp kullanılmıştır.

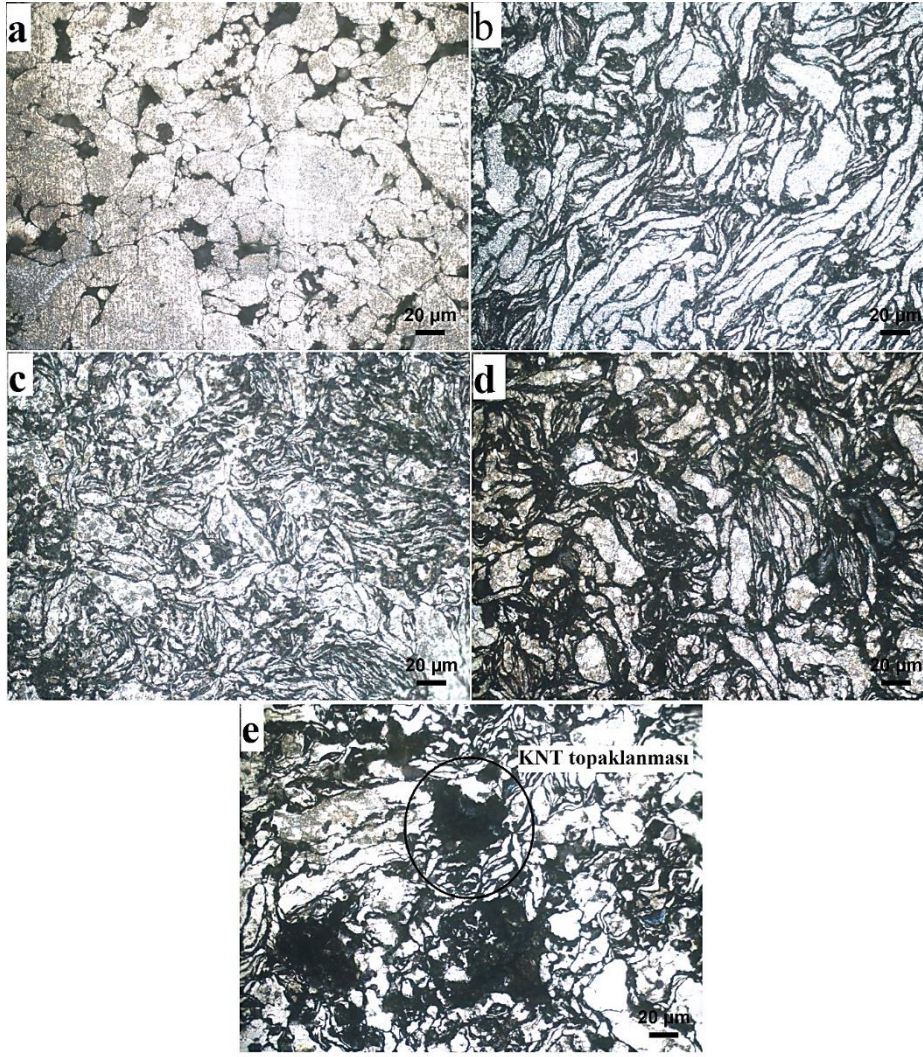
**Tablo 1.** Matris malzemesi olarak kullanılan AZ91 alaşımının kimyasal bileşimi (Akkaş, 2017)

	Al	Zn	Mn	Mg
<b>AZ91</b>	8,74	0,67	0,18	Kalan

Kompozit numunelerin üretilmesi için AZ91 alaşımına ağırlıkça %0,25, %0,5, %1, %2 olmak üzere 4 farklı oranda karbon nanotüp ilave edilerek Fritch marka Pulverisite 6 mekanik alaşımlama /mekanik öğütme cihazında 400 rpm devirde 8 mm çelik bilye ile 10:1 bilye/toz oranı kullanılarak 2 saat öğütülerek kompozit tozlar üretilmiştir. Mekanik öğütme esnasında tozların ısınmasını önlemek için, 15 dakikalık öğütme sonrası 10 dakika cihaz durdurulmuştur. Üretilen kompozit tozlar kalıp içerisine doldurularak 520 MPa basınç altında pres yardımıyla ön şekillendirilerek Ø12x7 mm boyutlarında silindirik numuneler elde edilmiştir. Ön şekillendirilen bu numuneler 550 °C'de 1 saat vakum altında sinterlenmiştir. Sinterleme işlemleri sonrası elde edilen numuneler zımparalama ve parlatma gibi metalografik işlemler sonrası pikrik asit ile dağlanarak optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ile mikro yapı incelemeleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri Shimadzu marka mikro sertlik cihazında 0,5 N yük altında ilave edilen her oran için iki farklı numunenin 5 farklı bölgesinden ölçülerek ortalamaları hesaplanmıştır. Aşınma testleri pin-on disk tipi aşınma cihazında 1 m/s kayma hızında 30 N yükte üç farklı kayma mesafesinde (500-1500 m) test edilmiştir. Aşınma testlerinde ağırlık kayıpları 1/10000 g hassasiyetine sahip terazide tartılmıştır. Aşınma testleri sonrası aşınma yüzeyleri SEM ile incelenmiştir.

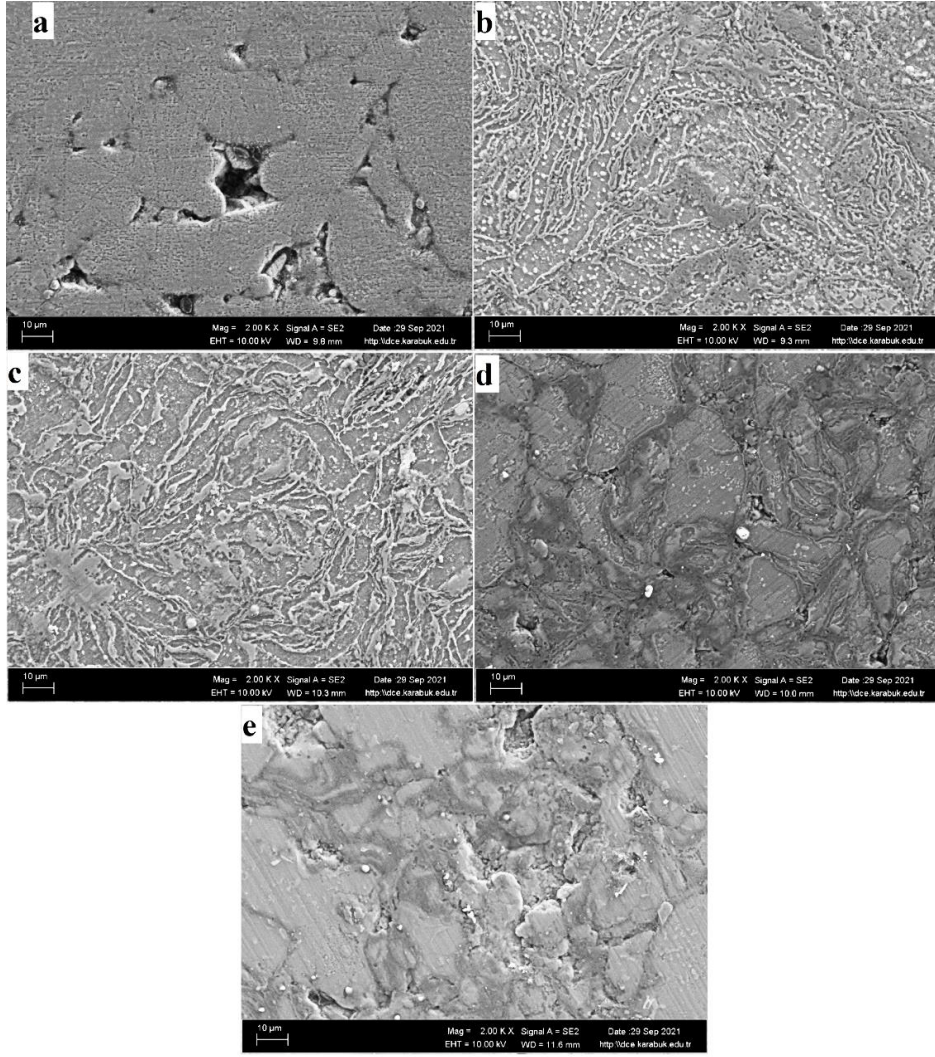
## 3. Sonuçlar ve Tartışma

Matris ve farklı oranlarda karbon nanotüp ilave edilerek üretilen kompozitlerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 1'de verilmektedir.



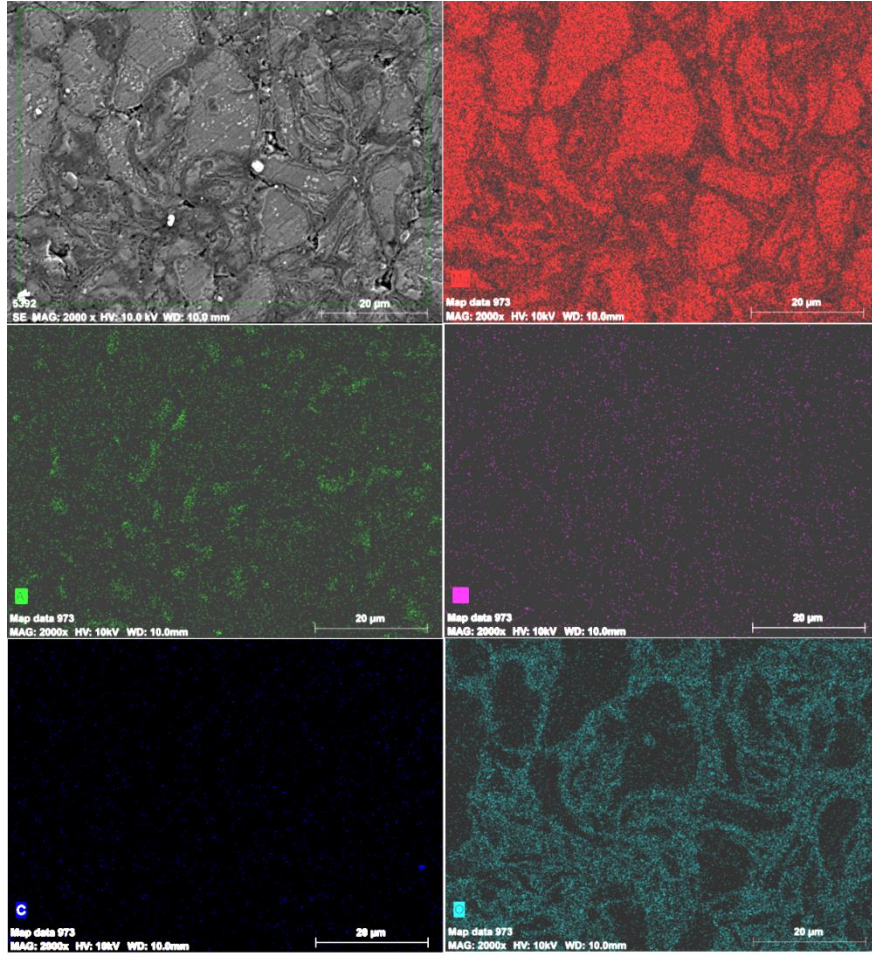
**Şekil 1.** Farklı oranlarda KNT ilave edilerek üretilen kompozitlerin mikro yapı görüntüleri; a) AZ91 alaşımı, b) % 0,25 KNT-AZ91, c) % 0,5 KNT-AZ91 d) % 1 KNT-AZ91 e) % 2 KNT-AZ91

Şekil 1’de verilen mikro yapılar incelendiğinde AZ91 alaşımına ait tane yapıları açık renkte görülürken, alaşım içerisine KNT ilave edilmesiyle beraber tane sınırları arasında oluşan fazlar ve KNT aglomerasyonu koyu renkte görülmektedir. Alaşım içerisine %0,25 ve %0,5 KNT ilave edilerek üretilen kompozitlerde takviye elemanın yapı içerisinde homojene yakın bir dağılım sergilediği görülmektedir (b ve c). Şekil 1’de d ve e’de verilen mikro yapı resimlerine bakıldığında ise alaşıma ilave edilen KNT’lerin sadece tane sınırları arasında değil tane içerisinde ve belirli bölgelerde toplandığı ve aglomere olduğu net bir şekilde görülmektedir. Matris ve farklı oranlarda karbon nanotüp ilave edilerek üretilen kompozitlerin SEM görüntüleri Şekil 2’de verilmektedir.



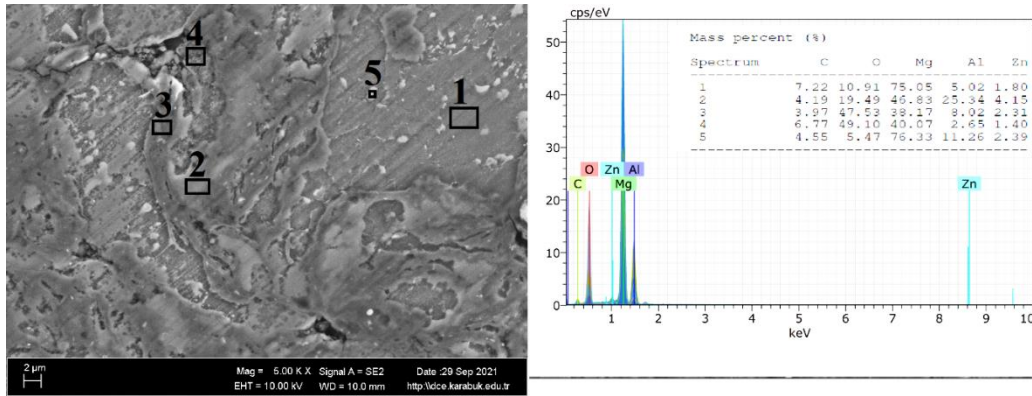
**Şekil 2.** Farklı oranlarda KNT ilave edilerek üretilen kompozitlerin SEM görüntüleri; a) AZ91 alaşımı, b) % 0,25 KNT-AZ91, c) % 0,5 KNT-AZ91 d) % 1 KNT-AZ91 e) % 2 KNT-AZ91

Şekil 2’de verilen yüksek büyütme SEM görüntüleri incelendiğinde matris yapısı olan  $\alpha$  Mg yapısının dışında özellikle KNT ilave edilerek üretilen kompozitlerde tane yüzeylerinde ve tane sınırlarında ağimsı bir yapı görülmektedir. Görülen bu yapının tespiti için alınan EDS görüntüleri Şekil 3’te verilmektedir.



Şekil 3. % 1 KNT ilave edilen kompozitin EDS mapping görüntüsü

Şekil 3’de verilen EDS mapping görüntüleri incelendiğinde % 1 KNT ilave edilen kompozit yapıda matris malzemenin Mg olduğu alaşım içerisinde bulunan Al, Zn gibi elementlerin yapıda homojene yakın bir dağılım sergilediği görülmektedir. Ancak Şekil 1’de verilen optik mikroskop görüntüsünde görülen karbon nanotüp aglomerasyonu EDS mapping görüntüsünde görülememiştir. Tane sınırları boyunca oluşan ağ yapısının oksijen zengin olduğu bu görüntüden anlaşılmaktadır. Bu durumun daha net tespitinin yapılabilmesi amacıyla alınan EDS nokta analiz sonucu Şekil 4’te verilmektedir.



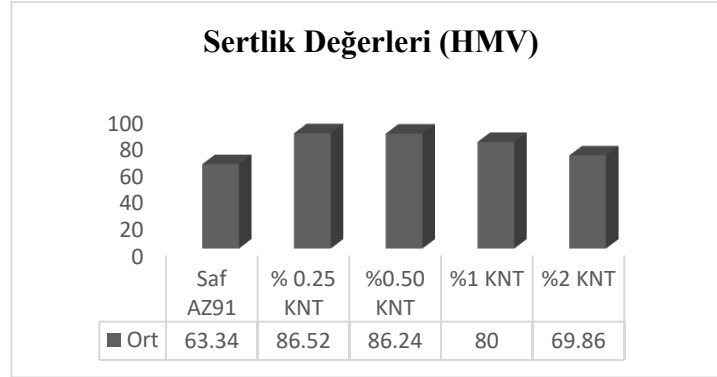
Şekil 4. %1 KNT ilave edilen kompozitin EDS nokta analiz görüntüsü

Şekil 4’te verilen EDX nokta analizinde 1 numaralı bölgenin Mg’ce zengin bölge olan  $\alpha$  Mg matris yapı olduğu 2 numaralı bölgenin Mg ve Al’ca zengin olması nedeniyle AZ91 alaşımında bulunan  $\beta$  fazı olduğu ( $Mg_{17}Al_{12}$ ) 3 ve 4 numaralı bölgenin oksijen ve Mg oranlarının yüksek olmasından dolayı sinterleme sırasında oluşan MgO fazı olabileceği düşünülmektedir. Mg’un oksijen ile afinitesinin yüksek olması ve oksidasyona çok eğimli olması yüzeyde MgO yapıların oluşmasını sağlamaktadır. Ayrıca yapılan literatür



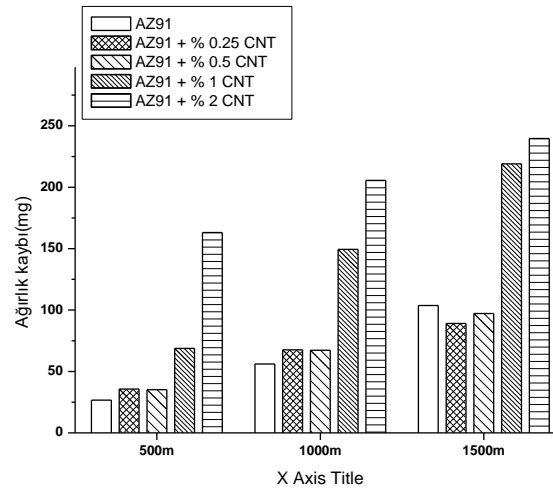
incelemelerinde AZ91 alaşımına karbon nanotüp ilave edilmesi sonucu mikro yapıda yukarıda belirtilen fazların oluştuğu birçok çalışmada rapor edilmektedir (Islak, vd., 2017; Zhao vd., 2016; Turan vd., 2020; Mindivan vd., 2014).

Matris olarak kullanılan AZ91 ve farklı oranlarda karbon nanotüp ilave edilerek üretilen kompozitlerin sertlik sonuçları Şekil 5'te grafik halinde verilmektedir.



**Şekil 5.** Matris ve farklı oranlarda KNT içeren kompozitlerin sertlik sonuçları

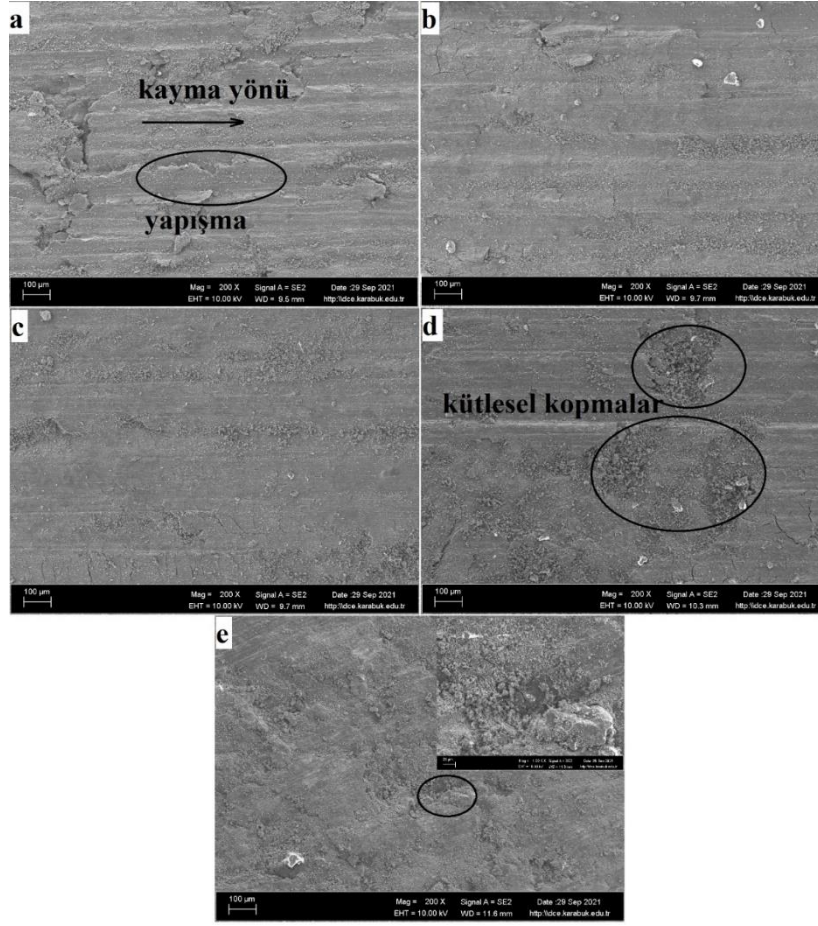
Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda KNT ilave edilen kompozitlerde sertlik artışı görülmüştür. En yüksek sertlik değeri %0,25 oranında KNT ilave edilen kompozitte elde edilirken alaşım içerisine ilave edilen takviye oranı arttıkça sertlikte düşüş meydana gelmektedir. En düşük sertlik değeri %2 KNT ilave edilen kompozitte görülmüştür. Metal matrisli parçacık takviyeli kompozitlerde mekanik özellikleri etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Matris ve takviye malzemesinin çeşidi, takviye elemanının boyutu matris ve takviye ara yüzey bağı, takviye fazının yapı içerisindeki homojen dağılımı bu faktörler kompozitin mekanik özelliklerini doğrudan etkiler. Matris ve takviye fazı arasında oluşan ara yüzey bağının kuvvetli olması sayesinde matrise binen yükün takviye elemanına aktarılması ile sertlik değerlerinde artış yaşanır. Ayrıca matris içerisine ilave edilen takviye elemanları tane sınır bölgelerine yerleşerek malzemenin tane büyümesi engellenir. Böylelikle dislokasyon hareketleri sınırlanarak mukavemet artışı gerçekleşir. Metal matrisli nanokompozitlerde takviye elemanının boyutunun küçük olması ile Orowan mekanizması sayesinde dayanım artmaktadır (Abazari vd., 2020). Nano boyuttaki malzemelerin yüzey enerjisinin yüksek olmasından dolayı ilave edilen nano takviyeler aglomere olmakta ve yapıda homojen dağıtılamamaktadır. Böylelikle kompozitlerde beklenen büyük mekanik artış gerçekleşmemektedir. Matris olarak kullanılan AZ91 ve farklı oranlarda karbon nanotüp eklenerek üretilen malzemelerin aşınma test sonuçları Şekil 6' da grafik halinde verilmektedir.



**Şekil 6.** Matris ve farklı oranlarda KNT içeren kompozitlerin aşınma testi ağırlık kaybı sonuçları

Yapılan aşınma testleri sonucunda 500 ve 1000 metre kayma mesafesinde en düşük ağırlık kaybı AZ91 alaşımında görülürken 1500 m kayma mesafesinde en düşük ağırlık kaybı %0,25 KNT ilave edilen kompozitte görülmüştür. Tüm kayma mesafelerinde en yüksek ağırlık kaybı ise %2 KNT ilave edilen kompozitte görülmüştür. Yapılan aşınma testleri sonucu, ağırlık kaybındaki en yüksek değer, en düşük sertliğe sahip malzemede (AZ91 alaşımında) olması beklenmektedir. Ancak Şekil 1'de verilen optik mikroskop görüntüsünden de anlaşılacağı gibi matris içerisindeki KNT miktarı arttıkça oluşan aglomerasyon sonucu matris ile takviye elemanı

arasında yeterli ara yüzey bağının kurulamaması, sinterleme sırasında aglomere olan KNT'lerin yeterli ısıya maruz kalamaması ve aşınma sırasında oluşan deformasyon sonucu bu bölgelerden kütleli kopmaların meydana gelmesinden dolayı ağırlık kaybı daha fazla olmaktadır. Bu durumun daha net tespit edilmesi amacıyla aşınma yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri Şekil 7'de gösterilmektedir.



**Şekil 7.** Farklı oranlarda KNT ilave edilerek üretilen kompozitlerin aşınma SEM görüntüleri; a) AZ91 alaşımı, b) % 0,25 KNT-AZ91, c) % 0,5 KNT-AZ91 d) % 1 KNT-AZ91 e) % 2 KNT-AZ91

Şekil 7'de verilen aşınma yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde kayma işlemi sırasında meydana gelen plastik deformasyon etkisi ile kayma çizgilerinin oluştuğu görülmektedir. Ayrıca bazı bölgelerde (Şekil 7a) deformasyon sonucu kopan parçaların yüzeye tekrar yapıştığı görülmektedir. KNT oranı %1 ve %2 olan numunelerin aşınma yüzey SEM görüntülerine bakıldığında ise (Şekil 7d ve 7e) aşınma sırasında deformasyonla beraber büyük kütleli kopmaların oluştuğu görülmektedir. Şekil 1'de verilen optik mikroskop görüntülerinde ifade edildiği gibi yapı içerisinde homojen dağıtılamayan, aglomere olan nanoparçacıklar ile matris arasında yeterli ara yüzey bağının oluşamaması kayma sırasında oluşan plastik deformasyon ile kopmalar gerçekleşmektedir. Şekil 6'da verilen ağırlık kaybı sonuçları ile aşınma yüzey SEM görüntüleri birbirini doğrulamaktadır. Genel olarak aşınma yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde hem adhesiv (Şekil 7a) hem de abrsif aşınma mekanizmalarının etkin olduğu söylenebilir.

#### 4. Sonuçlar

Yapılan bu çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- Mekanik öğütme yöntemi ile AZ91 alaşımına KNT ilave edilerek Mg matisli kompozit üretilmiştir.
- Üretilen kompozitlerde KNT miktarı arttıkça takviye fazının yapıda homojen dağıtılamadığı takviye fazının belirli bölgelerde topraklandığı tespit edilmiştir.
- Alaşıma ilave edilen KNT ile sertliğin arttığı, en yüksek sertlik değerinin AZ91 alaşımına %0,25 KNT ilave edilen kompozitte görülürken KNT oranı arttıkça sertliğin düştüğü görülmüştür.
- Aşınma test sonuçlarına göre %1'den daha fazla KNT ilave edilen kompozitlerde ağırlık kaybının oldukça arttığı görülmüştür.

**Referanslar**

- Abazari, S., Shamsipur, A., Bakhsheshi-Rad, H. R., Ismail, A. F., Sharif, S., Razzaghi, M., ... & Berto, F. (2020). Carbon nanotubes (CNTs)-reinforced magnesium-based matrix composites: A comprehensive review. *Materials*, 13(19), 4421. <https://doi.org/10.3390/ma13194421>
- Akkaş, M (2017) Gaz atomizasyon yöntemi ile AZ91 tozu üretimi ve karakterizasyonu, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük
- Aydin, F., & Durgut, R. (2021). Estimation of wear performance of AZ91 alloy under dry sliding conditions using machine learning methods. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 31(1), 125-137. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(20\)65482-6](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(20)65482-6)
- Bakshi, S. R., Lahiri, D., & Agarwal, A. (2010). Carbon nanotube reinforced metal matrix composites-a review. *International materials reviews*, 55(1), 41-64. <https://doi.org/10.1179/095066009X12572530170543>
- Chawla K.K. (2012). *Metal Matrix Composites*. In: *Composite Materials*. Springer, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-74365-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-0-387-74365-3_6)
- Dey, A., & Pandey, K. M. (2015). Magnesium Metal Matrix Composites-A Review. *Reviews on Advanced Materials Science*, 42(1).
- Islak, S., Küçük, Ö., Eski, Ö., Özorak, C., & Akkaş, M. (2017). The Effect of CNT Content and Sintering Temperature on Some Properties of CNT-reinforced MgAl Composites. *Science of Sintering*, 49(4). <https://doi.org/10.2298/SOS1704347I>
- Jayabharathy, S., & Mathiazhagan, P. (2020). Investigation of mechanical and wear behaviour of AZ91 magnesium matrix hybrid composite with TiO<sub>2</sub>/graphene. *Materials Today: Proceedings*, 27, 2394-2397. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.142>
- Kumar, G. V., Rao, C. S. P., & Selvaraj, N. (2011). Mechanical and tribological behavior of particulate reinforced aluminum metal matrix composites—a review. *Journal of minerals and materials characterization and engineering*, 10(01), 59.
- Li, Q., Viereckl, A., Rottmair, C. A., & Singer, R. F. (2009). Improved processing of carbon nanotube/magnesium alloy composites. *Composites Science and Technology*, 69(7-8), 1193-1199. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2009.02.020>
- Mindivan, H., Efe, A., Kosatepe, A. H., & Kayali, E. S. (2014). Fabrication and characterization of carbon nanotube reinforced magnesium matrix composites. *Applied surface science*, 318, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.04.127>
- Paramsothy, M., Chan, J., Kwok, R., & Gupta, M. (2011). Enhanced mechanical response of hybrid alloy AZ31/AZ91 based on the addition of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> nanoparticles. *Materials Science and Engineering: A*, 528(21), 6545-6551. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.05.003>
- Tjong, S. C. (2013). Recent progress in the development and properties of novel metal matrix nanocomposites reinforced with carbon nanotubes and graphene nanosheets. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 74(10), 281-350. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2013.08.001>
- Turan, M. E., Zengin, H., & Sun, Y. (2020). Dry sliding wear behavior of (MWCNT+ GNPs) reinforced AZ91 magnesium matrix hybrid composites. *Metals and Materials International*, 26(4), 541-550. <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00338-8>
- Wang, L., Zhang, B. P., & Shinohara, T. (2010). Corrosion behavior of AZ91 magnesium alloy in dilute NaCl solutions. *Materials & Design*, 31(2), 857-863. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.07.049>
- Zhao, F. Z., Feng, X. H., & Yang, Y. S. (2016). Microstructure and mechanical properties of CNT-reinforced AZ91D composites fabricated by ultrasonic processing. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 29(7), 652-660. <https://doi.org/10.1007/s40195-016-0438-6>
- Zhou, D., Qiu, F., Wang, H., & Jiang, Q. (2014). Manufacture of nano-sized particle-reinforced metal matrix composites: a review. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 27(5), 798-805. <https://doi.org/10.1007/s40195-014-0154-z>



## Tikso Şekillendirme ile Üretilen A356 Alaşımında Sıkıştırma Süresinin Mikro Yapı ve Sertlik Üzerine Etkisi

### Effect of Compression Time on Microstructure and Hardness of A356 Fabricated via Thixoforming

Bekir Yavuzer<sup>1\*</sup>, Dursun Özyürek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Beykent Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 34075 ve İstanbul, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü, 78050 ve Karabük, TÜRKİYE

Başvuru/Received:07/10/2021

Kabul / Accepted: 25/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

#### Öz

Bu çalışmada yarı-katı şekillendirme yöntemlerinden biri olan tikso şekillendirme işlemi A356 alaşımına uygulanmıştır. Sıkıştırma süresinin ve ön şekillendirilen tozların deformasyonunun, alaşımın mikro yapı ve sertlik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Tikso şekillendirmede gaz atomizasyonu (argon) ile üretilen ortalama boyutu  $\leq 50 \mu\text{m}$  olan A356 tozları kullanılmıştır. Üretilen A356 alaşımı tozları iki gruba ayrılmış ve bir grup mekanik öğütme işlemine tabi tutularak, diğer grup ise üretildiği gibi metal kalıpta sıkıştırılarak (800 Mpa) ön şekillendirilmiştir. Ön şekillendirilmiş parçalar yarı-katı işlem ünitesinde  $590 \text{ }^\circ\text{C}$  fırın ve  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  kalıp sıcaklığında yarı katı halde sıkıştırılmıştır. Mikro yapı incelemeleri sonucunda sıkıştırma süresineki artışa bağlı olarak tanelerin küreselleşme miktarında artış olduğu, tane boyutlarında ise azalma meydana geldiği belirlenmiştir. En yüksek küresellik oranı, öğütme işlemi uygulanmamış ve tikso şekillendirme işleminde 2 dakika sıkıştırma süresi kullanılmış olan tikso işlem uygulanmış A356 alaşımında ölçülmüştür. Numunelerin farklı bölgelerinden alınan sertlik ölçümleri sonucunda, dış cidardan merkeze doğru alınan sertlik değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik değeri öğütme işlemi uygulanmamış ve 2 dakika sıkıştırılarak üretilmiş tikso işlem uygulanmış A356 alaşımından elde edilmiştir. Ayrıca EDS analizi sonuçlarında tane sınırlarındaki silisyum miktarının, tane içinde çözünen silisyum miktarından daha fazla olduğu belirlenmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

"A356, Tikso şekillendirme, Mikro yapı, Sertlik"

#### Abstract

In this study, thixo forming process, which is one of the semi-solid forming methods, was applied to A356 alloy. The effects of compression time and deformation of preformed powders on microstructure and hardness properties of the alloy were investigated. A356 powders with an average size of  $\leq 50 \mu\text{m}$  produced by gas atomization (argon) were used in thixoforming. Produced A356 alloy powders were divided into two groups and one group was subjected to mechanical milling process and the other group was preformed by compression in a metal mold (800 Mpa) as it was produced. The preformed parts were compressed in a semi-solid process unit at a furnace temperature of  $590 \text{ }^\circ\text{C}$  and a mold temperature of  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  in semi-solid state. As a result of the microstructure investigations, it was determined that there was an increase in the amount of sphericity of the grains, and a decrease in the grain size, depending on the increase in the compaction time. The highest sphericity ratio was measured in the thixo-treated A356 alloy, which was not milled and used a compression time of 2 minutes in the thixo forming process. As a result of the hardness measurements taken from different parts of the samples, it was observed that there was a decrease in the hardness values taken from the outer wall towards the center. The highest hardness value was obtained from the thixo-treated A356 alloy, which was produced by compression for 2 minutes and not mechanical milling. In addition, in the results of the EDS analysis, it was determined that the amount of silicon at the grain boundaries was higher than the amount of silicon dissolved in the grain.

#### Key Words

"A356, Thixoforming, Microstructure, Hardness"

## 1. Giriş

Alüminyum alaşımları, günümüzde neredeyse her alanda kullanılan bir malzeme grubudur. Bu alaşımların mekanik özellikleri, mikro yapıda in-situ veya ex-situ oluşturulan fazlar ile iyileştirilebilmektedir (Li vd. 2005; Kumar vd. 2008; Qui vd. 2015; Cree vd. 2011; Khosravi vd. 2015; Shabani ve Mazahery, 2011; Mandal vd. 2009). Malzeme üretiminde kullanılan imalat yöntemi ise mikro yapıları ve dolayısıyla malzeme özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Geleneksel döküm yöntemiyle üretilen Al alaşımları, ergiyik halde hava ile temas etmekte ve temas yüzeyinde oksit film tabakası oluşmaktadır. Döküm sırasında türbülanslı akış meydana gelmesi sonucu bu oksit tabakası metal içine karışmakta ve döküm sonrası gözenek olarak tanımlanan hatalara neden olmaktadır. Ayrıca çoğu alüminyum döküm alaşımında %3-6 oranında çekme olmaktadır. Besleyici kullanılmadığı veya uygun tasarım yapılmadığı sürece, döküm parçanın içinde veya yüzeyinde oluşan çekme hataları, parçanın mekanik özelliklerinin düşmesine neden olmaktadır. Normal katılaşma şartlarında ötektik altı alüminyum döküm alaşımlarının mikro yapıları kimyasal bileşimlerine bağlı olarak,  $\alpha$ -alüminyum taneleri ve bu taneleri çevreleyen ötektik alaşımdan meydana gelmektedir. Dentritik yapıdan oluşan bu yapının mekanik özelliklerini geliştirmek için tane inceltmesi yapmak gerekmektedir (Yıldırım vd. 2017; Otarwana vd. 2011). Al-Si alaşımlarına, Ti ve B gibi elementler çeşitli şekillerde (karbür, borür vb.) ilave edilerek tane inceltmek mümkündür (Li vd. 2005; Shabani ve Mazahery, 2011, Çam vd. 2016). Yarı-katı üretim yöntemi, klasik kum kalıba döküm yönteminin yukarıda bahsedilen olumsuzluklarını engellemeye imkân vermektedir. Kouji (1997) yapmış olduğu çalışmada; yarı-katı üretim teknolojisi ile üretilen malzemelerin mekanik özelliklerini, klasik döküm yöntemleriyle üretilmiş olan malzemelerin mekanik özellikleriyle karşılaştırmış ve katılaşma sırasındaki hızlı soğuma nedeniyle, yarı-katı üretim ile üretilen malzemelerin darbe, yorulma ve çekme dayanımlarında kayda değer bir artışın görüldüğünü belirtmiştir. Kapronos vd. (1992) yaptığı çalışmada ise, yarı-katı üretim teknolojisinde, diğer üretim yöntemlerinin yüksek sıcaklık alaşımlarına göre daha iyi olduğunu ve kısmi ergime aralığındaki dentritsiz yapıların, yarı-katı halde dövülebilirliğinin iyileştirildiğini göstermektedirler. Witulski vd. (1998) bazı özel niteliklere sahip alaşımların (özellikle A356/357 gibi yarı-katı işlem yapılabilen), yüksek sıcaklıklara çıkıldığında çatlamasına rağmen, tikso kalıplama işleminin mükemmel bir şekilde yapılabileceğini belirmişlerdir.

Yarı-katı malzemeler hem katı hem de sıvıya benzer davranışlar göstermektedirler. Katı malzeme özelliği göstererek katının iç yapısını büyük oranda korurken, sıvı gibi davranarak kalıp boşluğunu kolaylıkla doldurabilmektedir (Atkinson, 2005). Yarı-katı döküm yöntemi ile üretilen malzemeler, mikro yapının homojen olması ve daha az gözenek içermesi nedeniyle, daha üstün mekanik özellikler sergilemektedirler. Tikso kalıplama yöntemi de yarı-katı bölgede malzemenin şekillendirildiği bir yöntemdir. Tikso kalıplama yöntemi, yarı-katı şekillendirme yöntemi ile karşılaştırıldığında, en belirgin fark, kalıplama işleminin sıvı bölgeden yarı-katı bölgeye geçerken değil, katı bölgeden yarı-katı bölgeye geçilerek yapılmasıdır. Tikso kalıplama yönteminde tozlar, yarı-katı hale getirildikten sonra belirli bir basınç altında kalıp boşluğunu doldurmaktadır. Tikso kalıplama için genellikle yarı-katı malzemedeki sıvı oranı %30-50 aralığında olmakla birlikte mikro yapının küresel olması büyük önem arz etmektedir (Atkinson, 2005; Jung ve Kang, 1999). Jung (2000) yapmış olduğu bir çalışmada tikso kalıplama yöntemi ile şekillendirilen A356 alaşımının indüksiyon sistemi ile ısıtılmasının, alaşımın mikro yapısı üzerine olan etkilerini araştırmıştır. Bu çalışma, tikso kalıplama yöntemi ile şekillendirmede mikro yapının, kademeli ısıtma sıcaklıkları ile birlikte, ısıtma ve sıkıştırma süresinden de etkilendiğini göstermektedir. Cho vd. (2000) yapmış oldukları bir çalışmada, tikso kalıplama ile şekillendirilen alüminyum alaşımlarında sıkıştırma sırasında uygulanan yük arttıkça, mikro yapıdaki gözeneklerin azaldığını ve yoğunluğun arttığını bildirmektedirler. Literatürdeki çalışmalar, tikso kalıplama ile şekillendirilen parçaların mikro yapılarının, alaşımın ön ısıtmada ulaşılan sıcaklıktan (Cho vd. 2000), sıkıştırma basıncından (Cho vd. 2000; Idegomori vd. 1998; Pinsky vd. 1984; Kang ve Jung, 2001), sıkıştırma hızından (Lee vd. 2003; Yoshida vd. 1992; Dong vd. 2002), sıkıştırma ve fırın içi bekleme süresinden (Dong vd. 2002; Jung, 2000) ve kalıp malzemesinden etkilendiğini göstermektedir.

Bu çalışmada ticari olarak önemli bir kullanım alanı olan A356 alüminyum alaşımına tikso kalıplama yöntemi uygulanmıştır. Yarı-katı ısıtma öncesi malzeme olarak A356 tozları sıkıştırılmıştır. Tikso kalıplama yönteminde önemli bir değişken olan sıkıştırma süresinin, A356 alaşımının mikro yapı ve sertliğe olan etkisi incelenmiştir.

## 2. Malzeme ve Method

DeneySEL çalışmalarda, A356 alaşımı külçelerinden elde edilen tozlar kullanılmıştır. Külçeler, gaz atomizasyon ünitesinde atomize edilerek A356 tozları elde edilmiştir. Toz üretiminde soy gaz olarak argon kullanılmıştır. Nozullardan geçen gaz basıncı 32 atm'dir. Üretilen tozların ortalama boyutu  $\leq 50 \mu\text{m}$ 'dir. Toz tartım işlemleri Precisa XB200h marka 1/10000 hassasiyetteki terazide yapılmıştır. Üretilen A356 tozları iki gruba ayrılmış ve bir grup ilave herhangi bir işlem görmeden, oda sıcaklığında, 800 MPa basınç altında metal kalıpta sıkıştırılarak ön şekillendirilmiştir. Ön şekillendirilen parçalar, 12 mm çap ve 35 mm yüksekliğinde silindirik şeklindedir. Diğer grup ise deformasyonun mikro yapı üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla mekanik öğütme işlemine tabi tutulduktan sonra, birinci gruba uygulanan ön şekillendirme parametreleri kullanılarak ön şekillendirilmiştir. Mekanik öğütme işlemlerinde, 10:1 bilya/toz oranı, 30 dakika öğütme süresi ve %50 kap doluluk oranı seçilmiştir. Tozların soğuk sıkıştırılması ile üretilen A356 parçalar, yarı-katı işlem ünitesinde 590 °C fırın ve 350 °C kalıp sıcaklığında yarı-katı halde sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminde, kalıp malzemesi olarak grafit kullanılmıştır. 1 ve 2 dakika olmak üzere iki farklı sürede sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretim parametreleri ve numaralandırmaları Tablo 1'de verilmektedir.

**Tablo 1.** Tikso kalıplama yöntemi ile üretilen A356 alaşımlarının üretim şartları

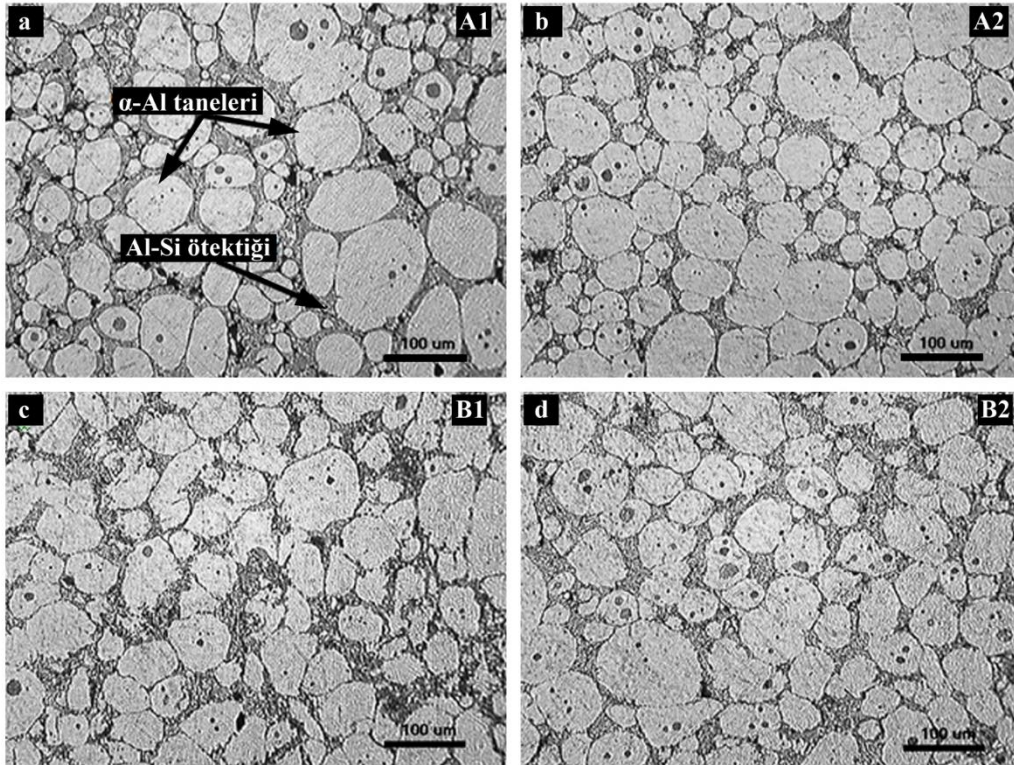
No	Üretim Şartları
A1	Öğütülmemiş tozlar, 1 dakika yarı-katı sıkıştırma
A2	Öğütülmemiş tozlar, 2 dakika yarı-katı sıkıştırma
B1	30 dakika öğütülmüş tozlar, 1 dakika yarı-katı sıkıştırma
B2	30 dakika öğütülmüş tozlar, 2 dakika yarı-katı sıkıştırma

Üretilen tikso işlem uygulanmış A356 alaşımların mikro yapılarında herhangi bir değişim olmaması için su soğutma ortamında kesilmiş ve daha sonra standart metalografik yöntemlere ile hazırlanmıştır. Dağlama işlemi, 90 ml H<sub>2</sub>O, 5 ml HNO<sub>3</sub>, 3 ml HCl ve 2 ml HF solüsyonunda 30 s süre ile yapılmıştır. Optik mikroskop görüntüleri, MEIJI ML 7100 marka mikroskop ve BOSH DINION XF kamera kullanılarak elde edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri JEOL JSM-6060 model taramalı elektron mikroskobunda yapılmıştır. Mikro yapı tanelerinin, tane boyutu ve küresellik ölçümleri MSQ PLUS 6.5 adlı metalografik ölçüm ve analiz programında ASTM E112 standartlarına göre yapılmıştır. Sertlik ölçümleri AFFRI VRSD251 marka cihazda HV 2,5 yük altında, numunenin çevresinden merkezine doğru 3 farklı bölgesinden alınan ölçümlerin ortalaması alınarak yapılmıştır.

### 3. Bulgular ve Değerlendirme

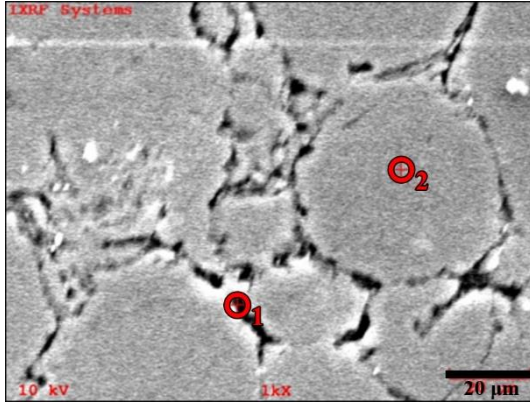
#### 3.1. Mikro yapı sonuçları

Farklı sıkıştırma sürelerinde tikso yöntemiyle şekillendirilmiş A356 alaşımlarının optik mikroskop görüntüleri Şekil 1'de verilmektedir.



**Şekil 1.** Farklı sıkıştırma sürelerinde üretilmiş A356 alaşımlarının optik mikroskop görüntüleri (a) A1; (b) A2; (c) B1; (d) B2

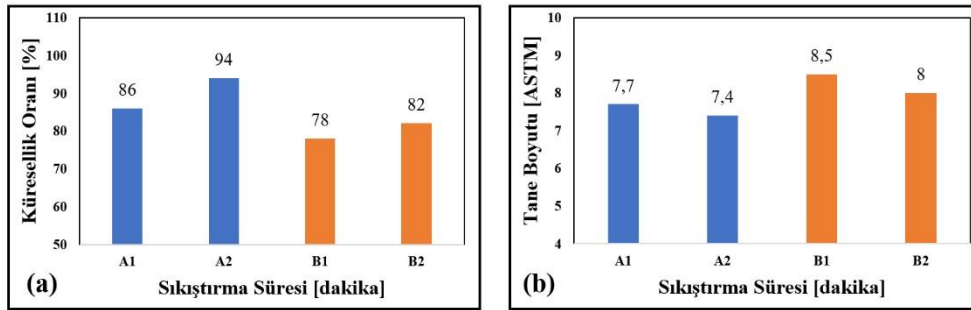
Şekil 1'de verilen mikro yapı görüntülerinden, tüm tikso işlem uygulanmış A356 alaşımların mikro yapıları  $\alpha$ -alüminyum tanelerinden ve Al-Si ötektik bileşiminden oluşmuş fazdan meydana geldiği görülmektedir. Küresel  $\alpha$ -alüminyum taneleri içinde koyu renkli Al-Si ötektik fazının bulunduğu da anlaşılmaktadır. Bu yapı tikso kalıplama yönteminde elde edilebilmektedir (Otarawanna vd. 2011; Şimşek vd. 2020). Şekil 2'de 2 dakika süre ile sıkıştırılmış tikso işlem uygulanmış A356 alaşımın EDS analiz sonuçları verilmektedir.



Analiz	Al (%)	Si (%)	Mg (%)
Tane Sınırı	91,156	4,460	0,384
Matris	99,128	0,476	0,396

Şekil 2. 2 dakika sıkıştırma süresinde üretilmiş A356 alaşımından alınan EDS analiz sonuçları

Şekil 2’de verilen EDS analiz sonuçları incelendiğinde tane sınırlarında bulunan silisyum miktarının, tanelere oranla yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu görülmektedir. **Tikso prosesi, sıkıştırma başını ve zamanına bağlı olarak oluşan itici güç ile birlikte, toz tanesi içindeki silisyum elementinin tane sınırlarına difüzyonuna yol açmıştır.** Şekil 3’de farklı sıkıştırma sürelerinde üretilmiş A356 alaşımlarının mikro yapı tane boyutu ve küresellik ölçüm sonuçları verilmektedir.

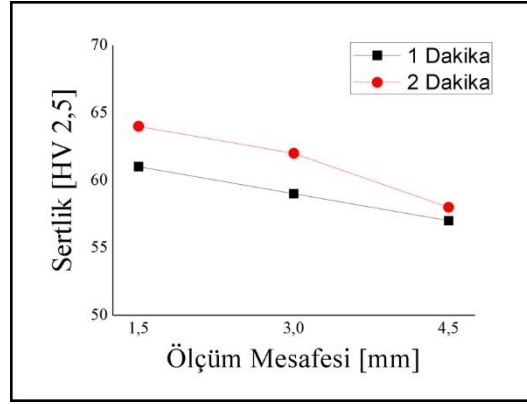


Şekil 3. Farklı sıkıştırma sürelerinde üretilmiş A356 alaşımlarının; a) Küresellik ve b) Tane boyutu ölçüm sonuçları

Mikro yapı tane inceltmesinin, Al-Si alaşımlarının mekanik özelliklerinin değişiminde önemli bir rol oynadığı bilinmektedir (Khalifa vd. 2015). Şekil 3’de verilen sonuçlar incelendiğinde tikso şekillendirmede sıkıştırma süresinin tane boyutu ve küresellik oranı üzerine etkili olduğu görülmektedir. 1 dakika sıkıştırılarak üretilen A1 numunesinde küresellik oranı %86 iken, bu oran 2 dakika sıkıştırma süresinde (A2) %94’e çıkmaktadır. Şekil 3.b’deki tane boyutu ölçüm sonuçları incelendiğinde, sıkıştırma süresinin 1 dakikadan 2 dakikaya çıktığında, tane boyutunun 7.7’den 7.4’e düştüğü görülmektedir. Mekanik öğütme işlemi uygulanan tozlardan üretilen tikso işlem uygulanmış A356 alaşımlarda da (B1 ve B2) benzer sonuçlar görülmektedir. Öğütülmüş tozlardan üretilen ve 1 dakika yarı-katı sıkıştırma uygulanan A356 alaşımında (B1) küresellik oranı %78 (Şekil 3.a), tane boyutu ise 8,5 (Şekil 3.b) olarak ölçülmüştür. Yarı-katı şekillendirmede sıkıştırma süresini 2 dakikaya çıkarıldığında ise (B2), küresellik oranı %82’ye çıkmış, tane boyutu ise 8’e düşmüştür. Ancak öğütme işlemi uygulanan alaşımlar, öğütme işlemi uygulanmayan tozlar ile karşılaştırıldığında hem küreselleşme oranında hem de tane boyutu incelmesinde daha etkisiz olmaktadır. Atomizasyon ile üretilen tozların küresel şekillerde oluştuğu bilinmektedir. Ancak öğütme işlemi ile küresel şekilli tozlar bilya-bilya veya bilya-kap arasında kalarak ezilmekte, kırılmakta ve kaynaklanmaktadır (Çam vd. 2016). Tikso kalıplama işlemi uygulanacak alaşımın mikro yapısının küresellik oranı yüksek tanelerden oluşması, tikso kalıplama sonrası oluşacak mikro yapının küresellik oranını artırmaktadır.

### 3.2. Sertlik sonuçları

Şekil 4’de 2 farklı sürede sıkıştırılarak üretilmiş A356 alaşımlarının sertlik ölçümleri verilmektedir.



**Şekil 4.** Farklı sıkıştırma sürelerinde üretilmiş A356 alaşımlarının sertlik ölçüm sonuçları

Şekil 4’de verilen sertlik ölçüm sonuçları incelendiğinde, sıkıştırma süresinin artmasıyla birlikte sertlik değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Şekil 3’de verilen tane boyutu ve küresellik oranı sonuçları ile birlikte ele alındığında, bu sonuçlar beklentiler doğrultusunda olmaktadır. Tane boyutu ile akma dayanımı arasında ilişki Hall-Petch eşitliği (Eşitlik 1) ile açıklanmaktadır.

$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y d^{-1/2} \quad (1)$$

Burada  $\sigma_y$ : akma dayanımı,  $\sigma_0$ : dislokasyon hareketini başlatmak için gereken gerilim,  $k$ : mukavemetlendirme katsayısı ve  $d$ : tane boyutudur. Bu eşitlikten de anlaşıldığı üzere, malzeme dayanımı artışı tane boyutu ile doğrudan ilişkilidir. Ayrıca mikro yapıda bulunan fazların şekilleri de, malzeme dayanımına etki etmektedir (Haghshenas vd. 2009). Şekil 3.a’da verilen sonuçlardan, tanelerin küreselleşme oranlarının artması, A356 alaşımının sertliğinin de artmasına neden olmaktadır. Bu duruma ek olarak Cho ve Kang (2000), yaptıkları bir çalışmada çekme ve akma mukavemetlerindeki artışın, yüksek sıkıştırma basıncının sonucu yoğunluğun artması ve gözeneklerin azalması sonucunda elde edildiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca Şekil 4’de verilen sertlik ölçüm sonuçları incelendiğinde, sertlik değerlerinin numunenin merkezine yaklaştıkça azaldığı anlaşılmaktadır. 1 dakika süre ile sıkıştırılmış tikso işlem uygulanmış A356 alaşımında, kenardan merkeze doğru yaklaşıldıkça ölçüm değerleri 61, 59 ve 57 HV olarak ölçülürken, 2 dakika sıkıştırılmış alaşımdan alınan ölçümler numunenin kenarından merkeze doğru gidildikçe, 64, 62 ve 58 HV olarak ölçülmüştür. Idegomori vd. (1998) yapmış oldukları bir çalışmada, basıncın etkisiyle sıvı faz oranının numunenin merkezine oranla kenar bölgelerde daha fazla olduğunu ve bu nedenle merkezdeki sertliğin kenar bölgelerden daha düşük değerde olacağını belirtmişlerdir. Şekil 4’de verilen sertlik ölçüm sonuçları göz önüne alındığında elde edilen sonuçların, Idegomori vd. (1998) yapmış oldukları çalışma ile paralel olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuçlar

- Yarı-katı şekillendirme yöntemiyle üretilen tikso işlem uygulanmış A356 alaşımı küresel bir mikro yapı elde edilmiştir.
- Üretilen alaşımların mikro yapısının  $\alpha$ -Al küresel taneler ve bu taneleri çevreleyen Al-Si ötekitiği olduğu anlaşılmıştır.
- Sıkıştırma süresinin mikro yapı üzerinde etkili olduğu, 2 dakika süre ile sıkıştırılarak üretilen A356 alaşımının, 1 dakika süre ile üretilen alaşımla kıyaslandığında, küresellik oranının daha fazla olduğu, tane boyutunun ise daha ince olduğu belirlenmiştir.
- Üretilen alaşımların sertliklerinin sıkıştırma süresindeki artışla birlikte arttığı belirlenmiştir.

#### Referanslar

- Atkinson, H. V. (2005). Modelling the semisolid processing of metallic alloys. *Progress in Materials Science*, 50(3), 341-412. doi:10.1016/j.pmatsci.2004.04.003
- Cho, W. G., & Kang, C. G. (2000). Mechanical properties and their microstructure evaluation in the thixoforming process of semi-solid aluminum alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 105(3), 269-277. doi: 10.1016/S0924-0136(00)00577-X
- Cree, D., & Pugh, M. (2011). Dry wear and friction properties of an A356/SiC foam interpenetrating phase composite. *Wear*, 272(1), 88-96. doi: 10.1016 / j.wear.2011.07.008
- Çam, S., Demir, V., & Özyürek D. (2016). Wear behaviour of A356/TiAl3 in situ composites produced by mechanical alloying. *Metals*, 6(2):34. doi: 10.3390/met6020034
- Dong, J., Cui, J. Z., Le, Q. C., & Lu, G. M. (2002). The key laboratory of electromagnetic processing of material, ministry of education. Northeastren University, SHENYANG.



- Haghshenas, M., Zarei-Hanzaki, A., & Jahanzi, M. (2009). An investigation to the effect of deformation-heat treatment cycle on the eutectic morphology and mechanical properties of a Thixocast A356 alloy. *Materials Characterization*, 60(8), 817-823. doi: 10.1016/j.matchar.2009.01.020
- Idegomori, T., Hirono, H., Ito, O., Kimishima, S., & Mizoue K., (1998). The manufacturing of automobile parts using semi-solid metal processing. *Proceedings of the Fifth International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, Colorado School of Mines, Colorado.
- Jung, H.K., (2000). The induction heating process of semi-solid aluminium alloys for thixoforming and their microstructure evaluation. *Journal of Materials Processing Technology*, 105(1-2), 176-190. doi: 10.1016/S0924-0136(00)00567-7
- Jung, H. K., & Kang, C. G., (1999). An induction heating process with coil design and solutions avoiding coarsening phenomena of Al-6 Pct Si-3 Pct Cu-0.3 Pct Mg alloy for thixoforming. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 30, 2967-2977. doi: 10.1007/s11661-999-0134-5
- Kang, C. G., & Jung, G. D., (2001). Improvement of the liquid segregation phenomena of semisolid aluminium alloys by the multistage strain rate control in the compression test. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 10 (4) 419-428. doi: 10.1361/105994901770344836
- Kapranos, P., Kirkwood, D. H., & Sellars, C. M. (1992). Semi-solid forging of high temperature alloys. *Proceedings of the Second International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, Massachusetts Institute of Technology of, Massachusetts.
- Khalifa, W., El-Hadad, S., & Tsunekawa, Y. (2015). Microstructure characteristics and tensile property of ultrasonic treated-thixocast A356 alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25(10), 3173-3180. doi: 10.1016/S1003-6326(15)63949-8
- Khosravi, H., & Akhlaghi, F. (2015). Comparison of microstructure and wear resistance of A356-SiCp composites processed via compocasting and vibrating cooling slope. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25(8), 2490-2498. doi: 10.1016/S1003-6326(15)63867-5
- Kouji, S. (1997). The characteristics of thixoforming product. *Proceedings of the 175th JSTP symposium for Semi-Solid Metals Forming*, JSTP & JSME, Tokyo University of Technology, Tokyo.
- Kumar, S., Chakraborty, M., Sarma, V. S., & Murty, B. S. (2008) Tensile and wear behaviour of in situ Al-7Si/TiB<sub>2</sub> particulate composites. *Wear*, 265(1-2), 134-142. doi: 10.1016/j.wear.2007.09.007
- Lee, D. H., Seo, P. K., & Kang, C. G. (2004). Die design by filling analysis of semi-solid injection forging process and their experimental investigation. *Journal of Materials Processing Technology*, 147(1), 45-50. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2003.10.023
- Li, P., Kandalova, E. G., & Nikitin V. I. (2005). In situ synthesis of Al-TiC in aluminum melt. *Materials Letters*, 59(19-20), 2545-2548. doi: 10.1016/j.matlet.2005.03.043
- Mandal, A., Murty, B. S., & Chakraborty, M. (2009) Sliding wear behaviour of T6 treated A356-TiB<sub>2</sub> in-situ composites. *Wear*, 266(7-8), 865-872. doi: 10.1016/j.wear.2008.12.011
- Otarawanna, S., & Dahle, A.K. (2011). *Fundamentals of aluminium metallurgy*. Duxford, Woodhead Publishing.
- Pinsky, D. A., Charreyron, P. O., & Flemings, M. C. (1984) Compression of semi-solid dendritic Sn-Pb alloys at low strain rates. *Metallurgical Transactions B*, 15, 173-181. doi: 10.1007/BF02661076
- Qui, K., Wang, R., Peng, C., Wang, N., Cai, Z., & Zhang, C. (2015) Effect of individual and combined additions of Al-5Ti-B, Mn and Sn on sliding wear behavior of A356 alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25(12), 3886-3892. doi: 10.1016/S1003-6326(15)64081-X
- Shabani, M. O., & Mazahery, A. (2011) Prediction of wear properties in A356 matrix composite reinforced with B<sub>4</sub>C particles. *Synthetic Metals*, 161(13), 1226-1231. doi: 10.1016/j.synthmet.2011.04.009
- Şimşek, İ., Şimşek, D. & Özyürek, D. (2020) Yarı Katı Kalıplama Yöntemi İle Üretilen Farklı Miktarlarda SiC Takviyeli A356 Matrisli Kompozit Malzemelerin Aşınma Performansının İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 23(4), 1237-1243. doi: 10.2339/politeknik.642506
- Witulski, T., Morjan, U., Niedick, I., & Hirt, G. (1998) The thixoformability of aluminium alloys. *Proceedings of the Fifth International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, Colorado School of Mines, Colorado.
- Yıldırım, M., Özyürek, D., & Tunçay, T. (2017) The effects of molding materials on microstructure and wear behavior of A356 alloy. *High Temperature Materials and Processes*, 36(5), 515-521. doi: 10.1515/htmp-2015-0240
- Yoshida, C., Moritaka, M., Shinya, S., Takebayashi, K., Nanba, A. (1992) *Semi-solid forging of aluminium alloys*. *Proceedings of the Second International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, Cambridge, MIT Press.



## Effects of Heat Treatment on the Hardness Properties and Microstructure of Al-6505 Alloy

Che Nor Aiza Jaafar<sup>1</sup>, Ismail Zainol<sup>2</sup>, Recep Calin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical and Manufacturing Engineering,,Universiti Putra Malaysia, 43000 Serdang Selangor, MALAYSIA

<sup>2</sup>Department of Chemistry, Sultan Idris Education University, 35900 Tanjung Malim, Perak, MALAYSIA.

<sup>3</sup>Department of Metallurgy and Material Science Engineerin, Kirikkale University, 71450 Kirikkale, TURKEY

*Başvuru/Received:* 07/10/2021

*Kabul / Accepted:* 25/12/2021

*Çevrimiçi Basım / Published Online:* 31/12/2021

*Son Versiyon/Final Version:* 31/12/2021

### Abstract

The effects of heat treatment on the ageing response, hardness properties and the microstructure development of Al-6505 alloy have been investigated. In order to study these effects, the alloy sample was solution treated at 550°C for 30 minutes and then quenched into cold water at room temperature followed by artificially aged at elevated temperature of 100 oC, 185 oC and 300 oC. The ageing response of Al-6505 alloy was monitored using Vickers hardness test. The distribution of the precipitates formed in Al-6505 alloy was monitored by transmission electron microscopy (TEM). The results showed that time to reach peak hardness and peak hardness values decreased as the ageing temperatures increased. It was found that increasing in hardness values of the alloy were due to needle-shaped precipitates formation during ageing treatment. Prolonged ageing time to over-aged condition resulting in increased the size but reduced the number of precipitates; as a result the hardness of Al-6505 alloy was reduced. The effects of heat treatment on the ageing response, hardness properties and the microstructure development of Al-6505 alloy have been investigated. In order to study these effects, the alloy sample was solution treated at 550°C for 30 minutes and then quenched into cold water at room temperature followed by artificially aged at elevated temperature of 100 oC, 185 oC and 300 oC. The ageing response of Al-6505 alloy was monitored using Vickers hardness test. The distribution of the precipitates formed in Al-6505 alloy was monitored by transmission electron microscopy (TEM). The results showed that time to reach peak hardness and peak hardness values decreased as the ageing temperatures increased. It was found that increasing in hardness values of the alloy were due to needle-shaped precipitates formation during ageing treatment. Prolonged ageing time to over-aged condition resulting in increased the size but reduced the number of precipitates; as a result the hardness of Al-6505 alloy was reduced.

### Key Words

“Al-6505 alloy, heat treatment, ageing response, hardness, microstructure“

## 1. Introduction

The 6000 series of Al-Mg-Si alloys has been used in many sectors and industries such as automotive, construction and defense industries due to its high strength-to-weight ratio, good formability and resistance to corrosion (Zhenguo et al., 2021). The mechanical properties of 6000 series containing Mg and Si are known to be improved by heat treatment process. This type of alloys can be strengthened by the formation of precipitates (hardening phase) during heat treatment process which involved three main steps: solution treatment, quenching and ageing. The solution treatment process consists of heating the alloys containing alloying elements between 450 oC and 550 oC and soaking them for a period of time to dissolve the alloying elements into a solid solution. Quenching is done afterward purposely to retain the maximum amounts of alloying elements in solid solution. Meanwhile ageing or artificial ageing is the final stage in development of properties in the 6000 series alloys. The high strength of alloys is obtained through precipitation hardening at paint bake heat treatment.

Generally, the presence of Mg and Si contents in the alloy results in the formation of needle shaped precipitates (hardening phase). The strength of the alloy derives from the ability of precipitates to stop dislocation motion (Emma and Salem, 2010). It can be noticed that time and temperature is the main parameters in heat treatment process that needed to be considered to obtain the optimum mechanical properties of the alloy. For 6000 series alloys, the range of temperature used for artificial ageing (T6) is between 160 oC and 190 oC (Polmear, 2017). Normally fast ageing response appears when the alloys are artificially aged at higher temperature. The objectives of this study are to investigate the effects of heat treatment process on the ageing response, hardness properties and microstructural development by using Vickers hardness test and TEM analysis.

## 2. Methodology

The alloy used in this study is Al-6505 alloy from 6000 series alloy. The alloy was obtained in extruded form of 40 mm wide and 4 mm thick. The chemical composition of Al-6505 alloy is tabulated in Table 1.

**Table 1.** Chemical compositions of 6000 series alloys (wt.%)

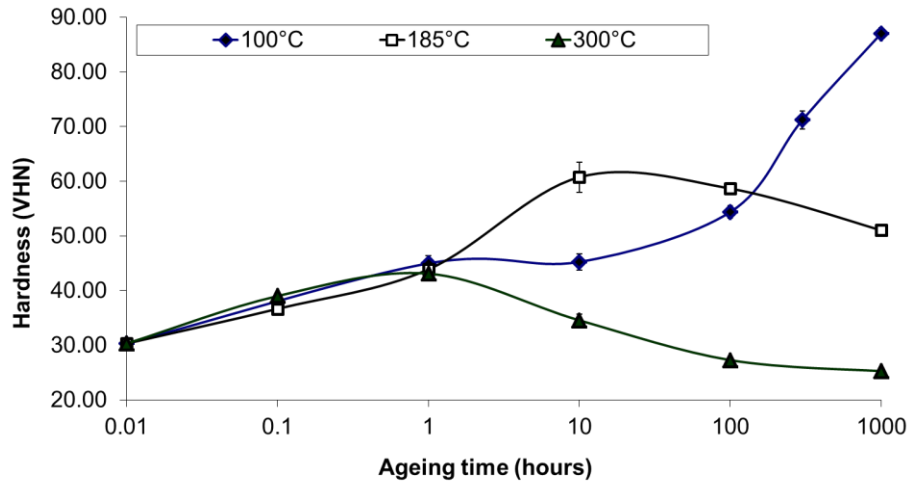
Alloy	Mg	Si	Mn	Fe	Cu	Ti
6505	0.40	0.45	0.031	0.17	0.002	0.012

The Al-6505 alloy sample was solution treated in an electrical muffle furnace at 550 °C for 30 minutes followed by a quench into cold water and then it was immediately artificially aged in a muffle furnace at different ageing temperatures of 100 °C, 185 °C and 300 °C between 0.1 to 1000 hours. The ageing response for the alloy was monitored by means of Vickers hardness tester. For each sample, five hardness readings were taken to ensure an accurate reading and the average value of hardness was determined. The hardness curve was plotted using a logarithmic time axis. TEM was carried out on overaged alloy Al-6505 alloy which had been aged at 300 °C for 0.1, 1 and 100 hours after solution treatment. TEM analysis was performed on the Al-6505 alloy in order to examine the microstructural development and precipitates distribution with different alloy conditions.

## 3. Results and Discussion

### *Effect of heat treatment on ageing response and hardness properties*

The hardness curves for Al-6505 alloy after ageing at 100 °C, 185 °C and 300 °C is presented in Figure 1. From hardness measurement, it is seen that the hardness increased slowly up to 1 hour and the peak hardness is reached eventually at different ageing temperatures. However no peak hardness observed for the alloy that aged at 100 oC up to 1000 hours. The final hardness of the alloy decreases with increasing ageing temperature and this is referred to over-aged condition. Table 2 shows time to reach peak hardness and peak hardness value for Al-6505 alloys that artificially aged at different ageing temperatures. In increasing in hardness values during ageing treatment has been related to the formation of hardening precipitates in the alloy. These precipitates interference the dislocation motion, thus the hardness of alloy is increased (Polmear, 2017). It can be seen that the peak hardness are reached most rapidly (1 hour) at the higher ageing temperature but the hardness values decrease as the ageing temperature is increased. This can be explained that the higher the ageing temperature (up to 300 oC), the faster the rate of formation resulted the larger the precipitates formed at shorter ageing time (Aiza et al., 2015)]. This situation leads to give lower peak hardness value (43.10 VHN) for the higher ageing temperature.



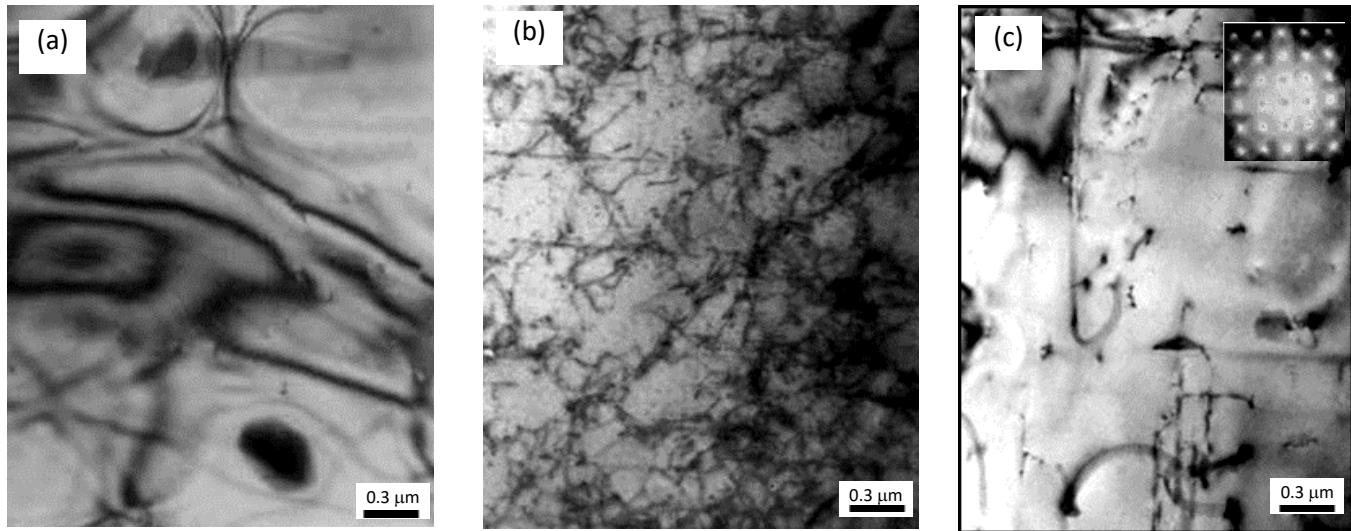
**Figure 1.** Ageing curves of Al-6505 alloy at different ageing temperatures of 100 °C, 185 °C and 300 °C

**Table 2.** Time to reach peak hardness and peak hardness values of Al-6505 alloy that artificially aged at different ageing temperatures

Ageing Temperature (°C)	100 °C	185 °C	300 °C
Time to reach peak hardness (hours)	-	10	1
Peak hardness value (VHN)	-	60.75	43.10

#### Microstructure analysis

Figure 2 shows TEM analysis of the Al-6505 alloy after artificially aged at 300 °C for 0.1, 1 and 100 hours, respectively. This alloy conditions are referred to under-aged (0.1 hour), peak-aged (1 hour) and close to peak-aged (100 hours). Few if any precipitates were observed in Al-6505 alloy at the short ageing time at 0.1 hour (under-aged). Prolong ageing time for 1 hour (peak aged) results in increased the distribution of needle-shaped of precipitates associated with high density of dislocation loops in the alloy. This precipitate is considered to be the most efficient strengthening in 6000 series alloys (Aiza et al., 2011; Mingjun et al., 2020). These precipitates hindered the movement of dislocation, hence the alloy was strengthened. Further ageing to 100 hours led to increase the precipitates size and length but decrease in precipitates density. At this stage it is more favourable for the dislocation to pass precipitates via Orowan mechanism, leading to a decrease in hardness and strength of the alloy (Emma and Salem, 2010). The TEM analysis results are consistent with the results of hardness test of temperature at 300°C.



**Figure 2:** TEM bright-field images of overaged Al-6505 alloys at 300°C for (a) 0.1 hour, (b) 1 hour and 100 hours. Electron beam is in the [100] matrix direction.

#### 4. Conclusion

As conclusion, the most noticeable feature is that the time to reach peak hardness and peak hardness values decreased as the ageing temperatures increased. The formation of hardening needle-shaped precipitates results in increased the hardness properties of the Al-6505 alloy. Prolonged ageing time resulted in decreased in the number density of needle-shaped precipitates which led to a lower hardness properties of the Al-6505 alloy.

#### References

- Aiza Jaafar, C.N., Azmi R., Zuhailawati, H., Ismail Z., (2011) Effect of Mg, Si and Cu content on the microstructure of dilute 6000 series aluminium alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 509, 8632– 8640
- Aiza Jaafar, C.N., Ismail Z., Harun, M., Yazid., A.A. (2013). Relationship between the microstructure and property of Al-0.21 wt%Mg-0.41wt%Si alloy, *Malaysian Journal of Microscopy*, 9, 42-46.
- Aiza Jaafar, C.N., Ismail Z., Mohamad Sapri1, M.A.Z. (2015). The Effects of Thermal Ageing on Properties and Microstructure of Al-6063 Alloy, *Key Engineering Materials*, 694, 111-115
- Emma, S., Salem., S. (2010).The heat treatment pf Al-Si-Cu-Mg casting alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 249-1259
- Polmear, I.J. (2017). Light Alloys from traditional alloys to nanocrystals. 5<sup>th</sup> edition, Oxford: Butterworth Heinmann.
- Zhenguo L., Zhijun Z., Guangwen Z., Pizhi Z., Warren J. P. (2021). The effect of Mg and Si content on the microstructure, texture and bendability of Al-Mg-Si alloys *Materials Science & Engineering A*, 814.



# Otonom Tabanlı İşaret ve Şerit Tanımak Amacı ile Bir Öğrenme Sisteminin Geliştirilmesi

## An Autonomous-Based Learning System Development for Sign and Lane Recognition

Ömer Küçük<sup>1</sup> , Emrehan Yavşan<sup>1\*</sup> , Barış Gökçe<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 42090, Konya, TÜRKİYE

**Başvuru/Received:** 07/10/2021

**Kabul / Accepted:** 25/12/2021

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 31/12/2021

**Son Versiyon/Final Version:** 31/12/2021

### Öz

Günlük hayatta trafik kazaları oranlarına bakıldığında sürücü hatalarının oldukça fazla olduğu görülmektedir. Pazara yeni çıkan araç modelleri sürücüye şerit takibi başta olmak üzere akıllı sürüş ve sürüş asistanı gibi otonom veya yarı otonom sürüş destekleri sunan kontrol yöntemleri ile ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada otonom araçların trafikte iken sürücüye yardımcı olması için trafik işaretlerinin doğru olarak tanınması ve sürücüye uyarıda bulunması adına bir sistemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sistemin geliştirilmesi sürecinde şahsi araç üzerine montajlanmış bir kameradan alınan yol görüntü videolarıyla özgün bir veri seti oluşturulmuş ve bu verilerle trafikte yollarda bulunan işaretlerin ve trafik lambalarının tanınması sağlanmıştır. Yüksek tanıma doğruluğu için çeşitli yapay zeka algoritmaları birleştirilerek etkili bir sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Eğitim veri setinin oluşturulması için şahsi aracın ön camına yerleştirilmiş olan bir yol kamerası ile Konya ili Selçuklu ve Meram ilçelerinin yollarındaki trafik lambalarından ve trafik levhalarındaki işaretlerden video kamera verileri elde edilmiştir. Şahsi araçtan elde edilen veri seti kullanılarak bir yapay sinir ağı modeli eğitilmiştir. Deneysel olarak yapılan bu çalışmada %90 oranında doğruluk elde edilmiştir. Trafik işaret ve lambalarını tanıma sisteminden sonra otonom bir araç platformu için şerit tanıma ve viraj algılama sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde aracın direksiyon açısı hesaplanmış ve bir PID kontrolcüyle aracın direksiyonu otonom olarak kontrol edilmiştir.

### Anahtar Kelimeler

*“Otonom Sistemler, Yapay Zeka, Gömülü Sistem, İşaret Tanıma”*

### Abstract

When we look at the rates of traffic accidents in daily life, it is seen that driver errors are quite high. Newly launched vehicle models come to the market with control methods such as lane tracking, autonomous or semi-autonomous driving support, especially intelligent driving and driving assistant. In this study, it is aimed to develop a system for the correct recognition of traffic signs and warning the driver in order to assist the driver while autonomous vehicles are in traffic. In this study; Recognition and classification of the signs and traffic lights on the roads were made by using the image processing methods of the road image videos taken from a camera mounted on a personal vehicle, and the appropriate classification technique was determined by using different artificial intelligence methods. In this context, a training data set was created to create an artificial neural network (ANN) model and to develop it for this structure. In order to create the training data set, video camera data were obtained from the traffic lights on the roads of Selçuklu and Meram districts in Konya and from the signs on the traffic signs with a road camera placed on the windshield of the personal vehicle. An ANN training was conducted using the data set obtained from the personal tool. In this experimental study, the accuracy rate of 90% was achieved. After the traffic signs and lights recognition system, a lane recognition and a road curve calculation system has been developed for an autonomous vehicle platform. Thus, the steering angle of the vehicle was calculated and it was controlled autonomously with a PID controller.

### Key Words

*“Autonomous Systems, Artificial Intelligence, Embedded System, Sign Recognition”*

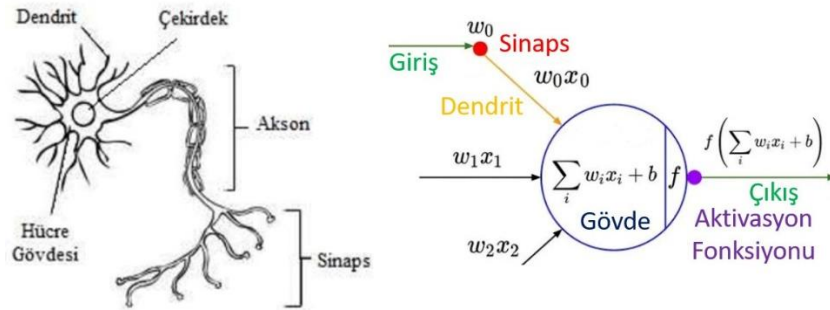
## 1. Giriş

Makineler için atfedilen yapay zeka kavramı insan zekası temel alınarak oluşturulmuştur. Ancak sonraki zamanlarda gelişmiş bilgisayarların ve uzman sistemlerin yazılımsal olarak kullanımının artması ve yaygınlaşması ile yapay zeka hem kavramsal olarak hem de uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. IBM, Apple, Microsoft ve Xerox gibi büyük bilgisayar ve sistem üreticileri yapay zeka ile ortaya çıkan, unsuru çok geniş bir alanda olmasa da kendi içlerinde araştırma çalışması olarak devam ettirmişlerdir. Günümüzde bu çalışmalar giderek yaygınlaşmış ve artık günlük hayatın bir parçası olmaya başlamıştır. Bu konuda Turing Testi gibi yarışmalar düzenlenmekte ve yeni nesli bu alana yönlendirmektedir. Turing testinde birbiri ile henüz tanışmayan insanlardan oluşan denekler kendi aralarında ve yapay zeka temelli bir konuşma-diyalog sistemiyle konuşmaktadırlar. Konuşma sonunda denek grupları üzerinde oluşturdukları konuşmaların hangilerinin insan hangilerinin makine zekası olduğu sorulduğunda makine zekasının insan zekası olduğu zannedilmiştir. Bunun yanında insan zekasının ise makine zekası olduğu zannedilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle bilgisayarlı görme teknikleri kullanılarak yol üzerindeki trafik işaretlerinin ve lambalarının tanınması ve sınıflandırılması, ardından şerit tanıma ve viraj algılama çalışmaları yapılmıştır. Her iki çalışma için de iki ayrı sistem geliştirilmiştir. Bu sistemler otonom bir araç platformu için yapılmış olup birbirlerinden bağımsız olarak geliştirilmiştir.

### 1.1. Yapay Sinir Ağları

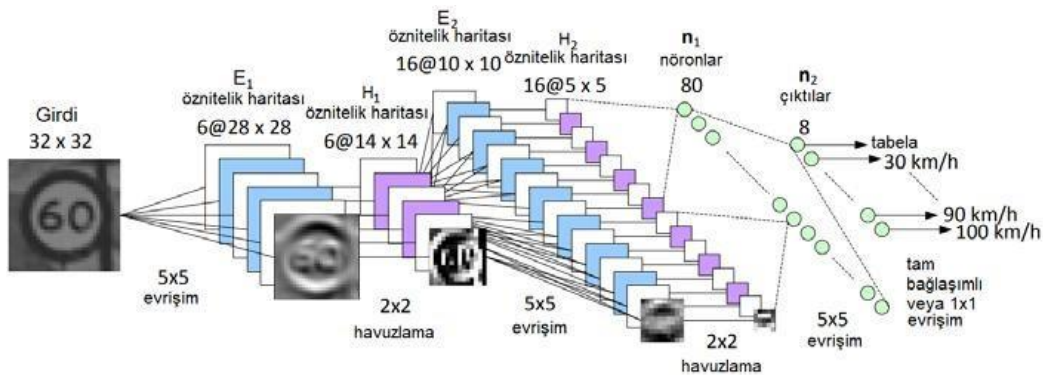
Şekil 1’de biyolojik bir nöron temel alınarak bu nöronun matematiksel uyarlaması gösterilmektedir. Nöron uçlarındaki dendritler uyarım sinyallerini toplar ve sonuç olarak bir çıktı üretirler. Üretilen çıktı aksonlar aracılığı ile sinapslara taşınır ve sistemdeki diğer nöronlar ile haberleşilir. Buradan hareketle sistemin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Yapay nöronda diğer nöronlardan gelen giriş verileri  $w_0, w_1$  ve  $w_2$  ağırlıklarıyla çarpıldıktan sonra toplanır ve bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilir. Aktivasyon fonksiyonundan sonra bir çıktı üretilir (Yavşan ve Ucar, 2015).



Şekil 1. Temel bir yapay sinir ağının gerçek ve matematiksel modeli

### 1.2. Evrişimsel/Konvolüsyon Sinir Ağları

Evrişimsel, bir diğer ifade ile konvolüsyon sinir ağı dijital bir resim veya görüntü üzerindeki farklı nesnelere tespit edebilen ve sınıflandırabilen bir derin öğrenme algoritmasıdır. Burada temel olan; resim üzerindeki nesnelerin algılanması, sınıflandırılması ve benzerliklerin kümelenmesidir. Şekil 2’de evrişimsel veya konvolüsyon sinir ağı modeli verilmiştir.

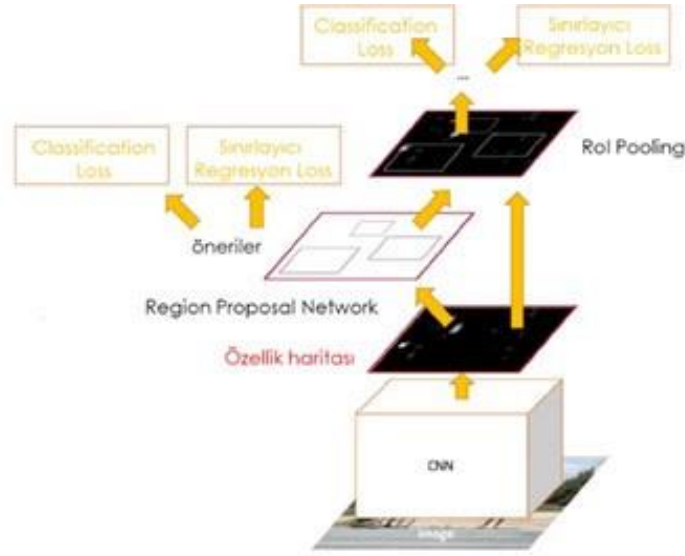


Şekil 2. Evrişimsel/Konvolüsyon sinir ağları modeli (NVIDIA, 2021)

Bir video görüntüsündeki nesne veya nesnelerin tanınması; sınıflandırma ve nesnenin konumunun belirlenmesi gibi pek çok işlemi içermektedir. Bu çalışmada trafik işaretlerinin ve lambalarının tanınması için Faster R-CNN yöntemi kullanılmış ve derin yapay sinir ağları ile gömülü Linux işletim sistemi üzerinde gerçek zamanlı nesne tanımlama yapılmıştır.

Bir görüntü üzerindeki nesnenin bulunduğu bölge için bölge bazlı evrişimli/konvolüsyon sinir ağı (CNN), gömülü Linux üzerinde GPU kullanarak CPU'lara göre daha hızlı hesaplama işlemi yaparak daha hızlı video işleme ve analiz yapabilmektedir. Bu hesaplamalarda ortalama hassasiyetin (mAP) videodaki görüntülerin sayısına ve resimlerdeki ışıklandırma karakteristiğine bağlı olduğu görülmüştür. Önceki çalışmalarda havanın güneşli, parlak ve kapalı olması arasında farkların olduğu görülmüştür (Simonyan ve Zisserman, 2015).

Evrişimsel bir diğer ifade ile konvolüsyon ağları, nesnelerin görsel olarak tanıma doğruluğunu artırmaktadır. Bunun yanında OverFeat (Sermanet ve diğerleri, 2014); nesnenin tanınması, sınıflandırılması ve konumlandırılması için sistem piramidinden oluşan konvolüsyon özelliklerini hesaplar. Bu çalışmada Faster R-CNN kullanılarak trafik işaretlerinin ve levhalarının daha doğru ve hızlı tanınması sağlanmıştır. Şekil 3'te Faster R-CNN ile sınıflandırma işlemi gösterilmektedir (Girshick, 2015).



Şekil 3. Faster R-CNN, ile nesnenin sınıflandırılması (Girshick, 2015)

## 2. Sistemin Genel Yapısı

Bu çalışmada gömülü Jetson Nano TX kontrol kartı üzerine gömülü Linux işletim sistemi kurulmuştur. Gömülü Linux üzerinde veri toplama ve anlık görüntü işleme yapılmıştır. Öncelikli olarak şahsi arabanın ön camına geniş açılı bir kamera yerleştirilmiş ve Konya ili içerisinde seyahat edilerek yollardaki işaret ve levhalardan bilgi alma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çekilen video görüntülerinde durak, girişi olmayan yol, sağa mecburi yön, park yasak, azami hız sınırı 20, ileri, azami hız sınırı 30 ve dur gibi trafik uyarı işaretleri ile trafik lambalarının belirlenmesi sağlanmıştır. Trafik veri setinin oluşturulması için elde edilen videolardan 14780 adet resim kullanılmış ve 15 farklı sınıflandırma yapılmıştır. Her bir sınıflandırma için 1000 adet resim kullanılmıştır. Makine öğrenmesi (ML) kullanılarak görüntülerin seçilmesi ve eğitilmesi sağlanmıştır (Binangkit ve Widyantoro, 2017).

Çekilen videodan alınan görüntülerdeki nesnelerin tanınması ve sınıflandırılması için video kareleri ayrı ayrı işlenmiş ve her birinin öznitelikleri çıkartılmıştır. Trafik lambalarının ve işaretlerinin algılanmasında sadece renkler ve dik açıdan bakış yeterli değildir. Bununla birlikte açısız bakış veya duruş ile güneşin karşıdan ve yanlardan gelmesi algılamayı olumsuz etkilemekte ve tanımlama oranını azaltmaktadır. Bu açıdan sadece standart renk bazlı öznitelik çıkarma yeterli olmayacaktır. Çözümün geliştirilmesi için birden fazla görüntü segmentasyon yöntemi kullanılmaktadır (Lasota ve Skoczylas, 2016). Araç hareket ederken trafik lambalarının temelde boyutları, rengi ve açısı değişmekte işaret ve levhalar yanlış anlaşılabilir nesnelere dönüşebilmektedir. Bu sebeple nesnenin doğru algılanması ve sınıflandırılması çok önemlidir.



filename	width	height	class	xmin	ymin	xmax	ymax
20hizsiniri_1061.jpg	640	352	twenty	286	109	364	201
20hizsiniri_1062.jpg	640	352	twenty	279	101	362	201
20hizsiniri_1063.jpg	640	352	twenty	282	105	359	205
20hizsiniri_1064.jpg	640	352	twenty	283	103	359	202
20hizsiniri_1065.jpg	640	352	twenty	284	103	361	207

**Şekil 4.** Etiketlenen nesnelere özelliklerinin tutulduğu csv dosyasının örneği

Etiketleme işlemlerinden sonra .xml olarak kaydedilmiş olan görüntü özelliklerini, TFRecord oluşturmak için .csv dosyasına çevrilmesi gerekmektedir. Dönüşüm uygulandıktan sonra model eğitiminde kullanılacak olan TFRecord dosyası oluşturulmaktadır.

## 2.1. Veri Setinin Oluşturulması ve Sınıflandırılma İşlemi

Trafik işaretlerinin ve trafik ışıklarının yerleştirildiği farklı ortamlar nedeniyle, yalnızca renk özelliğine dayalı tanıma, ağaçların varlığından veya insanların ürettiği gürültülerden dolayı ilgilenilen bölgelerin sınıflandırılmasını yapmak için yeterli değildir. Bundan dolayı renge dayalı tanıma yerine özellik haritasına dayalı Faster R-CNN algoritmasıyla tanıma gerçekleştirilmiştir. Faster R-CNN kullanarak derin sinir ağları sayesinde gerçek zamanlı nesne tanımaya yaklaşılmıştır (Ren, He, Girshick ve Sun, 2015).

Sunulan çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama veri setinin hazırlanmasıdır. İkinci aşama ise eğitim işlemidir. Veri setini oluşturmak için Konya trafiğinde bulunan ışıklar ve tabelalardan elde edilen fotoğraflar ve videolar kare kare resimlere dönüştürülüp depolanmıştır. Veri seti, farklı hava koşulları ve arka planlarda çeşitlendirilerek YSA modelinin doğruluk oranı artırılmıştır. Veri setindeki trafik işaretleri ve ışıkları, açık kaynak kodlu LabelImg programıyla etiketlenmiştir. Etiketlenen görüntüler .xml uzantısında bir dosya olarak kaydedilmektedir. Bu .xml dosyası içerisinde Şekil 4 üzerinde gösterildiği gibi görüntünün bulunduğu dosya ismi, görüntünün ismi, dosya konumu, görüntünün boyutları, class ismi olarak tanımlanan nesne ismi ve görüntü üzerinde etiketlenen nesnenin çerçeve değerlerinin bulunduğu bazı özellikler tutulmaktadır.

**Tablo 1.** Trafik işaretlerini tanıma doğruluk oranları

Trafik İşaretleri	Programdaki Kısaltma	Tanıma Oranı (%)
Kırmızı Işık	red	80
Yeşil Işık	green	92
Dur	stop	98
Durak	station	54
Park Yapmak Yasak	nopark	74
Girişi Olmayan Yol	close	76
İleri veya Sola Mecburi Yön	fol	96
İleri veya Sağa Mecburi Yön	for	96
Azami Hız Sınırı (30)	thirty	87
Azami Hız Sınırı (20)	twenty	89
Sola Dönüş Yasak	nol	90
Sağa Dönüş Yasak	nor	90
Park	park	85
Sola Mecburi Yön	left	65
Sağa Mecburi Yön	right	65

Eğitim işlemi için Faster R-CNN inception v2 coco 2018 01 28 modeli kullanılmıştır. Eğitim, 32GB Ram'li 8GB hafızalı NVIDIA QUADRO K5200 GPU ve 40 çekirdeğe sahip CPU'lu bir sunucuda 506.000 iterasyonda ve 3 gün süre ile gerçekleştirilmiştir. Buradaki eğitilen model Nvidia Nano ve NVIDIA GeForce GTX 960M olan bir dizüstü bilgisayarda denenmiştir. Tablo 1'de geliştirilen modelin tanıma doğrulukları verilmiştir. Şekil 5'te ise geliştirilen model ile başarılı bir şekilde tanınan trafik işaret ve lambaları gösterilmektedir.



Şekil 5. Geliştirilen tanıma sistemiyle başarılı bir şekilde algılanan trafik işaretleri ve lambaları

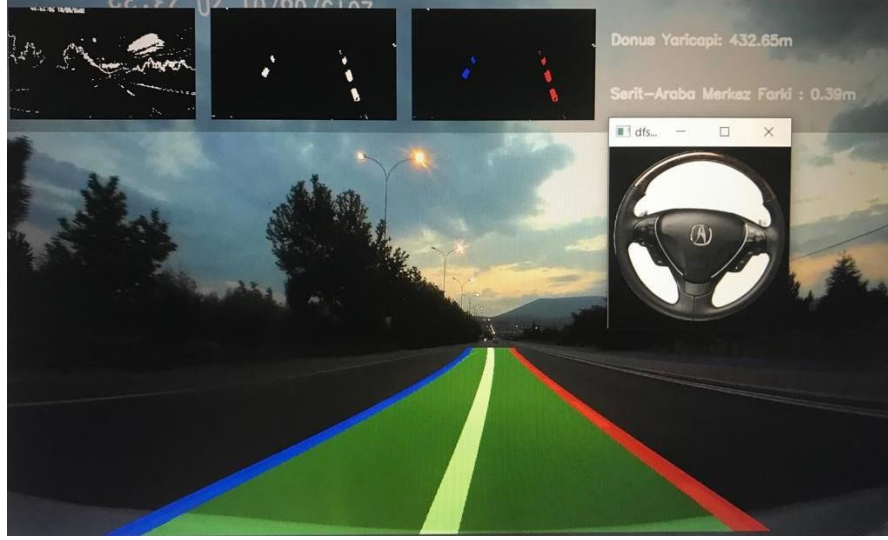
## 2.2. Şerit Tanıma ve Viraj Algılama Sistemi

Bu çalışmada trafik işaretçilerini tanıma sisteminin yanında Şekil 6'daki otonom araç platformu için şerit tanıma ve viraj algılama sistemi geliştirilmiştir. Yol sınırları veya şeritler, görüntü işleme teknikleri kullanılarak tanınmıştır. Sistemin geliştirilmesinde aynı trafik işaretçilerini tanıma sisteminde olduğu gibi yine şahsi araca monte edilen bir adet Jetson Nano geliştirme kartı ve bir adet kamera kullanılmıştır. Sistemin işleyişinde ilk olarak kameranın kalibrasyonu yapılmış ve ardından kamera üzerinden alınan görsel/ham veri düzeltilmiştir. Görseldeki gereksiz bilgileri kaldırmak için renk dönüşümleri ve sobel algoritması uygulanmıştır. Perspektif dönüşümle görselin kuşbakışı görüntüsü elde edilmiştir. Maskelemeyle yol sınırları veya şerit pikselleri belirlenip her şerit için en uygun eğriler oluşturulduktan sonra bu eğriler orijinal görsel aktarılmıştır. Bu sayede şerit tanıma işlemi gerçekleştirilmiştir. Tanınan şeritler üzerinden viraj açısı hesaplanmıştır.



Şekil 6. Şerit tanıma sisteminin kullanılacağı otonom araç

Şekil 7’de, geliştirilen şerit tanıma ve viraj algılama sisteminin test edildiği arayüz görülmektedir. Burada kameradan alınan görsel üzerinden üç şeritli yolun orta şeridi eş zamanlı olarak tanınmaktadır. Görseldeki kırmızı ve mavi çizgiler; orta şeridin sınırlarını, beyaz çizgi ise bu çizgilerden elde edilen ve viraj açısının hesaplanmasında kullanılan çizgiyi göstermektedir. Bu test görselinden gün ışığı yetersiz olmasına rağmen başarılı bir şerit tanınmanın ve viraj algılamanın yapıldığı görülmektedir.



Şekil 7. Şerit tanıma sisteminin testi

Otonom bir sürüş için viraj açısının ilgili aracın direksiyonuna iletilmesi gerekir. Fakat viraj açısı doğrudan aracın direksiyonuna iletilmez. Bu nedenle viraj açısı Şekil 6’daki aracın mekaniğine özel çeşitli formülasyonlarla direksiyon açısına dönüştürülmüştür. Direksiyon açısı, otonom sürüş için geri beslemeli kapalı çevrim kontrol sisteminin referansıdır. Böylece Şekil 6’daki aracın direksiyon hareketi, geliştirilen sistem üzerinden hesaplanan viraj açısının çeşitli formülasyonlarla direksiyon açısına dönüştürülmesi ve bu açının kapalı çevrim bir PID kontrolcüye referans girişi olarak verilmesiyle otonom olarak sağlanmıştır.

### 3. Sonuçlar

Akıllı otonom araçların trafikte güvenli bir şekilde seyredebilmesi için trafik işaretçilerinin yüksek doğrulukta tanınması gerekmektedir. Çeşitli algoritmaların birleştirilmesiyle tanıma doğruluğu artırılabilir. Bu çalışmada ilk olarak akıllı bir otonom araçta kullanılmak üzere Faster R-CNN tabanlı bir YSA modeli geliştirilerek trafik ışıkları ve levhaları etkili bir şekilde tanınmıştır. Ağın eğitimi ve testi için 14780 adet görüntü içeren özgün bir veri kümesi oluşturulmuştur. Görüntüler Konya ili içerisinde şahsi araca monte edilen kamerayla toplanmıştır. Video işleme gücünü arttırmak için 15 fps hızında GPU kullanılmıştır. Veri kümesi; dur, durak, park, park yasak, sola dönüş yasak, sağa dönüş yasak, girişi olmayan yol, ileri veya sola mecburi yön, ileri veya sağa mecburi yön, sola mecburi yön, sağa mecburi yön, azami hız sınırı “20”, azami hız sınırı “30” trafik işaretleri ve trafik ışığını iki sınıfta inceleyen kırmızı ve yeşil ışık görüntüleri olmak üzere 15 sınıfta toplanmıştır. Veri kümesinin özellik haritası oluşturulduktan sonra ağ eğitilmiş ve %90’a varan doğruluk elde edilmiştir. İkinci olarak yine aynı otonom araç için şerit tanıma ve viraj algılama sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemle araca monte edilen kameradan alınan görsellerle eş zamanlı olarak viraj açısı hesaplanmaktadır. Hesaplanan viraj açısı, aracın direksiyon açısına dönüştürülerek PID kontrolcü üzerinden aracın otonom sürüşü sağlanmıştır.

### Referanslar

- Binangkit, J. L. ve Widyantoro, D. H. (2017). Increasing accuracy of traffic light color detection and recognition using machine learning. *Proceeding of 2016 10th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications, TSSA 2016: Special Issue in Radar Technology* içinde . doi:10.1109/TSSA.2016.7871074
- Girshick, R. (2015). Fast R-CNN. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* içinde . doi:10.1109/ICCV.2015.169
- Lasota, M. ve Skoczylas, M. (2016). Recognition of multiple traffic signs using keypoints feature detectors. *Proceedings of the 2016 International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, EPE 2016* içinde . doi:10.1109/ICEPE.2016.7781397

NVIDIA. (2021). Convolutional Neural Network (CNN). 11 Ağustos 2021 tarihinde <https://developer.nvidia.com/discover/convolutional-neural-network> adresinden erişildi.

Ren, S., He, K., Girshick, R. ve Sun, J. (2015). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. *Advances in Neural Information Processing Systems* içinde .

Sermanet, P., Eigen, D., Zhang, X., Mathieu, M., Fergus, R. ve LeCun, Y. (2014). Overfeat: Integrated recognition, localization and detection using convolutional networks. *2nd International Conference on Learning Representations, ICLR 2014 - Conference Track Proceedings* içinde .

Simonyan, K. ve Zisserman, A. (2015). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015* içinde .

Yavşan, E. ve Ucar, A. (2015). Teaching human gestures to humanoid robots by using Kinect sensor. doi:10.1109/siu.2015.7130053



## Sıvı Hidrojen ve Sıvı Oksijen ile Çalışan bir Roket Motorunun Rejeneratif Soğutma Analizi

### Regenerative Cooling Analysis of Rocket Engine Operated by Liquid Hydrogen and Liquid Oxygen

Safa Korkmaz<sup>1</sup>, Hayri Yaman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Milli Savunma Bakanlığı, Posta Kodu ve Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Kırıkkale Üniversitesi Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojisi Bölümü, 71450 ve Kırıkkale, Türkiye

Başvuru/Received: 07/10/2021

Kabul / Accepted: 25/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

#### Öz

Sıvı yakıtlı roket motorları yüksek yanma sıcaklıklarında uzun süre çalışmaları nedeniyle soğutulmaları gerekmektedir. Sıvı yakıtlı roket motorlarında soğutma sistem tasarımı en önemli konuların başında gelmektedir. Çünkü roket motorları çalışma esnasında 2500-3500 K sıcaklığa maruz kalmakta ve bu sıcaklık aralığı çoğu metalin ergime sıcaklığının üzerindedir. Sıvı yakıtlı roket motorlarının kararlı ve güvenli bir yapıda çalışması için farklı soğutma teknikleri uygulanmaktadır. Genellikle sıvı yakıtlı roketlerde rejeneratif soğutma yöntemi kullanılmaktadır. Bu çalışmada 100 kN itki üreten bir sıvı oksijen ve sıvı hidrojen ile çalışan roket motorunun rejeneratif eş eksen soğutma sistemi ve roketin yüksek sıcaklığa maruz kalan kısımları zirkonya (ZrO<sub>2</sub>) kaplamalı tasarımı yapılmıştır. Tasarımı yapılan roket yedi bölgeye ayrılmış ve soğutma analizi RPA programı aracılığı ile nümerik olarak yapılmıştır. Soğutma kanalına 23.75 MPa basınçta ve 45 K sıcaklıkta giren sıvı hidrojenin 23.095 MPa ve 141.21 K sıcaklıkta kanaldan çıkması ile karalı soğutma koşulunun sağladığı görülmüştür.

#### Anahtar Kelimeler

“Sıvı Yakıtlı Roket, Rejeneratif Soğutma, Analiz”

#### Abstract

Liquid fueled rocket engines have to be cooled due to their long-term operation at high combustion temperatures. Cooling system design is one of the most important issues in liquid fueled rocket engines since rocket engines are exposed to 2500-3500 K temperature during operation and this temperature range is above the melting temperature of most metals. Different cooling techniques are applied for the safe and stable operation of liquid fueled rocket engines. Generally, regenerative cooling method is used in liquid fueled rockets. In this study, the regenerative coaxial cooling system was designed for rocket engine which produces 100 kN thrust with liquid oxygen and liquid hydrogen. The parts of the rocket exposed to high temperatures were coated with zirconium oxide (ZrO<sub>2</sub>). Numerical analysis of rocket was carried out through the RPA program by dividing into seven zones. It was observed that liquid hydrogen entering the cooling channel at 23.75 MPa pressure and 45 K temperature provides stable cooling conditions with the output of 23.095 MPa and 141.21 K temperature.

#### Key Words

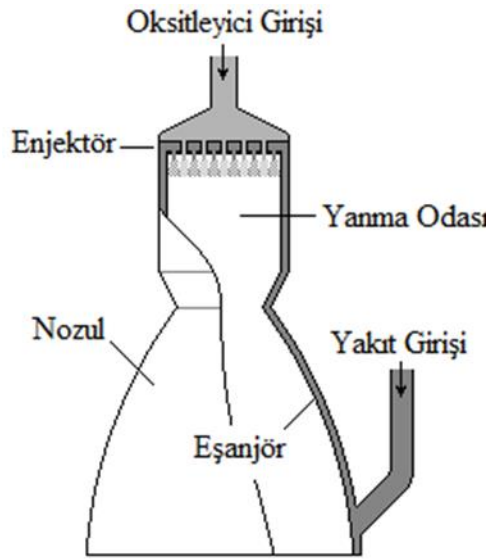
“Liquid Propellant Rocket, Regenerative Cooling, Analysis”

## 1. Giriş

Sıvı yakıtlı roket motorları; oksitleyiciyi ve yakıtı sıvı formda kullanan kimyasal roket motorlarıdır (Sutton ve Biblarz, 2016). Roketlerin tahriki için gerekli enerji, roket yakıtlarının bünyesinde bulunan kimyasal enerjinin kinetik enerjiye çevrilmesiyle sağlanır. Kimyasal yakıtın roket yanma odasında yüksek basınç altında yakılması esnasında ortaya çıkan gazın sıcaklığı 4500 K kadar yükselebilmektedir. Yüksek basınç ve sıcaklıkta üretilen gaz nozul vasıtasıyla yüksek hız kazandırılarak roketten dışarı atılması ile itki kuvveti üretilmektedir (Ward, 2010).

Sıvı yakıtlı roketlerde yanma sıcaklıkları genellikle 2500-3500 K arasında değişmekte ve buna karşın birçok metalin ergime noktası 2000 K altında kalmaktadır. Bu sebepten dolayı sıvı yakıtlı roketlerin yanma odası ve nozulun soğutulması gerekmektedir. Kısa süreli operasyonlar için soğutma sistemi yerine ısı kuyusu olarak görev yapan yeterince kalın yanma odası duvarı kullanılabilir. Uzun süreli operasyonel çalışmalarda ise bir soğutma sistemi kullanılmalıdır (Huang ve Huzel, 1971; Turner, 2006).

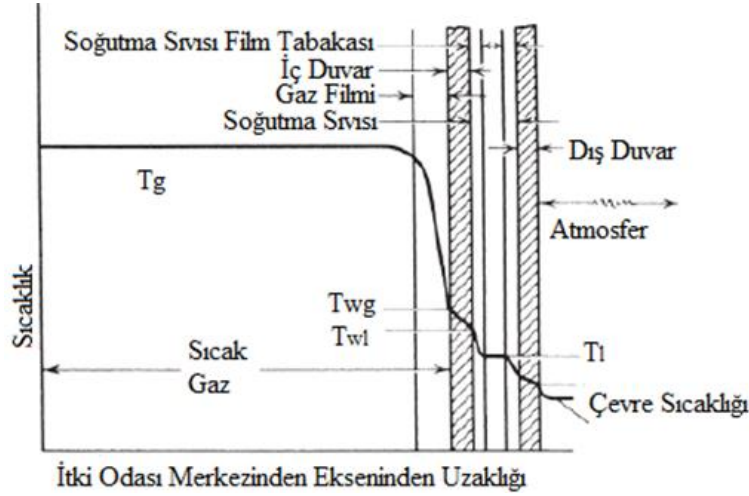
Yakıt veya yakıtla oksitleyicinin birlikte, enjektöre gönderilmeden önce nozul ve yanma odası duvarlarının içinde bulunan soğutma kanallarından dolaştırılmaktadır. Soğutucu sıvı yakıt, taşınım yoluyla ısı transferi yaparak yanma olayında meydana gelen ısıyı emmekte ve duvar sıcaklıklarını istenen seviyede tutmaktadır (Kim vd, 2014; Song ve Sun, 2016). Bu olaya rejeneratif soğutma denilmektedir. Roketlerde en yaygın biçimde kullanılan soğutma sistemidir. Yüksek özgül itki ve kimyasal kararlılık istenen yüksek sıcaklık ve basınç uygulamalarında kullanılmaktadır. Şekil 1'de rejeneratif soğutma sisteminin şematik gösterimi verilmiştir (Dhara vd, 2020; Sichler vd, 2018).



Şekil 1 Rejeneratif soğutma sisteminin şematik gösterimi

## 2. Materyel ve Metod

Sıvı yakıtlı roket motorları yüksek yanma sıcaklıklarına ve uzun süre çalışmaları nedeniyle soğutulmaları gerekmektedir (Ulas ve Boysan, 2013). Roket motorlarında yanma sıcaklığı birçok metalin erime sıcaklığından yüksektir. Bu yüzden roket motorlarının düzgün bir şekilde çalışmasına devam için soğutma sistemi hayati bir rol üstlenmektedir. Sıvı yakıtlı roketlerde genellikle rejeneratif soğutma yöntemi kullanılmaktadır. Roket motorlarında ısı transfer mekanizması Şekil 2'de görüldüğü gibi sırasıyla sıcak gazlardan roket motor duvarının iç kısmına ardından roket motor duvarı aracılığı ile roket motor duvarı soğutucu yüzeyine son olarak soğutma sıvısına doğru gerçekleşmektedir.



Şekil 2 Soğutucu sıvı ile soğutulan roket motorunun ısı transfer mekanizması

Gaz tarafından roket motoru iç duvarına ısı transferi Denklem 1 ile gösterilmektedir. Burada  $q$  ısı akısı,  $h_g$  ısı transfer katsayısı,  $T_g$  gaz sıcaklığını ve  $T_{wg}$  roket motoru iç duvar sıcaklığını ifade etmektedir.

$$q = h_g(T_g - T_{wg}) \quad (1)$$

Raket motorunu iç duvarı boyunca ısı transferi Denklem 2 ile gösterilmektedir.  $\kappa$  duvar malzemesinin termal iletkenlik katsayısını ve  $T_{wl}$  soğutma sıvısı tarafındaki roket motor duvar sıcaklığını ifade etmektedir.

$$q = \frac{\kappa}{t_w}(T_{wg} - T_{wl}) \quad (2)$$

Raket motor duvarından soğutma sıvısına doğru ısı transferi denklem 3'te olduğu gibi ifade edilmektedir. Soğutma sıvısı ısı taşınım katsayısı  $h_l$  ile gösterilmektedir ve  $T_l$  ise soğutma sıvısı sıcaklığıdır.

$$q = h_l(T_{wl} - T_l) \quad (3)$$

Denklem 1, 2 ve 3 birlikte tekrar yazıldığı zaman Denklem 4 elde edilmektedir.

$$q = \frac{(T_g - T_l)}{1/h_g + t_w/\kappa + 1/h_l} \quad (4)$$

Gaz tarafında ısı transfer katsayısı  $h_g$  Bartz kolerasyonu kullanılarak Denklem 5'ten hesaplanabilmektedir.

$$h_g = \left[ \frac{0.026}{D_t^{0.2}} \left( \frac{\mu^{0.2} c_p}{Pr^{0.6}} \right) \left( \frac{P_{c,g}}{c^*} \right)^{0.8} \left( \frac{D_t}{R} \right)^{0.1} \left( \frac{A_t}{A_x} \right)^{0.9} \right] \lambda \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{1}{\left[ 0.5 \left( \frac{T_{wg}}{T_g} \right) \left( 1 + \frac{k-1}{2} M_g^2 \right) + 0.5 \right]^{0.68} \left[ 0.5 + \frac{k-1}{2} M_g^2 \right]^{0.12}} \quad (6)$$

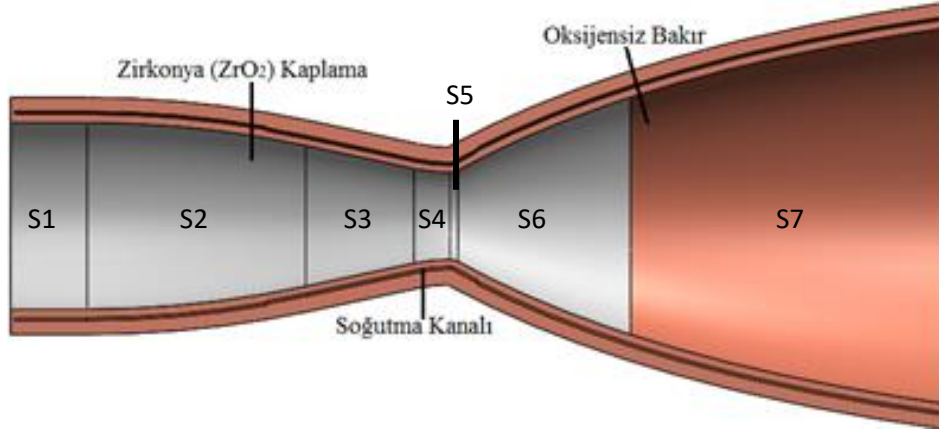
Denklem 5 ve 6 da  $\mu$  viskoziteyi,  $Pr$  Prantl sayısını,  $M_g$  mol ağırlımını ifade etmektedir. Prantl sayısı boyutsuz bir sayıdır ve momentum yayılımının termal yayılım oranına eşittir.  $R$  nozul boğaz ortalama yarıçapıdır.

Sıvı yakıtlı roket motorunun rejeneratif soğutma analizi Rocket Propulsion Analysis (RPA) programı ile gerçekleştirilmiştir. Alexander Ponomarenko tarafından geliştirilen RPA programı, roket motorlarının performans tahmini ve optimizasyonu için kullanılan bilgisayar destekli bir programdır (Munk vd, 2022). Roket motorlarının tasarımı ve analizi az sayıda parametre girilerek yapılabilmektedir. Bu sayede hem zaman hem de maliyet açısından üstün ve doğru sonuçların elde edilmesi sağlamaktadır (Ponomarenko, 2009, 2012). Sıvı Hidrojen - Sıvı Oksijen ile çalışan 100 kN'luk roket için duvar malzemesi olarak yüksek termal iletkenliğe sahip olan oksijensiz bakır seçilmiştir. Oksijensiz bakırın erime sıcaklığı 1350 K ve termal iletkenliği 390 W/m.K'dir.. Soğutma sistemi olarak rejeneratif soğutmayla birlikte roket iç yüzeyine termal bariyer kaplanması seçilmiştir. Termal bariyer malzemesi olarak yüksek sıcaklığa dayanıklı zirkonya ( $ZrO_2$ ) seçilmiştir. Zirkonyanın erime sıcaklığı 3000 K ve termal iletkenliği 3 W/m.K'dir. Soğutma sıvısı olarak Sıvı Hidrojen kullanılmaktadır. Rejeneratif soğutma kanalının boşluğu 2 mm olarak belirlenmiştir.

**Tablo 1** Soğutma sistemini kademelerinin parametreleri

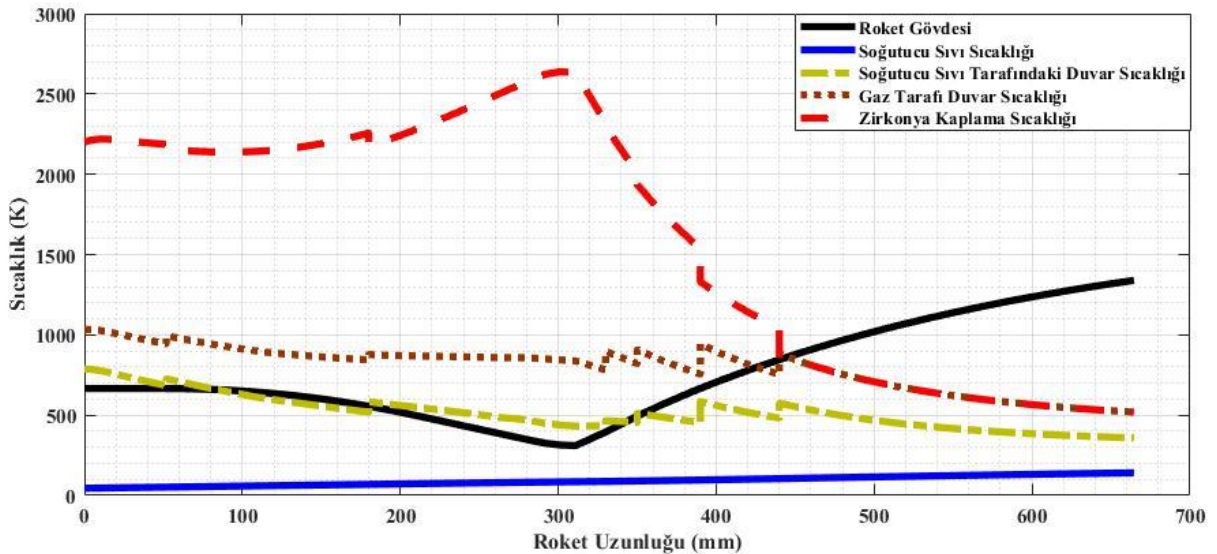
Soğutma Aşamaları	Enjektöre Olan Uzaklığı (mm)	Termal Bariyer Kalınlığı (mm)	İç Duvar Kalınlığı (mm)
s1	0	0.22	6
s2	51.84	0.2	6
s3	180	0.17	5
s4	330	0.15	6
s5	350	0.12	6
s6	390	0.05	6
s7	440	0	6

. Roketin soğutulması 7 aşamada sırasıyla s1'den s7'ye doğru yapılmıştır. Tablo 1'de soğutma aşamalarının parametrelere gösterilmektedir. Tablo 1'deki parametrelerle oluşturulan roket soğutma sisteminin kesit görünümü Şekil 3'te görülmektedir.

**Şekil 3** Roket soğutma sistemi kesit görünüşü

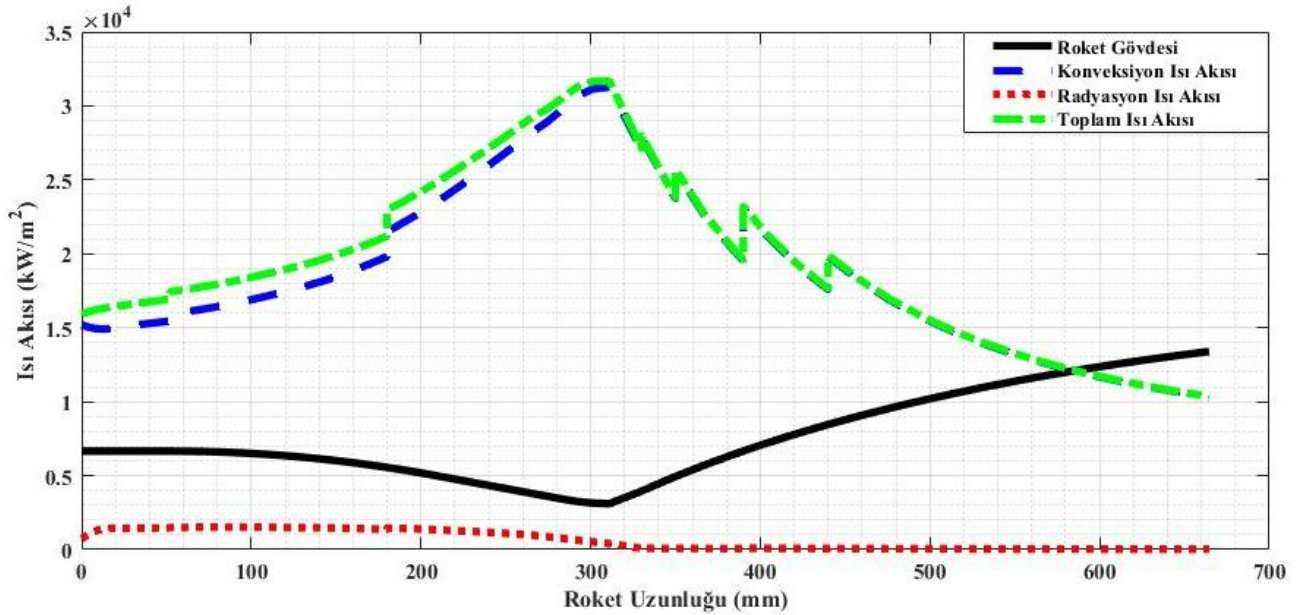
### 3. Bulgular

RPA programı ile soğutma sistemi analiz edildiğinde roket duvarlarındaki sıcaklık değerleri Şekil 4'de verilmiştir. Soğutma sıvısı soğutma kanalına 23.75 MPa basınçla girmektedir ve 20.95 MPa basınçla çıkmaktadır. Soğutma sıvısının kütsel debisi 4.33 kg/s 'dir. Roket geometrisi boyunca zirkonya kaplama sıcaklığı 2638.24 K ile enjektörden 301.25 mm uzaklığında görülmüştür. Sıcak gaz tarafı duvar sıcaklığı en yüksek 1032.87 K iken duvar boyunca sıcaklık 1000 K altındadır. Soğutucu sıvı tarafındaki duvar sıcaklığı en yüksek 787.79 K olarak yanmanın başladığı lokasyonda meydana gelmiştir.

**Şekil 4** Roket malzemesi sıcaklık grafiği



Roket boyunca ısı akısı dağılım grafiği Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekil 5 incelendiğinde en yüksek ısı akısı beklenildiği gibi yüzey alanının minimum olduğu nozul boğazında olmuştur.



Şekil 5 Soğutma sistemini ısı akısı dağılım grafiği

Yapılan çalışma ile optimum soğutma için uygun yakıt debisi vasıtasıyla roketin herhangi bir problem yaşamadan çalışabilirliği belirlenmiştir. Kritik bölgelere zirkonya kaplaması ile yüksek sıcaklığa dayanımlı yapı oluşturulmuştur. Ayrıca yüksek ısıl iletkenliğe sahip olan oksijensiz bakır kullanımı sayesinde iyi bir ısı transferi ile roketin emniyetli çalışma koşulları sağlanmıştır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada co-axial (eş eksenli) rejeneratif soğutma sistem tasarımı ve analizi yapılmıştır. Roket itki odası malzemesi olarak yüksek mukavemet ve ısıl iletim özelliklerinden dolayı oksijensiz bakır seçilmiştir. Oksijensiz bakırın sıcaklığa bağlı olarak deformasyon, çarpılma ve erimesini engellemek için roket gövdesinin yüksek sıcaklığa maruz kalan kısımları zirkonya seramik malzemesi ile kaplanmıştır. Soğutma yedi kademe kullanılarak en efektif şekilde yapılmıştır. Soğutma sıvısı olarak roketin aynı zamanda yakıt olarak kullanılan sıvı hidrojen seçilmiştir. Soğutucu olarak kullanılan sıvı hidrojen, roketin soğutulması sonrası dışarı atılacak enerjiyi üzerine alarak yanma odasına rejeneratif kazançla gelmektedir. Böylece sıvı yakıtlı roket daha verimli çalışmaktadır. Bu roketin 45 K sıcaklık ile soğutma kanalına verilen sıvı hidrojen 141.21 K sıcaklığa çıkarak yanma odasına girdiği tespit edilmiştir.

#### Referanslar

- Dhara, A., Kishan, P. M. ve Kannah, V. V. (2020). Design of Regenerative Cooled Cryogenic Rocket Engine.
- Huang, D. H. ve Huzel, D. K. (1971). Design of Liquid Propellant Rocket Engines Second Edition.
- Kim, S.-K., Joh, M., Choi, H. S. ve Park, T. S. (2014). Multidisciplinary Simulation of a Regeneratively Cooled Thrust Chamber of Liquid Rocket Engine: Turbulent Combustion and Nozzle Flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 70, 1066–1077.
- Munk, D. J., Selzer, M., Seiler, H., Ortelt, M. ve Vio, G. A. (2022). Analysis of a transpiration cooled LOX/CH4 rocket thrust chamber. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 182, 121986.
- Ponomarenko, A. (2009). RPA: Design tool for liquid rocket engine analysis.
- Ponomarenko, A. (2012). Thermal analysis of thrust chambers. *Software Manual, RPA: Tool for Rocket Propulsion Analysis*.
- Sichler, E., Montes, J. D. ve Chandler, F. O. (2018). One Dimensional Thermal Steady State Analysis and Procedure for a Low-Pressure Liquid Oxygen and Liquid Methane Rocket Engine. *2018 Joint Propulsion Conference* içinde (s. 4602).
- Song, J. ve Sun, B. (2016). Coupled Numerical Simulation of Combustion and Regenerative Cooling in LOX/Methane Rocket Engines. *Applied Thermal Engineering*, 106, 762–773.
- Sutton, G. P. ve Biblarz, O. (2016). *Rocket propulsion elements*. John Wiley & Sons.

Turner, M. J. L. (2006). *Rocket and Spacecraft Propulsion* (2. bs.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Ulas, A. ve Boysan, E. (2013). Numerical analysis of regenerative cooling in liquid propellant rocket engines. *Aerospace Science and Technology*, 24(1), 187–197.

Ward, T. A. (2010). *Aerospace propulsion systems*. John Wiley & Sons.



## WE43 Magnezyum Alaşımlarının RF Sıçratma Yöntemi ile Tantal-Oksit Kaplanması ve Karakterizasyonu

### Tantalum-Oxide Coating and Characterization of WE43 Magnesium Alloys by RF Sputtering Method

Canser Gül<sup>1</sup> , Sevda Albayrak<sup>2</sup> , Hanifi Çinici<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Manisa, Türkiye

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Ankara, Türkiye

Başvuru/Received: 07/10/2021

Kabul / Accepted: 25/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

#### Öz

Magnezyum alaşımları yüksek özgül dayanımları nedeni ile otomotiv ve havacılık sektörlerinde sıklıkla kullanılan alaşımlardır. Alaşımların aşınma ve korozyon dayanımlarını arttırmaya yönelik yoğunlaşan çeşitli çalışmalar sürdürülmektedir. Yapılan çalışma, WE43 magnezyum alaşımının tantal-oksit ile kaplanması ve karakterizasyonunu içermektedir. WE43 magnezyum alaşımına RF sıçratma yöntemi ile tantal-oksit kaplamalar uygulanmıştır. Kaplama işlemi öncesi yüzeylere uygulanan asit aşındırma işleminin etkisini gözlemleyebilmek amacıyla, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HCl asit karışımları kullanılmış ve numuneler asit ile 25, 45, 65 ve 85 °C’de parlatma sonrası asit aşındırma işlemine tabi tutulmuştur. Uygulanan asit aşındırma işlemlerinin kaplanmış yüzeylere etkileri çalışma kapsamında incelenmiştir. Uygulanan işlemlerin kaplama öncesi yüzey morfolojisine, yüzey ile kaplama tabakası arasında oluşan metalürjik bağa ve kaplama sonrası yüzey özelliklerine olan etkileri taramalı elektron mikroskobu, enerji dağılım spektroskopisi, X-ışını taraması ve kesitten alınan kaplama kalınlık ölçümleri ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda, kaplama öncesi yüzeylerde farklılıklar olduğu, çatlaklı ve aşınmış alanlar gözlemlendiği ve buna rağmen yüzeylerde çatlaksız/gözeneksiz, sürekliliği olan ve homojen kaplama tabakaları elde edildiği tespit edilmiştir. Uygulanan yüzey işlemleri yüzey kimyasında ve morfolojisinde çeşitli değişikliklere neden olmuştur. Kaplama kalınlıkları 2,52±0,02 µm olarak elde edilmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“Magnezyum, Kaplama, Tantal-oksit, Karakterizasyon”

#### Abstract

Magnesium alloys are frequently used in the automotive and aerospace industries due to their high specific strength. Various studies are carried out to increase the wear and corrosion resistance of alloys. The study includes the coating and characterization of WE43 magnesium alloys, with tantalum-oxide. Tantalum-oxide coatings were applied to WE43 magnesium alloy by RF sputtering method. In order to observe the effect of acid etching applied to the surfaces before the coating process, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and HCl acid mixtures were used and the samples were subjected to acid etching after polishing at 25, 45, 65 and 85 °C, with in contact with the acid. The effects of the applied acid etching processes on the coated surfaces were investigated within the study. The effects of the applied processes on surface morphology before coating, the metallurgical bond formed between the surface and coating layer and the surface properties after coating were investigated by scanning electron microscopy, energy distribution spectroscopy, X-ray scanning and coating thickness measurements taken from the cross section. As a result, it was determined there were differences in the surfaces before the coating, cracked and worn areas were observed, and nevertheless, crack-free/non-porous, continuous and homogeneous coating layers were obtained on the surfaces. The applied surface treatments caused changes in the surface chemistry and morphology. Coating thicknesses were obtained as 2.52±0.02 µm.

#### Key Words

“Magnesium, Coating, Tantalum-oxide, Characterisation”

## 1. Giriş

En hafif yapı malzemelerinden biri olan magnezyum (yaklaşık 1,7 g/cm<sup>3</sup>), alüminyumun (yaklaşık 2,7 g/cm<sup>3</sup>) 2/3'ü kadardır. WE43 Mg alaşımı, özellikle 250°C'ye kadar kullanılabilen yüksek mukavemetli Mg alaşımları grubundadır (Ignat vd., 2004; Kubasek vd., 2019). İtiryum (Y, ağırlık %3,42) ile Neodimyum (Nd, ağırlık %2,42) nadir toprak elementlerini bünyesinde barındırmakta olup (Zucchi vd., 2006), mukavemetleri 350-400 MPa kadardır (Antion vd., 2003). Bu alaşımın en önemli avantajı düşük yoğunluğuna rağmen üstün performans sergilemesidir. Bu özelliği sayesinde havacılık ve uzay araçlarında, otomotiv sektöründe tercih edilmektedir. Ayrıca bu sektörlerin yanı sıra mükemmel biyouyumlulukları ve mekanik uyumlulukları nedeni ile bozunabilir vidalar, plakalar ve hatta stentler olarak da biyomalzeme alanında kullanımı mevcuttur ve yapısında bulunan Y ve Nd elementlerinin sağladığı koruyucu tabaka sayesinde diğer Mg alaşımlarına kıyasla çok daha iyi bir korozyon dayanımı sergiler (Kubasek vd., 2019; Cao vd., 2016; Byun vd., 2020). Her ne kadar diğer Mg alaşımlarına göre daha iyi korozyon dayanımına sahip olsa da Cl<sup>-</sup> ve F<sup>-</sup> iyonları içeren ortamlardaki uygulamalar için pek tercih edilmemektedir. Bu ortamlarda ortaya çıkan korozyon, malzemenin bozunarak işlevini yitirmesine sebep olmaktadır (Pereira vd., 2021). Mg, oksidasyon işlemi sırasında yüzeyde film oluşturacak olsa da filmin ince olması ve kompakt olmaması nedeniyle korozyon direncinin geliştirilmesi son derece sınırlıdır. Ancak özellikle kaplama, alaşımlama ve ısıtma işlemi ile Mg alaşımlı ürünlerin korozyon direncini arttırmak mümkündür (Hänzi vd., 2009; Yang vd., 2020; Höhlinger vd., 2017). Tantal elementi ise biyomedikal, optik, kimya, endüstriyel uygulamalarda korozyon dayanımı sağlamak için kullanılan, yüksek korozyon dayanımına sahip bir elementtir. (Gül vd., 2020; Chen vd., 2019; Chang vd., 2014). α-Mg matrisi (anot) ve ikincil fazlar (katotlar) arasında oluşan farklı elektrot potansiyelleri nedeniyle, Mg alaşımları galvanik korozyona karşı oldukça hassastır, bu nedenle Mg alaşımlarında yerel korozyon sıklıkla gözlenir ve bu da Mg alaşımlarının korozyon direncinin düşmesine neden olur (Cao vd., 2016).

Yapılan çalışmanın amacı magnezyum ve alaşımları üzerinde çatlaksız ve homojen bir kaplama eldesinin sağlandığı kaplamalar oluşturmak ve birçok avantaja sahip bu alaşım gruplarının yüzey özelliklerinin geliştirilerek uygulamalarda kullanılabilirliğinin artırılmasıdır. Bu amaçla seyreltilmiş H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HCl asit karışımı ile farklı sıcaklıklarda uygulanan yüzey aşındırma işlemi sonrası RF sıçratma yöntemi ile tantal oksit kaplanan yapıların morfolojisine olan etkisi incelenmiştir. 25, 45, 65 ve 85 °C sıcaklıklarda 5'er dakika süre ile bekletilen WE43 Mg alaşımları kaplanmış ve karakterize edilmiştir. İncelemeler, yüzeyden ve kesitten yapılan taramalı elektron mikroskop görüntülemelerini, elektron dağılım spektrum ölçümlerini ve X-ışını kırınımı taramalarını kapsamaktadır.

## 2. Malzeme ve Metot

WE43 alaşımı (Kimyasal Bileşim % ağırlık: 2.5–3.5% Nd, 1.4–4.2% Y, <1% (Fe, Al, Zn, Ni, Mn, Cu, Zr ve kalan Mg) 50mm uzunluk ve 20 mm çapında silindirik ekstrüze çubuk şeklinde temin edilmiştir. Alaşım çubuk 4 mm kalınlıklarda dilimlenmiştir. Numunelerin enine kesitleri 2500 gride kadar SiC zımpara kâğıtları ile zımparalanmış ve sonrasında yağ bazlı parlatma solüsyonları ile parlatılmıştır. Parlatma işlemi sonrası uygulanan asit ile aşındırma işlemlerinde H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HCl asit karışımı kullanılarak 25, 45, 65 ve 85 °C sıcaklıklarda 5'er dakika bekletilmesi suretiyle yüzeylerin aktif hale getirilmesi sağlanmıştır. Daha önce yapılan çalışmada da yüzeylerin asit ile muamele edilmesinin yüzey morfolojilerine olumlu etkileri tespit edildiğinden bu çalışma için de bu prosedürler uygulanmıştır (Gül ve Albayrak, 2021). Kaplama öncesi yüzey pürüzlülükleri Manisa Celal Bayar Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne ait SurfTest SJ 410 yüzey profilometresi ile ölçülmüştür.

Kaplama işlemleri Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan OptoSense KYKY RF sıçratma cihazında 1 mm kalınlıkta Cu altlıklı %99,9 saflıkta Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hedef kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaplamalar 10 cm mesafeden 10<sup>-3</sup> Pa basınç kullanılarak 20 SCCM Ar gaz akışı altında gerçekleştirilmiştir. 200W güç kullanılmış ve kaplama süresi 90 dakika olacak şekilde ayarlanmıştır.

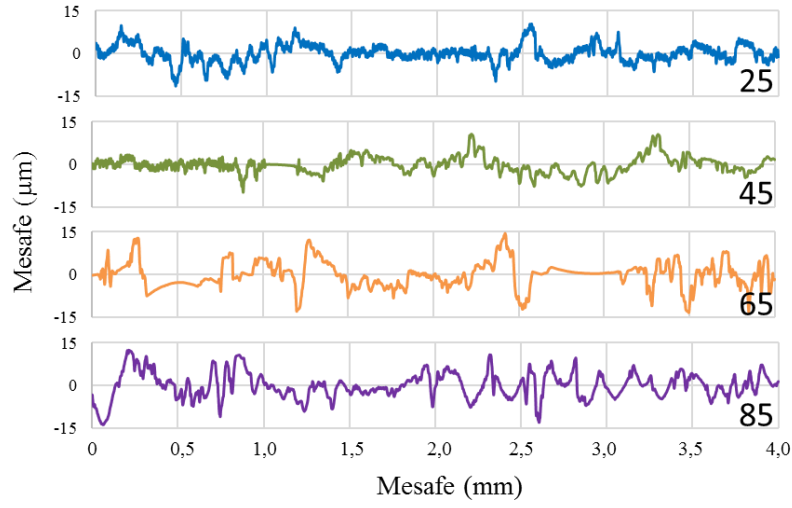
Numunelerin yüzeylerinin morfolojik incelemelerinde, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Merkez Laboratuvarı DEFAM'da bulunan Zeiss Marka Gemini Sigma 300VP Modelli taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde bulunan Sigma JEOL JSM 6060 LV Modelli taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Görüntüler 5-10 kV hızlandırma gerilimleri kullanılarak çeşitli büyütmelerde alınmıştır. Kaplama kalınlık ölçümleri 5 kV hızlandırma gerilimi ile 2500X büyütme kullanılarak, kırık kesitten alınmıştır. Kaplama sonrası alınan EDS spektrumu yüzeyden genel olarak alınmış olup 500X büyütmede 15 kV voltaj kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında, Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği XRD Laboratuvarında Bruker D8 marka ve modeli X-ışını kırınımı (XRD) cihazı kullanılarak saniyede 0,15° derece tarama hızında CuKα (λ=1,5418 Å) ışını ile, 40 mA akım ve 40 V voltaj kullanılarak 10-90° 2θ arasında ölçümler gerçekleştirilmiştir. XRD analizi sonucu elde edilen karakteristik pikler analiz edilerek oluşan fazlar tespit edilmiştir.

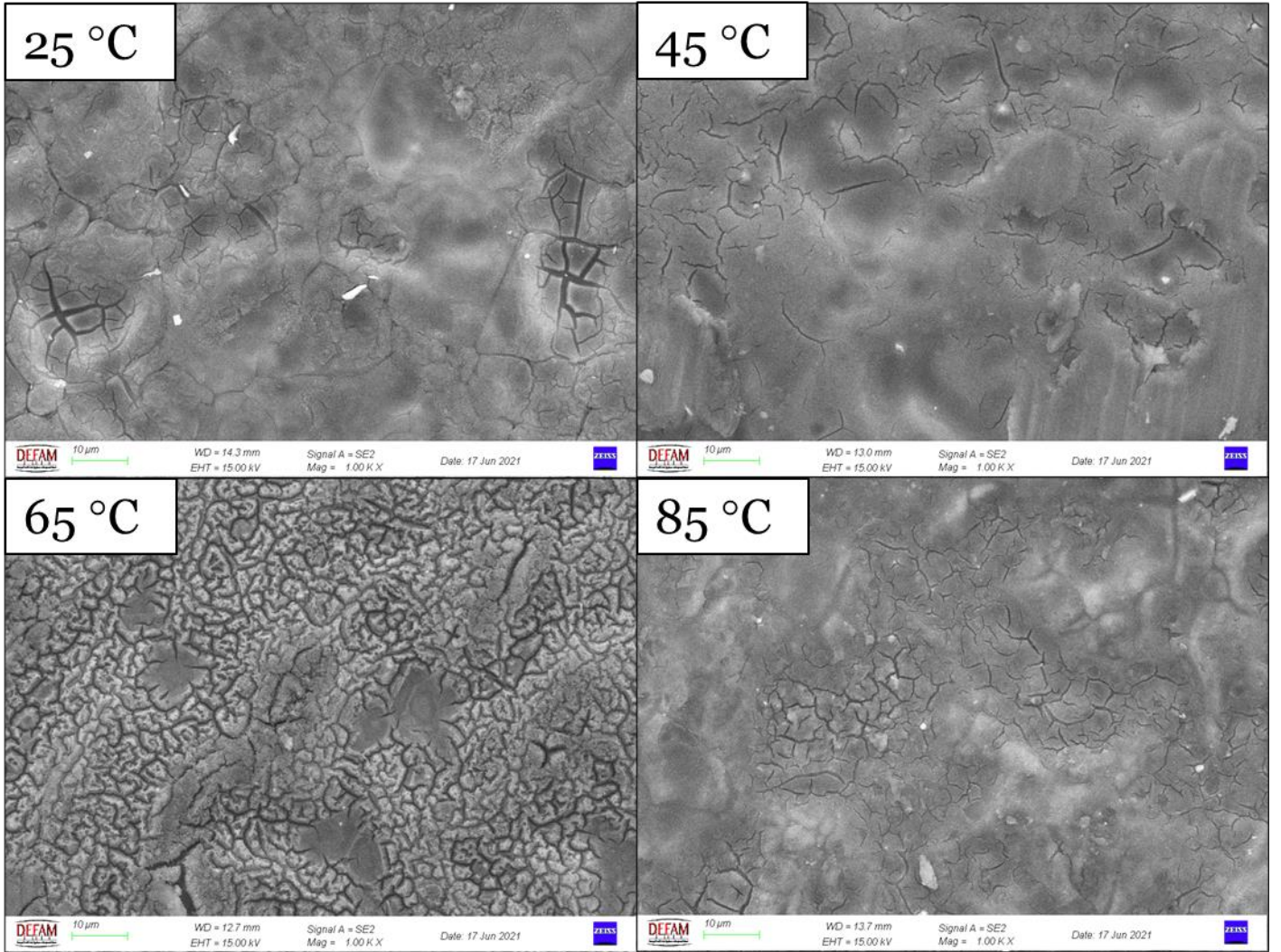
## 3. Bulgular

Kaplama işlemi öncesi farklı sıcaklıklarda asit aşındırma işlemi sonrası alınan yüzey pürüzlülük grafikleri Şekil 1'de yüzey SEM görüntüleri ise Şekil 2'de verilmiştir. Yüzeyde asit aşındırma işlemi sonucunda meydana gelen bazı çatlaklar gözlemlenmiştir. Yüzeyin pürüzlendirilmesi ve kaplamaların daha iyi tutunmasını sağlayabilmek amaçları ile gerçekleştirilen asit içinde bekletme işlemi

yüzeylerde morfolojik bazı farklılıklara neden olmaktadır (Almeida, 2001). Şekil 1 ve 2’de de net bir şekilde asit işlem sıcaklığının artması sonucu daha pürüzlü bir yüzey elde edildiği görülmektedir.

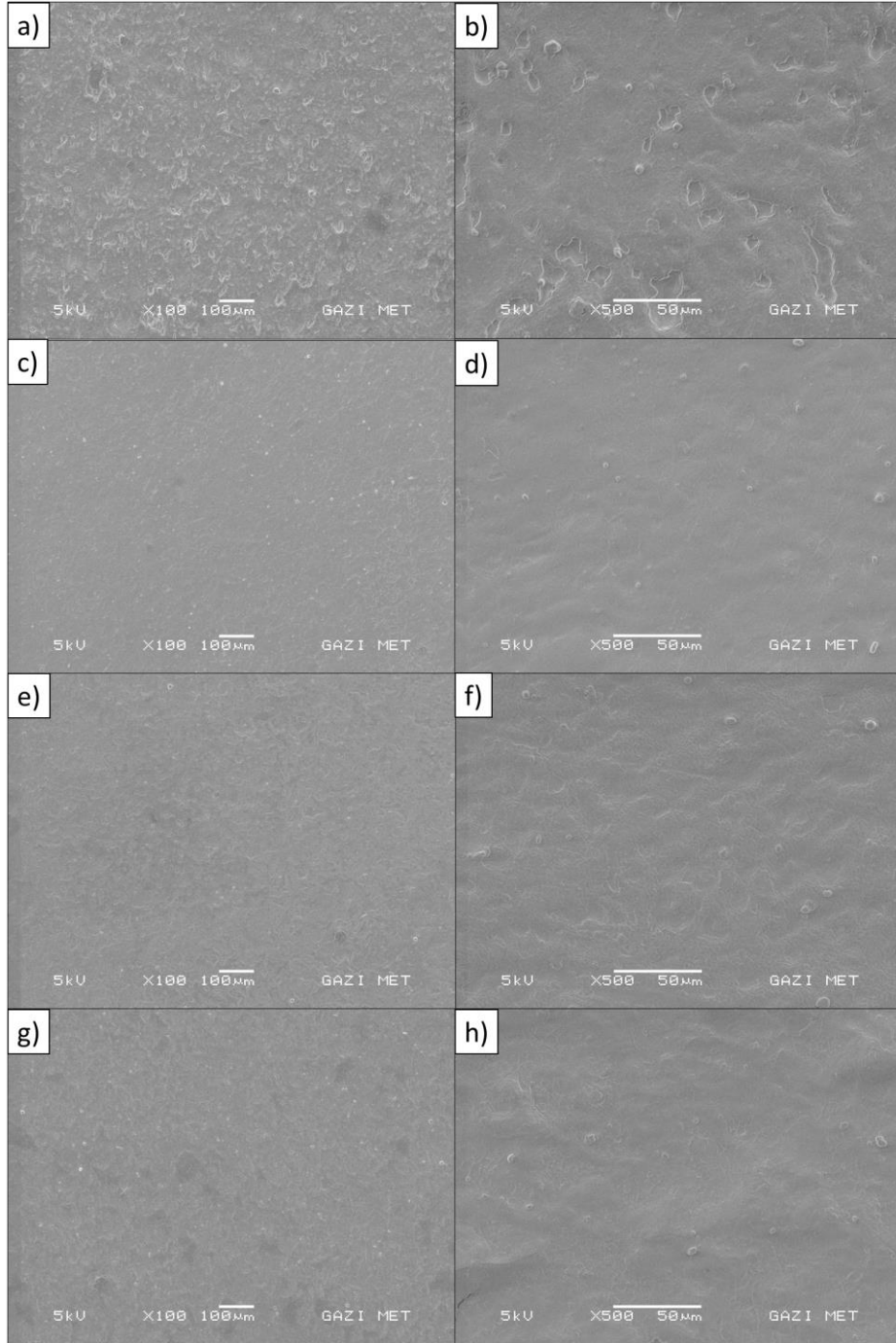


Şekil 1. Kaplama öncesi asitle muamele edilen yüzeylerin pürüzlülük grafikleri.



Şekil 2. Kaplama işlemi öncesi 25, 45, 65 ve 85 °C sıcaklıklarda asit aşındırma işlemi sonrası yüzeylerin SEM görüntüleri (1000X).

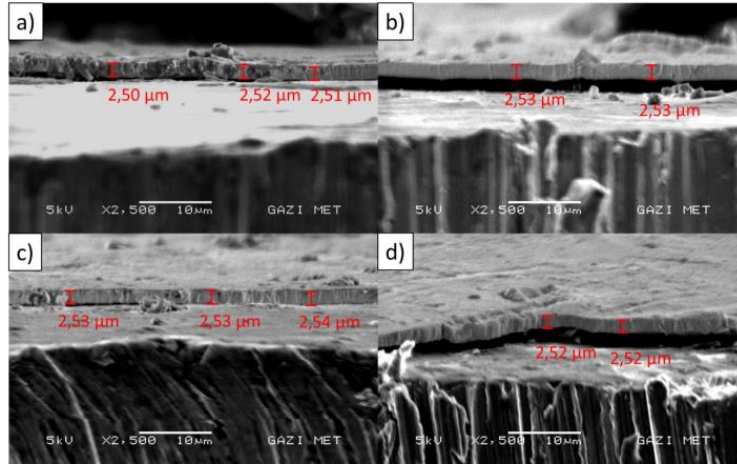
Farklı sıcaklıklarda asit ile muamele edilen yüzeylerin kaplama işlemi sonrası alınan yüzey SEM görüntüleri Şekil 3'te görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde çatlaklı yapılara rastlanmadığı, boşluk ve gözenek içermeyen bir kaplama eldesinin söz konusu olduğu gözlemlenmiştir. Asit aşındırma işlemi sonrası yüzeylerde gözlemlenen çatlaklı yapılar kaybolmuş ve yüzeyde çatlak gözlemlenmemiştir. Numune yüzeylerindeki kaplama homojenliğinin artan asit işlem sıcaklığı ile arttığı ve daha düzgün bir kaplama elde edildiği, bunun sebebinin de yüzey pürüzlendirme işleminin atomik boyutta kaplama malzemesinin yüzeyde çekirdeklenmesini ve tutunmasını kolaylaştırması ile alakalı olduğu düşünülmektedir.



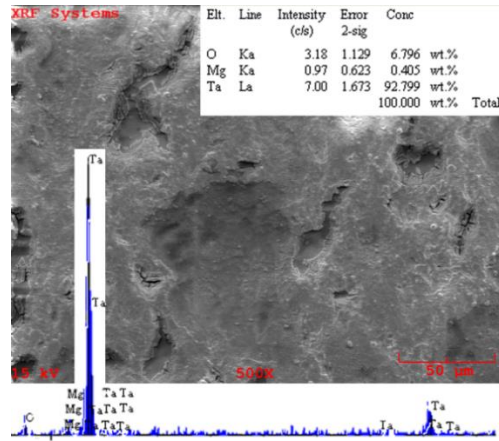
**Şekil 3. a,b) 25, c,d) 45, e,f) 65 ve g,h) 85 °C sıcaklıklarda asit aşındırma işleminden sonra kaplanan numune yüzeylerine ait SEM görüntüleri (100X ve 500X).**

Şekil 4'te farklı sıcaklıklardaki yüzey aşındırma işlemi sonrası elde edilen kaplamaların kesitten alınan SEM görüntüleri ve kaplama kalınlıkları mevcuttur. Kaplama kalınlıklarının tüm numunelerde homojen ve  $2,52 \pm 0,02 \mu\text{m}$  olarak ölçülmesi asit işlem sıcaklığının yüzeyde biriktirilen malzeme miktarını etkilemediğini göstermektedir. Şekil 5 ise 25 °C'de işlem görmüş ve tantal oksit kaplanmış

numune yüzeyinden alınan genel EDS analizini göstermektedir. Alınan EDS analizinde altlığa ait elemente rastlanmaması kaplamanın tüm yüzeyde elde edilebildiğini ve altlık malzemenin tamamen izole edilebildiğini göstermektedir.

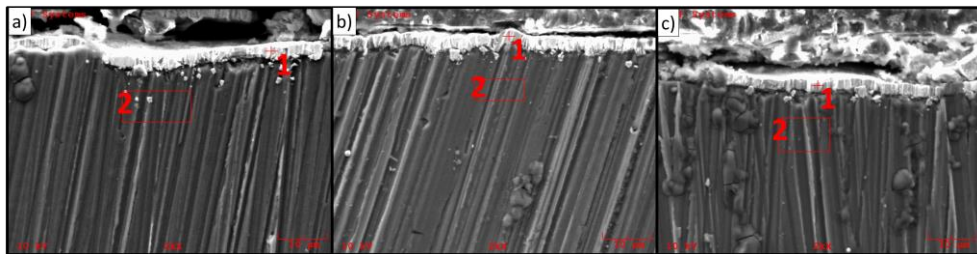


Şekil 4. a) 25, b) 45, c) 65 ve d) 85 °C sıcaklıklarda aşındırıldıktan sonra kaplanan numunelerin kesitten alınan SEM görüntüleri ve kaplama kalınlıkları.



Şekil 5. Kaplanmış yüzeyden alınan genel EDS spektrumu (25 °C)

45-65-85 °C’de asit işlemleri sonrası kaplanan numunelerin kesitlerinden alınan SEM görüntüleri ve bu SEM görüntüleri üzerinde görülen kaplama ve altlık malzemenin alınan EDS’lere ait analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Özellikle bakalıte alınarak hazırlanmış olan bu kesit görüntülerinden altlık ve malzeme ara yüzeyinin birbirine iyi tutunduğu arada boşlukların veya kaplanmayan bölgelerin bulunmadığı net bir şekilde görülmektedir. Yine Tablo 1’de verilen EDS analizleri, Şekil 5’teki EDS analizine yakın sonuçlar göstermekte ve birbirini destekler niteliktedir.

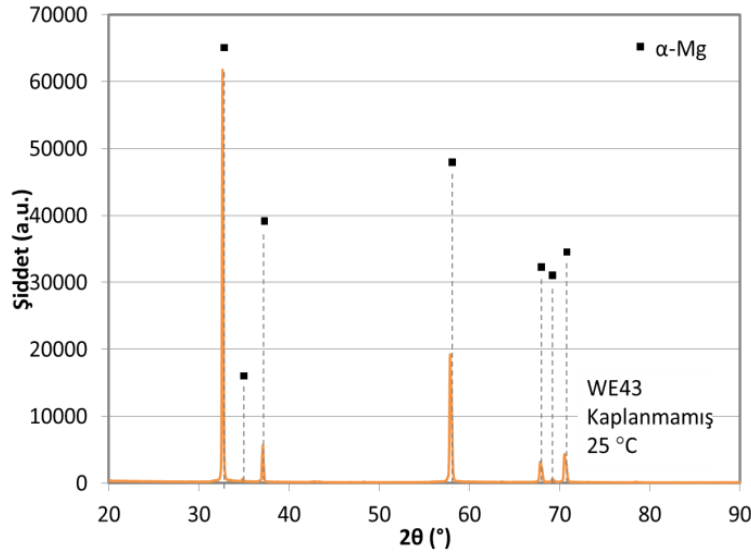


Şekil 6. a) 45, b) 65, c) 85 °C sıcaklıklarda aşındırıldıktan sonra kaplanan numunelerin kesit kaplama görüntülerinden alınan SEM-EDS görüntüleri.

**Tablo 1.** 45-65-85 °C’de asit işlemleri sonrası kaplanan numunelerin EDS analiz sonuçları.

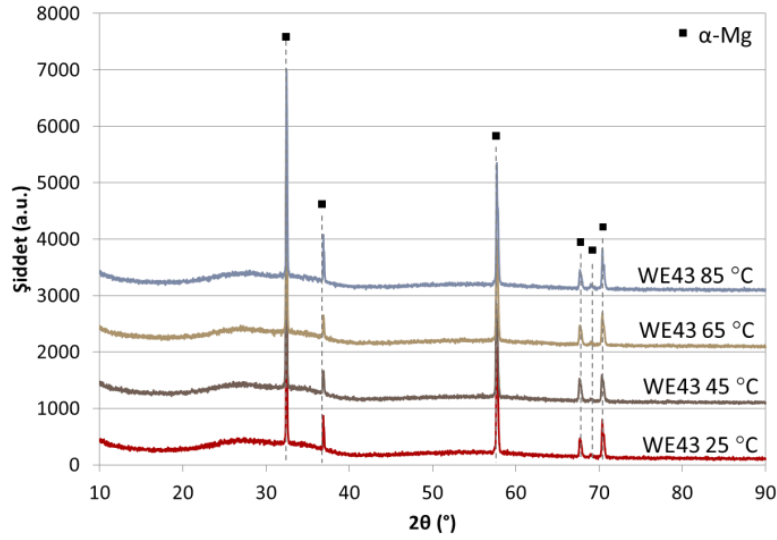
	Mg (ağ. %)	Zr (ağ. %)	O (ağ. %)	Ta (ağ. %)
45-1	0,006	0,002	0,069	99,923
45-2	97,893	0,804	1,302	0,000
65-1	0,003	0,184	1,088	99,977
65-2	96,792	1,848	1,360	0,000
85-1	0,005	0,000	0,077	99,918
85-2	96,768	1,404	1,027	0,000

XRD analizleri sonucunda elde edilen desenler Şekil verilmiş olup Mg alaşımında fazla bulunan  $\alpha$ -Mg fazına ait pikler elde edilmiştir. Pikler EvaDiffrac kütüphanesi aracılığı ile eşleştirilmiştir. WE43 numunelerde ana faz  $\alpha$ -Mg’dir. XRD desenine ait pikler Pereira vd., (2021) ve Dvorsky vd., (2020) çalışmalarında verilen WE43 alaşımına ait piklerle uyumludur (Pereira vd., 2021; Dvorsky vd., 2020). Alaşım içinde bulunması muhtemel çökeltilere ait  $Mg_{24}Y_5$  ve  $Mg_{41}Nd_5$ ’e ait pikler ise faz şiddetleri çok düşük olduğundan tespit edilememiştir. Aynı durumun Dvorsky vd., (2020) yaptıkları çalışmada da söz konusu olduğunu ve bunun nedeni olarak düşük şiddetli olmasına atfedilmiştir (Dvorsky vd., 2020).

**Şekil 7.** Kaplanmamış 25 °C de asit ile aşındırılmış WE43 alaşımına ait XRD grafiği.

Şekil 8’de ise kaplanmış numunelere ait XRD grafiği verilmiştir. Grafikteki eğriler incelendiğinde pik şiddetlerinde bir değişim olmadığı ve  $2\theta$  değerlerinde bir kayma olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda kaplamalarda farklı bir yapı veya sıcaklık arttıkça artan herhangi bir faz tespit edilmediği düşünülmüştür. Kaplanmamış numuneye ait XRD grafiği ile kaplanmış numunelere ait grafikler kıyaslandığında; kaplanmış numunelerde, amorf numunelerde karakteristik olarak gözlemlenen yapı gözlemlenmeye başladığı tespit edilmiştir. Altlık Mg alaşımından gelen pikler nedeni ile kristal bir yapı tespit edilebilmiş olsa da bu durumda kaplamaların amorf yapıda olduğu söylenebilir. Tantal-oksit 400 °C sıcaklıkta amorf yapıda gözlemlenmekte olup Bansal vd. (1993), yaptıkları çalışmada tantal-oksitin faz geçiş sıcaklıklarını tespit etmiş ve bahsedilen sıcaklıklarda amorf aralıkta olduğunu göstermiştir (Bansal vd., 1993).





Şekil 8. 25, 45, 65 ve 85 °C sıcaklıklarda aşındırıldıktan sonra kaplanan numunelere ait XRD grafiği.

#### 4. Sonuç

Yapılan bu çalışma ile ekstrüze halde alınan WE43 Mg alaşım numunelerin yüzeyleri, 25, 45, 65 ve 85 °C sıcaklıklarda asit ile muamele edilerek, RF sıçratma yöntemi vasıtasıyla tantal oksit kaplanmıştır. Uygulanan farklı sıcaklıktaki asit modifikasyonlarının kaplanmış numune morfolojilerine olan etkileri incelenmiştir.

Çalışma sonucunda, yüzeylerde  $2,52 \pm 0,02$  µm kalınlıkta kaplamalar elde edilmiştir. Kaplamalar çatlaksız, boşluksuz ve homojen bir şekilde elde edilebilmiş olup SEM-EDS incelemeleri ile yapılan kaplamalar doğrulanmıştır. Kaplamalar amorf yapıda malzeme yüzeylerinde elde edilmiş ve uygulanan asit aşındırma işlemleri kaplama kalınlığını etkilemeksizin yüzeyde herhangi bir farklı faz oluşumuna neden olmamıştır.

#### Referanslar

- Almeida, E. (2001). Surface Treatments and Coatings for Metals. A General Overview, Surface Treatments, Surface Preparation, and the Nature of Coatings. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 40(1), 3-14.
- Antion, C., Donnadiou, P. & Perrard, F. (2003). Hardening precipitation in a Mg–4Y–3RE alloy. *Acta Materialia*, 51, 5335-5348.
- Bansal, N. P. (1993). Low Temperature Synthesis of Monolithic Transparent Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Gels From Hydrolysis of Metal Alkoxide. NASA Technical Memorandum, 106246.
- Byun, S.-H., Lim, H.-K., Cheon, K.-H., Lee, S.-M., Kim, H.-E. & Lee, J.-H. (2020). Biodegradable magnesium alloy (WE43) in bone-fixation plate and screw. *Journal of Biomedical Materials Research: Part B Applied Biomaterials*, 108B, 2505-2512.
- Cao, G., Zhang, D., Zhang, W. & Zhang, W. (2016). In Vitro Corrosion Study of Friction Stir Processed WE43 Magnesium Alloy in a Simulated Body Fluid. *Materials*, 9, 542.
- Chang, Y.-Y., Huang, H.-L., Chen, H.-J., Lai, C.-H., and Wen, C.-Y. (2014). Antibacterial properties and cytocompatibility of tantalum oxide coatings. *Surface and Coatings Technology*, 259(B) 193-198.
- Chen, X., Bai, R., & Huang, M. (2019). Optical properties of amorphous Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> thin films deposited by RF magnetron sputtering. *Optical Materials*, 97, 109404.
- Dvorsky, D., Kubasek, J., Jablonska, E., Kaufmanova, J. & Vojtech, D. (2020). Mechanical, corrosion and biological properties of advanced biodegradable Mg–MgF<sub>2</sub> and WE43–MgF<sub>2</sub> composite materials prepared by spark plasma sintering. *Journal of Alloys and Compounds*, 825, 154016.

- Gül, C., Albayrak, S., & Çinici, H. (2020). Characterization of Tantalum Oxide Sol–Gel-coated AZ91 Mg Alloys. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 73 (5), 1249-1256.
- Gül, C. & Albayrak, S. (2021). WE43 Magnezyum Alaşımlarında Yüzey Modifikasyonlarının Morfolojik Özelliklere Etkisi. C. Yücelbaş (Ed.), *Mühendislikte Konstrüksiyon, İmalat ve Malzeme Üzerine Güncel Araştırmalar içinde*(27-40). Ankara: İksad Yayınevi.
- Hänzi, A. C., Gunde, P., Schinhammer, M. & Uggowitz, P. J. (2009). On the biodegradation performance of an Mg–Y–RE alloy with various surface conditions in simulated body fluid. *Acta Biomaterialia*, 5(1), 162-171.
- Höhlner, M., Heise, S., Wagener, V., Boccaccini, A. R. & Virtanen, S. (2017). Developing surface pre-treatments for electrophoretic deposition of biofunctional chitosan-bioactive glass coatings on a WE43 magnesium alloy. *Applied Surface Science*, 405, 441-448.
- Ignat, S., Sallamand, P., Grevey, D. & Lambertin, M. (2004). Magnesium alloys laser (Nd:YAG) cladding and alloying with side injection of aluminium powder. *Applied Surface Science*, 225(1–4), 124-134.
- Kubásek, J., Dvorský, D., Čavojský, M., Roudnická, M. & Vojtech, D. (2019). WE43 magnesium alloy – material for challenging applications. *Kovove Materialy-Metallic Materials*, 57 (3), 159–165.
- Pereira, G.S., Koga, G.Y., Avila, J.A., Bittencort, I.M., Fernandez, F., Miyazaki, M.H., Botta, W.J. & Bose Filho, W.W. (2021). Corrosion resistance of WE43 Mg alloy in sodium chloride solution. *Materials Chemistry and Physics*, 272, 124930.
- Yang, C., Gupta, N., Ding, H. & Xiang, C. (2020). Effect of Microstructure on Corrosion Behavior of WE43 Magnesium Alloy in As Cast and Heat-Treated Conditions. *Metals*, 10, 1552.
- Zucchi, F., Grassi, V., Frignani, A., Monticelli, C. & Trabanelli, G. (2006). Influence of a silane treatment on the corrosion resistance of a WE43 magnesium alloy. *Surface and Coatings Technology*, 200, 4136-4143.



## The Effect of Mould Filling on the Mechanical Properties of Wall Tile Production

Müge Tarhan<sup>1</sup> , Baran Tarhan<sup>1</sup> , Tuna Aydın<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Usak University, Faculty of Fine Arts, Department of Ceramic Arts, 64000 ve Uşak, Türkiye

<sup>2</sup> Kırıkkale University, Faculty of Engineering, Metallurgy and Material Engineering Department, Kırıkkale, Türkiye

Başyuru/Received: 07/10/2021

Kabul / Accepted: 25/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

### Abstract

This study is focused on the development of properties of ceramic wall tile bodies by changing the degree of mould filling under industrial conditions (Usak Seramik A.S., Usak, Turkey). The effects of spray dryer operating conditions and granule size distribution on the degree of mould filling have been investigated. The study measured the ceramic wall tile bodies water absorption, fired shrinkage, fired and dried strength, and porosity. The granule size and distribution were changed by adjusting the pressure and the nozzles' diameter of the spray dryer. This study aimed to reduce grain size and quantity over 500 microns and to increase quantity between 500 microns and 75 microns by increasing the spray dryer pressure and reducing the nozzle disc diameter. It was also aimed to increase the degree of mould filling by decreasing granule size. 200 tone wall tile slips were prepared and 11,000 m<sup>2</sup> of wall tile products were produced. The phase and microstructure analysis were investigated using an X-ray diffractometer (XRD) and scanning electron microscope (SEM). As a result of this study, it was found that a lower granule size of above 500 µm improved the technical characteristics of the tiles. Ceramic wall tiles produced with lower granule grain size have high strength values, mainly due to the higher degree of mold filling. The ceramic tile production parameters in the Usak Seramik Company have been rearranged according to the data obtained from this study. This granule size and distribution set is now an industrial production standard in Usak Seramik.

### Key Words

“Wall tile, spray dry, sintering, thermal expansion, powder fluidity”

## 1. Introduction

Wall tiles are porous ceramic products. They are suitable for indoor applications due to their high open porosity. Wall tiles are composed of clays, carbonates, quartz, and feldspars. They are single or double fired in industrial roller kilns at temperatures between 1050 °C and 1145 °C for 50 min. Fired bodies contain quartz, albite, anorthite, and gehlenite. anorthite and gehlenite are formed as calcium-based crystalline phases in the firing process. The crystalline phases formed during firing are very important due to it affecting the technical properties and tile performance (Çelik et al. 2010, Siqueira FB et al. 2018, Freire MN et al. 2006, Tarhan M. et al. 2019, Tarhan B. 2019). All ceramic tiles are formed using dry pressing to give the desired shape. Dry pressing is also preferred because of the technical and quality characteristics of tiles. Certain parameters such as density, apparent density, compactness, and degree of filling are crucial to the result of an efficient pressing (Vodola L. et al. 2014, Tarhan M. et al. 2016, Aydın T. et al. 2019, Ring TA.1966). To achieve a good pressing result, a uniform distribution of granules in the mold cavity is required (Ring TA.1966, Sacmi, 2002). To achieve this, the powder must have good fluidity, which allows tile manufacturers to produce faster without disturbing the homogeneity of the pressed tiles.

Spray drying is the method of spraying a slip obtained from the grinding process in the slurry into a warm drying medium to produce nearly spherical powder granules with controlled moisture, shape, and particle size distribution. Generally, the diameter of the spray-dried powder grains are between 100 µm and 600 µm. Granule characteristics are determined with spray dryer type, slurry composition, inlet temperature, slip pump pressure, nozzle diameter, the humidity of the air, slip viscosity, and density. Using high pressures brings about a smaller particle size distribution; nozzle diameters determine the particle size distribution. Larger particle size distributions are enabled using larger orifice diameter (Reed JS. 2002). Properties of granules (shape and grain size), moisture, and pressing additives (water, binding and plasticizer agents) are important parameters for the characteristics and microstructures of the pressed tiles. These parameters determine the technological characteristics of powders such as volume density, flowability, compression rate, and friction angle of powders (Beddow JK.1995, Santomaso A.et al. 2003, Soldati R. et al. 2018).

The Hausner ratio is used in a wide variety of industries including the ceramic industry. The Hausner ratio, which is not an absolute property of a material, is a number correlated with the flowability of granules. The Hausner ratio is calculated by the formula; (Beddow JK.1995, Santomaso A.et al. 2003, Soldati R. et al. 2018).

$$H = \rho_T / \rho_B$$

$\rho_T$ : Tapped bulk density

$\rho_B$ : Freely settled bulk density of the powder

The good flowability of the granules alone are not enough for ideal pressing. The powder should be inappropriate volume weight. Extremely low volume weight causes a large amount of air to escape during pressing or a thicker powder-filling layer. Both cause difficulties in the pressing cycle (Ring TA.1966, Sacmi, 2002, Reed JS. 2002).

There are many studies on the technological properties of ceramic wall tiles. Although it is one of the most important parameters regarding its technological properties, there are no studies in the literature on the degree of mold filling. Therefore, this study focused on the effect of the degree of mould filling on the technical properties of ceramic wall tile bodies under industrial conditions.

## 2. Materials and Methods

Wall tile slips were prepared under industrial conditions at Usak Seramik A.S. The ceramic wall tile composition is composed of clay, kaolin, sodium feldspar, and marble powder as a source of CaO. A mixture of 200 tons of ceramic wall tile raw materials for the standard body was ground using a rotary mill until the residue obtained was 2.5–3% over 63 µm. The density and viscosity of slip taken from the mill are respectively, 1660 g/lit and 40-45 seconds (Ford cup #4). The slip taken from the mill was sent to the spray dryer. The pressure was 14 bar and the diameters of the spray dryer nozzle discs were 2.5 mm, 2.2 mm, and 2 mm for standard production conditions. In this study, the spray pressure and nozzle disc diameters were changed while the density and viscosity of the slip were kept constant. The spray dryer pressure was increased from 14 bar to 18 bar. The 2.5 mm nozzle disc diameter was reduced to 2.2 mm, the 2.2 mm nozzle disc was reduced to 2 mm and the 2 mm nozzle disc diameter was reduced to 1.8 mm. It was aimed to decrease the granule grain size to be above 500 µm and increase between 500 µm and 75 µm with an increase in spray dryer pressure and a reduction in the nozzle discs diameter. 6-6.5% moist granules obtained from the spray dryer were pressed to 30 x 60 cm in size, to 280 kg/cm<sup>2</sup> of pressure under industrial conditions. After the drying process, the pressed tiles were fired in an industrial roller kiln at 1120°C for 47 minutes.

In this study, about 11,000 m<sup>2</sup> of ceramic wall tiles were produced under industrial conditions. Technological properties such as water absorption, fired and green density, fired shrinkage, dry and fired bending strength were analyzed. The values of the firing shrinkage were measured by calculating the size of green and fired samples. The values of the dry bending strengths were determined using the flexure test (three-point bending test) (HYK-500B Digital Electricity Anti-fold Instrument) according to ISO 10545-4 standards. The

values of the water absorption were also determined according to ISO 10545-3 standards (HY Ceramics absorbs water rate testing instrument).

Chemical analyses of raw materials were determined by an X-ray fluorescence analyzer (Rigaku Technologies, In, Nex OC+EZ). The crystalline phases in the fired body compositions were evaluated by using an X' Pert Pro MPD diffractometer with Cu K $\alpha$  radiation at 40 kV and 30 mA. The samples were scanned from  $2\theta=10-70^\circ$  at a scanning rate of  $2^\circ/\text{min}$ . The microstructures of the sintered bodies were detected using a SEM (scanning electron microscopy) (QUANTA FEG 250). After the polishing process, all samples were coated with Au and Pd for SEM analysis. In order to determine the sintering behavior of the samples, a non-contact optical dilatometer was used (Netzch 402 EP dilatometer).

### 3. Result and Discussion

#### 3.1. Chemical analysis of raw materials

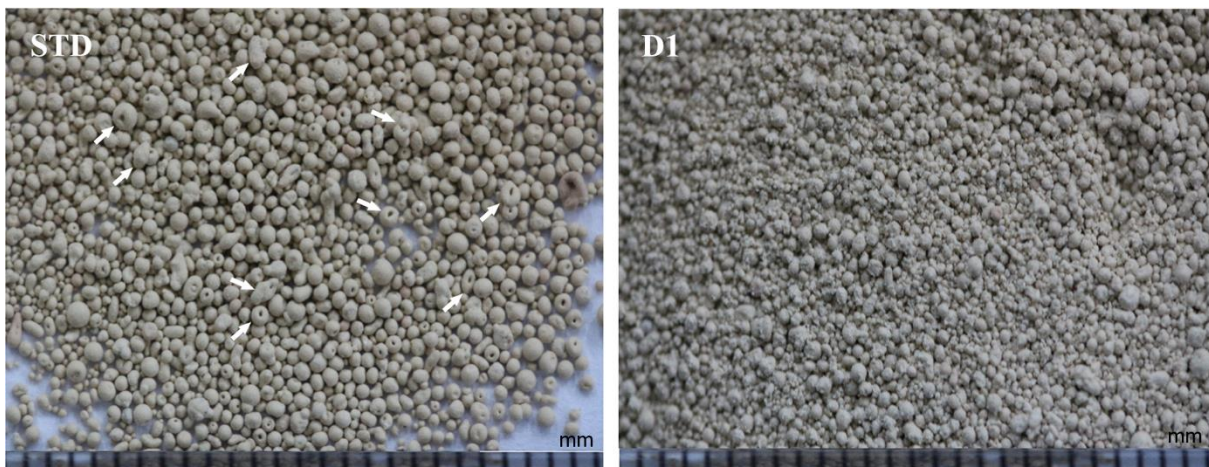
Chemical analyses of raw materials are given in Table 1. In the study, two kinds of clay kaolin, and Na Feldspar were used, and marble powder was used as a CaO source.

**Table 1.** Chemical analysis of raw materials (wt. %)

	LOI*	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
<b>Kaolin A</b>	5.00	75.51	16.30	1.17	0.44	0.29	0.78	0.05	0.47
<b>Kaolin B</b>	5.00	74.16	14.83	2.02	0.42	0.53	1.40	0.01	1.65
<b>Clay A</b>	8.00	60.54	21.86	3.73	1.27	0.40	0.75	0.78	2.62
<b>Clay B</b>	7.00	60.95	23.70	2.98	1.12	0.40	0.80	0.82	2.24
<b>Na Feldspar</b>	0.50	71.78	15.82	0.85	0.13	0.29	0.62	4.40	3.89
<b>Marble Powder</b>	32.00	0.01	0.16	0.08	0.01	56.19	1.34	0.01	0.01

#### 3.2. Characterization of ceramic granules used in pressing

Figure 1 indicates the morphology of the STD and D1 granules. As seen in Figure 1, D1 granules have much smaller grains which show that the greater the tendency for a spherical shape, the larger the surface area is. STD granules have much more irregular coarser grains than D1 granules. The moisture content of the granules over 400 micron is higher because they spend less time in the spray drying chamber on account of their volume. These large granules have a tendency towards agglomeration (indicated with arrows in Figure 1) and inclusion of porosity because of their high residual moisture content (donut shape). Donut-shaped and more agglomerated STD spray-dried granules are indicated in Figure 1.



**Figure 1.** MOD micrographs of the STD and the D1 spray-dried powder

Granule size distributions of samples and particle trapped density and vibrated density values are given in Table 2 and Table 3. As can be seen from Table 2, with the reduction of the nozzle disc diameters and increasing the slip pressure, an increase in the amount of granules between 150-500 microns was achieved. The increase in the amount of granule in this range led to an increase in trapped density and vibrated density and thus the Hausner index increased (Table 3). The Hausner index is the ratio between the tapped density of the powder and the vibrated density (Tarhan M. Et al. 2016). The trapped density is the bulk density of a known volume of powder after controlled vibration. The higher the flowability between the granules, the higher the trapped density and the Hausner index. The

specific diameter for the prepared powders is an important parameter. In both cases, small granule sizes give low fluidity. Especially, particles smaller than 200 microns reduce the flow rate to almost zero. Those between 200 and 500 micron provide optimum flow rates. Grains other than 150-500 micron have the lowest volumetric density values and those in this range have higher density and best packaging characteristics (Sacmi, 2002).

**Table 2.** Granule size distributions of samples

	STD / %	D1 / %
+500 $\mu\text{m}$	35.11	20.31
250-500 $\mu\text{m}$	39.82	53.59
150-250 $\mu\text{m}$	15.16	18.88
75-150 $\mu\text{m}$	7.41	4.50
-75 $\mu\text{m}$	2.50	2.72

**Table 3.** Particle trapped density and vibrated density values

Sample	Tapped Density (g/lt)	Vibrated Density (g/lt)	Hausner Index
STD	0.872	0.950	0.917
D1	0.987	1.068	0.924

### 3.3. Technological properties

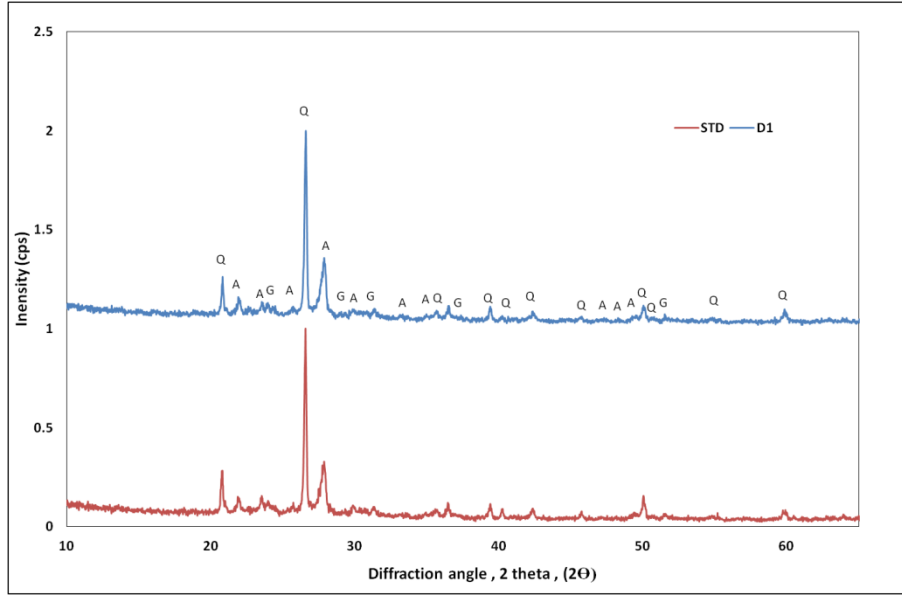
Table 1 shows the technological properties of the samples. As mentioned before, increasing the spray dryer slurry pressure from 14 bar to 18 bar and reducing the spray dryer nozzle diameters of 2.5, to 2.2, 2.2 mm to 2.0, and 2.0 to 1.8 mm led to an increase in trapped density and vibrated density. Properly formulated and well-controlled feed material is a key to successful pressing operations. Pressing problems are reduced when the bulk density of the feed in the die is high. A high bulk density reduces both the content of the air in the powder and the punch travel (Reed JS, 2002)]. Increase in trapped density and vibrated density resulted in an increase in bulk density. With this increase, dry and fired strength increased while water absorption and total porosity slightly decreased. This behavior can be explained by the fact that the particles are broad close together, thus reducing voids between particles. There is also increased inter-particle contact, forming bridges and links between them (Sacmi, 2002). Mechanical strength depends on two factors: intrinsic material characteristics (including material microstructure) and the presence of microcracks. Pores obviously decrease the cross-sectional area on which the load is applied but also act as stress concentrators. The strength of porous ceramics is decreased in a way that is nearly exponential with porosity ( Kingery WD, 1960). Mechanical strength drops due to the microcrack size growth on working with larger granules. In addition, increase in trapped density and vibrated density contributed to decreasing in firing shrinkage (Sacmi, 2002). In terms of production stability of ceramic wall tiles, low shrinkage and low porosity are important in firing temperatures ranges (Amoros et al. 2000).

**Table 4.** Technological properties

Sample	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	Water Absorption (%)	Total Porosity (%)	Dry Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Fired Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Fired Shrinkage (%)
STD	1.662	17.24	33.17	20.86	196.7	0.06
D1	1.853	16.72	30.01	24.53	235.2	0.04

### 3.4. Phase analyses (XRD)

Phase analyses of STD and D1 bodies are given in Figure 2. STD and D1 bodies contain mainly quartz anorthite and gehlenite crystalline phases. Gehlenite and anorthite are formed in a mixture of clay and calcite during firing. The first crystallized phase is gehlenite from metakaolinite and calcium oxide (Souise SGJ, 2005). Calcium oxide is formed from the decomposition of CaCO<sub>3</sub> (marble powder). The reaction between calcium oxide and the low liquid phase formed by the decomposition of kaolinite leads to high porosity and formation of anorthite and gehlenite crystalline phases in the ceramic bodies (TarhanM.et al.2016, Aydın T. et al., 2019). Then, anorthite is crystallized by gehlenite, metakaolinite, and quartz. As it can be seen from Figure 2, both ceramic tile bodies have similar crystal phases and the peak intensities of these phases are quite close.

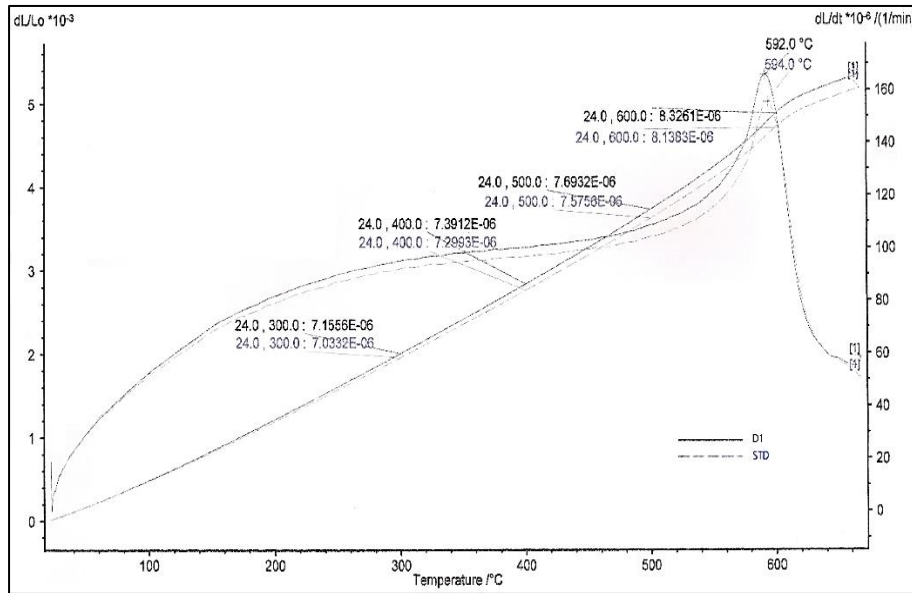


**Figure 2.** XRD analyses of STD and D1 bodies, Q: quartz, A: anorthite, G: gehlenite

### 3.5. Thermal Analysis

#### 3.5.1. Thermal expansion coefficient

The thermal expansion coefficient and moisture expansions are given in Figure 3 and Table 5. In the study,  $\alpha$ , the mean coefficient of linear thermal expansion, was measured between 100 and 600 °C. The free quartz content resulted in a high mean coefficient of linear thermal expansion ( $\alpha$ ) in ceramic bodies. It was observed that the density of the tiles increased with the decrease in granule grain size. Therefore, the coefficients of thermal expansion of the bodies increased with decreasing granule size. This contradiction can be explained by the microcracking phenomenon and porosity (Amorós JL, 2010, Tarhan M, 2010). Other parameters affecting the thermal expansion coefficient values of the bodies are bulk density and microstructure (Tarhan M, 2010. As can be seen in SEM images, the decrease in the bulk density and the increase in the microcracks in the microstructure reduced the thermal expansion coefficient value in the STD body.



**Figure 3.** The thermal expansion coefficient of STD and D1

In the study, moisture expansions of the STD and D1 bodies were measured using the dilatometric method. In this method, firstly, the first thermal dilatometric cycles were measured and the samples were heated to 105 °C. Then, the temperature was increased to 700 °C min-1. After that, STD and D1 bodies were kept under a 6-atu steam treatment in an autoclave between 3 and 5h (Aydın T. et al., 2019).

The second thermal dilatometric analysis was measured after the autoclave process. The differences in dilatometric curves showed moisture expansion of ST and D1 bodies.

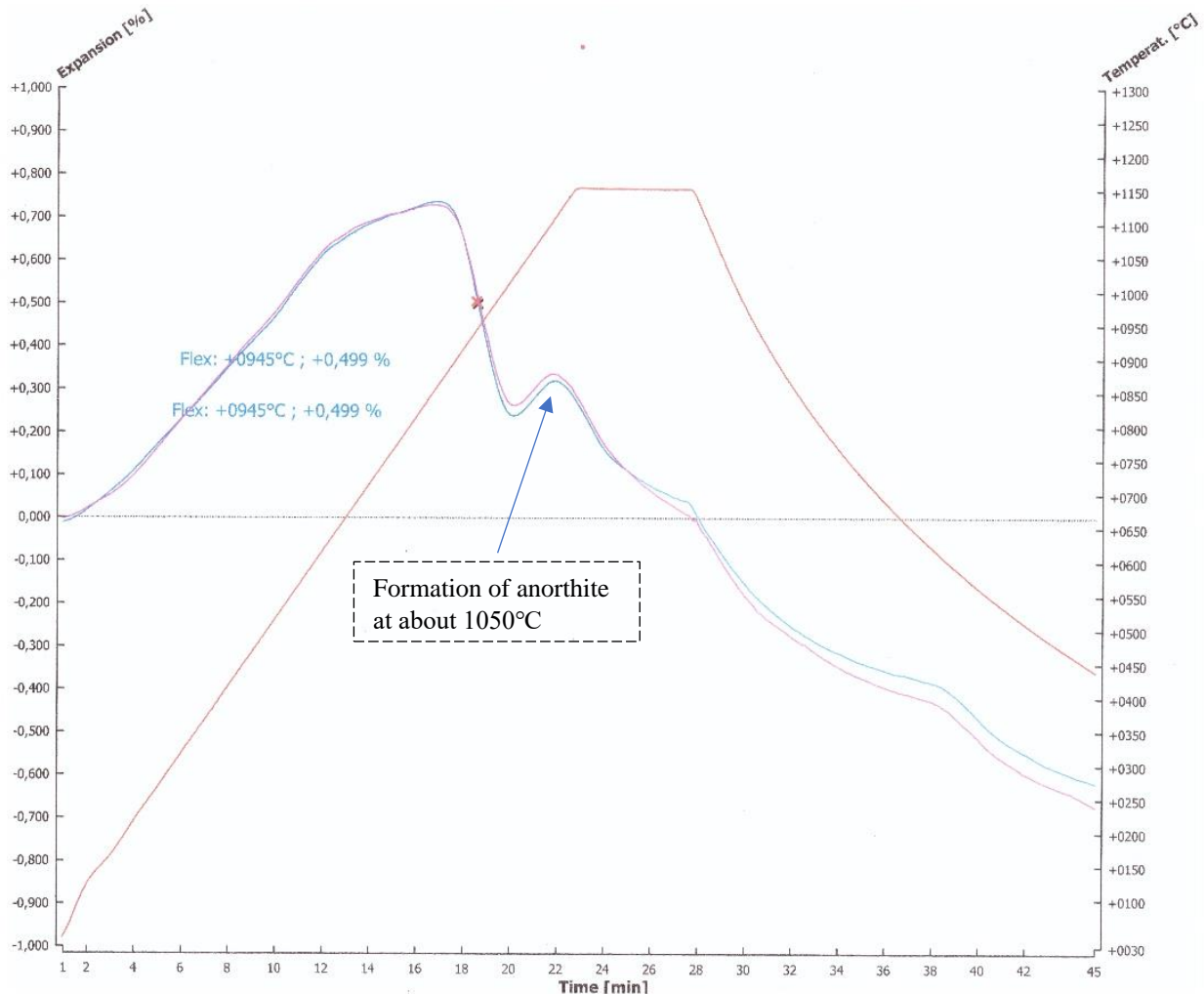
There are several parameters affecting moisture expansion. These parameters are surface energy, amorphous and crystal phases, and water-reactive phases such as CaO and MgO. Crystal phases such as anorthite are inert to moisture due to low surface energies. In contrast, amorphous phases are very reactive to moisture due to high surface energies (Aydın T. et al., 2019). CaO and MgO, water-reactive phases, must be bonded to the crystalline phases, such as anorthite and gehlenite. As can be seen in the XRD graph, there is no significant difference in crystal phase amounts in this study. This situation caused the moisture expansion values to be very close to each other.

**Table 5.** Thermal expansion coefficient and moisture expansions

Sample	Thermal expansion coefficient ( $\alpha$ ) / $10^{-7} \text{ K}^{-1}$				Moisture expansion (%)
	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	
STD	70.33	72.99	75.75	81.38	0.030
D1	71.55	73.91	76.93	83.26	0.031

3.5.2. Sintering analysis

Sintering analyses of the sample STD and D1 are given in Figure 4. As seen in the graphic, it was determined that the sintering behaviors of the STD body and the body studied on grain size, are very close to each other. The ceramic wall tile bodies were heated at 1150 °C. The soaking time of the samples is 6 minutes. The thermal expansion was observed from the initial temperature to 900 °C. Especially, the increase in expansion resulted from quartz inversion in 573°C. After quartz inversion, shrinkage gradually increased and sintering started between 900 °C and 1000 °C. As seen graph, there was a peak at about 1050°C. This peak shows the formation of anorthite crystals (Aydın T. et al., 2019).

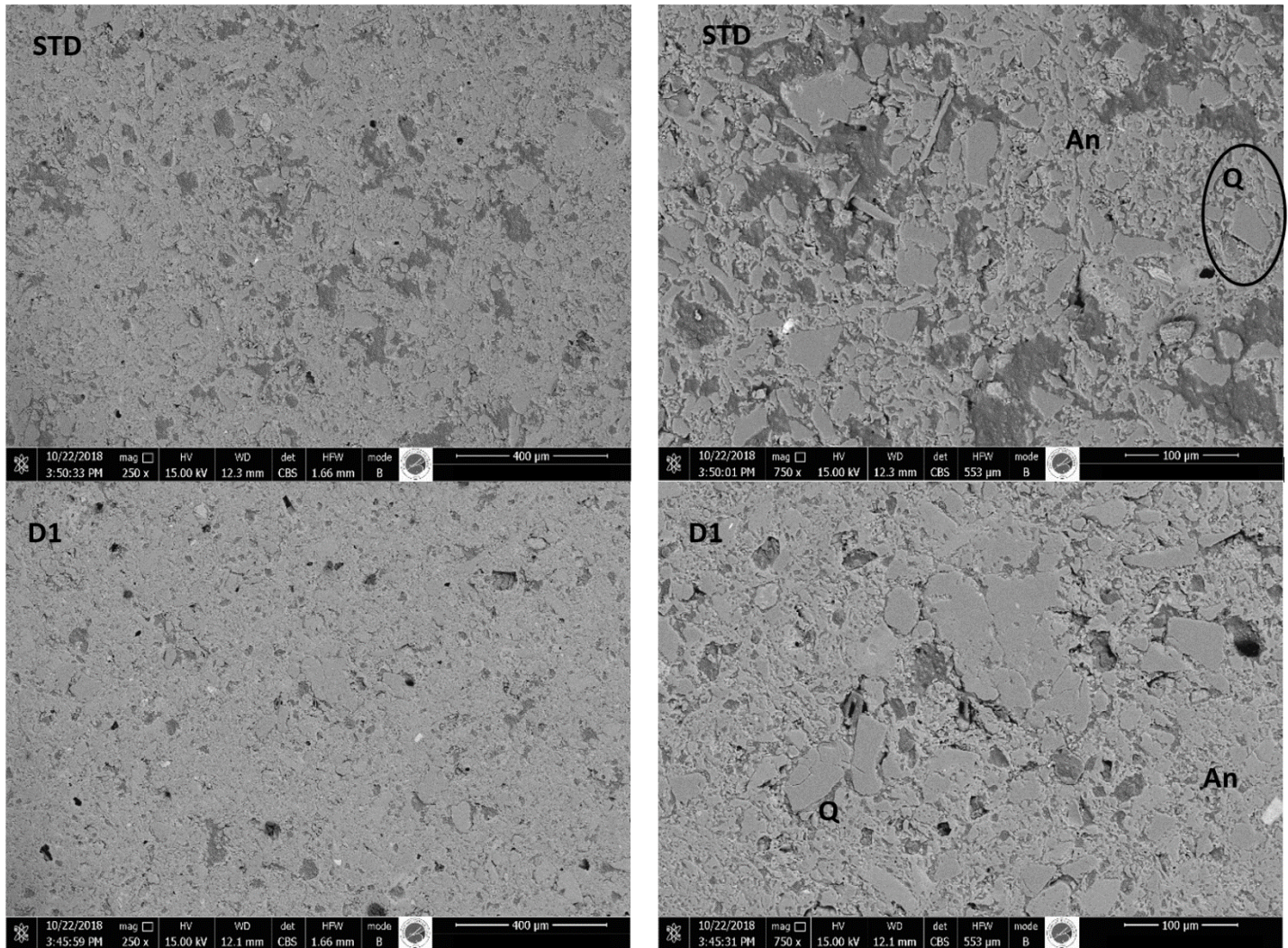


**Figure 4.** Sintering curves of the samples



### 3.6. Microstructural analyses (SEM)

The microstructure analysis was performed using the backscattered electrons in order to be able to compare between the matrix and the phases and to determine the phase distribution. Figure 4 shows microstructural images of polished fired STD and D1 bodies. Small spheroidal crystals which contain calcium oxide, aluminum oxide, and silicate are anorthite and gehlenite crystals (Tarhan M. et al. 2016, Aydın T. et al., 2019). Dispersed residual particles are quartz crystals, which are characterized by the presence of peripheral cracks around them. Cracks resulted from microscopic stresses between the glassy phase and quartz crystals. As seen in Fig. 4, the open porosities resulted from  $\text{CaCO}_3$  decomposition and pressing (Tarhan M. et al. 2016, Aydın T. et al., 2019). With the reduction of the nozzle disc diameters, increase in slip pressure, and increase in the amount of grains between 125 and 400  $\mu\text{m}$ , contributed to an increase in the degree of mold filling. Therefore, an increase in the degree of mold filling contributed to an increase in trapped density and vibrated density. As can be seen from the microstructural images, an increase in trapped density and vibrated density provided a higher bulk density for the D1 body than the STD body.



**Figure 4.** Microstructural images of fired STD and D1 ceramic wall tile bodies. Q: quartz, An: anorthite

## 4. CONCLUSION

The study investigated the effect of granule size and distribution on the degree of mould filling and on the properties of ceramic wall tile bodies under industrial conditions. In order to increase the degree of mold filling, the slurry pressure was increased from 14 bar to 18 bar and the nozzle diameters of 2.5, 2.2, and 2.0 mm were reduced to 2.2, 2.0, and 1.8 mm respectively. These changes led to an increase in trapped density and vibrated density. An increase in trapped density and vibrated density resulted in an increase in bulk density, dry strength, and fired strength. Water absorption, total porosity, and firing shrinkage also slightly decreased. These changes

improve the production efficiency of ceramic wall tile. The ceramic tile production parameters in Usak Seramik Company have been reorganized according to the data obtained from this study and production still continues in this way.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Usak Seramik A.S.

## REFERENCES

Amorós JL, Orts MJ, Mestre S, Garcia-Ten J, Feliu C, Porous single-fired wall tile bodies: Influence of quartz particle size on tile properties, *J. Eur. Ceram.Soc.* 2010;30:17–28.

Amoros JL, Sanchez E, Cantavella V, Monzo M, Mechanical properties of green ceramic bodies. *Qualicer 2000*; 59-75 *Applied Ceramic Technology*. Sacmi Imola, vol.2, p. 96-143, 2002, ISBN 88-88108-55-6.

Aydin T, Tarhan M, Tarhan B, Addition of cement kiln dust in ceramic wall tile bodies. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7615-y>. 2019; 136: 527–533.

Beddow JK, *Particle & Particle Systems Characterization*. Volume 12, Issue 4, First published: August 1995 <https://doi.org/10.1002/ppsc.19950120411>.

Celik H. Technological characterization and industrial application of two Turkish clays for the ceramic industry. *Applied Clay Science*. 2010;50:245–254.

Freire MN, Holanda JNF, Characterization of avian eggshell waste aiming its use in a ceramic wall tile paste. *Cerâmica* 2006;52:240-244.

Kingery WD, Bowen HK, Uhlmann DR, *Introduction to Ceramics*. USA: John Wiley and Sons Inc; ISBN 0-471-47860-1. 1960. pp 809.

Reed JS, Favalli R C, Pimenta MM, Paschoa JOA, Numerical simulation of spray dryers. *Principles of ceramic s processing second ed.* *Qualicer 2002*, pg. 3-10.

Ring TA, *Fundamentals of Ceramic Powder Processing and Synthesis*. Academic Press, Inc, 1996, p. 655.

Santomaso A, Lazzaro P, Canu P, Powder flowability and density ratios: the impact of granules packing. *Chemical Engineering Science*. 2003; 58(13):2857-2874.

Siqueira FB, Holanda JNF. Application of grits waste as a renewable carbonate material in manufacturing wall tiles. *Ceram. Int.* 2018;44:19576–19582.

Soldati R, Zanelli C, Guarini G, Fazio S, Bignozzi MC, Dondi M, Powder rheology and compaction behaviour of spray-dried bodies for porcelain stoneware slabs. *Qualicer*. 2018; 1-16

Sousa SJG, Holanda JNF, Sintering behavior of porous wall tile bodies during fast single-firing process. *Materials Research*, 2005;8(2): 197-200.

Tarhan B, Usage of fired wall tile wastes into fireclay sanitaryware products. *J Aust Ceram Soc.* 2019; 55:737–746 <https://doi.org/10.1007/s41779-018-0285-1>.

Tarhan M, Tarhan B, Aydin T, The effects of fine fire clay sanitaryware wastes on ceramic wall tiles. *Ceram. Int.* 2016;42:7110–17115.

Tarhan M, Tarhan B, Development of waterproof engobe layer for ceramic wall tiles. *J Therm Anal Calorim* 2019;. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08893-3>.

Tarhan M, The relationship between composition-sintering behaviour of porcelain stoneware tile. PhD Dissertation, Anadolu University. Turkey. 2010.

Tarhan M, Whiteness improvement of porcelain tiles incorporated with anorthite and diopside phases. *J Therm Anal Calorim* 2019;138: 929–936.

Taskiran MU, Demirkol N, Capoglu A, A new porcelainised stoneware material based on anorthite. *J. Eur.Cer.Soc.* 2005; 25:293–300.

Vodova L, Sokolar R, Hroudova J, The effect of CaO addition on mechanical properties of ceramic tiles. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation.* 2014; 8(6):717-720.



MÜHENDİSLİK  
FAKÜLTESİ

Uluslararası Mühendislik  
Araştırma ve Geliştirme Dergisi  
International Journal of  
Engineering Research and  
Development

UMAGD, (2021) 13(3), s49-s57.



10.29137/umagd.1037361

Cilt/Volume:13 Sayı/Issue:3 Aralık/December 2021 Özel Sayı / Special Issue

Seçilmiş Konferans Makalesi / Selected Conference Paper

## Autotransporter Proteins

Şeyma Göksel<sup>1</sup> , Mustafa Akçelik<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 06100 Ankara, Türkiye

**Başyuru/Received:** 07/10/2021

**Kabul / Accepted:** 25/12/2021

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 31/12/2021

**Son Versiyon/Final Version:** 31/12/2021

### Abstract

Autotransporter proteins, which are examined under five groups on the basis of their secretory systems, constitute the largest protein family found in Gram-negative pathogenic bacteria. The determination that all autotransporter proteins are associated with pathogenicity and virulence in these bacteria has made them the focus of molecular pathogenicity studies. Although the structural organization of autotransporter proteins and the base sequences of the genes encoding them are highly similar, their functions in the strains they are found in show a high diversity. This indicates that pathogen-host adaptation may also result from differences in protein processing and secretion system, and that new and effective approaches can be developed in the fight against pathogens. In this review article, the contemporary literature of this important protein family has been examined, and it has been tried to be interpreted as a basis for new scientific studies.

### Key Words

“Autotransporter proteins, genetic and biochemical structure, secretion systems”

## 1. Introduction

Autotransporter proteins, which are the proteins with the highest number of members in all pathogenic Gram-negative bacteria, have been identified to date, more than 1000 members. The general organization and primary structures of autotransporter proteins, which are closely related to the evolution of pathogenicity in these bacteria, are quite similar. However, when the specific functions of autotransporter proteins in bacteria are examined, a high level of diversity is observed. In general organizations; a signal peptide is followed by an N-terminal passenger domain ( $\alpha$  domain) of 20-400 kDa, depending on the species, followed by a C-terminal translocator ( $\beta$ -domain) domain with an average of 30 kDa. In the first studies conducted with these proteins, it was determined that the passenger domain (N-domain) was associated with pathogenicity functions in Gram-negative bacteria, and the C-domain (translocator domain) was associated with protein transport (Veiga et al. 2004; Fulcher et al. 2006). Although these initial determinations are still valid, the initial knowledge on autotransporter proteins has been considerably elaborated in parallel with the intensification of research.

The first autotransporter protein identified in Gram-negative pathogens was the immunoglobulin A protease (IgAP) produced by *Neisseria gonorrhoeae*. The protein in question serves to protect the pathogen from the host immune system by breaking down antibodies. Since there is no information about the secretory systems of these proteins in this process, researchers evaluated the limited data based on protein structure analyzes and predicted that these proteins could carry out their own transport and named them as autotransporter proteins (Van Ulsen et al. 2003, Bhullar et al. 2015, Abreu et al. 2016). However, after this first determination, as the information on the relationship between autotransporter proteins and virulence increased, the secretory mechanisms began to be investigated in detail. As a result of these studies, it has been determined that today, contrary to the first belief, autotransporter proteins are transported using Type V secretion systems. Type V secretion system is a common secretion system found in petogenous bacteria and compared to other secretion systems, it is a secretory system whose existence has only recently been understood. As researches on this secretory system have intensified, it has been determined that different autotransports are transported through different subclasses of Type V secretion system (Chauhan et al. 2016, Da Mata Madeira et al. 2016, Chauhan et al. 2019).

Despite the structural characteristics conserved in evolutionary processes and known similar secretion mechanisms, the specific functions of these proteins have very different effects on pathogenicity and virulence, which can be expressed as the main characteristic that distinguishes the autotransporter protein family from other large protein families. In bacteria where the autotransporter proteins studied so far are found; It has been determined that it has functions such as suppression of immune response, toxin, adhesion and colonization factor (adhesin), host cell invasion factor (invasin), protease, lipase, serum resistance factor, intercellular spreading factor, iron binding protein, autoagglutinin and biofilm factor (Chauhan et al. 2016, Chauhan et al. 2019). In particular, the determination of a close relationship between biofilm forms formed in different pathogens to provide resistance to adverse environmental conditions and autotransporter proteins has given a new dimension and impetus to research on the functions of autotransporter proteins.

## 2. Diversity of Autotransporter Proteins

As previously stated, over 1000 different autotransporter proteins produced by Gram-negative bacteria have been identified. *Escherichia coli* was the richest species in terms of diversity of autotransporter proteins. Major autotransporter proteins isolated from *Escherichia coli* and identified according to their structural and functional differences; Eha (EHEC, adhesin, biofilm factor), Upa (UPEC biofilm factor), Ag43 (autoagglutinin and biofilm factor), YfaL (biofilm factor), AIDA (adhesin), TibA (adhesin, invasin), YgcV (biofilm factor), EspP (proteolytic toxin), Pet (proteolytic toxin), Sat (proteolytic toxin), Tsh (hemagglutinin) and Pic (mucinase). These are autotransporter proteins that have been studied in detail. In *Bordetella* spp. pertactin (adhesin), BrkA (serum resistance factor), TcfA (adhesin) and VagB (adhesin); BprV, BprB, AprV2 and BprX, all of which have elastase activity in *Dichleobacter nodosus*; Apart from the IgA1 protease identified in *Haemophilus influenzae*, Adhesin Hap, Hia and Hsf; VacA (toxin) and BabA (adexzin) identified in *Helicobacter pylori*, MisL (adhesin, invasin), ShdA (adhesin) and ApeE (esterase) identified in *Salmonella* constitute the other most well-known autotransporter family members (Guyer et al. 2002, Jain et al. Goldberg 2007, Wells et al. 2007, Brockmeyer et al. 2009, Nava-Acosta and Navarro-Garcia 2013, Habouria et al. 2019).

As studies on the diversity of autotransporter proteins increase, the functional diversity of these proteins also increases, and the fact that all of these functional diversity is associated with bacterial pathogenicity and virulence is the main reason why isolation and diagnosis studies carried out on this protein family are kept up-to-date. (Habouria et al. 2019) (Table 1).

## 3. General Structure and Secretion Mechanisms of Autotransporter Proteins

Studies on the genetic and biochemical basis of autotransporter proteins have shown that they are highly conserved proteins in the evolutionary process. The conserved structure in all of these proteins is characteristic, with a passenger domain (located at the N-terminus of the polypeptide,  $\alpha$  domain) directing translocation from the inner membrane to the cell surface, and a translocator domain ( $\beta$ -domain) directing secretion from outer membrane to external space of the cell by a secretory pore. Autochaperones and protein binding domains may also be present in the translocator regions, which differ according to the type of autotransporter protein. (Figure

**1a).** Despite all these similar structural features, there is a high diversity in the functions of autotransporter proteins. Their classification is generally based on their functions and secretion systems (Otto et al. 2005, Tajima et al. 2010).

The transport of autotransporter proteins from the cytoplasm is a process that starts with the transportation from the inner membrane systems to the periplasm and after reaching the outer membrane systems from the periplasm, they are either secreted in contact with the cell surface or are completely secreted into the extracellular environment. The passage of autotransporters through barriers such as the inner cell membrane, periplasm and outer cell membrane takes place by energy-dependent and highly complex reactions. There are 6 different secretion systems (protein secretion pathways) used by Gram-negative bacteria in autotransporter protein transport. Type V secretion pathway, which is classified according to the elements they use and the analogy in the biological processes that take place, is also known as the autotransporter secretion pathway (Rutherford and Mourez, 2006, Ruiz-Perez et al. 2009).

Type V secretion system or autotransporter secretion pathway is based on the similarities and differences in the biological processes it uses; It is divided into five subcategories as Type Va, Type Vb, Type Vc, Type Vd and Type Ve (Tian et al. 2010, Casasanta et al. 2017). The point common to all the five categories we mentioned here is the transport of all secreted proteins across the membranes (Translocation) through a transmembrane pore formed by the  $\beta$ -barrel structure (Desvaux et al., 2005, Casasanta et al. 2017, Coppens et al. 2018) (**Figure 1b**).

**Table 1.** Major adhesins produced by gram-negative bacteria

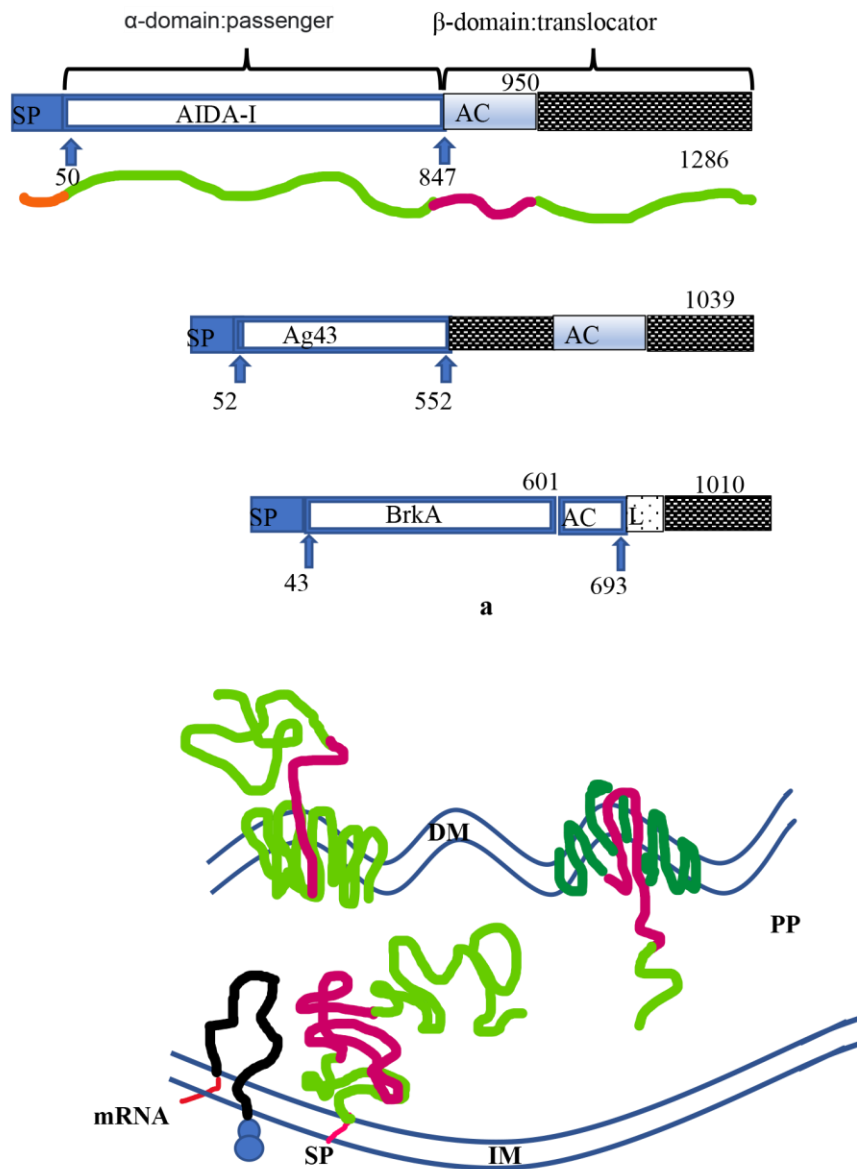
Protein	Producer	Function	Reference
Pertaktin	<i>Bordetella</i>	Adezin	Junker et al. 2006
Ag43, Antigen 43	<i>Escherichia coli</i>	Autoagglutinin, biofilm formation	Navarro-Garcia vd. 2014
BrkA	<i>Bordetella pertusis</i>	Serum resistance	Braud et al. 2014
EspP	<i>Escherichia coli</i>	Proteolytic toxin	Deibel et al. 1998
Ig1A protease	<i>Haemophilus influenzae</i>	Ig1A cleavage	Bhullar et al. 2015
IcsA	<i>Shigella flexneri</i>	Intracellular invasion	Otto et al. 2005
MisL	<i>Salmonella Typhimurium</i>	Adhesin, biofilm formation, invasin	Tükel et al. 2007
ShdA	<i>Salmonella Typhimurium</i>	Adhesin, invasin	Kingsley et al. 2002
VacA	<i>Helicobacter pylori</i>	Toxin	El Tahir and Skurnik 2001
YdaA	<i>Yersinia Enterocolitica</i>	Adezin, Serum	El Tahir and Skurnik 2001
BapA	<i>Yersinia Enterocolitica</i>	Direnci	El Tahir and Skurnik 2001
AIDA-I	<i>Escherichia coli</i>	Adhesin	El Tahir and Skurnik 2001
Bpr 5	<i>Dichleobacter nodosus</i>	Elastase	Suhr et al. 1996
ShlB	<i>Serratia marcesens</i>	Protease	Wells et al. 2007
			Wells et al. 2007

Their secretions strategies can be classified as classical monomeric autotransporters in Type Va secretion system, two partner autotransporters in Type 5b secretion system, trimeric autotransporter adhesins (TAA) in Type 5c secretion system, hybrid autotransporters in Type 5d secretion system, and inverted autotransporters in Type 5e secretion system (Thanassi et al. 2005, Berne et al. 2015) (Thanassi et al. 2005, Berne et al. 2015). In all subclasses of the type V secretion system mentioned above; a signal sequence, the passenger domain of the secreted protein, and a  $\beta$ -barrel translocation domain are necessarily involved. However, the exact composition, order and size of these areas differ between subclasses (Schimid et al. 2003, Desvaux et al. 2005, Junker et al. 2006, Junker et al. 2009, Leo and Linke 2018) (**Figure 1a**).

### 3.1.Type Va Secretion System (Classic Monomeric Autotransporters)

In this system, the secretion of monomeric autotransporter proteins takes place. autotransporters using the Type Va secretion pathway are also called classical autotransporters. The most known members of this class are IgA protease from *Neisseria meningitidis*, EstA, a lipase from *Pseudomonas aeruginosa* and AIDA-I from *Escherichia coli*. This class of autotransporters can also be subclassed into serine proteases (SPATE), serine protease-like (SPATE-like), and serine non-prosthetic (non-SPATE) based on their protease activity (Hendrixson and St Geme 1998, Heimer et al. 2004, Junker et al. 2009, Navarro-Garcia et al. 2014). In some cases, the type Va passenger domain may separate after secretion. Passenger domains with enzymatic activity such as SPATE proteases have also been identified in some members of adhesins such as AIDA-I. Other examples of this subclass are SAATs (self-aggregating autotransporters) such as the *E. coli* autotransporter Ag43 (Westendorf et al. 2005, Navarro-Garcia et al. 2014).

The most studied subclass in the Type 5 secretion pathway is Type Va. Monomeric autotransporter proteins contain a 12-sheet  $\beta$ -barrel domain that functions as a C-terminal anchor on the outer membrane and is required for transport of the N-terminal passenger domain into the extracellular environment. Passenger domains usually have a repeating  $\beta$ -helix folding outward from the bacterial cell surface, as determined in the passenger domain of pertactin. These proteins can also contain the  $\alpha$ -helix passenger domain, as has been detected for EstA. The passenger domain serves the specific function of the protein, which is related to virulence.



**Figure 1.** Structural domains (a) and secretion (b) of engineered classical autotransporter proteins of *E. coli* (AIDA-I, Ag43) and *B. pertussis* (BrkA). SP: signal peptide; AC: autochaperone area required for stability and folding; L: linker domain; arrows: binding and processing sites, IM: inner membrane, SP: signal peptide, PP: periplasm, DM: outer membrane.

In this system, autotransporter protein; It contains a signal sequence, a passenger domain, and a  $\beta$ -barrel translocation domain of approximately 300 amino acids. The signal sequence directs translocation (displacement) across the cell membrane in a process mediated by the SecYEG translocon (Desvaux et al. 2005, Meuskens et al. 2015). After the autotransporter protein enters the periplasm, which is located between the outer and inner membranes, the signal sequence is enzymatically removed from the peptide structure. After this step has taken place, specific periplasmic chaperones (SurA, Skp, and DegP) help deliver the peptide to the outer membrane  $\beta$ -barrel assembly machinery (Bam) complex (Serruto et al. 2010, Braud et al. 2014, Bdenanti et al. 2015). This complex facilitates insertion of the C-terminal translocation domain into the outer membrane as a monomeric  $\beta$ -barrel. The  $\beta$ -barrel domain of the Type Va secretory system initiates displacement of the passenger domain to the cell surface and acquires a folded conformation when this process is complete (**Figure 1b**). Although the precise mechanism of passenger domain-directed translocation has not yet been elucidated, it has been determined that the Bam complex is an integral part of this process (Bdenanti et al. 2015, Meuskens et al. 2015). Bam complex in *Escherichia coli*; It has been determined that it consists of five proteins, namely BamA, BamB, BamC, BamD and BamE (Maroncle et al. 2006, Jain and Goldberg, 2007). BamA is an outer membrane protein that has a critical role in the formation of this complex. BamA, BamB, BamC, BamD, and BamE bind to them by non-covalent interactions to form the lipoprotein complex. It has been determined that BamA and BamD, which are included in this final complex, also have critical roles in cell viability, unlike other components of the complex (Manrocle et al. 2006). However, all components of the Bam complex are known to function in the integrity of the outer membrane and in the biogenesis of some outer membrane proteins. Recent studies evaluating the contribution of individual Bam complex proteins to the biogenesis of autotransporters have shown that BamA and BamD are required for secretion of classical autotransporters such as AIDA-1 from *E. coli*. Similar functions of the Bam complex have been described in the secretion of *S. Typhimurium* MisL and ShdA proteins, which are determined to be members of AIDA-1 (Kingsley et al. 2002, Kingsley et al. 2004). Although some studies have found evidence that BamB, BamC, and BamE proteins are not essential for the secretion of classical autotransporter proteins, evidence that they contribute to the functionality of the Bam complex has been identified as a result of functional analyzes of mutants for these genes (Zhao et al. 2009, Pokharel et al. 2020). ). Detection that the translocation assembly machine (Tam) complex is an essential secretory element in addition to the Bam complex in the Type Va secretion system has provided the explanation of the basic mechanism of this secretion system at the molecular level. Its complete complex consists of TamA, an outer membrane protein, and TamB, an inner membrane protein. TamB and BamA contain a high level of structural similarity. Further studies, Full complex; demonstrated that it facilitated the efficient assembly of both Type I fimbriae and Type 5e autotransporters. However, the precise contribution of the Tam complex to the biogenesis of all types of the Type V secretory system has not yet been elucidated (Zhao et al. 2009, Wouter et al. 2010, Pokharel et al. 2020).

### 3.2.Type Vb Secretion System (Two Partner Secretion System)

The typical characteristic of two partner autotransporter proteins is that they consist of two polypeptides, one with a passenger function and the other with a translocation function. Filamentous hemagglutinin (FHA) produced from *Bordetella* is the best described member of this subclass (Jacob-Dubuisson et al. 2013) Of the two polypeptide chains defined in FHA, it was determined that TspA was responsible for the passenger function and TspB2 was responsible for the translocator function. It has been determined that these two protein genes are located in the same operon. As a result of detailed molecular analysis, it was determined that TspB is a  $\beta$ -barrel protein in the outer membrane and contains two POTRA (polypeptide transport-associated domain). Because these autotransporters are composed of two polypeptides, they do not require a proteolytic cleavage reaction during the secretion of the passenger domain into the external environment. After the transport, the passenger domain can go through different processes. Some TpsB proteins remain non-covalently attached to the outer membrane, as exemplified in HMW1 and HMW2, the autotransporter proteins of *Haemophilus influenzae*, while others, such as the *Serratia marcescens* protein ShlA, can be secreted outside the cell (St. Geme 1994, Jacob-Dubuisson et al. 2013, Braud et al. 2014, Casasanta et al., 2017).

### 3.3.Type Vc Secretion System (Trimeric Autotransporter Adhesins (TAA's))

Trimeric autotransporters generally have adhesin functions and with these properties, they play a critical role in the pathogenicity of Gram-negative bacteria. These characteristics clearly distinguish them from TipVa autotransporters. Since these proteins do not contain enzymatic properties, they are not secreted from the cell surface by an autoproteolytic process. These autotransporter proteins, which are characterized by highly nested trimeric structures, are called TAAs for short. YadA (*Yersinia* adhesin) is a typical example of this autotransporter class. These proteins are composed of three identical polypeptide chains and, in their final folded form, contain a C-terminal  $\beta$ -barrel structure (the  $\beta$ -barrel structure has 12 sheets, with 4  $\beta$ -strands per monomer) (El Tahir and Skurnik 2001). Type 5c secretion system and proteins belonging to the family of trimeric autotransporter adhesins (TAA's) secreted by this secretory system have important differences when compared to Type Va secretion system members. TAAs contain a short C-terminal translocation domain of 70-100 amino acids, and therefore, the protein must form a homotrimer to form a complete  $\beta$ -barrel (Ishikawa et al. 2012). Ultimately, unlike the passenger domains of the Type V5 secretion system, which is usually defined by a monomeric  $\beta$ -helix structure, TAA passenger domains form a trimeric structure composed of oligomeric helix-coil regions interspersed with distinct head and neck motifs. Considering this situation, those with the simplest secretion system among the subclasses accepted in the Type 5 secretion system; It can be said that there are Type Va, Type Vb (two-element system) and Type 5c (AT-2 system) mechanisms (Olvera et al. 2011).



### 3.4. Type Vd Secretion System (Hybrid Secretion System)

It is possible to define the Type Vd secretion system as a mixture of Type Va and Type Vb secretion systems. Type members of the type Vd secretion system include PlpD (palatin-like protein) isolated from *Pseudomonas aeruginosa*, FplA isolated from *Fusobacterium nucleatum* and PlpD homologs from *Aeromonas hydrophila* (a fish pathogen), *Burkholderia pseudomallei* (a human pathogen) and *Ralstonia solanacearum* (a plant pathogen). The passenger domain of Type 5d autotransporter proteins has lipase activity and when secreted by the Type Vd system, this region is released as a result of autocatalytic activity. This autocatalytic activity of the N passenger domain ( $\alpha$ -domain) of Type Vd autotransporters is the main difference that distinguishes them from Type Va autotransporters. The  $\beta$ -barrel domain located in the C-terminal domain of Type Vd autotransporter proteins is highly similar to the  $\beta$ -barrel domain of Type Vb autotransporters. However, while Type Vb autotransporter proteins require two PORTRA domains for their functionality, a single PORTRA domain is sufficient for the functionality of Type Vb proteins. In type Vd proteins, the PORTRA is an intrinsic domain (Da Mata Madeira et al., 2016; Casasanta et al., 2017; Leo and Linkle 2018). The inclusion of these proteins, which have characteristic lipase and esterase activities in their passenger domains, in a different subsecretory class is still controversial, due to their high similarity to the Va and Vb-type autotransporters, apart from the minor differences mentioned above (Pokharel, et al. 2020).

### 3.5 Type Ve (Reverse Autotransporters)

The most typical member of this class of autotransporter proteins is intimin, which was isolated from *Escherichia coli*. In addition, *Yersinia* adhesins (for example YadA isolated from *Yersinia enterocolitica*) are the most extensively studied members of this group. YadA is known to contain an immunogenic (Ig) domain associated with the bacterial outer membrane. On the other hand, intimin from *Escherichia coli* plays critical roles in the attachment of this bacterium to host cells and in the surface colonization. As a result of molecular studies on the structural features of the Type Ve autotransporters, it was determined that they contain an N-terminal domain in the periplasm and a transmembrane-terminal on the outer membrane of the cell. Unlike other autotransporters, the order of the passenger and translocator domains of Type Ve autotransporter proteins is reversed. Because of this inverse relationship, the extracellular domain is C-terminal in these proteins (Leo and Linke 2018). This has led to these proteins being termed "reverse autotransporters". The passenger domain of reverse autotransporters typically contains domains with Ig- or lectin-like folds. In some samples, long and repetitive Ig-like domains covered with a lectin-like domain were detected. Some other types and autotransporter proteins have been found to contain an additional periplasmic domain not found in all members. This periplasmic domain aids in dimerization as well as interactions with peptidoglycan. This function; probably by contributing to the stabilization of the peptidoglycan layer and assisting the receptor interactions needed at the stage of host invasion to the pathogen (Yeo et al. 2004, Meuskens et al. 2015, Leo and Linke 2018).

## 4. Conclusion

Determining that autotransporter proteins, which are defined only in bacteria in the living world, are important pathogen-associated molecular elements (PAMP) that govern the pathogenicity and virulence of Gram-negative bacteria, accelerated the studies on the molecular nature of these proteins. The identification of new autotransporters diversifies studies on the genetic and biochemical basis of these proteins and details information on their evolutionary origins. The unexpectedly high diversity of these proteins, which are genetically and biochemically conserved, indicates that this is due to the diversity in their processing, folding and secretion systems. For this reason, research on autotransporter proteins has been mostly shifted to this field. In summary, although the genetic structure and regulation properties of the genes encoding autotransporter proteins identified from different bacteria and the structural and functional domains of the peptides encoded by these genes have been well defined, the information about the changes they undergo during their transport through the membranes is not sufficient.

The highly diverse functions of autotransporters associated with pathogenicity in Gram-negative bacteria indicate that they can be used as new molecular targets in the fight against pathogens. Therefore, the information detailed on these proteins has a high potential to be the harbinger of new vaccines and drug agents.

## References

- Abreu, A. G., Abe, C. M., Nunes, K. O., Moraes, C. T. P., Chavez-Dueñas, L., Navarro-Garcia, F. (2016). The serine protease Pic as a virulence factor of atypical enteropathogenic *Escherichia coli*. *Gut Microbes* 7, 115–125. doi: 10.1080/19490976.2015.1136775.
- Baud, C., Guérin, J., Petit, E., Lesne, E., Dupré, E., Loch, C. (2014). Translocation path of a substrate protein through its Omp85 transporter. *Nat. Commun.* 5:5271-5275. doi: 10.1038/ncomms6271.
- Benanti, E. L., Nguyen, C. M., and Welch, M. D. (2015). Virulent burkholderiaspecies mimic host actin polymerases to drive actin-based motility. *Cell* 161, 348–360. doi: 10.1016/j.cell.2015.02.044.
- Berne, C., Ducret, A., Hardy, G. G., and Brun, Y. V. (2015). Adhesins involved in attachment to abiotic surfaces by Gram-negative bacteria. *Microbiol. Spectr.* 3,1–45. doi: 10.1128/microbiolspec.MB-0018-2015.

- Bhullar, K.; Zarepour, M.; Yu, H.; Yang, H.; Croxen, M.; Stahl, M.; Finlay, B.B.; Turvey, S.E.; Vallance, B.A. (2015). The Serine Protease Autotransporter Pic Modulates *Citrobacter Rodentium* Pathogenesis and Its Innate Recognition by the Host. *Infect. Immun.* 83, 2636–2650.
- Brockmeyer, J.; Spelten, S.; Kuczius, T.; Bielaszewska, M.; Karch, H. (2009). Structure and Function Relationship of the Autotransport and Proteolytic Activity of EspP from Shiga Toxin-Producing *Escherichia coli*. *PLoS ONE*, 4, e6100.
- Casasanta, M. A., Yoo, C. C., Smith, H. B., Duncan, A. J., Cochrane, K., Varano, A. C. (2017). A chemical and biological toolbox for Type Vd secretion: characterization of the phospholipase A1 autotransporter FplA from *Fusobacterium nucleatum*. *J. Biol. Chem.* 292, 20240–20254. doi: 10.1074/jbc. M117.819144.
- Chauhan, N., Wrobel, A., Skurnik, M., and Leo, J. C. (2016). Yersinia adhesins: an arsenal for infection. *Proteomics Clin. Appl.* 10, 949–963. doi: 10.1002/prca. 201600012.
- Chauhan, N., Hatlem, D., Orwick-Rydmark, M., Schneider, K., Floetenmeyer, M., van Rossum, B. (2019). Insights into the autotransport process of a trimeric autotransporter, Yersinia Adhesin A (YadA). *Mol. Microbiol.* 111,844–862. doi: 10.1111/mmi.14195.
- Coppens, F., Castaldo, G., Debraekeleer, A., Subedi, S., Moonens, K., Lo, A. (2018). Hop-family Helicobacter outer membrane adhesins form a novel class of Type 5-like secretion proteins with an interrupted b-barrel domain. *Mol. Microbiol.* 110, 33–46. doi: 10.1111/mmi.14075.
- Da Mata Madeira, P. V., Zouhir, S., Basso, P., Neves, D., Laubier, A., Salacha, R. (2016). Structural basis of lipid targeting and destruction by the type v secretion system of *Pseudomonas aeruginosa*. *J. Mol. Biol.* 428, 1790–1803. doi: 10.1016/j.jmb.2016.03.012.
- Deibel, C., Krämer, S., Chakraborty, T., Ebel, F. (1998). EspE, a novel secreted protein of attaching and effacing bacteria, is directly translocated into infected host cells, where it appears as a tyrosine-phosphorylated 90 kDa protein. *Mol. Microbiol.* 28, 463–474. doi: 10.1046/j.1365-2958.1998.00798.
- Desvaux, M., Khan, A., Beatson, S. A., Scott-Tucker, A., and Henderson, I. R. (2005). Protein secretion systems in *Fusobacterium nucleatum*: Genomic identification of Type 4 piliation and complete Type V pathways brings new insight into mechanisms of pathogenesis. *Biochim. Biophys. Acta* 1713, 92–112. doi: 10.1016/j.bbame.2005.05.002.
- El Tahir, Y., Skurnik, M. (2001). YadA, the multifaceted Yersinia adhesin. *Int. J. Med. Microbiol.* 291, 209–218. doi: 10.1078/1438-4221-00119.
- Fulcher, R. A., Cole, L. E., Janowicz, D. M., Toffer, K. L., Fortney, K. R., Katz, B. P. (2006). Expression of *Haemophilus ducreyi* collagen binding outer membrane protein NcaA is required for virulence in swine and human challenge models of chancroid. *Infect. Immun.* 74, 2651–2658. doi: 10.1128/iai. 74.5.2651-2658.2006.
- Guyer, D.M.; Radulovic, S.; Jones, F.-E.; Mobley, H.L.T. (2002). Sat, the Secreted Autotransporter Toxin of Uropathogenic *Escherichia coli*, Is a Vacuolating Cytotoxin for Bladder and Kidney Epithelial Cells. *Infect. Immun.* 70, 4539–4546.
- Habouria, H., Pokharel, P., Maris, S., Garénaux, A., Bessaiah, H., Houle, S., Veyrier, F.J., Guyomard-Rabenirina, S., Talarmin, A., Dozois, C.M. (2019). Three New Serine-Protease Autotransporters of Enterobacteriaceae (SPATEs) from Extra-Intestinal Pathogenic *Escherichia coli* and Combined Role of Spates for Cytotoxicity and Colonization of the Mouse Kidney. *Virulence.* 10, 568–587.
- Heimer, S.R., Rasko, D.A., Lockatell, C.V., Johnson, D.E., Mobley, H.L.T. (2004). Autotransporter Genes Pic and Tsh Are Associated with *Escherichia coli* Strains That Cause Acute Pyelonephritis and Are Expressed During Urinary Tract Infection. *Infect. Immun.* 72, 593–597.
- Hendrixson, D.R.; St Geme, J.W. (1998). The *Haemophilus influenzae* Hap Serine Protease Promotes Adherence and Microcolony Formation, Potentiated by a Soluble Host Protein. *Mol. Cell.* 2, 841–850.
- Ishikawa, M., Nakatani, H., Hori, K., Hori, K., Matsumoto, S., Soto, G. (2012). AtaA, a new member of the Trimeric Autotransporter Adhesins from *Acinetobacter* sp. Tol 5 mediating high adhesiveness to various abiotic surfaces. *PLoS One* 7:e48830. doi: 10.1371/journal.pone.0048830.
- Jacob-Dubuisson, F., Guérin, J., Baelen, S., Clantin, B. (2013). Two-partner secretion: As simple as it sounds? *Res. Microbiol.* 164, 583–595. doi: 10.1016/j.resmic.2013.03.009.
- Jain, S., Goldberg, M. B. (2007). Requirement for YaeT in the outer membrane assembly of autotransporter proteins. *J. Bacteriol.* 189, 5393–5398. doi: 10.1128/jb.00228-07.

- Junker, M., Schuster, C. C., McDonnell, A. V., Sorg, K. A., Finn, M. C., Berger, B. (2006). Pertactin beta-helix folding mechanism suggests common themes for the secretion and folding of autotransporter proteins.
- Junker, M., Besingi, R. N., Clark, P. L. (2009). Vectorial transport and folding of an autotransporter virulence protein during outer membrane secretion. *Mol. Microbiol.* 71, 1323–1332. doi: 10.1111/j.1365-2958.2009.06607.
- Kingsley, R. A., Santos, R. L., Keestra, A. M., Adams, L. G., and Bäuml, A. J. (2002). Salmonella enterica serotype Typhimurium ShdA is an outer membrane fibronectin-binding protein that is expressed in the intestine. *Mol. Microbiol.* 43, 895–905. doi: 10.1046/j.1365-2958.2002.02805.
- Kingsley, R. A., Ghanem, D. A., Puebla-Osorio, N., Keestra, A. M., Berghman, L., Bäuml, A. J. (2004). Fibronectin binding to the Salmonella enterica serotype typhimurium ShdA autotransporter protein is inhibited by a monoclonal antibody recognizing the A3 repeat. *J. Bacteriol.* 186, 4931–4939. doi: 10.1128/jb.186.15.4931-4939.2004.
- Leo, C. J., Linke, D. (2018). A unified model for BAM function that takes into account type Vc secretion and species differences in BAM composition. *AIMS Microbiol.* 4, 455–468. doi: 10.3934/microbiol.2018.3.455.
- Maroncle, N.M., Sivick, K.E., Brady, R., Stokes, F.-E., Mobley, H.L.T. (2006). Protease Activity, Secretion, Cell Entry, Cytotoxicity, and Cellular Targets of Secreted Autotransporter Toxin of Uropathogenic *Escherichia coli*. *Infect. Immun.* 74, 6124–6134.
- Meuskens, I., Saragliadis, A., Leo, J.C., Linke, D. (2015). Type V Secretion Systems: An Overview of Passenger Domain Functions. *Frontiers in Microbiology*, doi: 10.3389/fmicb.2019.01163.
- Nava-Acosta, R., Navarro-Garcia, F. (2013). Cytokeratin 8 Is an Epithelial Cell Receptor for Pet, a Cytotoxic Serine Protease Autotransporter of Enterobacteriaceae. *MBio.* 4, e00838-13.
- Navarro-Garcia, F., Serapio-Palacios, A., Vidal, J.E., Salazar, M.I., Tapia-Pastrana, G. (2014). Espc Promotes Epithelial Cell Detachment by Enteropathogenic *Escherichia coli* Via Sequential Cleavages of a Cytoskeletal Protein and Then Focal Adhesion Proteins. *Infect. Immun.* 2014, 82, 2255–2265.
- Olvera, A., Pina, S., Pérez-Simó, M., Aragón, V., Segalés, J., Bensaid, A. (2011). Immunogenicity and protection against *Haemophilus parasuis* infection after vaccination with recombinant virulence associated trimeric autotransporters (VtaA). *Vaccine* 29, 2797–2802. doi: 10.1016/j.vaccine.2011.01.105.
- Otto, B. R., Sijbrandi, R., Luirink, J., Oudega, B., Heddle, J. G., Mizutani, K. (2005). Crystal structure of hemoglobin protease, a heme binding autotransporter protein from pathogenic *Escherichia coli*. *J. Biol. Chem.* 280, 17339–17345. doi: 10.1074/jbc.m412885200.
- Pokharel, P., Habouria, H., Bessaiah, H., Dozois, C.M. (2019). Serine Protease Autotransporters of the Enterobacteriaceae (SPATEs): Out and About and Chopping It Up. *Microorganisms.* 7, 594-600.
- Pokharel, P., Díaz, J.M., Bessaiah, H., Houle, S., Guerrero-Barrera, A., Dozois, C.M. (2020). The Serine Protease Autotransporters TagB, TagC, and Sha from Extraintestinal Pathogenic *Escherichia coli* Are Internalized by Human Bladder Epithelial Cells and Cause Actin Cytoskeletal Disruption. *Int. J. Mol. Sci.* 2020, 21, 3047-3052.
- Ruiz-Perez, F., Henderson, I.R., Leyton, D.L., Rossiter, A.E., Zhang, Y., Nataro, J.P. (2009). Roles of periplasmic chaperone proteins in the biogenesis of serine protease autotransporters of Enterobacteriaceae. *J. Bacteriol.* 191, 6571–6583.
- Rutherford, N., Mourez, M. (2006). Surface display of proteins by Gram-negative bacterial autotransporters. *Microb. Cell Factories* 5, 22.
- Schmidt, M.A., Riley, L.W., Benz, I. (2003). Sweet new world: glycoproteins in bacterial pathogens. *Trends Microbiol.* 11, 554–561.
- Serruto, D., Spadafina, T., Scarselli, M., Bambini, S., Comanducci, M., Höhle, S., Kilian, Soprova, Z., Sauri, A., van Ulsen, P., Tame, J.R., den Blaauwen, T., Jong, W.S., Luirink, J. (2010). A conserved aromatic residue in the autochaperone domain of the autotransporter Hbp is critical for initiation of outer membrane translocation. *J. Biol. Chem.* 285, 38224–38233.
- St Geme III, J.W., Yeo, H.J. (2009). A prototype two-partner secretion pathway: the *Haemophilus influenzae* HMW1 and HMW2 adhesin systems. *Trends Microbiol.* 17, 355–360.
- Suhr, M., Benz, I., Schmidt, M.A. (1996). Processing of the AIDA-I precursor: removal of AIDAc and evidence for the outer membrane anchoring as a  $\beta$ -barrel structure. *Mol. Microbiol.* 22, 31–42.
- Tajima, N., Kawai, F., Park, S.Y., Tame, J.R.H. (2010). A novel intein-like autoproteolytic mechanism in autotransporter proteins. *J. Mol. Biol.* 402, 645–656.

- Thanassi, D.G., Stathopoulos, C., Karkal, A., Li, H. (2005). Protein secretion in the absence of ATP: the autotransporter, two-partner secretion and chaperon/ usher pathways of Gram-negative bacteria. *Mol. Membr. Biol.* 22,63–72.
- Tian, P., Bernstein, H.D. (2010). Molecular basis for the structural stability on an enclosed-barrel loop. *J. Mol. Biol.* 402, 475–489.
- Van Ulsen, P., van Alphen, L., ten Hove, J., Fransen, F., van der Ley, P., Tommassen, J. (2003). A neisserial autotransporter NalP modulating the processing of other autotransporters. *Mol. Microbiol.* 50, 1017–1030.
- Veiga, E., de Lorenzo, V., Fernández, L.A. (2004). Structural tolerance of bacterial autotransporters for folded passenger protein domains. *Mol. Microbiol.* 52,1069–1080.
- Wells, T.J., Tree, J.J., Ulett, G.C., Schembri, M.A. (2007). Autotransporter proteins: novel targets at the bacterial cell surface. *FEMS Microbiol. Lett.* 274, 163–172.
- Westendorf, A.M., Gunzer, F., Deppenmeier, S., Tapadar, D., Hunger, J.K., Schmidt, M.A., Buer, J., Bruder, D. (2005). Intestinal immunity of *Escherichia coli* NISSLE 1917: a safe carrier for therapeutic molecules. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.* 43, 373–384.
- Wouter, S.P.J., Sauri, A., Luirink, J. (2010). Extracellular production of recombinant proteins using bacterial autotransporters. *Curr. Opin. Biotechnol.* 21, 646–652.
- Yeo, H.J., Cotter, S.E., Laarmann, S., Juehne, T., St Geme III, J.W., Waksman, G. (2004). Structural basis for host recognition by the *Haemophilus influenzae* Hia autotransporter. *EMBO J.* 23, 1245–1256.
- Zhao, L., Nguyen, N.T., Fernandez, R.C., Murphy, M.E. (2009). Crystallographic characterization of the passenger domain of the *Bordetella* autotransporter BrkA. *ActaCrystallogr. Sect. F Struct. Biol. Cryst. Comm.* 65, 608–611.



## Askeri Ergonomi Çalışmaları için Literatür Taraması

### Literature Review for Military Ergonomics Studies

Kemal Gürol Kurtay<sup>1</sup>, Yunus Gökmen<sup>1</sup>, Hakan Ayhan Dağıstanlı<sup>1</sup>, Recep Semih Topaklı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Milli Savunma Üniversitesi Kara Harp Okulu Dekanlığı Endüstri ve Sistem Mühendisliği Bölüm Başkanlığı, 06530 Ankara, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 01/10/2021

Kabul / Accepted: 30/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

#### Öz

Ergonomi insanların anatomilerini, antropometrik ölçülerini, fiziksel kapasitelerini ve toleranslarını değerlendirip iş ortamında bulunan faktörleri inceleyerek insan, makine, ortam ilişkisini araştıran disiplinlerarası bilim dalıdır. Ergonomi, sanayi devriminin sonucu olarak 1950'li yıllarda önem kazanmaya başlamış ve meydana gelen savaşlar sonucunda askeri alana yönelmiştir. Zamanla gelişen ve değişen koşullarla birlikte önemi gittikçe artmış, askeri sistemlerin tasarlanmasında antropometrik ölçülerle fizyolojik, psikolojik ve çevresel verilerin oluşturduğu birçok faktör incelenerek askeri uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Askeri sistemlerle ilgili tasarımlarda titreşim, aydınlatma, sıcaklık, gürültü, zehirli gazlar gibi çevresel etkenleri azaltıcı çözümler önemli rol oynamaktadır. Çok sayıda personelin aynı yerde yaşayabilmesini zorunlu kılan savaş gemisi, helikopter, uçak ve denizaltı gibi araçlardan bir askerin kullandığı silah kabzası gibi küçük parçalara kadar tüm askeri teçhizat ergonomi açısından inceleme sahası olmakta ve özel çözümler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Personelin verimli çalışabilmesi için ihtiyaç duyulan alanın antropometrik ölçülere göre tasarlanması gerekmekte ve yapılan bu ergonomik geliştirmeler ile orduların ve personelin savaş etkinliği artırılarak operasyonlardan elde edilecek başarı oranının yükseltilmesi hedeflenmektedir. Tasarımcıların bu hedeflere ulaşabilmesi için araştırmacılar tarafından literatürde birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada askeri ergonomi çalışmaları araştırılarak literatür incelemesi yapılmıştır. Amaç; günümüze kadar yapılan askeri alanlardaki ergonomi çalışmalarını inceleyerek problem sahalarını belirleyip bu alanda yeni çalışmalar yapacak araştırmacılar için literatürü özet halinde sınıflandırarak sunmak ve ileride yapılacak akademik çalışmalarda araştırmacılara yön göstermektir.

#### Anahtar Kelimeler

*“Ergonomi, Askeri Ergonomi, Antropometri”*

#### Abstract

Ergonomics is an interdisciplinary science that investigates the relationship between human, machine and environment by evaluating the anatomy, anthropometric dimensions, physical capacities and tolerances of people and examining the factors in the work environment. Ergonomics began to gain importance in the 1950s as a result of the industrial revolution and turned to the military field as a result of the wars. The importance of ergonomics has gradually increased with the developing and changing conditions over time. In the design of military systems, many factors created by anthropometric measurements and physiological, psychological and environmental data have been examined and started to be used in military applications. Solutions that reduce environmental factors such as vibration, lighting, temperature, noise and toxic gases play an important role in military systems designs. All military equipment, from vehicles such as warships, helicopters, airplanes and submarines, which make it mandatory for a large number of personnel to live in the same place, to small parts such as a gun handle used by a soldier, is a field of examination in terms of ergonomics and requires the development of special solutions. In order to work efficiently for the personnel, the required area should be designed according to anthropometric measurements, and with these ergonomic developments, it is aimed to increase the success rate of the operations by increasing the combat effectiveness of the armies and personnel. In order to achieve these goals for designers, it is seen that many studies have been carried out by researchers in the literature. In this study, military ergonomics studies were investigated and a literature review was made. The aim is to present the literature in summary form for researchers who will examine the ergonomics studies in the military fields, identify the problem areas and make new studies in this field, and guide the researchers in future academic studies.

#### Key Words

*“Ergonomics, Military Ergonomics, Anthropometry”*

## 1. Giriş

İnsan, iş ve günlük yaşamdaki durumlara odaklanan ergonomi, iş ortamında bireylerin çalışma koşullarını inceleyerek etkilerini araştıran bilim dalıdır. İnsan faktörünün içinde bulunduğu tüm ortamları, makineleri, araçları ve bunların etkilerini araştırarak insan bedenine olan uyumu değerlendirmektedir. Ergonominin birincil amacı insan, makine ve ortam uyumunu sağlayarak meslek hastalıklarını, iş kazalarını önlemek, çalışanların güvenliğini ve performansını arttırmaktır. Ergonomi alanında insan faktörünün önemli bir kriter olması sebebiyle insanların beden ölçülerinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle ergonomi ve antropometri birbirleriyle sıkı ilişki içerisinde olan iki farklı disiplindir.

Modern ergonomi bilimi 12 Temmuz 1949 yılında, İngiliz donanmasında yapılan insan ile iş arasındaki problemlerin değerlendirildiği bir toplantıda yer almış ve 16 Şubat 1950 tarihinde ergonomi terimi resmen kullanılmaya başlanmıştır. 1950’li yıllardan sonraki süreçlerde sanayi devrimi ve ekonomik problemlere bağlı olarak endüstriyel alanda uygulama çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalarla çalışanların sağlığını, güvenliğini, motivasyonunu ve verimliliğini arttırmak için çalışma ortamının tasarımında Ergonomi ve Antropometri biliminden yararlanılmıştır. 1950’li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri’nde askeri problemlere çözüm bulunmasına yönelik çalışmalar yapılmış ve askeri alanda ergonomi bilimi bu çalışmalar ile önem kazanmaya başlamıştır. Sanayi ergonomisi 1960’lı yıllarda, tüketici ergonomisi 1970’li yıllarda öne çıkmıştır. Bu gelişmeler neticesinde değişen ve gelişen teknoloji ile birlikte makinelerin kullanım alanlarının artması, personelin makine ve dış ortam ile olan etkileşiminin fazlalığı ergonomi biliminin önemini arttırmıştır (North, 1997).

Bu çalışmada öncelikle ergonomi kavramının terimsel anlamda ortaya çıkışı ve bilim dünyasına girişi genel olarak ele alınmıştır. Ergonomi teriminin önemi ve bu alanda yapılan bilimsel çalışmaların getirdiği faydalara kısaca değinilmiştir. Daha sonra bu faydalara da bakılarak ergonomi kavramının tarihsel süreçte temelleri olduğu tahmin edilen milattan önceki çalışmalardan bahsedilmiş ve 15. yüzyıldan 19. yüzyılın başına kadar ergonomik çalışmalara örnekler verilmiştir. 1906 yılındaki iş sağlığı konulu ilk uluslararası konferanstan, ergonomi biliminin dünyada ve ülkemizde üniversitelere ders niteliğinde kabul edilmesine kadar geçen süreç ise tarihçe başlığı altında özetlenmiştir. Bu aşamadan sonra çalışmamızın ana gövdesini oluşturan askeri alanda ergonominin rolü ve askeri silah, teçhizat ve malzemelerdeki ihtiyaç duyulan ergonomik gereksinimler çeşitli örnekler yardımıyla anlatılmıştır. Literatür taraması kısmında ise “Science Direct” ve “Google Akademik” veri tabanlarındaki hava, deniz ve kara kuvvetlerinde geçmişten günümüze yapılan ergonomik çalışmalar kronolojik olarak ele alınmıştır. Sonuç bölümünde askeri alanda yapılan ergonomi çalışmaları hakkında genel bir değerlendirme yapılmış ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında çıkarımlarda bulunulmuştur.

## 2. Ergonomi Hakkında Genel Bilgi

### 2.1. Ergonomi Kavramı ve Terimi

Çalışanlar üzerinde incelemeler yaparak çalışma koşulların değerlendirilmesi İtalyan bilim adamı Bernardino Ramazzinni’nin yaptığı çalışmalara dayanmaktadır. Aynı zamanda iş yeri hekimi olan Ramazzinni, 1700 yılında yazmış olduğu De Morbis Artificum (Çalışanların Hastalıkları) eserinde endüstride karşılaştığı meslek hastalıkları ve kazaları incelemiştir. Kendisinden sonra yapılan çalışmalara yol gösterici olmuş ve meslek hastalıkları, iş kazaları ve çalışma koşullarını inceleyen ergonomi kavramı ortaya çıkmıştır (Behar, 2007).

Ergonomi terimi Polonyalı bilim adamı Wojciech Bogumil Jastrzebowski tarafından Yunanca iş anlamına gelen “ergo” ile prensipler, kanunlar anlamına gelen “nomos” adlı iki kelimenin birleşiminden oluşturulmuş ve modern bilim literatürüne kazandırılmıştır (Çiçek ve Çağdaş, 2019). Ergonomi terimi Türk Dil Kurumu tarafından Türkçe’ye “işbilim” olarak geçmesine karşılık ergonomi terimi daha yaygın kullanılmaktadır.

### 2.2. Ergonominin Önemi ve Faydaları

İnsanların anatomik ve antropometrik özelliklerini, fiziksel kapasitelerini ve toleranslarını göz önüne alarak, iş ortamındaki tüm faktörlerin etkisi ile sistem verimliliğini artırarak insan-makine-ortam uyumunun sağlanması üzerine çalışan bilimsel bir yaklaşım olan ergonominin başlıca faydaları;

- İnsan sağlığını koruyarak güvenlik seviyesini arttırmak,
- İnsanın hata yapma olasılığını azaltmak,
- Maliyeti azaltmak için tasarım ve operasyonlar üzerine çalışmalar yapmak,
- Etkili ve düzgün bir iletişim kurmak,
- İşlerin süreçlerini inceleyerek işin daha kolay yapılabilmesini sağlamak,

- Hızlı öğrenme imkânı sunmak,
- Daha fazla stabilite sağlamak,
- Yeni tasarımlara olan ihtiyacı azaltmak,
- İş akışını düzenleyerek arıza veya duraksama zamanlarını azaltmaktır.

### 2.3. Tarihçe

Ergonominin ilk temellerinin; eski Yunan medeniyeti olan Helen uygarlığında M.Ö. 5. Yüzyılda ergonomik prensiplerle tasarlanan çalışma yerleri ve malzemelere ulaşılmasıyla atıldığı düşünülmektedir. Benzer şekilde M.Ö. 200'de Çin Seddi yapımında çalışan işçilerin performanslarının değerlendirilmesi için bir çalışmanın da yapıldığı görülmüştür. M.S. 3. Yüzyılda Konstantin işçilerin dinlenmesi için pazar gününü tatil ilan etmiştir.

Leonardo Da Vinci tarafından 1500'lü yıllarda işçi hareketleri üzerine çalışılmıştır. Taylor ise 1750-1800 yılları arasında işçi verimliliği üzerine çalışarak çeşitli el aletleri geliştirmiştir. 1800 yılında Almanya'da dokuma ve iplik atölyelerinde iş verimliliğini ve etkinliğini arttırmak amacıyla modernizasyon çalışmaları yapılmıştır.

İşçi sağlığını konu alan ilk konferans İsviçre'de 1906 yılında gerçekleştirilmiştir. Bay ve Bayan Gilbreth 1910 yılında iş ve zaman etüdü üzerine çalışarak bu kavramları geliştirmişler ve ergonomik yaklaşımın öncüleri olmuşlardır. 1910 yıllarında Douglas, çalışanları iş başında inceleyerek enerji ölçümleri yapmış ve geliştirdiği model ile iş sürelerini belirlemiştir. 1913 yılında endüstriyel etkinliklerde psikoloji üzerine çalışmalar yürütülmeye başlanmıştır. Henry Ford'un 1923 yılında ortaya koyduğu seri üretim kavramı ile üretim esnasında işçilerin performansının artırılması ve üretimin geliştirilmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. 1924 yılında çalışanların fiziksel ve psikolojik olarak dinlenmesi amacıyla Türkiye'de hafta tatili kanunu kabul edilmiştir. 1930 yılında sağlıklı yaşamak için gereken önlemleri ifade eden ve milletin sağlığına zarar veren bütün hastalıklarla mücadele ederek sağlıklı bir nesil yetiştirmek için Türkiye'de Hıfzıssıhha kanunu kabul edilmiştir. Cambridge Üniversitesinde 1932 yılında psikolojinin önemini arttıran "DeneySEL Psikoloji Laboratuvarı" kurulmuştur. İngiltere'de işçi yorgunluğunun sebeplerini belirlemek amacıyla I. Dünya Savaşı yıllarında yorgunluk araştırmaları kurulu kurulmuştur. II. Dünya savaşında yeni makinelerin kullanılmaya başlaması ile insan-makine etkileşimi önemli oranda artmıştır. Ancak bu etkileşimin artmasına rağmen bu alanla ilgili çalışmaların yapılmaması nedeniyle birçok işçi hayatını kaybetmiştir. 1900'lü yılların başından itibaren meydana gelen gelişmeler ve yapılan çalışmalar incelendiğinde işin, işin yapılması için gerekli malzemelerin ve iş ortamının işçi ile uyum içerisinde diğer bir deyişle işçinin fiziki ve psikolojik olarak konforlu hareket edebilecek şekilde çalışmasının önemini göz önüne sermektedir.

1940'larda John Hopkins ve Princeton üniversitelerinin destekleriyle yapılan çalışmalarda İnsan Faktörü Mühendisliği literatüre kazandırılmıştır. İkinci Dünya Savaşı ile yeni makine ve silah sistemleri ihtiyacı doğmuştur. Makine, insan faktörleri dikkate alınarak dikkat, karar verme gibi faktörler anahtar faktör haline gelmiştir. Mühendis ve diğer çalışanların uygun olmayan şartlarda çalıştırılması; savaştan sonra görev ve ortamın insan şartlarına göre düzenlenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. 1943 yılında Alphonse Chapanis tarafından uçak kokpit kontrolleri üzerine çalışılarak pilot hatalarının azaltılabileceği gösterilmiştir. Türkiye'de 1945 yılında Çalışma Bakanlığı, 1949 yılında İngiltere'de Ergonomic Research Society, 1953 yılında Almanya'da Ergonomi Derneği kurulmuştur.

İkinci Dünya Savaşı'nın yıkıcı etkileri sebebiyle işçilerin uzun süreler boyunca çalışması, iş tanımının ve ortamının çalışmaya elverişli şartlara göre düzenlenmesi gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. 1949 yılında Murrell tarafından Oxford Üniversitesinde bilim insanlarının görüşmeleri sonucunda ergonomi bilim dalı olarak kabul edilmiştir. Stockholm'de Londra'da 1961 yılında uluslararası alanda kabul gören ergonomik kurul kurulma kararı alınmıştır.

1960'ların sonlarına doğru İTÜ ve Çalışma Bakanlığı Türkiye'de ergonomi alanında incelemelere başlamışlardır. Fakülte ve yüksekokullarda iş güvenliği, işçi sağlığı ders olarak okutulmaya başlamış, İstanbul Teknik Üniversitesinde 1969'da "İşbilim", 1971'de Orta Doğu Teknik Üniversitesinde "Human Factors Engineering" adı altında ergonomi dersi verilmeye başlanmıştır. 1975 yılında yurtdışından ithal edilen çeşitli araç ve gereçler ile ergonomi laboratuvarı kurulmuştur. 1980 yılında endüstri mühendisliği öğrencilerinin alanda yaptıkları araştırmaları analiz edebilmek amacıyla sempozyumlar düzenlenmiştir. 1980'li yıllarda İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi ve İzmir Batı Alman Kültür Ataşeliği girişimleri ile ergonomi sempozyumları çeşitli yıllarda tertip edilmiştir. Ayrıca Milli Prodüktivite Merkezi'nin katkılarıyla 1987 yılından itibaren çeşitli üniversitelerin ev sahipliğinde bulunduğu ergonomi kongreleri iki yılda bir düzenlenmeye devam edilmektedir (Köksüz, 2019). Endüstriyellemenin ülkemizdeki öncülüğünü yapan otomotiv ve tekstil sektöründeki fabrikaların haricinde kurulan diğer sektörlerle ait üretim tesislerinin de gelişen teknolojiye hızlı ayak uydurması ile birlikte 2000 yılı ve sonrası kurulan fabrikalarda ergonomik kurallara uyulması yönünden

gelişmeler gözlemlenmektedir. Bu sayede üretim kapasitesi artmakta, işin insana insanında işe uygun olması sağlanarak iş sağlığı ve güvenliğinin oluşturulmasına yönelik olumlu gelişmeler sağlanmaktadır.

### 3. Askeri Alanda Ergonomi

Ergonomi biliminin iş, insan ve makine arasındaki uyumla doğrudan bağlantılı olduğu düşünüldüğünde kendine özgü malzeme ve ekipmanlar ile donatılmış bir alan olan askeri ergonominin spesifik olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu alanda çalışan işçiler askeri personel olarak nitelendirilmiştir. Askeri personelin ihtiyaç duyduğu en uygun, konforlu ve kullanışlı tasarımların yapılmasında ergonomi faktörü büyük rol oynamaktadır.

Denizaltı, hücumbotu, askeri gemi gibi sınırlı alana sahip araçların tasarımında; ergonomik ve antropometrik çalışmaların yapılması, personelin performansının artırılması ve savaşma performanslarının yükseltilmesi için gereklidir. Personelin özellikleri dikkate alınarak yetenekleri, eksik yönleri ve ihtiyaçları doğrultusunda, kullanılacak çalışma ortamı, araç ve gereçler ergonomik ve antropometrik kurallara uygun olarak düzenlenmelidir. Çok sayıda personelin belirli süre boyunca birlikte yaşamını idame ettirebilmesinin zorunlu kılındığı, kısıtlı alanlarda iç mekân tasarımlarında personelin fizyolojik ve psikolojik ihtiyaçlarını karşılaması gerektiğinden ergonomi ilkelerine dayanan özel tasarımlara ve çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Kısıtlı alandan oluşan ve bu alanı etkili şekilde kullanarak personelin çalışma ve yaşam hacimlerini en iyi şekilde kullanabilecek operasyon kısmı, beslenme alanı, dinlenme alanı gibi bölümler ile acil durumlarda personelin hızlı bir şekilde görevinin başına geçebileceği tasarımlar yapılmalıdır (Kılıç, 2020).

Savaş gemisi, hücumbotu gibi araçlarda personelin performansının ve sağlığının en üst düzeyde tutulabilmesi maksadıyla aydınlatma, iklimlendirme, titreşim ve gürültü, görev analizi, yerleşim gibi faktörler incelenmelidir. Personel yaşamını idame ettiren sergileyeceği performans bu faktörlere bağlıdır. Bu araçlarda yaşayan personelin sağlığı için titreşim ve gürültünün düzeyi kabul edilebilir uygun seviyelere indirilmeli ve personelin sağlığı için bu seviye korunmalıdır. Aksi takdirde görevini icra eden veya görev dışı istirahat eden personel için verimsiz bir ortam oluşacaktır. İklimlendirme konusunda ortamın soğuk ve sıcak olması personeli doğrudan etkilemekte olup uygun düzeyde tutulması askeri savaş etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Görev analizi yapılarak askerler için uygun tasarımlar ile personelin rahat çalışabileceği ve hareket edebileceği alanın oluşturulması sayesinde personelin iyi performans sergilemesi sağlanacaktır (Kılıç, 2019).

Askeri kara araçlarının en temel görevlerinden birisi içerisindeki personeli dış tehditlerden korumaktır. Bu görevin sağlanması esnasında personelin kullanacağı silah sistemleri, işletim sistemlerinin kullanım kolaylığının sağlanması için araç içi sistem tasarımı büyük önem taşımaktadır. Ayrıca araç içindeki personelin soğuk ve sıcak hava şartlarında görevlerini icra edebilmesi için yeterli aydınlatmalı, iklimlendirmeli alanlar ile erişilebilir kontrol panellerine sahip kullanıcı dostu tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin çok sıcak hava şartlarında tankın veya zırhlı personel taşıyıcının içinde görevini icra eden personelin yaşam ortamının insan fizyolojisine uygun olan standartlarda olması personelin muharebe sahasındaki performanslarını etkilemektedir (Kaya ve Erden, 2019).

Askeri araçlarda değerlendirilmesi gereken bir başka faktörde gürültü düzeyidir. Mesleki gürültüye en sık maruz kalan ve doğrudan etkilenen askeri sınıflara örnek olarak pilot, tankçı, topçu, piyade gibi sınıflar verilebilir. Silahlı Kuvvetler bünyesinde görev alan helikopter ve jet pilotları; top, tank, havan, roket vb. silahları kullanan personel mesleki gürültüye doğrudan maruz kalmaktadır. Gürültü seviyesinin yüksekliği personelin atış esnasındaki performanslarını etkilemektedir. Diğer taraftan gürültü faktörünün uzun dönemde meydana getireceği sağlık sorunları sebebiyle de oluşan gürültü değerleri incelenmeli ve tasarım esnasında gürültüyü azaltıcı tedbirler alınarak tasarımlar buna göre yapılmalıdır (İstanbuluoğlu ve Kır, 2016).

Askeri personelin kullandığı teçhizatlar incelendiğinde; personelin görevini yerine getirirken kullandığı kompozit başlık, hücum yeleği, koruyucu ekipmanlar, askeri bot tasarımlarının ergonomik olarak iyileştirmesi personelin sağlığını, performansını doğrudan etkilemektedir. Kritik görevlerde kullanılan sistemler başta olmak üzere, askeri sistemlerin ve ekipmanların tasarımında; kullanım kolaylığı sağlayacak personel ölçülerine göre tasarım yapılması askerlerin performansını üst düzeye çıkaracaktır. Silah sistemlerinde personelin görüş açısı dikkate alınarak yerleştirilecek paneller, ekranlar, göstergeler göz yorgunluğunu azaltarak uzun süreli takip gerektiren sistemlerin kontrolünü kolaylaştırmaktadır. Antropometrik ölçülere göre yerleştirilecek kontrol panelleri ile acil durumlar dışında da personelin süratle tepki vermesi, nişan alabilmesi ve sistem kontrollerini yapmaları sağlanmalıdır. Hataya dayanıklı, sistem bütünlüğünü etkilemeyecek arızaların hızlıca giderilmesini sağlayacak ve tüm kontrol sistemlerinin görülmesini sağlayacak şekilde araç tasarımlarının yapılabilmesine yönelik araçlarda ergonomik ve antropometrik sistem entegrasyonları yapılmalıdır (Helvacılar ve Eldem, 2017).



#### 4. Literatür Taraması ve Değerlendirme

Literatürde askeri alanlarda ergonomi çalışmalarının yapıldığı çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Yapılan çalışmaların içerikleri özet halinde bu bölümde incelenmiştir.

Williams ve Simpson tarafından 1976 yılında yapılan çalışmada sivil ve askeri hava taşımacılığı operasyonları için kokpit uyarı sistemi tasarımı yapılmıştır. 8 farklı havayolu pilotlarına anket uygulanarak bilgilendirici, dikkat dağıtıcı, rahatsız edici faktörler incelenerek 18 farklı kokpit uyarı sinyali faktörü analiz edilmiştir. Sonuç olarak kokpit sisteminin tasarımı geliştirilerek pilot performansları artırılmıştır (Williams ve Simpson, 1976).

Doll ve Folds tarafından 1986 yılında yapılan çalışmada Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri (USAF) askeri uçaklarında işitsel olarak algılanan sinyal toplulukları incelenmiştir. Çok sayıda işitsel sinyalin kullanılması ve standart bir yapının bulunmaması uçuş ekibi ve personelin iş yükünü ve stresini arttırmakta olduğu tespit edilmiştir. Bu neticede sinyal ses yüksekliğinin azaltılarak, konuşma dışında sinyallerin ayırt ediciliğinin artırılması, standart bir yapının oluşturulması gerektiği sonucuna ulaşılarak sinyal yüksekliği, uyarı sistemleri, maskeleme direnci ve sinyal ayırt ediciliği faktörleri karşılaştırılmış ve tasarım geliştirme çalışması yapılmıştır (Doll ve Folds, 1986).

Mccaig ve Gooderson tarafından 1986 yılında yapılan çalışmada soğuk ve yağışlı hava şartlarının askeri operasyonları nasıl etkilediği üzerine Güney Atlantik'te görevini icra eden çok sayıda askeri personelden bilgi toplanarak bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar neticesinde özellikle olumsuz hava şartlarında koruyucu giysilerin önemi, giysilerin fiziksel uygunluk gereksinimleri ve yük taşıma sınırlamaları incelenerek muharebe ortamındaki etkilerinin önemi araştırılmıştır (Mccaig ve Gooderson, 1986).

Bishop, Ray ve Reneau tarafından 1995 yılında yapılan çalışmada askeri koruyucu giysilerden endüstriyel koruyucu giysilere kadar olan çalışma ortamlarındaki verimliliği arttırmaya yönelik, iş kıyafetleri üzerine araştırmalar yapılmıştır. İşçi, iş türü incelenerek fiziksel iş performansı hesaplanarak ergonomi sorunlar tespit edilmiştir. Sonuç olarak yaralanmanın, kaza riskinin, ekipman hasarının azaltılmasında ergonomik tasarıma ihtiyaç olduğu belirtilmiştir (Bishop, Ray ve Reneau, 1995).

McDaniel tarafından 1996 yılında yapılan çalışmada insan faktörleri mühendisliğine verilen önemin azalması üzerine gelişen süreç anlatılarak standartlar belirtilmiş ve ergonominin önemi anlatılmıştır. Askeri standartların önemini kaybetmesinin bu alanda olumsuz sonuçlar yaratacağı belirtilerek ergonomik çalışmalarda standartların uygulanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (McDaniel, 1996).

Strain ve Preece tarafından 1996 yılında askeri sistemlerin tedarik edilmesinde proje yönetimi çalışması ile insan faktörleri entegrasyonu sağlanarak askeri sistemlerin operasyonel etkinliğinin iyileştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Geliştirilen faktör entegrasyonu ile askeri arenada değerlendirilmek üzere aday projelerin seçiminde proje yöneticilerine yardımcı olacak yaklaşımlar ortaya konmuştur (Strain ve Preece, 1999).

Penrice tarafından 2000 yılında yapılan çalışmada yüksek performans gerektiren çok görevli savaş uçakları için tek mürettebat üyesine veya iki mürettebat üyesine ihtiyaç olduğunu savunanlar arasında yaşanan tartışmalar değerlendirilmiştir. Tek kişilik veya iki kişilik tasarımlar çeşitli faktörler gözden geçirilerek analiz edilmiş ve tek kişilik koltuk yaklaşımının tercih edilmesi sonucuna varılmıştır (Penrice, 2000).

Tharion ve Obusek tarafından 2000 yılında yapılan çalışmada yeni bir prototip olarak geliştirilen piyade savaş ekipmanı sistemi kullanılarak desteksiz olarak hem yüzüstü hem de ayakta durma pozisyonlarının atış etkinliği test edilmiştir. Atış bozukluklarının başlıca nedeni ekipman sertliğinden kaynaklı olduğu ifade edilerek, atıcının hedefi rahat görememesi, kafasını rahat bir şekilde hareket ettirememesi olduğu belirtilmiştir. Tasarlanacak ekipmanlar için askeri operasyonlarda karşılaşılması muhtemel tüm vücut pozisyonlarının hesaba katılarak gerçekleştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Tharion ve Obusek, 2000).

Macleo tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada ergonomik yöntemlerin pratik olarak uygulanması ve geliştirilmesinde yeni teknolojilerin kullanılarak insan faktörü üzerinde meydana gelebilecek değişmelerin öngörülerek belirlenmesi gerektiği anlatılmıştır. Ergonomi yöntemlerinin geliştirilmesi veya mevcut yöntemlerin dikkatli bir şekilde uyarlanması, teknolojik uygunlukla yürütülmesi gerektiği vurgulanarak teknolojik devrimin gerekliliğinden bahsedilmiştir (Macleo, 2003).

Silah tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada işçilerin fiziksel boyutları görsel olarak algılama yeteneğini ölçen From Lege testi uygulaması yapılmıştır. Askeri dikimevi konfeksiyon atölyelerinde çalışan bir grup işçi belirlenerek uygulanan test neticesinde performans kullanma ve fiziksel düşünme yeteneği verilerinin ortalaması ve standart sapmaları hesaplanarak elde edilen veriler eşik sınırlar açısından yorumlanmıştır. Sonuçlar eşik sınırlara göre yorumlanarak çalışanların performans eşik değerleri saptanmıştır. Bu çalışmalar neticesinde giyim, konfeksiyon atölyelerinde personel seçimi için eşik puanların esas alınması önerilmiştir (Silah, 2005).

Endrusick, Gonzalez ve Gonzalez tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada ABD askeri kimyasal ve biyolojik koruyucu giysilerin gelişimi ele alınmıştır. Belirli molekülleri geçiren seçici geçirgen zar olan Selectively Permeable Membranes (SPM) teknolojisinin kullanılması ile termal direnç ve buharlaşma direncinin azaltıldığı ve bu sayede sıcak ortamlarda kullanıcı performansının iyileştirildiği sonucuna ulaşılarak yeni koruyucu giysi tasarımları geliştirilmiştir (Endrusick, Gonzalez ve Gonzalez, 2005).

Endrusick, Cole ve Matonich tarafından 2005 yılında yapılan çalışmada soğuk ve ıslak ortamlarda kullanılmak üzere tasarlanmış askeri botun geliştirilmiş tasarımı; ısı yalıtımı üzerine simüle edilen ortamda çevresel etkilere maruz bırakılarak incelenmiştir. Geliştirilen yeni bot tasarımında ağırlığın fazla olmasına karşın suya dayanıklılığının ve korumasının önceki tasarımlardan daha iyi olduğu görülmüştür (Endrusick, Cole ve Matonich, 2005).

Birrella ve Haslamb tarafından 2010 yılında yapılan çalışmada askeri sırt çantasının insan yürüyüşüne olan etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada askeri personel sırt çantasını taşıırken ilk olarak vücudun kütle merkezini arkaya doğru kaydırmanın etkisi, ikinci olarak sırt çantasını kütle merkezine yakın taşımamanın etkisi incelenmiştir. Ağır yük taşımamanın maksimum frenleme kuvveti üzerindeki etkisi tespit edilerek toplam yük ile çantanın taşınma şeklinin yürüyüş performansını doğrudan etkilediği, askeri yük taşıma sistemlerinin tasarım geliştirme çalışmalarında bu faktörlerin incelenmesi gerektiği anlatılmıştır (Birrella ve Haslamb, 2010).

Duncan, Mclellan ve Dickson tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada muharebe operasyonlarının yürütüldüğü ortamlarda personel yaralanmaları ve olası ölümleri önlemek amacıyla askeri bireysel koruyucu ekipmanların performansı incelenmiştir. Ekipmanlarda konfor, işlevsellik, olası tehditlere karşı uygun koruma seviyesinin artırılarak daha az yük ile uygun ergonomik tasarımın sağlanması gerektiği belirtilmiştir (Duncan, Mclellan ve Dickson, 2011).

Krueger tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada askeri üniformaların insani düşünceler üzerine tasarımları incelenmiştir. Askeri üniformaların stil, görünüm, renk vb. gibi özelliklerin psikolojik olarak birçok anlam ifade etmekte olduğu belirtilmiştir. Asker performansını etkileyebilecek, pratiklik, işlevsellik, fayda, rahatlık ve bedensel koruma ile ilgili özellikleri değerlendirilerek üniforma tasarımının ve geliştirilmesinin insan sistemlerine entegrasyonu yaklaşımının önemi anlatılmıştır (Krueger, 2012).

Carr, Wilson ve Laing tarafından 2012 yılında askeri giysi ve teçhizatın tasarımı için antropometrik yöntemler uygulanarak toplam kütle azaltılması, maksimum vücut hareketinin sağlanması için çalışılmıştır. Askeri vücut ölçüleri üzerine veriler toplanarak askeri giysiler için uygun vücut boyları özetlenmiştir (Carr, Wilson ve Laing, 2012).

Tutton ve Denton tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada askeri yük taşıma ekipmanı geliştirmede insan faktörlerinin rolü, yük taşımamanın insan faktörü ilkeleri, sistematik geliştirme yaklaşımlarının kullanımı konuları özetlenmiştir. Sistematik gelişimi desteklemek için bir video aracının kullanımı ile kullanıcı ihtiyaçlarının araştırılması sağlanarak uygulama örneği tartışılmıştır (Tutton ve Denton, 2012).

Hamouda, Sohaimi, Zaidi ve Abdullah tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada askeri kasklar için hafif, düşük maliyetli ve etkili ekipman arayışında kullanılan modern malzeme ve araçlar araştırılmıştır. Tasarım, üretim ve test prosedürleri üzerine kafa çarpma mekaniği ve kafa travması kriterleri değerlendirilerek ergonomik olarak tasarım geliştirme çalışması yapılmıştır (Hamouda, Sohaimi, Zaidi ve Abdullah, 2012).

Oord, Dresen ve Sluiter tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada askeri helikopter mürettebatı için optimal kask tasarımı yapılmıştır. Boyun yükü ve ağırlık ile doğrudan ilişkili faktörler incelenerek kaskın stabilitesi, kaskın uygunluğu ve rahatlığının artırılması için ergonomik iyileştirmelerle kask tasarımı ve bu tasarım için gereksinimler değerlendirilmiştir (Oord, Dresen ve Sluiter, 2012).

Kieneke, Graf ve Mass tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada insan sağlığını ve kondisyon güvenini etkileyen mekanik titreşimleri azaltmak amacıyla askeri araç koltuğu süspansiyon sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu koltuk süspansiyonu askeri araca entegre edilerek sürücülerin ve mürettebatın konforunun iyileştirilmesi sağlanmıştır (Kieneke, Graf ve Mass, 2013).

Lee, Kim, Jung, Park ve You tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada Kore Hava Kuvvetleri pilotlarına uygun oksijen maskesi tasarlamak için sanal uyum değerlendirilmesi yapılmıştır. Pilotların yüzleri taranarak elde edilen veriler ile geliştirilen oksijen maskeleri basınç, rahatsızlık, askeri teçhizata uygunluk açısından prototipler geliştirilmiştir. Ürün geliştirme modellerinde ergonomik çalışmalar yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir (Lee, Kim, Jung, Park ve You, 2013).

Czerwińska M. Tarafından 2014 yılında askeri nanomalzeme uygulamaları üzerine çalışılmıştır. Askeri alanda askerlerin korunması, iletişim cihazları, düşman tespiti ve silahlanma için nanomalzemeler kullanılarak faydaları değerlendirilmiş ve oluşabilecek tehditlerin varlığından bahsedilmiştir (Czerwińska M., 2014).

Dagge ve Filguras tarafından 2015 yılında askeri ağırlık taşıma sistemleri için tasarım geliştirme çalışması yapılmıştır. Askeri personel tarafından sırt çantaları ve taşınan yükler incelenmiştir. Yük taşımaya kolaylaştırmak için son teknoloji ile kullanılan çanta imalat ürünlerini geliştiren bir bakış açısı sunulmuştur (Dagge ve Filguras, 2015).

Alppay ve Bayazit tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada helikopter uçuş gösterge panellerinin ergonomiye dayalı tasarımı ele alınmıştır. Kullanıcı merkezli veriler toplanarak, arayüz düzenlenerek, prototipleme çalışması yapılmış, üç yeni arayüz tasarımı ile optimum gösterge paneli düzeni geliştirilmiştir (Alppay ve Bayazit, 2015).

Nayak, Wang ve Padhye tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada savunma sistemlerinin etkisini ve verimliliğini arttırmak için elektronik tekstilin askeri uygulamaları özetlenmiştir. Elektronik bileşenlerin askeri uygulamadaki fayda ve zorlukları incelenerek askeri üniformalara ve aksesuarlara entegre edilebilecek elektronik bileşenler değerlendirilmiştir (Nayak, Wang ve Padhye, 2015).

Aggromito vd. tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada askeri helikopter pilotlarının kullandıkları ekipmanların helikopter kazası sırasında askeri pilotlara ve hava mürettebatına olan etkileri incelenmiştir. Simüle edilen bir senaryo üzerinde çarpışma esnasında yaralanma ve hasar seviyeleri değerlendirilerek yolcu için hayatta kalma kabiliyetini arttıran bir ekipman tasarımı önerilmiştir (Aggromito vd., 2015).

Murray vd. tarafından 2016 yılında askeri helikopter uçuşu sırasında helikopter pilotları ve mürettebat üyeleri arasında boyun, omuz kas aktivitesi ve duruşu çalışılmıştır. Helikopter uçuşu sırasında elektromiyografi (EMG) ölçümleri kullanılarak boyun ve omuz kasları üzerindeki fiziksel iş yükü ölçülerek değer aralıkları belirlenmiştir (Murray vd., 2016).

Wu, Ramchurn ve Chen tarafından 2016 yılında afet müdahalesinde afet alanı hakkında bilgi toplamak, alanın belirsizliğini azaltmak, kısmi gözlenebilirliği yakalamak amacıyla insan ile İHA ekiplerinin koordinasyonunun sağlanması üzerine çalışılmıştır. Bir afet senaryosu oluşturularak entegre bir yaklaşım önerilmiştir. Bu çalışmada insan ve makine uyumu üzerine durulmuştur (Wu, Ramchurn ve Chen, 2016).

İstanbuluoğlu ve Kır tarafından 2016 yılında Silahlı Kuvvetlerde görev yapan pilot, top, tank, piyade tüfeği, havan, roket vb. silahları ve sistemleri kullanan askeri personellerin gürültüye çok sık maruz kalmalarından dolayı gürültünün faktörünün meydana getirdiği olumsuz etkiler ve sağlık problemleri incelenmiştir. Askeri personelin maruz kaldığı gürültü seviyeleri ile gürültü konusunda ulusal mevzuata yer alan standartlar değerlendirilerek personelin gürültüden korunabilmesi üzerine çalışılmıştır (İstanbuluoğlu ve Kır, 2016).

Zerehsaz, Jin, Ebert ve Reed tarafından 2017 yılında askeri kara araçlarının sürücülerini için göz konumlarının istatistiksel tahmini için bir model geliştirilerek araç içi düzenin oluşturulmasında asker vücut ölçülerini ve teçhizat grupları üzerine çalışılmıştır. Asker nüfusu için göz konumlarının dağılımı ve vücut boyutları tahmin edilerek araç tasarımında uygulanabilirliği gösterilmiştir (Zerehsaz, Jin, Ebert ve Reed, 2017).

Erol ve Çetiner tarafından 2017 yılında sivil ve askeri alanda giyilebilir teknoloji ile akıllı tekstil üzerine akıllı kumaş sensör çeşitleri incelenerek literatür uygulamaları üzerine çalışılmıştır. Akıllı tekstil üretim tekniklerine göre sınıflandırılarak kumaş tasarımı ve gelişimi değerlendirilerek bu alanda yapılan uygulamalar incelenmiştir (Erol ve Çetiner, 2017).

Helvacilar ve Eldem tarafından 2017 yılında deniz araçlarında muhabere sistemlerinin bileşeni olarak kullanılan askeri mesaj işletim sistemi üzerine insan mühendisliği tasarım kriterleri standartları dikkate alınarak bir tasarım çalışması yapılmıştır. Bu tasarım çalışması ile çalışanların performansını arttırmak için görsel kontrol eksiklikleri ve kullanım zorluğu sebebiyle meydana gelebilecek hataları en aza indirebilecek işletim sisteminin geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır (Helvacilar ve Eldem, 2017).

Çelikkol tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada askeri harekâtlarda önemli bir faktör olan savaş teknolojileri değerlendirilerek askeri havacılık olayları ve kazalarında insan faktörü sebepleri incelenmiştir. Askeri havacılıkta meydana gelen kazalarda yönetsel hata ve çevresel koşullar dışında insan faktörünün rolünün büyük olduğu ve birincil sebeplerin dikkatsizlik, tedbirsizlik ve bunları yaratan fizyolojik faktörün yorgunluk olduğu belirtilmiştir. Uygun tasarımlar ile dikkatsizlik, tedbirsizlik ve yorgunluk belirtileri azaltılarak sistemin geliştirilmesi anlatılmıştır (Çelikkol, 2017).

Karakoç ve Asal tarafından 2017 yılında TSK personelinin kullanabileceği giyilebilir askeri bilişim sistemi üzerine çalışılmıştır. Tek er seviyesinde personelin sahada performansını ve kendine olan güvenini artırarak personel zayıflığını en aza indirmek amacıyla akıllı cihazların yetenekleri ile GPS, telsiz gibi araçların özellikleri birleştirilerek daha teknik ve teknolojik sisteme geçilebileceği anlatılmıştır (Karakoç ve Asal, 2017).

Bolin vd. tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada insansız hava aracının eylemlerini yönlendirmek için önceden belirlenmiş sinir ağları kullanılarak İHA'nın görüş alanı içindeki durumlarını takip ederek hareketlerini kontrol etmek için tasarım geliştirilmiştir. Kameradan alınan video akışları ile analizler neticesinde drone hareketinin kontrolü sağlanmıştır. Bu sayede insan ile makine uyumu sağlanarak İHA hareketlerinin kontrolü araştırılmıştır (Bolin vd., 2017).

Maher, Li, Hu ve Zhang tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada GPS'in olmadığı bir ortamda kişi hareketini algılayabilen ve tanımlayabilen İnsan-UAV etkileşimi sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu sistem ile İHA'ların kontrolünün insan hareketleri ile gerçekleşmesi sağlanmıştır (Maher, Li, Hu ve Zhang, 2017).

Tseng, Chao, Yau ve Feng tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada askeri coğrafi istihbarat sistemlerinin ergonomik olarak tasarımı yapılmıştır. Simge tipi, boyutu, harita arka plan renkleri değerlendirilerek performansın artması için arayüz tasarlanmıştır. Sonuç olarak radar operatörlerinin iş yükü azaltılarak verimlilik artırılmıştır (Tseng, Chao, Yau ve Feng, 2018).

Bozdemir tarafından 2018 yılında silah ve insan arasındaki temas ve birleşim noktası olan silah kabzalarının tasarım ve imalatı üzerine bir çalışma yapılmıştır. Uygun bir silah kabzası tasarımında el yorgunluğunun azaltılması, tutma hatları, tetik kontrolü, etkili kullanım için tasarımın yapılması gerektiği ve bu sebeple ergonomik çalışmalara ihtiyaç olduğu belirtilmiştir. Silaha hâkimiyet, güvenli ve doğru atış için incelemeler yapılmıştır (Bozdemir, 2018).

Altuntaş, Dereli ve Özşalap tarafından 2019 yılında havacılık sektöründe F-16 savaş uçaklarında bakım operasyonlarında kolaylık sağlayan ekipman geliştirilerek yeniden tasarımı yapılmıştır. Ergonomik olması, kullanım esnekliği sağlaması ve kullanıcılar dikkate alınarak gerekli iyileştirmeler yapılmış ve ürün geliştirmeye yönelik sistematik olarak gerçek hayat uygulaması gösterilmiştir. Bu çalışma neticesinde havacılık sektöründe bakım operasyonlarındaki etkinlik ve verimliliğin artırılması hedeflenmiştir (Altuntaş, Dereli ve Özşalap, 2019).

Kılıç tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada askeri araçların iç mekân tasarımı üzerine askeri denizaltılar için ergonomik ilkeler ele alınmıştır. Çok sayıda personelin belirli süreler boyunca yaşamını idame ettirebileceği sınırlı alanlardaki özel tasarımlar incelenmiştir. Personelin ihtiyaçları göz önüne alınarak beslenme, dinlenme, görev alanları gibi kısımların yerleşimi üzerine çalışılmış ve iç mekân tasarımının önemi vurgulanmıştır (Kılıç, 2019).

Tsykunov vd. tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada giyilebilir cihazlar ile drone topluluklarının iniş kontrolünün sağlanması için bir tasarım çalışması yapılarak dört dronedan oluşan bir filonun insan kollarına inmesi için yeni bir sistem geliştirilmiştir. Titreşimli geri bildirimli ışığa duyarlı iniş yastıkları sayesinde insan kollarına dronların inmesi sağlanmıştır. En iyi iniş performansının dokunsal ve görsel geri bildirim kombinasyonu ile elde edildiği görülmüştür. (Tsykunov vd., 2019).

Labazanova, Tleugazy, Tsykunov ve Tsetserukou tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada drone topluluklarının birlikte çalışması için giyilebilir dokunsal cihaz tasarlanmıştır. Kullanıcılar dronların durumunu parmak uçlarında hissederek görsel geri bildirimler ile topluluğun kontrolünü sağlayan değerler alınmıştır. Bu değerler ile drone topluluklarının kontrol edilebilirliği

sağlanarak çarpışmalar önlenmiştir. Oluşturulan sanal köy ve şehir ortamlarında statik ve dinamik engeller ile teknolojinin yeteneği gösterilmiştir. (Labazanova, Tleugazy, Tsykunov ve Tsetserukou, 2018).

Kaya ve Erden tarafından 2019 yılında askeri kara araçlarında personeli dış tehditlerden koruyabilmek amacıyla yapılan araç gövde tasarımlarının yetersiz kalması nedeniyle el yapımı patlayıcı ve mayınlara karşı dirençli askeri personel koltuğu tasarımı yapılmıştır. Koltuklarda uygulanan sönümleme sistemleri ile patlama esnasında meydana gelen enerji koltuk tarafından absorbe edilerek personele az bir kısmını aktararak patlamanın etkisi azaltılmaktadır (Kaya ve Erden, 2019).

Muslim, Moch, Ramadhan, Rasyad ve Risya tarafından 2019 yılında askeri sırt çantasının tasarımı, genişliği, yüksekliği, taşıyabileceği maksimum yük ile ergonomik bileşenlerinin en iyi duruma getirebilmesi için vücut, bel, çalışma duruşu ve görev analizleri yapılarak tasarım geliştirilmiştir. Askeri sırt çantaları için boyutlar ve ağırlıklar incelenerek insan faktörüne göre uygunluğu değerlendirilmiş ve askeri sırt çantasının en uygun uzunluk, genişlik, yük ve ergonomik duruş sonuçlarına ulaşılmıştır (Muslim, Moch, Ramadhan, Rasyad ve Risya, 2019).

Ersin, Yaz ve Karhan tarafından 2019 yılında yapılan bu çalışmada nesnelerin interneti (IoT) uygulamaları ile nesnelerin haberleşmesi sağlanarak savunma sanayinde bir uygulama yapılmıştır. İnternet tabanlı mikro denetleyici geliştirme kartı kullanılarak sıcaklık, nem sensörleri, nabız ölçer, GPS modülleri birlikte kullanılarak askerin ve bulunduğu ortam hakkında anlık olarak bilgi alınmaktadır (Ersin, Yaz ve Karhan, 2019).

Park, Choi, Song, Ahn ve Jeong tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada askeri araçların arazi koşullarında kullanılmasından kaynaklanan titreşim simüle edilerek titreşime maruz kalma ile dikkat azalması arasındaki ilişki incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre otomatik algısal dikkat titreşime maruz kalmadan etkilenmezken; bilişsel işlemler arttığında titreşimin etkileri önemli hale gelmiştir (Park, Choi, Song, Ahn ve Jeong, 2019).

Özer tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada hızlı bir şekilde askeri alanda nanoteknoloji uygulamalarına ait girişimin yapılmaması üzerine değerlendirmeler yapılmış ve yaşanan gecikmeler sebebiyle farkındalık vurgusu yapılarak güvenlik perspektifinden tartışılmış ve geleceğe yönelik öngörülerde bulunulmuştur (Özer, 2019).

Deringöz, Danişan ve Eren tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada Endüstri 4.0 dönemi ile akıllı üretim sistemlerine geçiş yapılarak askeri ve endüstriyel alanlar başta olmak üzere çeşitli sektörlerde kullanılan 7 farklı akıllı gözlük incelenmiştir. Maliyet, pil ömrü, ergonomik olması gibi kriterler değerlendirilerek en iyi alternatif belirlenmiştir (Deringöz, Danişan ve Eren, 2021).

Müezzinoğlu ve Karaköse tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada insan ile İHA etkileşimi ve kontrolü sağlamak için giyilebilir akıllı bir eldiven tasarımı yapılmıştır. Gerçek zamanlı olarak İHA simülasyonu uygulanarak el hareketlerince belirlenen komutlara verdiği tepkiler incelenmiştir (Müezzinoğlu ve Karaköse, 2021).

Walsh tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada askere özel taşınan yüklerin askerlerin yürüyüşüne etkileri incelenmiştir. Yük ve görev özellikleri bakımından veri tabanları taranarak 20 makale incelenerek özeti sunulmuştur (Walsh, 2021).

Kolose, Stewart, Hume ve Tomkinson tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada karar ağaçları ve 3 boyutlu vücut tarama verileri ile askeri muhabere kıyafetinin beden tahmini üzerine çalışılmıştır. Ölçüm yöntemi sonucunda gömlek bedeninde doğruluk %58.1, pantolon bedeninde doğruluk %61.7 olarak belirlenmiştir. Antropometrik veriler ile tasarım geliştirme üzerine çalışılmıştır (Kolose, Stewart, Hume ve Tomkinson, 2021).

Gijsbertse, Linssen, Woering ve Catoire tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada askeri personel engel parkurunda performans gösterirken kişisel koruyucu ekipmanların ve kıyafetlerin ağırlığının fiziksel performansa etkileri incelenmiştir. Kütle ve sertliğin fiziksel performansı olumsuz etkilediği ve fiziksel yükün azaltılarak tasarımın iyileştirilmesi sonucuna ulaşılmıştır (Gijsbertse, Linssen, Woering ve Catoire, 2021).

Looney vd. tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada modern askeri sırt çantalarının ABD ordusu askerinin yürüme hızı ve fiziksel etkileri incelenmektedir. Geliştirilen sırt çantası tasarımı ile ağır yüklerin etkileri incelenerek iş yoğunluğu azaltılmakta ve performans artırılmaktadır (Looney vd., 2021).

Coltman vd. tarafından 2021 yılında yapılan bu çalışmada askeri vücut zırh sistemlerinin erkek askerlerin antropometrik boyutlarına daha uygun olduğu ve bu sebeple kadın askerlerin vücut zırhlarıyla ilgili yaşadıkları sorunlar incelenmiştir. Vücut zırh tasarımı yapılırken kadın askerlerin antropometrik verileri incelenerek ergonomik olarak uyumu, biçimi ve işlevi sağlayan tasarımların yapılması gerektiği çalışılmıştır (Coltman vd., 2021).

1970'li yıllardan günümüze kadar askeri alanda kullanılan silah, teçhizat ve yardımcı malzemeler ile bu malzemelere ilişkin teknolojik (nanoteknoloji, akıllı sistemler vb.) alanda yapılan 54 adet çalışma incelenmiş ve bu çalışmalar kuvvet ve konu bazlı olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma yapılırken kullanılan çalışmalara ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

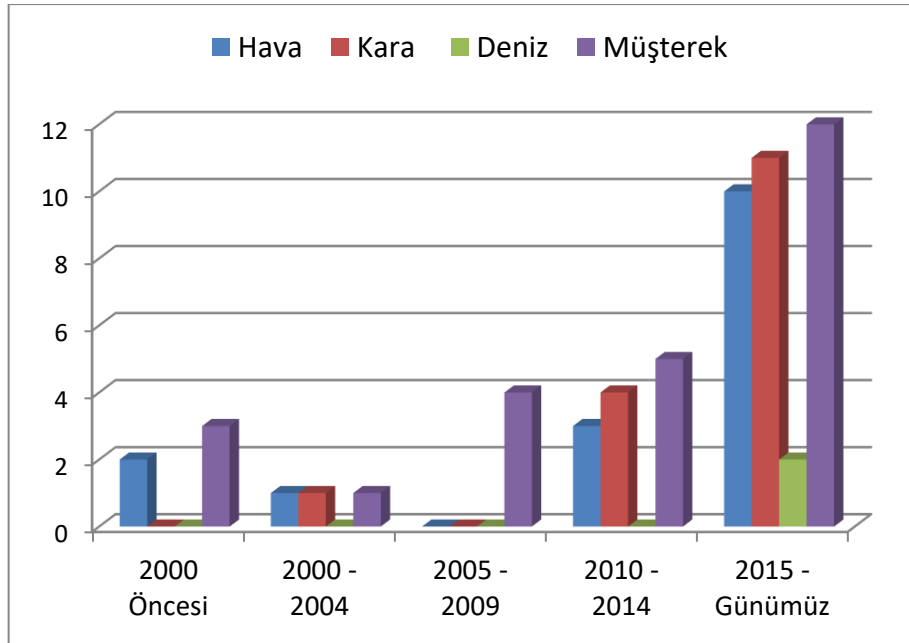
**Tablo 1.** Askeri Ergonomi Hakkında Yapılan Çalışmaların Sınıflandırılması

Yıl	Yazar	Kuvvet Bazlı Sınıflandırma				Konu Bazlı Sınıflandırma				
		Kara	Hava	Deniz	Müşterek	Askeri Teknoloji	Giyim, Kıyafet	Proje ve Standartlar	Silah, Teçhizat	Antropometri
1976	Williams ve Simpson		✓			✓				
1986	Doll ve Folds		✓			✓		✓		
1986	McCaig ve Gooderson				✓		✓			
1994	Bishop vd.				✓		✓			
1996	McDaniel				✓			✓		
1999	Strain ve Preece				✓			✓		
2000	Penrice		✓			✓				
2000	Tharion ve Obusek	✓							✓	
2003	Macleod				✓	✓				
2005	Silah				✓		✓			
2005	Endrusick vd.				✓		✓			
2005	Endrusick vd.				✓		✓			
2010	Birrella ve Haslamb	✓								✓
2011	Duncan vd.				✓				✓	
2012	Krueger				✓		✓			
2012	Carr vd.				✓		✓		✓	
2012	Tutton ve Denton				✓				✓	✓
2012	Hamouda vd.	✓	✓				✓		✓	
2012	Marieke vd.	✓	✓				✓		✓	✓
2013	Kieneke vd.	✓				✓				
2013	Lee vd.		✓						✓	✓
2014	Czerwińska M.				✓	✓				
2015	Dagge ve Filgüiras				✓	✓				
2015	Alppay ve Bayazit	✓	✓			✓				
2015	Nayak vd.				✓	✓	✓			
2015	Aggromito vd.	✓	✓						✓	
2016	Murray vd.	✓	✓							✓
2016	Wu vd.		✓			✓				
2016	İstanbuluoğlu ve Kır				✓					✓
2017	Zerehsaz vd.	✓								✓
2017	Erol ve Çetiner				✓		✓			
2017	Helvacılar ve Eldem			✓		✓				
2017	Çelikkol		✓					✓		
2017	Karakoç ve Asal				✓	✓	✓			
2017	Bolin vd.		✓			✓				
2017	Maher vd.		✓			✓				
2018	Tseng vd.				✓	✓				
2018	Bozdemir	✓							✓	
2019	Altuntaş vd.		✓						✓	
2019	Onur Kılıç			✓				✓		✓
2019	Tsykunov vd.		✓				✓			
2019	Labazanova vd.		✓				✓			

**Tablo 1 (devam).** Askeri Ergonomi Hakkında Yapılan Çalışmaların Sınıflandırılması

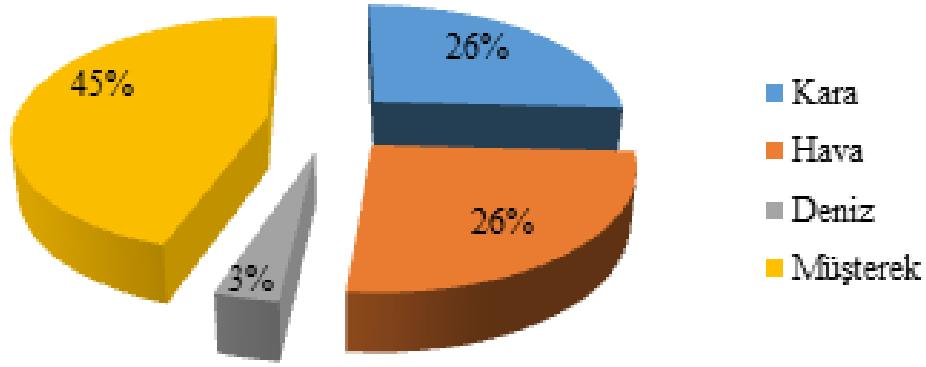
Yıl	Yazar	Kuvvet Bazlı Sınıflandırma				Konu Bazlı Sınıflandırma				
		Kara	Hava	Deniz	Müşterek	Askeri Teknoloji	Giyim, Kıyafet	Proje ve Standartlar	Silah, Teçhizat	Antropometri
2019	Kaya ve Erden	✓						✓		
2019	Muslim vd.	✓						✓	✓	✓
2019	Ersin vd.				✓	✓				
2019	Park vd.	✓								✓
2019	Özer				✓	✓		✓		
2021	Deringöz vd.				✓		✓			
2021	Müezzinoğlu ve Karaköse				✓		✓			
2021	Walsh	✓								✓
2021	Kolose vd.	✓								✓
2021	Gijsbertse vd.				✓		✓		✓	✓
2021	Looney vd.	✓							✓	✓

Yapılan inceleme neticesinde askeri ergonomi alanında yıllara sâri olarak kuvvet bazlı akademik çalışma sayıları Şekil 1'de gösterilmiş, bu çalışmaların hangi kuvvete ait ihtiyaçlar üzerine yapıldığını gösteren yüzdeler ise Şekil 2'de sunulmuştur. Daha sonra aynı şekilde bu çalışmaların ergonomi biliminin ilgi alanına giren konulardaki yıllara ait sayısı ve ağırlığı üzerine çalışılarak Şekil 3 ve Şekil 4'te verilen grafikler elde edilmiştir.

**Şekil 1.** Kuvvet Bazlı Sınıflandırma

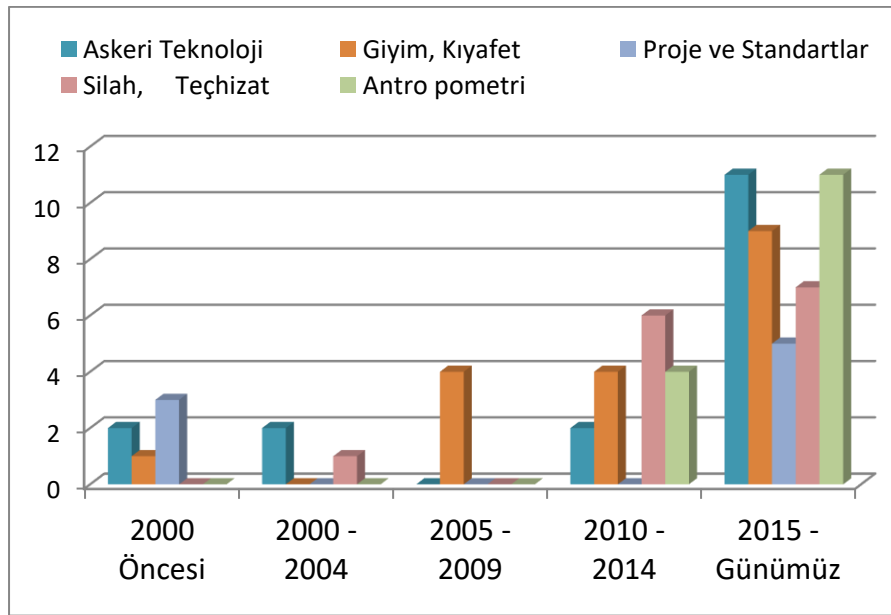
Askeri alanda kuvvet bazlı sınıflandırma yapılarak yıllara göre literatür incelendiğinde;

- 2000 yılı ve öncesinde 2 hava, 3 müşterek olmak üzere toplam 5,
- 2000-2004 yılları arasında 1 hava, 1 kara ve 1 müşterek olmak üzere toplam 3,
- 2005-2009 yılları arasında 4 müşterek olmak üzere toplam 4,
- 2010-2014 yılları arasında 3 hava, 4 kara ve 5 müşterek olmak üzere toplam 12,
- 2015 yılı ve günümüz itibarıyla 10 hava, 11 kara, 2 deniz ve 12 müşterek olmak üzere 35 çalışma tespit edilmiştir.



Şekil 2. Kuvvet Bazlı Sınıflandırma

Literatür incelendiğinde askeri alanda yapılan çalışmaların beklenenin aksine sayısının az olduğu ve %45 oranında tüm kuvvetlere hitap edecek alanlarda yapıldığı tespit edilmiştir. Tek başına hava ve kara kuvvetleri ilgi alanlarını kapsayan çalışmalar %26'lık dilimleri kapsarken sadece deniz kuvvetleri ile ilgili çalışmalar %3 oranındadır. Günümüzde yapılan deniz yetki sınırı anlaşmaları göz önüne alındığında bu alanda yapılacak çalışmaların giderek önem kazanacağı ve deniz kuvvetleri alanında yapılacak ergonomi çalışmalarının artacağı düşünülmektedir. Kara ve hava kuvvetleri için dar ve sınırlı alanlarda yapılan tasarım çalışmalarının deniz kuvvetleri içinde geçerli olduğu ve bu alanda denizaltı, savaş gemisi, hücumbotu gibi askeri araçlarda yürütülebilecek çalışmalarla deniz kuvvetlerindeki ergonomi çalışmalarının artabileceği değerlendirilmektedir.

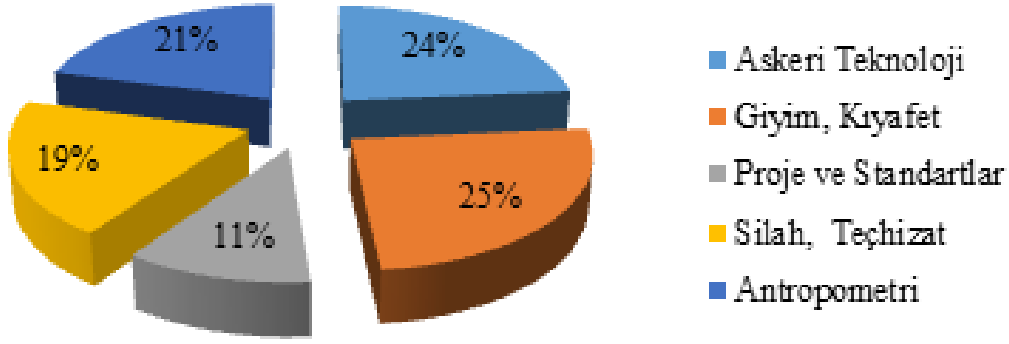


Şekil 3. Konu Bazlı Sınıflandırma

Askeri alanda konu bazlı sınıflandırma yapılarak yıllara göre literatür incelendiğinde,

- 2000 yılı ve öncesinde askeri teknoloji sınıfında 2, giyim, kıyafet sınıfında, proje ve standartlar sınıfında 3,
- 2000-2004 yılları arasında askeri teknoloji sınıfında 2, silah ve teçhizat sınıfında 1,
- 2005-2009 yılları arasında giyim, kıyafet sınıfında 4,
- 2010-2014 yılları arasında askeri teknoloji sınıfında 2, giyim, kıyafet sınıfında 4, silah, teçhizat sınıfında 6 ve antropometri sınıfında 4,
- 2015 yılı ve günümüz itibariyle askeri teknoloji sınıfında 11, giyim, kıyafet sınıfında 9, proje ve standartlar sınıfında 5, silah, teçhizat sınıfında 7 ve antropometri sınıfında 11 çalışma tespit edilmiştir.

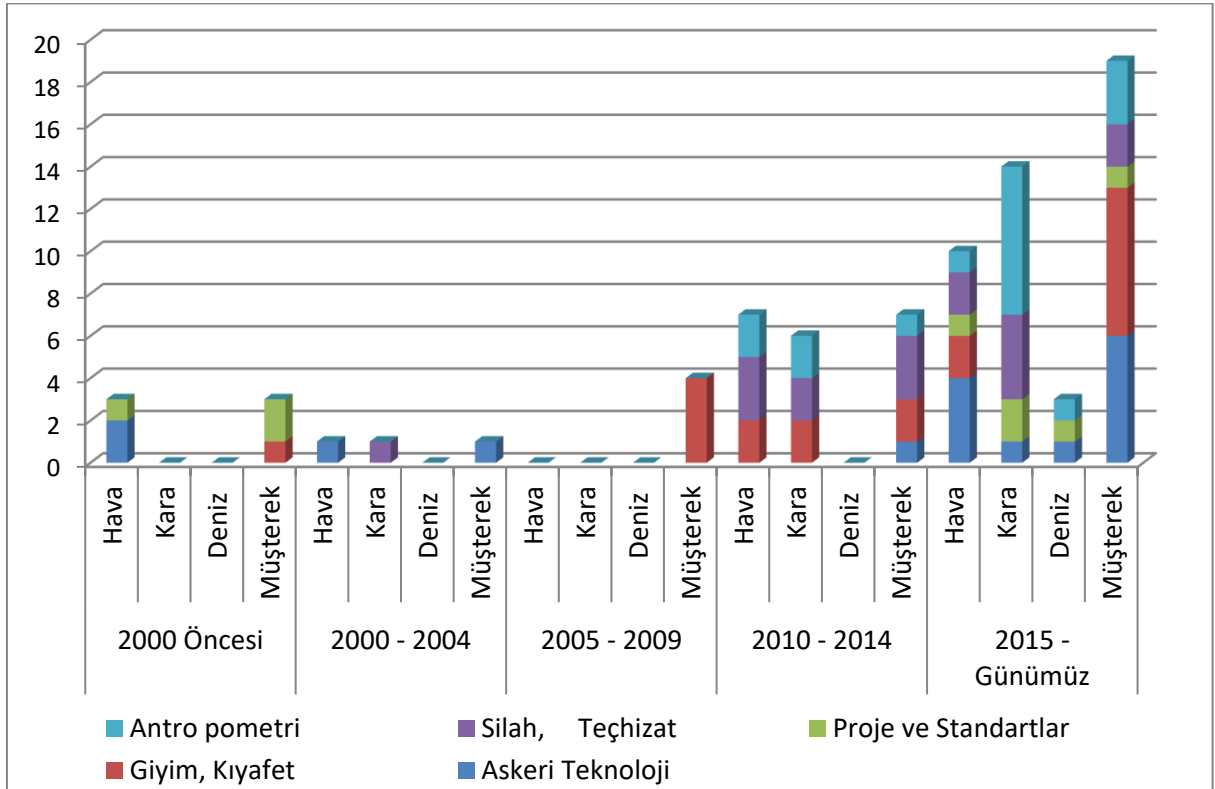




Şekil 4. Konu Bazlı Sınıflandırma

Kuvvet ayrımı olmaksızın çalışmalar askeri teknoloji, giyim, kıyafet, proje ve standartlar, silah ve teçhizat, antropometri konuları olarak 5 başlık altında sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmada %25 ile askeri giyim ve kıyafetler üzerindeki çalışmaların ilk sırayı aldığı görülmektedir. Bu konuyu sırasıyla %24 ile askeri teknoloji faaliyetlerinin, %21 ile antropometri, %19 ile silah ve teçhizat içerikli faaliyetlerin takip ettiği tespit edilmiştir. Son sırada ise %11 ile proje ve standartlara ilişkin çalışmalar yer almaktadır. Gelişen teknolojik koşullar dikkate alındığında askeri teknoloji faaliyetlerinin daha ön planda tutularak akıllı teknolojiler ve nanoteknoloji hamleleri ile askeri alanda ergonomi projesi çalışmalarının sayısında artış olacağı öngörülmektedir.

Yapılan çalışmaların yıllar içerisindeki dağılımını daha iyi inceleyebilmek için kuvvet ve konu bazlı sayıları bütünlük olarak Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Konu ve Kuvvet Bazlı Sınıflandırma

Askeri alanda yapılan çalışmalar konu ve kuvvet bazlı sınıflandırılarak birlikte incelendiğinde 2010 yılı öncesinde çalışmaların az olduğu, 2010 yılı ve sonrası itibarıyla bu çalışmaların hız kazanarak arttığı görülmektedir. Özellikle kara, hava ve deniz kuvvetlerini içeren müşterek çalışmalar tek bir kuvvet için yapılan çalışmalardan fazladır. Deniz kuvvetleri için yapılan çalışmaların az olduğu görülmektedir. Kara kuvvetlerinde yer alan askeri araçlar veya hava kuvvetlerindeki sınırlı alan problemleri deniz kuvvetleri içinde geçerli olmaktadır ve bu sebeple deniz kuvvetlerinde daha fazla çalışma yürütülebilir. Müşterek çalışmalar dışında üç kuvveti ayrı ele alırsak en fazla çalışma kara kuvvetlerinde yapılmıştır. İkinci sırada hava kuvvetleri ve son sırada deniz kuvvetleri yer

almaktadır. Bunun nedeninin ülkelerin kara kuvvetlerinde çalışan personel sayısının hava ve deniz kuvvetlerinde çalışan personel sayısına göre daha fazla olması ve yapılacak iyileştirmelerin daha fazla kişiye etki etmesi olduğu değerlendirilmektedir.

## 5. Sonuç ve Yorumlar

Bu çalışmada askeri alanda yapılan ergonomi çalışmaları araştırılarak literatür incelemesi yapılmıştır. Yapılan literatür incelemesindeki amaç; günümüze kadar yapılan askeri alanlardaki ergonomi çalışmalarını inceleyerek problem sahalarını belirleyip bu alanda yeni çalışmalar yapacak araştırmacılar için literatürü özet halinde sunmaktır. İleriye yönelik yapılacak akademik çalışmalarda araştırmacılara yön göstermek hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşabilmek amacıyla kuvvet bazlı ve konu bazlı olarak iki ayrı sınıflandırmaya gidilmiştir.

Literatür incelendiğinde askeri alanda yapılan çalışmaların beklenenin aksine sayısının azlığı ve %45 oranında tüm kuvvetlere hitap edecek alanlarda yapıldığı tespit edilmiştir. Tek başına hava ve kara kuvvetleri ilgi alanlarını kapsayan çalışmalar %26'şarlık dilimleri kapsarken sadece deniz kuvvetleri ile ilgili çalışmalar %3 oranında olup bu alandaki eksiklik dikkat çekici olarak göze çarpmaktadır. Kuvvet ayrımı olmaksızın çalışmaların konu kapsamı incelenerek yapılan analizde ise %25 ile askeri giyim ve kıyafetler üzerindeki çalışmaların ilk sırayı aldığı ve bu sırayı %24 ile askeri teknoloji faaliyetlerinin, %21 ile antropometri, %19 ile silah ve teçhizat içerikli faaliyetlerin takip ettiği tespit edilmiştir. Son sırada ise %11 ile proje ve standartlara ilişkin çalışmalar yer almaktadır.

Kara kuvvetlerinde yapılan çalışmalar deniz ve hava kuvvetlerindeki çalışmalardan fazladır. Bu durumun en büyük sebebi kara kuvvetlerinde yer alan personel sayısının diğer kuvvetlerden fazla olmasıdır. Diğer bir açıdan incelenen makalelerde kişisel tasarımı alakalı yapılan çalışmaların diğer kategorilere göre sayıca daha fazla olduğu ve bu tasarımların yoğunlukla kara kuvvetlerine ait çalışmalarda yapıldığı görülmektedir. Bu iki durum kara kuvvetlerinde yapılan çalışmaların sayıca fazlalığının nedenine ışık tutmaktadır.

Deniz ve hava kuvvetlerinde yapılacak çalışmaların da en az kara kuvvetleri çalışmaları kadar önemli olduğu ve bu alanlarda daha fazla çalışma yapılması gerektiği değerlendirilmektedir. Gelecekte deniz ve hava kuvvetleri bünyesinde yapılacak çalışmalarda, personelin çalışma alanı düşünüldüğünde gemi, denizaltı ve kokpit gibi ortamlara ait iyileştirme ve yaşam standartlarını yükseltmek amacıyla askeri ergonomi konularına yönelinebilir. Aynı şekilde operasyonlardaki başarının artırılması ve dar alandan etkin bir şekilde faydalanılması göz önünde bulundurularak askeri personelin bu araçlarda kullanacağı silahların ergonomik tasarımlarına yönelik çalışmalar yürütülebilir. Ayrıca günümüzde savaş ortamlarında keşif ve gözetleme görevleri için sıkça kullanılan küçük İHA'ların personel tarafından rahat kullanımı ve taşınmasına yönelik insan-makine uyumu üzerine çalışmalar arttırılabilir ve teknolojinin hızla gelişmesi ile ülkelerin askeri harcamalara yönelik ayırdığı bütçeler dikkate alındığında askeri giyim, teknoloji ve silah, teçhizata yönelik araştırmaların kapsamı genişletilebilir. Yapılacak bu çalışmalar neticesinde askeri personelin antropometrik ölçümlere ve standartlara uygun silah, teçhizat, kıyafet ve donanımlar ile iş yaşamındaki performansının artması, insan ve malzeme uyumunun maksimum seviyede tutulmaya çalışılması sağlanabilir.

## 6. Kaynakça

Aggromito, D., Thomson, R., Wang, J., Chhor, A., Chen, B., & Yan, W. (2015). Effect of body-borne equipment on injury of military pilots and aircrew during a simulated helicopter crash. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 50, 130-142.

Alppay, C., & Bayazit, N. (2015). An ergonomics based design research method for the arrangement of helicopter flight instrument panels. *Applied ergonomics*, 51, 85-101.

Altuntaş, S., Dereli, T., & Özşalap, C. (2019). Kalite fonksiyonu geçeri (KFG) ile askeri havacılıktaki bakım faaliyetleri için yeni ürün tasarımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(4), 2187-2202.

Behar, R. (2007). "Endüstri işletmelerinde çalışma koşullarının, işgörenler üzerindeki yabancılaşma etkisi ve bir uygulama", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü*, İstanbul.

Birrell, S. A., & Haslam, R. A. (2010). The effect of load distribution within military load carriage systems on the kinetics of human gait. *Applied ergonomics*, 41(4), 585-590.

Bishop, P., Ray, P., & Reneau, P. (1995). A review of the ergonomics of work in the US military chemical protective clothing. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15(4), 271-283.

Bolin, J., Crawford, C., Macke, W., Hoffman, J., Beckmann, S., & Sen, S. (2017, May). Gesture-based control of autonomous UAVs. In *Proceedings of the 16th Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems* (pp. 1484-1486).

Bozdemir, M. Silah Kabzasının 3b Yazıcılarla Tasarım Ve İmalatı. *International Journal Of 3d Printing Technologies And Digital Industry*, 2(1), 57-68.

- Carr, D.J., Wilson, C.A., Laing, R.M., 2012. Anthropometric methods for the successful design of military clothing and equipment. In: *Advances in Military Textiles and Personal Equipment*. Elsevier, pp. 49–63. <https://doi.org/10.1533/9780857095572.1.49>.
- Coltman, C. E., Brisbine, B. R., Molloy, R. H., Ball, N. B., Spratford, W. A., & Steele, J. R. (2021). Identifying problems that female soldiers experience with current-issue body armour. *Applied Ergonomics*, 94, 103384.
- Czerwińska, M. (2014). “Zastosowanie nanomateriałów w przemyśle zbrojeniowym.” *Chemik* 6(68): 536–543.
- Çelikkol, M. Askeri Havacılık Olay Ve Kazalarında İnsan Faktörünün Yorgunluk Yönüyle Değerlendirilmesi. *Hv. Kk Lığı 2017 Havacılık Emniyeti Yönetim Sistemi (Heys 2017) Sempozyumu*, 73.
- Çiçek, H. & Çağdaş, A. (2020). Ergonomik Faktörlerin Çalışan Performansına Olan Etkileri. *Ohs Academy*, 3 (2) , 135-143. Doi: 10.38213/Ohsacademy.733730
- Dagge, R., & Filgueiras, E. (2015). Military weight transportation systems: A biomechanical and design based approached review. *Procedia Manufacturing*, 3, 6075-6078.
- Deringöz, A., Danışan, T., & Tamer, E. (2021). Endüstriyel Giyilebilir Teknolojilerin Çkkv Yöntemleri İle Değerlendirilmesi Ve Seçimi. *Ergonomi*, 4(1), 10-21.
- Doll, T. J., & Folds, D. J. (1986). Auditory signals in military aircraft: ergonomics principles versus practice. *Applied Ergonomics*, 17(4), 257-264.
- Duncan, S. , McLellan, T. and Gugdin Dickson, E. ( 2011 ). Improving comfort in military protective clothing. In: G. Song, ed. *Improving comfort in clothing*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, pp. 320 – 373.
- Endrusick, T. L., Gonzalez, J. A., & Gonzalez, R. R. (2005). Improved comfort of US military chemical and biological protective clothing. *Environmental Ergonomics*, 3, 369-373.
- Endrusick, T. L., Cole, I. D., & Matonich, P. M. (2005). Effects of simulated sustained operations on the thermal insulation of military footwear. *Environmental Ergonomics*, 3, 389-393.
- Ersin, Ç., Mustafa, Y. A. Z., & Karhan, M. (2019). Savunma Sanayi İçin Örnek Bir IoT Uygulaması. *Electronic Letters on Science and Engineering*, 15(3), 66-73.
- Erol, A. D., & Çetiner, S. (2017). Giyilebilir Elektronik/Akıllı Tekstiller ve Uygulamaları. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 1-20.
- Gijsbertse, K., Linsen, L., Woering, A., & Catoire, M. (2021). The effects of mass, bulk and stiffness of personal protective equipment and clothing on physical performance when performing a military mobility obstacle course. *Applied Ergonomics*, 95, 103448.
- Hamouda, A. M. S., Sohaimi, R. M., Zaidi, A. M. A., & Abdullah, S. (2012). Materials and design issues for military helmets. In *Advances in Military Textiles and Personal Equipment*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, pp. 103-138.
- Helvacılar, E., & Eldem, C. (2017). İnsan Faktörleri Mühendisliği Bakış Açısı İle Askeri Mesaj İşletim Sistemleri. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi (GMBD)*, 3(3), 41-46.
- İstanbuluoğlu, H., & Kır, T. (2016). Mesleki gürültü maruziyeti (Askeri personel örneği). *TAF Preventive Medicine Bulletin*, 15(4).
- Karakoç, M., & Ömer, A. S. A. L. (2017). Tsk Personelinin Kullanabileceği Giyilebilir Askeri Bilişim Sisteminin: Kullanılabilirliğini, Veri Tabanı Tasarımını Ve Kullanıcı Ara Yüzü Ekranlarını Belirlemeye Yönelik Anket Uygulaması. *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 21(1), 261-278.
- Kaya, N., & Erden, O. (2019). Mayına Dirençli Askeri Personel Koltuğu Tasarımının Ekonomik Analizi, *Mesleki Bilimler Dergisi (Mbd)*, Cilt.8, Sa.2, Ss.123-132, 2019.
- Kılıç, D. (2019). Hücumbotların İç Mekân Tasarımı Ve Genel Yerleşim Planları İncelemesi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılıç, O. (2020). Askeri Denizaltıların İç Mekân Kurgularının Ergonomi Kapsamında İrdelenmesi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(73), 383-394.

- Kieneke, R., Graf, C., & Maas, J. (2013). Active seat suspension with two degrees of freedom for military vehicles. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(5), 523-529.
- Kolose, S., Stewart, T., Hume, P., & Tomkinson, G. R. (2021). Prediction of military combat clothing size using decision trees and 3D body scan data. *Applied Ergonomics*, 95, 103435.
- Krueger, G. P. (2012). Psychological issues in military uniform design. In *Advances in military textiles and personal equipment* (pp. 64-82e). Woodhead Publishing.
- Labazanova, L., Tleugazy, A., Tsykunov, E., & Tsetserukou, D. (2018, November). Swarmglove: A wearable tactile device for navigation of swarm of drones in vr environment. In *International AsiaHaptics conference* (pp. 304-309). Springer, Singapore.
- Lee, W., Kim, H., Jung, D., Park, S., & You, H. (2013, September). Ergonomic design and evaluation of a pilot oxygen mask. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 57, No. 1, pp. 1673-1677). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.
- Looney, D. P., Doughty, E. M., Figueiredo, P. S., Vangala, S. V., Pryor, J. L., Santee, W. R., ... & Potter, A. W. (2021). Effects of modern military backpack loads on walking speed and cardiometabolic responses of US Army Soldiers. *Applied Ergonomics*, 94, 103395.
- MacLeod, I. S. (2003). Real-world effectiveness of Ergonomic methods. *Applied Ergonomics*, 34(5), 465-477.
- Maher, A., Li, C., Hu, H., & Zhang, B. (2017, October). Realtime human-UAV interaction using deep learning. In *Chinese Conference on Biometric Recognition* (pp. 511-519). Springer, Cham.
- McCaig, R. H., & Gooderson, C. Y. (1986). Ergonomic and physiological aspects of military operations in a cold wet climate. *Ergonomics*, 29(7), 849-857.
- McDaniel, J. W. (1996). The demise of military standards may affect ergonomics. *International journal of industrial ergonomics*, 18(5-6), 339-348.
- Murray, M., Lange, B., Chreiteh, S. S., Olsen, H. B., Nørnberg, B. R., Boyle, E., ... & Sjøgaard, G. (2016). Neck and shoulder muscle activity and posture among helicopter pilots and crew-members during military helicopter flight. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 27, 10-17.
- Muslim, E., Moch, B. N., Rasyad, B. A. R. M., & Risya, P. A. (2019, April). The Ergonomics Design Of The Military Backpack For Indonesian National Soldiers Using Virtual Environment Model. In *IOP Conference Series: Materials Science And Engineering* (Vol. 508, No. 1, P. 012108). IOP Publishing.
- Müezzinoğlu, T., & Karaköse, M. (2021). İnsan-İha Etkileşimi İçin Giyilebilir Eldiven Hareketlerinin Sınıflandırılması Ve Analizi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 33(1), 141-150.
- Nayak, R., Wang, L., & Padhye, R. (2015). Electronic textiles for military personnel. In *Electronic Textiles* (pp. 239-256). Woodhead Publishing.
- North, D. C. (1997). Where have we been and where are we going? , [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1494](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1494), Son Erişim Tarihi: 10.10.2021.
- Oord, M. V. D., Dresen, M. H. W. F., & Sluiter, J. K. (2012). Optimal helmet use and adjustments with respect to neck load: The experience of military helicopter aircrew. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(1).
- Öter, E., Demir, A. A., & Coşkun, Ö. Mikrodenetleyici Temelli Parmak Ucundan Nabız Ölçer Devresi Tasarımı. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 4(2), 87-92.
- Özer, Y., (2019). Nanoteknoloji'nin Askerî Uygulamaları Üzerine Bir Değerlendirme. *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, 33-52.
- Park, D. J., Choi, M. G., Song, J. T., Ahn, S. J., & Jeong, W. B. (2019). Attention decrease of drivers exposed to vibration from military vehicles when driving in terrain conditions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 72, 363-371.
- Penrice, C. (2000). Single seat fighter-the way ahead for the 21st century. *Air & Space Europe*, 2(1), 8-14.
- Silah, M. (2005). İşletmelerde Personel Seçme ve İşe Yerleştirmede Psikoteknik Bir Uygulama Örneği: Giyim Sanayi Konfeksiyon Atölyelerinde Çalışacakların Seçiminde From Lege Testi Uygulaması. *Cumhuriyet Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 6(1), 177-192.

- Strain, J. D., & Preece, D. A. (1999). Project management and the integration of human factors in military system procurement. *International Journal of Project Management*, 17(5), 283-292.
- Tharion, W. J., & Obusek, J. P. (2000). Effects of a new individual fighting system on marksmanship. *International journal of industrial ergonomics*, 25(1), 79-84.
- Tseng, F. Y., Chao, C. J., Yau, Y. J., & Feng, W. Y. (2018). Design and evaluation of military geographical intelligence system: An ergonomics case study. *Displays*, 51, 36-42.
- Tsykunov, E., Agishev, R., Ibrahimov, R., Labazanova, L., Moriyama, T., Kajimoto, H., & Tsetserukou, D. (2019). SwarmCloak: Landing of a Swarm of Nano-Quadrotors on Human Arms, <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3355049.3360542>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2021.
- Tutton, W., & Denton, H. (2012). Designing load carriage systems for military personnel. In *Advances in Military Textiles and Personal Equipment*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, pp. 288 – 305.
- Van den Oord, M. H., Frings-Dresen, M. H., & Sluiter, J. K. (2012). Optimal helmet use and adjustments with respect to neck load: The experience of military helicopter aircrew. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(1), 73-79.
- Walsh, G. S., & Low, D. C. (2021). Military load carriage effects on the gait of military personnel: A systematic review. *Applied ergonomics*, 93, 103376.
- Williams, D. H., & Simpson, C. A. (1976). A systematic approach to advanced cockpit warning systems for air transport operations: Line pilot preferences. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1976NASSP.416..617W/abstract>, Son Erişim Tarihi: 10.10.2021.
- Wu, F., Ramchurn, S. D., & Chen, X. (2016). Coordinating human-UAV teams in disaster response. In *Proceedings of the 25th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)* (pp. 524-530).
- Zerehsaz, Y., Jin, J. J., Ebert, S. M., & Reed, M. P. (2017). Statistical prediction of eye locations for drivers of military ground vehicles. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 59, 20-28.



## Otomotiv Sektöründe Çalışan Kadın İşçilerin Ergonomik Risk Değerlendirmesi

### Ergonomic Risk Assessment of Female Workers Working in the Automotive Industry

Seher Arslankaya<sup>1</sup> , Miraç Tuba Çelik<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

Başvuru/Received: 01/10/2021

Kabul/Accepted: 30/12/2021

Çevrimiçi Basım/Published Online:31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

#### Öz

Günümüzde otomotiv sektörünün giderek gelişmesi ile ülkemizde kadın işçiler işgücünün yaklaşık olarak %30'dan fazlasını oluşturmaktadır. Kadın çalışanların sayısının giderek artması onların iş hayatlarında karşılaştıkları mesleki riskleri de beraberinde getirmektedir. Kadınların bedensel çalışma gücünün erkeklere oranla daha az olması nedeniyle çalışma hayatları boyunca fiziksel, kimyasal, ergonomik, biyolojik ve psiko-sosyal risklere maruz kalmaları sonucu ciddi sağlık problemleri yaşamaktadırlar. Bu nedenle meydana gelecek tüm sağlık sorunlarının önüne geçilebilmesi için ergonomik risklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, bir otomotiv firmasında çalışan kadın işçilere ait son 4 yılda meydana gelen iş kazaları ele alınarak ergonomik risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Ele alınan verilerle iş sağlığı ve güvenliği performansını gösteren değerler hesaplanmış ve kazaya neden olan risk faktörleri kendi aralarında sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmanın ardından ergonomik risk faktörlerinden kaynaklı kazaların sayıları belirlenmiş ve öneriler sunulmuştur. Literatürde kadın çalışanlarına yönelik çalışmaların yetersiz olması sebebiyle bu çalışma yapılmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Otomotiv, kadın çalışanlar, ergonomik risk, risk faktörleri”

#### Abstract

Today, with the gradual development of the automotive industry, female workers constitute more than 30% of the workforce in our country..The increasing number of female employees brings along the occupational risks they face in their business life.Due to the fact that women have less physical working power than men, they experience serious health problems as a result of their exposure to physical, chemical, ergonomic, biological and psycho-social risks throughout their working life.For this reason, ergonomic risks should be determined and evaluated in order to prevent all health problems that may occur.In this study, ergonomic risk assessment was made by considering the occupational accidents that occurred in the last 4 years of female workers working in an automotive company.Values showing occupational health and safety performance were calculated with the data discussed, and the risk factors causing the accident were classified among themselves.After this classification, the number of accidents caused by ergonomic risk factors was determined and suggestions were presented.This study was carried out due to the inadequacy of studies on female employees in the literature.

#### Key Words

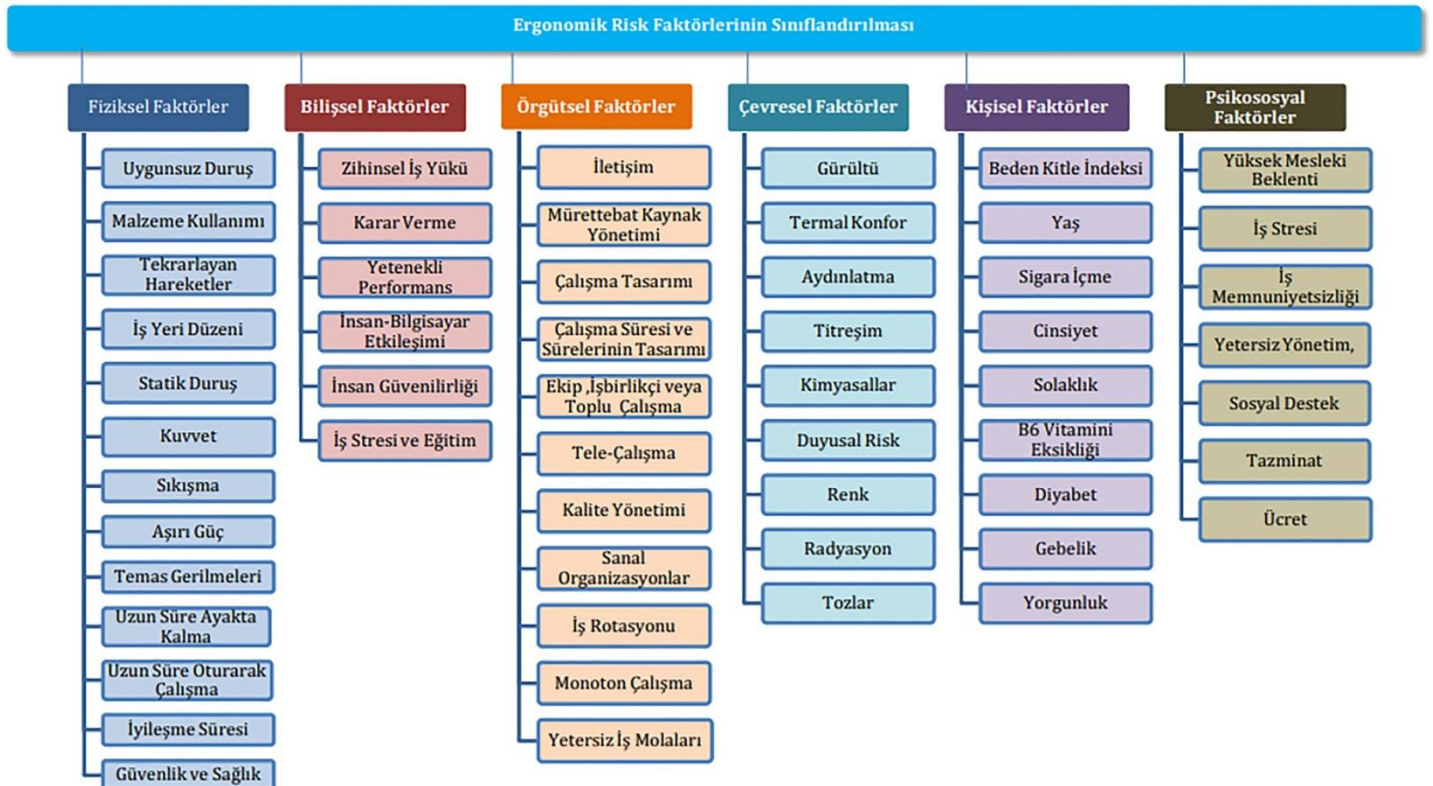
“Automotive, female employees, ergonomic risk, risk factors”

## 1. Giriş

Endüstri'nin gelişmeye başlamasıyla kadınların işgücüne katılma oranı tüm dünyada hızlı bir artış göstermektedir. Dünyada işgücünün yaklaşık %30'dan fazlasını kadın çalışanlar oluşturmaktadır (Çağlayan & Karaca, 2015). Bu orana bakıldığında kadınların her türlü işkolunda çalıştığı görülmektedir. Bu da kadınların çalıştıkları yerlerde mesleki risklerle karşı karşıya kalma riskini aynı oranda arttırmaktadır (Yamankaradeniz vd., 2015). Bu risklerin ortaya çıkmasındaki sebeplerden biri kadınların sahip olduğu biyolojik, fizyolojik, sosyolojik ve psikolojik yapılarıdır (Aytaç vd., 2018). Kadın çalışanların erkek çalışanlara kıyasla daha küçük yapıda olmaları, daha az güçlü olmaları ve kas gücü gibi nedenlerle kadınların çalışma gücü erkeklerin çalışma gücünün yalnızca %70-75'ine ulaşabilmektedir (Yılmaz, 2010). Aynı yaşta olan kadın ve erkek çalışanlar kıyaslandığında kadınların itme-çekme gücü erkeğe göre %75 civarındadır. Kadınların omurga uzunluklarının erkeklerden daha fazla olması sebebiyle ağır yüklerin taşınması, yavaş olmayan iş temposu gibi durumlar kadınların ileride bel fitiği gibi kas-iskelet sistemi hastalıklarına daha çabuk yakalanacaklarını göstermektedir (Bilir & Yıldız, 2014; Jafry, 2000).

Erkeklerle göre kadınların ısı toleransı ve vücut sıvıları daha az olduğundan sıcak ortamlardan daha fazla etkilenirler. Bu durum gebe çalışanlarda baş dönmesi ve baygınlık gibi birçok soruna neden olmaktadır (Çağlayan & Etiler, 2009). Tüm bu durumlar incelendiğinde ergonomide önemli olan işin işçiye uydurulması ilkesi kadınların biyolojik, fizyolojik, sosyolojik ve psikolojik yapıları göz önüne alınarak her türlü sektörde önem kazanmalıdır (Çağlayan & Karaca, 2015). Otomotiv sektörü bu sektörlerden bir tanesidir. Erkek çalışanların fazla olduğu bu sektörde kadın çalışanların sayısı da göz ardı edilemeyecek kadar fazladır. Gürültü, kimyasal, titreşim, ağır kaldırma, tekrarlı hareketler vb. birçok faktör otomotiv sektöründe çalışan kadınlar açısından büyük riskler oluşturmaktadır.

Her işletmede karşılaşılan riskler farklı olsa da 6331 sayılı iş sağlığı güvenliği kanunu işletmelerde karşılaşılan riskleri 5 başlık altında toplamıştır (Akalp & Özok, 2017). Fiziksel riskler; gürültü, aydınlatma, sıcaklık ve nem, radyasyon, basınç, titreşim ve termal konfor şeklinde ele alınmaktadır (Efe & Efe, 2015). Bu risk faktörleri kişilerin performanslarını, odaklanmalarını ve iş yapma kapasitelerini etkilemektedir (Akalp & Özok, 2017). Kimyasallar sahip olduğu patlayıcı, zehirleyici, tahriş edici vb. özelliklerinden dolayı vücuda deri, solunum, gözler ve sindirim yolu ile girerek kişi üzerinde ciddi hasarlar bırakır. Bunlar kimyasal risk faktörleri olarak değerlendirilir (Efe & Efe, 2015). Çeşitli nedenlerden dolayı çalışma ortamında bulunan mantarların, bakterilerin, parazitlerin, virüslerin çalışanlarda hastalığa neden olduğu riskler biyolojik risk faktörü olarak nitelendirilir. Stres, fazla iş yükü, mesai, mobing gibi çalışanın psikolojisini etkileyen riskler psiko-sosyal risk faktörleri olarak adlandırılır (Leka & Cox, 2008). Çalışanların kas-iskelet sistemi hastalıklarına yakalanmalarına neden olan faktörlere ergonomik risk faktörleri denir (Kahraman, 2012). Çalışanların verimliliğini en fazla etkileyen faktörler ergonomik risk faktörleridir. Aydınlatma, titreşim, hava koşulları, sıcaklık gibi faktörler çalışanlar açısından büyük önem arz etmektedir (Stallworth & Brain, 1996; Resnick & Zanotti, 1997; Yapıcı & Baş, 2015). Ergonomik risk faktörlerinin detaylı bir şekilde gösterimi Şekil 1'de gösterilmiştir (Aksüt & Ark., 2020).



Şekil 1. Ergonomik Risk Faktörlerinin Sınıflandırılması

Ergonomik risk faktörlerinin dikkate alınmadığı işletmelerde çalışanlarda meydana gelecek olan dikkat dağınıklığı, düşük verimlilik ve yorgunluk gibi birçok etken iş kazalarının artmasına neden olacaktır (Çağlayan & Etiler, 2009). Ülkemizde 2019 yılında meydana gelen iş kazalarına baktığımızda kazaların %79,9'una erkekler, %20,1'ine kadınlar maruz kalmıştır.

Kadınları erkeklerden ayıran birçok faktörün olması nedeniyle işyerlerinde kadınlar erkeklerden daha yüksek risk taşımaktadır. Bu yüksek risk kadın çalışanların işletmelerde meydana gelecek kazalara ve birçok tehlikeye karşı özel olarak korunmasını gerektirmektedir. Sadece ülkemizde değil tüm dünyada kadınları koruyan çok sayıda düzenleme yapılmış olsa da hala bu düzenlemelerin yeterli seviyeye ulaşmadığı söylenebilir (Aytaç vd., 2018). İşletmelerde kadınların sağlığını etkileyen ergonomik riskler şu şekilde sıralanmıştır (Messing, 1998):

1. Kadınlara verilen işlerin sıradan, tekrarlı, statik güç gerektiren, fiziksel ve akıl sağlığı üzerinde zararlı etkisi olan işler olması,
2. Kadınları düşünmeden sadece erkek özellikleri dikkate alınarak hazırlanan alan, donanım gibi birçok etkenin kadınlar için uygun olmaması,
3. Cinsiyete dayanan iş bölümlerinin yapılması sonucu kadınların işçi sağlığı ve güvenliği hizmetlerinden daha az yararlanması,
4. Yapılan ayrımcılıkların kadınlar üzerinde strese neden olması,
5. Kadınların yarı zamanlı çalıştığı işlerde sosyal haklardan yeteri şekilde yararlanamamaları,
6. Kadınlara ve erkeklerle verilen görevlerin parçalanması sonucu tekrarlı çalışmanın ortaya çıkarak sağlığı etkilemesi.

Bu çalışmada Bursa'da faaliyet gösteren bir otomotiv firmasında çalışan kadın işçilere ait son 4 yılda meydana gelen iş kazaları ele alınarak ergonomik risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Kaza sıklık hızı, kaza ağırlık oranı hesaplanmış ve kazalara neden olan risk faktörlerinin sınıflandırılması yapılmıştır. Ergonomik risk faktörlerinden kaynaklanan iş kazalarının sayısı ayrıca ele alınmıştır. Çalışmanın geri kalan kısmı şu bölümlerden oluşmaktadır: ikinci bölümde literatür taraması yapılmış, üçüncü bölümde materyal ve metod anlatılmış, dördüncü bölümde uygulama yapılmış ve beşinci bölümde sonuç bölümü oluşturulmuştur.

## 2. Literatür Araştırması

Ergonomik risklerin değerlendirilmesi ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Pascual ve Naqvi (2008) kas-iskelet sistemi hastalıklarına neden olan ergonomik risklerin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemleri incelemiştir. Yaptıkları çalışmada ergonomik risk değerlendirmesinde çalışanların öz bildirimlerini kullandıklarını görmüşlerdir.

David (2005) çalışan kişilere sorulan sorulardan gelecek cevapların ergonomik risk faktörlerinin analiz edilmesinde kullanılacak yöntemlerden birisi olduğunu söylemiştir.

Taşoluk (2011) hazır giyim işletmesinde çalışan kişilerin uğradığı iş kazalarını, meslek hastalıklarını ve yorgunluğa neden olan risk faktörlerini belirleyerek iyileştirmelerde bulunmuştur.

Chiasson vd., (2015) kas-iskelet ağrısı olan ve olmayan işçilerin ergonomik risk faktör değerlendirmesini yapmışlardır.

Efe ve Efe (2015) tekstil sektöründe meydana gelen iş kazalarına ait ergonomik riskleri değerlendirmiş ve iyileştirme önerilerinde bulunmuşlardır.

Veselinovic vd., (2016) bilgisayar tabanlı bir uzman sistem(SONEX) geliştirerek kas-iskelet sistemi hastalıkları için ergonomik riskleri belirlemişlerdir.

Felekoğlu ve Taşan (2017) reaktif ve proaktif bakış açılarını kapsayan ergonomik risk değerlendirme yaklaşımı geliştirerek metal sektöründe faaliyet gösteren bir firmada uygulama yapmışlardır.

Yürek ve Kaya (2019) yol inşaatı şantiyelerinde çalışan kişilerin ergonomik risk değerlendirilmelerini yapmışlardır.

Kahya ve Çiçek (2019) seramik fabrikasında 3 ünitelerde REBA ve BAU yöntemleri kullanarak ergonomik risk değerlendirmesi yapmışlardır. Çalışma sonucunda iyileştirme önerilerinde bulunulmuş ve REBA skoru 42'den 13'e düşürülmüştür.

Rathore vd., (2020) cam sanatı işçileri arasında yaygın olan kas-iskelet sistemi hastalıklarına neden olan ergonomik risk faktörlerini araştırmışlardır.

Bozkurt vd., (2020) Van'da faaliyet gösteren otel işletmelerindeki ergonomik riskleri belirlemişlerdir. Çalışma 4 ve 5 yıldızlı otelleri kapsamaktadır. Çalışma sonucunda otel işletmelerinde birkaç eksiğin olduğunu ancak kullanılan malzemelerin ergonomik açıdan uygun olduğunu belirlemişlerdir.

Aksüt vd., (2020) ergonomik risk faktörleri ve sınıflandırılması ile ilgili bir literatür taraması yapmışlar ve sektörler bazında karşılaşılan risk faktörlerini belirlemişlerdir.

Literatüre bakıldığında kadın işçilere yönelik çok az sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir.



Wamalaa vd. (2000) yaptıkları çalışmada kadın işçilerin yaşadıkları iş stresinin koroner kalp yetmezliği problemini dört kat artırdığını söylemiştir.

Björkstén vd., (2001) metal ve gıda sektöründe çalışan 173 kadın işçinin kas-iskelet sistemi problemini araştırmış ve kadın çalışanlarda omuz ve boyun probleminin çok ciddi olduğunu belirtmişlerdir.

Dahlberg vd., (2004) yaptıkları çalışmada erkek ve kadın çalışanların performanslarını, çalışma tekniklerini ve kas-iskelet sistemi sorunları arasındaki farklılıkları incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kadınların el becerisi gerektiren işlerde erkeklere oranla daha fazla çalıştığı ve omuz zedelenmelerine yakalanma oranının kadınlarda daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Yamankaradeniz vd., (2015) yaptıkları çalışmada kadın işçilerin maruz kaldıkları fiziksel risk algısını ölçmüş ve risk alanlarındaki güvenlik farkındalıklarını tespit etmişlerdir. Toplam 582 kadın işçiden alınan anket verilerine göre en önemli faktörün iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri olduğu anlaşılmıştır.

Borah (2015), Hindistan'daki kaju fıstığı işleme fabrikasında çalışan kadın işçilerin ergonomik değerlendirilmesini yapmışlardır.

Aytaç vd., (2018) metal sanayide çalışan 23 iş yerindeki toplam 1918 kadın işçiye yaptıkları anket ile ergonomik risk algısı, kadercilik algısı ve güvenli davranış farkındalığını ölçmüşlerdir. Yapılan çalışma sonucunda ergonomik risk faktörü bakımından kadın işçilerde ilk olarak kas-iskelet sistemi sorunlarına yönelik bulgular olduğu tespit edilmiştir.

### 3. Materyal ve Metot

Kaza sıklık oranı ve kaza ağırlık oranı bir işletmenin iş sağlığı ve güvenliği performansını gösteren değerler arasında yer almaktadır.

İş kazası sıklık hızı veya oranı, belirli bir zaman süresi içinde yaşanan ve bir günden fazla iş göremezliğe sebep olan kaza sayısını ifade eder. Kaza sıklık oranı iki şekilde hesaplanabilir. İlk yöntem 1 milyon çalışma saati başına yaşanan kaza sayısını ifade eder (Efe & Efe, 2015). Bu yöntemde ele alınan dönemde toplam meydana gelen iş kazası sayısı ve toplam kaç saat çalışıldığının bilinmesi gerekir. Toplam çalışılan saat hesaplanırken çalışılan gün sayısından çalışılmayan gün sayılarının çıkarılması gerekir.

$$\text{Kaza Sıklık Hızı} = \frac{\text{Kaza sayısı}}{(\text{Toplam çalışma günü} - \text{çalışılmayan gün sayısı}) \times \text{günlük çalışma süresi}} \times 1.000.000 \quad (1)$$

Toplam çalışma günü = Dönem içindeki gün sayısı × çalışan sayısı

Örneğin, 200 işçinin çalıştığı bir işletmede 50 günde 10 iş kazası olduysa,

$$\text{Kaza sıklık hızı} = \frac{10}{200 \times 50 \times 8} \times 1.000.000 = 125 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Eğer 100 işçi için 50 hafta boyunca haftada 45 saat çalışıldığında meydana gelecek iş kazasını bulmak için 100 işçinin kaç saat çalıştığının hesabının yapılması gerekir. Yani yıllık tahmini 1.000.000 çalışma saati değişmiş olacaktır. Bu durumda 100 işçi, 50 haftada ve haftada toplam 45 saat çalışırsa 225.000 iş saati/yıl çalışmış olacaktır. O nedenle ilk yöntem ile değil de ikinci yöntem ile hesap yapmak gerekir (Simonds & Grimaldi, 1983). Yani burada tam gün çalışan her 100 kişi arasında meydana gelen kaza sayısı hesaplanmaktadır (Efe & Efe, 2015).

$$\text{Kaza Sıklık Hızı} = \frac{\text{Kaza sayısı}}{(\text{Toplam çalışma günü} - \text{çalışılmayan gün sayısı}) \times \text{günlük çalışma süresi}} \times 225.000 \quad (2)$$

Toplam çalışma günü = Dönem içindeki gün sayısı × çalışan sayısı

Kaza ağırlık oranı, belirli bir zaman süresi içinde iş kazaları nedeniyle oluşan toplam kayıp gün sayısıdır. Bu oran iki şekilde hesaplanabilmektedir. İlk yöntem 1.000.000 çalışma saatinde kaç iş gününün kaybedildiğini göstermektedir (Efe & Efe, 2015). Bu yöntemde ele alınan dönemde toplam gün kaybı ve toplam kaç saat çalışıldığının bilinmesi gerekir.

$$\text{Kaza ağırlık oranı} = \frac{\text{Toplam gün kaybı}}{(\text{Toplam çalışma günü} - \text{çalışılmayan gün sayısı}) \times \text{günlük çalışma süresi}} \times 1.000.000 \quad (3)$$

Toplam çalışma günü = Dönem içindeki gün sayısı × çalışan sayısı

Örneğin, 200 işçinin çalıştığı bir işletmede 50 iş gününde 7 iş günü kaybı olduysa (Simonds & Grimaldi, 1983),

Kaza ağırlık oranı =  $\frac{7}{200 \times 50 \times 8} \times 1.000.000 = 87,5$  olarak hesaplanır.

Her 100 saatte kaç iş gününün kaybedildiğini bulmak için ikinci yöntem kullanılır (Efe & Efe, 2015).

$$\text{Kaza ağırlık oranı} = \frac{\text{Toplam gün kaybı}}{(\text{Toplam çalışma günü} - \text{çalışılmayan gün sayısı}) \times \text{günlük çalışma süresi}} \times 100 \quad (4)$$

#### 4. Uygulama

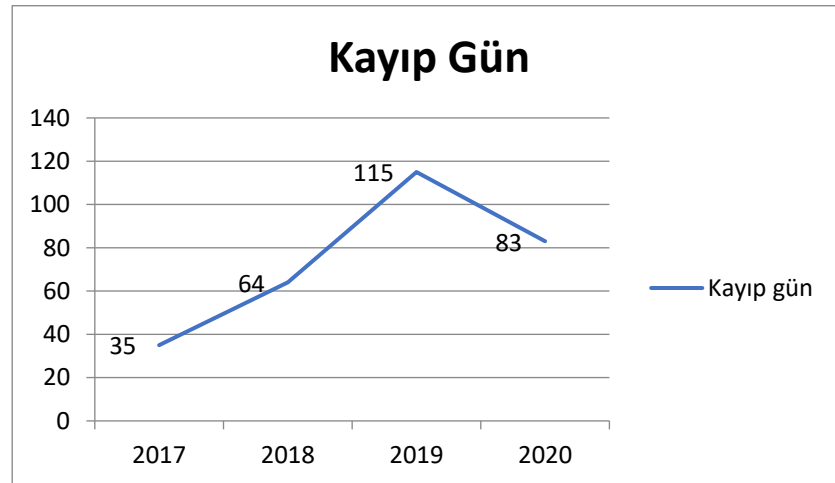
Bu çalışma Bursa'da faaliyet gösteren bir otomotiv firmasında yapılmıştır. Firmada çalışan kadın işçilerin son 4 yılda uğradığı iş kazaları dikkate alınmış ve ergonomik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Firmada ele alınan veriler sayesinde kaza sıklık oranı ve kaza ağırlık oranı hesaplanmıştır. Bu verilerin iş sağlığı ve güvenliği performansını gösteren veriler olmasından dolayı bu çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir. Firmada meydana gelen kazalar fiziksel, kimyasal, biyolojik, psiko-sosyal ve ergonomik risk faktörleri bakımından sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmanın ardından ergonomik risk faktörlerinden kaynaklanan iş kazaları da ergonomik temeline göre incelenerek tablo halinde sınıflandırılmıştır.

Kaza sıklık hızı ve kaza ağırlık oranının hesaplanabilmesi için 2017-2020 yılları arasında kadın işçilerde meydana gelen iş kazası sayısının ve kayıp gün sayısının bilinmesi gerekir. Şekil 2'de iş kazası sayıları ve şekil 3'de kayıp gün sayıları grafik yardımı ile gösterilmiştir.



Şekil 2. 2017-2020 Yılları Arasında Kadın İşçilerde Meydana Gelen İş Kazası Sayıları

4 yıl içinde toplamda 36 iş kazası meydana gelmiştir. Şekil 1 incelendiğinde iş kazalarının en fazla 2017 yılında meydana geldiği görülmektedir. 2017 yılında gerekli iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin alınmadığı veya diğer yıllara oranla iş kazası kayıtlarının daha özenle tutulduğu düşünülmektedir. 2018 yılı meydana gelen kaza sayıları sıralamasında 2.sırada yer alırken, en az kaza 2019 yılında olmuştur. Covid-19 nedeniyle 2019 ve 2020 yıllarında firmaların daha az gün çalışması meydana gelen kaza sayılarını da etkilemiştir.



Şekil 3. 2017-2020 Yılları Arasında Kadın İşçilerde Meydana Gelen Kayıp Gün Sayıları

Şekil 3'deki grafiğe bakıldığında en fazla kayıp günün 2019 yılında, en az kayıp günün ise 2017 yılında olduğu görülmektedir.

İş sağlığı ve güvenliği performansını gösteren kaza sıklık hızı ve kaza ağırlık oranı değerleri tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** 2017-2020 Yılları Arasındaki Kaza Sıklık Hızı ve Kaza Ağırlık Oranı

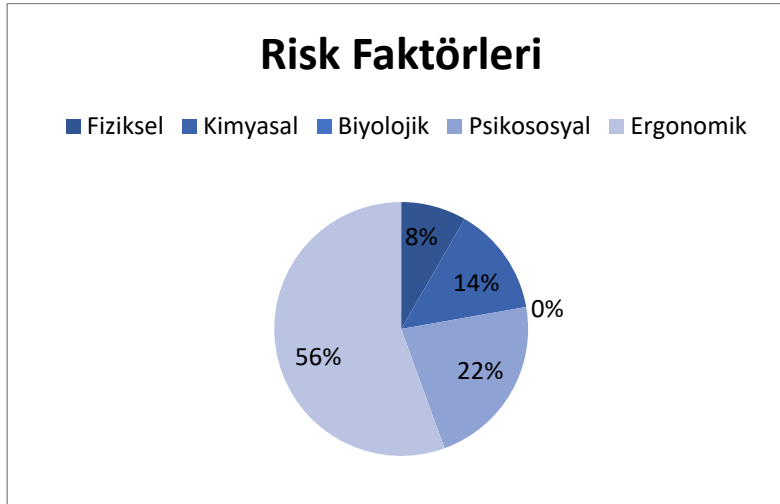
Yıllar	Kaza Sıklık Hızı	Kaza Ağırlık Oranı
2017	14,69	0,0251
2018	11,92	0,0458
2019	6,08	0,1295
2020	10,32	0,1014

Firmada meydana gelen iş kazaları birçok risk faktöründen kaynaklanmaktadır. Bunlar; fiziksel, kimyasal, biyolojik, psiko-sosyal ve ergonomik risk faktörleridir. 2017-2020 yılları arasındaki toplam kaza sayıları tablo 2’de risk faktörlerine göre sınıflandırılmıştır.

**Tablo 2.** Risk Faktörleri

Risk Faktörleri	Değerler
Fiziksel	3
Kimyasal	5
Biyolojik	-
Psikososyal	8
Ergonomik	20

Firmada en fazla kazaya sebep olan risk faktörü ergonomik risk faktörüdür. Kazaların, ağır kaldırma, tekrarlayan hareketler yapma, uzun süre çalışma vb. faktörden kaynaklanması ergonomik risk faktörünün 1.sırada yer almasına sebep olmuştur. 2.sırada ise psiko-sosyal risk faktörleri gelmektedir. Risk faktörlerinin yüzde olarak gösterimi şekil 4’de pasta grafiği yardımı ile gösterilmiştir.



**Şekil 4.** Risk Faktörlerinin Yüzde Olarak Gösterimi

Firmada ergonomik risk faktörlerinden kaynaklı iş kazalarının sınıflandırılması tablo 3’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Ergonomik Temelli Nedenler ve Kaza Sayıları

Ergonomik temelli nedenler	Kaza Sayısı
Tekrarlayan hareketler	4
Ağır kaldırma	5
Malzeme kullanımı	7
İş yeri düzeni	2
Uygunsuz duruş	2

Firmadaki ergonomik temelli nedenlere bakıldığında en fazla malzeme kullanımı ve ağır kaldırmadan kaynaklandığı görülmektedir. İş sırasında çalışanların kullandığı kesici alet ile ellerini kesmesi firmada en çok karşılaşılan kazalardandır. Üretilen ürünlerin ağır olmasından dolayı kadın çalışanların ürünleri kaldırırken veya taşıırken düşmesi de çok sık rastlanan iş kazalarının başında gelmektedir.

## 5. Sonuç

Geçmiş veriler incelendiğinde; günümüzde kadın çalışanların farklı sektörlerde istihdamının arttığı görülmektedir. Bu sektörlerin başında otomotiv sektörü gelmektedir. Otomotiv sektöründe çalışan kadınların çeşitli iş tanımlarının olması birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu sorunun başında iş kazaları gelmektedir. İşletmelerde çeşitli etmenlerden kaynaklı kadın çalışanların erkek çalışanlardan daha yüksek risk taşıdığı değiştirilemez bir gerçektir. Bu etmenler; anatomik yapı, eğitim, tecrübe, antropolojik, psikolojik nedenler şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışmada Bursa’da faaliyet gösteren bir otomotiv firmasında kadın işçilerin ergonomik risk değerlendirmesi yapılmıştır. İlk önce firmada çalışan iş sağlığı ve güvenliği uzmanından 2017-2020 yılları arasında kadın işçilerde meydana gelen iş kazası sayısı, kayıp gün sayısı ve kadın çalışan sayısı bilgileri alınmıştır. Ardından kaza sıklık hızı ve kaza ağırlık oranı hesaplanmıştır. Devamında kadın çalışanlarda meydana gelen iş kazalarının hangi risk faktörlerinden kaynaklandığı araştırılmış ve sayısal sonuçlar tablo halinde gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en fazla ergonomik risk faktörlerinden kaynaklı iş kazalarının olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Diğer risk faktörleri içinde %56’lık bir paya sahip olduğu görülmüştür. Bu sonucun 5 farklı etmeden kaynaklandığı görülmüştür. Bu etmenlerin başında malzeme kullanımı gelmektedir. Firmada ergonomik olmayan çalışma araçlarının kullanılması işçilerde çeşitli yaralanmalara sebebiyet vermektedir. Ergonomik açıdan daha uygun bir çalışma aletinin firmaya alınması bu sorunu çözmeye yardımcı olabilir. Firmada çalışanların uygunsuz duruşlarından kaynaklı meydana gelen kazaların azaltılması için çalışanlara gerekli eğitimlerin verilmesi gerekmektedir. İş yerindeki düzenden kaynaklı çalışanlarda meydana yorgunluk, vücutta meydana gelen ağrılar, gürültüden kaynaklı işitme sorunlarının yaşanmasına neden olmaktadır. Bu sorunun giderilmesi için mühendisler tarafından iş yeri düzeninin gözden geçirilmesi gerekmektedir. İşletmenin ergonomi çalışmalarına daha fazla önem vermesi ve iş kaza sayılarının en aza indirilmesi gerekmektedir.

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında kadın çalışanlar ile ilgili yeterli çalışmaların olmadığı görülmüş ve bu çalışmanın yapılmasına karar verilmiştir.

## Referanslar

- Akalp, G., & Özok, A.F. (2017). Ergonomik Risklerin Bulanık Mantık Yöntemi ile Modellenmesi ve Bir Uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5, 69-79. doi.org/10.21923/jesd.19802
- Aksüt, G., Eren, T., & Tüfekçi, M. (2020). Ergonomik Risk Faktörlerinin Sınıflandırılması: Bir Literatür Taraması. *Ergonomi*, 3(3), 169-192. doi.org/10.33439/ergonomi.773896
- Aytaç, S., Özok, A.F., Yamankaradeniz, N., Gökçe, A., Akalp, G., Çankaya, O., & Tüfekçi, U. (2018). Metal Sanayinde Çalışan Kadınların Ergonomik Risk Algısı: Bir Araştırma. *Ergonomi*, 1(1), 29-38. doi.org/10.33439/ergonomi.473023
- Bilir, N., & Yıldız, A.N. (2014). İş Sağlığı ve Güvenliği, Ankara, Hacettepe Üniversitesi Yayınları.
- Björkstén, M.G., Boquist, B., Talbäck, M., & Edling, C. (2001). Reported Neck and Shoulder Problems in Female Industrial Workers: The Importance of Factors at Work and at Home. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 27(3), 159-170. doi.org/10.1016/S0169-8141(00)00047-0
- Borah, S. (2015). Ergonomic Assesment of Drudgery of Women Worker Involved in Cashew Nut Processing Factory in Meghalaya, India. *Procedia Manufacturing*, 3, 4665-4672. doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.557
- Bozkurt, Ö., Meriç, S., & Kaymış, B. (2020). Otel İşletmelerinde Bulunan Ergonomik Risklerin Değerlendirilmesi: Van Örneği. *Journal of Tourism Theory and Research*, 6(1), 20-34. doi.org/10.24288/jttr.613975
- Chiasson, M.E., Imbeau, D., Major, J., Aubry, K., & Delisle, A. (2015). Influence of Musculoskeletal Pain on Workers Ergonomic Risk –Factor Assessments. *Applied Ergonomics*, 49, 1-7. doi: 10.1016/j.apergo.2014.12.011
- Çağlayan, Ç., & Etiler, N. (2009) Türkiye’de Kadın İşçilerin Meslek Sağlığı. *Türk Tabipler Birliği Mesleki Sağlık Ve Güvenlik Dergisi*, 9(33), 23-31.
- Çağlayan, Ç., & Karaca, E. (2015). Ergonomi ve Kadın İşçiler. *Türk Tabipleri Birliği Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, 15(57), 24-28.
- Dahlberg, R., Karlqvist, L., Bildt, C., & Nykvist, K. (2004). Do Work Technique and Musculoskeletal Symptoms Differ Between Men and Women Performing The Same Type of Work Tasks. *Applied Ergonomics*, 35(6), 521–529. doi: 10.1016/j.apergo.2004.06.008
- David, G.C. (2005). Ergonomic Methods for Assessing Exposure to Risk Factors for Work-Related Musculoskeletal Disorders. *Occupational Medicine*, 55(3), 190-199. doi: 10.1093/occmed/kqi082

- Efe, Ö.M., & Efe, B. (2015). Tekstil Sektöründe İş Kazalarının Oluşumuna Ait Ergonomik Risklerin Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3(3), 623-629. doi:10.13140/RG.2.1.1268.8408
- Felekoğlu, B., & Taşan, S.Ö. (2017). İş İle İlgili Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıklarına Yönelik Ergonomik Risk Değerlendirme: Reaktif/Proaktif Bütünlük Bir Sistematik Yaklaşım. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Gazi Üniversitesi, 32(3), 777-793. doi.org/10.17341/gazimmfd.337625
- Jafry, T. (2000). Women, Human Capital and Livelihoods: An Ergonomics Perspective. Natural Resource Perspectives, 54, London. http://hdl.handle.net/10535/3665
- Kahraman, M.F. (2012). Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ile Önceliklendirilmesi ve Bütünlük Bir Model Önerisi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Kahya, E., & Çiçek, E. (2019). Seramik Sektöründe Taşıma İşlemlerinde Ergonomik Risk Değerlendirmesi-Bir Pilot Çalışma. Ergoterapi Ve Rehabilitasyon Dergisi, 7(1), 47-58. doi.org/10.30720/ered.419016
- Leka, S., & Cox, T. (2008). PRIMA-EF Guidance on the European Framework for Psychosocial Risk Management: A Resource for Employers and Worker Representatives, WHO Protecting Workers' Health Series, 9. ISBN 978 92 4 159710 4, ISSN 1729-3499.
- Wallace R B. (1988). Maxcy-Rosenau-Last Public Health and Preventive Medicine. New York, Appleton & Lange
- Pascual S.A., & Naqvi S. (2008). An Investigation of Ergonomics Analysis Tools Used in Industry in the Identification of Work-Related Musculoskeletal Disorders. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 14(2), 237-245. doi: 10.1080/10803548.2008.11076755
- Rathore, B., Pundir, A.K., & Iqbal, R. (2020). Ergonomic Risk Factors in Glass Artware Industries and Prevalence of Musculoskeletal Disorder. International Journal of Industrial Ergonomics, 80, 103043. doi:10.1016/j.ergon.2020.103043
- Resnick, M.L., & Zanotti, A. (1997). Using Ergonomics to Target Productivity Improvements. Computers & Industrial Engineering, 33(1-2), 185-188. doi.org/10.1016/S0360-8352(97)00070-3
- Simonds, R.H., & Grimaldi, J.V. (1956). Safety management : Accident Cost and Control. Homewood, Richard D. Irwin.
- Stallworth, O.E., & Kleiner, B.H. (1996). Recent Developments in Office Design, Facilities, 14(1/2), 34-42. doi.org/10.1108/02632779610108512
- Taşoluk, A. (2011). Hazır Giyim Üretiminde Meslek Hastalıkları, Yorgunluk ve İş Kazaları Risk Faktörlerinin Değerlendirilmesi: Örnek Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Veselinovic, S.P., Hedge, A., & Veselinovic, M. (2016). An Ergonomic Expert System for Risk Assessment of Work-Related Musculo-Skeletal Disorders. International journal of Industrial Ergonomics, 53, 130-139. doi.org/10.1016/j.ergon.2015.11.008
- Wamalaa, S.P., Mittleman, M.A., Horsten, M., Gustafsson, K.S., & Gomer, K.O. (2000). Job Stress and the Occupational Gradient in Coronary Heart Disease Risk in Women. Social Science & Medicine, 51(4), 481-489. doi: 10.1016/s0277-9536(00)00006-x
- Yamankaradeniz, N., Akalp, G., & Çankaya, O. (2015). Otomotiv Ve Metal Sektöründe Çalışan Kadınların Maruz Kaldıkları Fiziksel Risk Algısı. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3(3), 449-458. Doi:10.21923/MBTD.25100
- Yapıcı, F., & Baş, H. (2015). Verimlilikte Ergonomik Faktörler. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3(3), 591-595.
- Yılmaz F. (2010). Türkiye'de Kadın Çalışanların Mesleki Sağlık ve Güvenlik Koşulları. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 3(13), 268-284.
- Yürek, K., & Kaya, İ.E. (2019). Yol İnşaatı Şantiyelerinde Ergonomik Risk Değerlendirmesi, Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi, sayı 17, 1357-1366. doi.org/10.31590/ejosat.667469



## Arge Departmanında Süreç İyileştirme Yöntemlerinin Uygulanması

### Application of Process Improvement Methods in R&D Department

Bedriye Denizer<sup>1</sup> , Süleyman Ersöz<sup>1</sup> , Kezban Albayrak<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

Başvuru/Received: 01/10/2021

Kabul / Accepted: 30/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

#### Öz

Elektronik Ar-Ge Birimi departmanında yaşanan problemlerin; müşteriye zamanında teslimat sağlayamamak, hatalı ürünleri müşteriye teslim etmek, yüksek maliyetli ürünler üretmek, birim üretim sürelerinde artış, müşteri kayıpları gibi sorunlara neden olacağı öngörülmüştür. Problemlerin çözülmesi firmanın Ar-Ge departmanını idame ettirmesi için önemlidir. Departmanın tüm sürecindeki problemler kapsamlı olarak incelenmelidir. Problemler, 5 faz altında değerlendirilecektir. Bu fazlar süreç, metot, insan, çevre ve yönetim bazlı olarak şekillenmiştir. Problemler, DMAIC (define, measure, analysis, improvement, control) metodolojisi kullanılarak çözüme ulaştırılabilir. Bu metodolojide; problemin tanımlanması, ölçülmesi, analiz edilmesi, geliştirilmesi, kontrol edilmesi üzerine iyileştirmelerin yapılması amaçlanmaktadır. DMAIC metodolojisinde her faz için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda; sorunların belirlenmesi, analiz edilmesi, ölçülmesi, iyileştirilmesi, kontrol edilmesi aşamasında Ar-Ge departmanına uygulanması en optimal 6 Sigma yöntemleri belirlenecektir. Tanımlama fazı için; Sipoc analizi, ölçüm fazı için; akış şemaları, analiz fazı için; kök neden analizi, iyileştirme fazı için; kök neden analizi, kontrol fazı için kontrol tabloları kullanılarak kıyaslama yapılıp, yapılan iyileştirmeler sınanacaktır.

Ar-Ge departmanında yapılacak olan iyileştirmeler sonucunda; birim üretim süresinde azalma, müşteriye zamanında ürünü teslim edilmesi, kalite kontrol süreçlerinde iyileşmeler, optimal maliyetlerde ürün üretilmesi, malzeme tedarik süresinde azalma, geri bildirim ve raporlama eksikliğinin giderilmesi hedeflenmektedir.

#### Anahtar Kelimeler

“6 Sigma, Süreç İyileştirme, SIPOC, Kök Neden Analizi, Beyin Fırtınası”

#### Abstract

Problems experienced in the Electronic R&D Department; It is foreseen that it will cause problems such as not being able to provide timely delivery to the customer, delivering faulty products to the customer, producing high-cost products, increasing unit production times, and customer losses. Solving problems is important for the company to maintain its R&D department. Problems in the entire process of the department should be thoroughly examined. Problems will be evaluated under 5 phases These phases are shaped on the basis of process, method, human, environment and management. Problems can be solved using DMAIC (define, measure, analysis, improvement, control) methodology. In this methodology, it is aimed to make improvements on defining, measuring, analyzing, developing and controlling the problem. As a result of the studies carried out; 6 Sigma methods, which will be the most optimal to be applied to the R&D Department, will be determined at the stage of identifying, analyzing, measuring, improving and controlling the problems. Different 6 Sigma methods will be selected for each phase of DMAIC. For the identification phase; Sipoc analysis, for the measurement phase; flow charts for the analysis phase; root cause analysis for the recovery phase; brainstorming for the control phase; control tables are used. After the improvements made, comparisons will be made using control charts and the improvements will be tested. As a result of the improvements to be made in the R&D department, it is aimed to reduce unit production time, deliver products to the customer on time, improve quality control processes, produce products at optimal costs, decrease material supply time, and eliminate the lack of feedback and reporting.

#### Key Words

“6 Sigma, Process Improvement, SIPOC, Cause and Effect Analysis, Brainstorming”

## 1.Giriş

Günümüzde işletmeler, artan rakabet, hızla gelişen yazılımlar,gittikçe azalan ürün yaşam eğrileri, optimal maliyet ve fiyatlarla müşteriye istediği kalitede ürünü sunmak, gün geçtikçe değişen müşteri beklentileri gibi önemli hususlarda piyasada güçlü rakipleri karşısında faaliyetlerini devam ettirmek için yoğun olarak çalışmaktadırlar. İstenen kalitede ürünü beklentileri karşılayacak şekilde, optimal maliyetlerde, hata ve israfın minimum seviyede olacağı şekilde üretmek mümkündür. Literatür araştırmalarına bakıldığında bu hususlara odaklanan birçok method mevcuttur. Bu amaçlar için yoğun olarak kullanılan 6 Sigma yöntemleri hata ve israfı azaltıp maliyetleri düşürebilmek için etkin araçlar olduğu kanıtlanmıştır. Çalışmanın uygulama kısmında; hem süreçteki israfı azaltıp, süreç boyunca yapılan bütün işlerden maximum verimin alınması üzerine süreç iyileştirme çalışmaları yapılmıştır.

## 2.Çalışmanın Amacı

İncelenen literatür araştırması sonucunda, Ar-Ge departmanında problemlere uygulanabilecek yöntemler belirlenmiştir. Ar-Ge departmanında yaşanan problemler doğrudan müşteri memnuniyetini ve Ar-Ge maliyetlerini etkilediği için üzerinde iyileştirme yapılması gerekmektedir. Yürütülecek iyileştirme çalışması, yaşanan problemlere üretilecek çözümler ile paralellik göstermesi firmanın vizyonları açısından önem arz etmektedir. Firmada Ar-Ge departmanında yaşanan problemler farklı birçok soruna sebebiyet vermektedir. Üretim sürelerinin normalden fazla olması, kalite kontrolden geçmeyen ürünlerin müşteriye teslim edilmesi, hazırlık sürelerinin beklenenden uzun olması, üretim maliyetlerinin fazla olması, geri bildirim/raporlama eksikliği ve müşteriye zamanında ürünü teslim edememektir. Bu sorunların çözülmemesi durumunda müşteri kayıpları oluşmaktadır. Müşteri kayıpları yaşanması firma için hayati derecede önemlidir. Firmanın Ar-Ge departmanı için yıllık ayrılmış olduğu bütçe; yaşanan sorunlardan kaynaklı olarak arge faaliyetlerini tamamlamaya yetmemektedir ve bunun sonucu olarak problemlere çözüm üretilmemesi, firmanın Ar-Ge departmanında yürütülecek olan faaliyetleri durdurmasını doğuracaktır. Belirlenen süreç için iyileştirme çalışması yapılmadan önce süreç ile doğrudan bağlantısı olan Teknik Müdür, İdari Müdür, Proje Takım Lideri, Proje Mühendislerinden uygulama sürecinde bilgiler alınmış, potansiyel sorunlar belirlenmiştir. Firmanın Ar-Ge sürecinde yaşanan problemler; 6 Sigma yaklaşım ve yöntemleri kullanılarak sürecin iyileştirilmesi üzerine bir uygulama yapılmıştır.

## 3.Uygulama

### 3.1.Arge Departmanı Sürecinin Tanımı

Arge departmanında farklı mühendislik disiplinlerinde çalışma gösteren kalifiyeli personeller çalışmaktadır. Arge Departmanında yoğun olarak savunma sanayi yanı sıra medikal, enerji, robotik süreç otomasyonu gibi sektörlerde; elektronik gömülü yazılım, tasarım, üretim ve test faaliyetleri yürütülmektedir. Firmanın Ar-Ge departmanında yapılan projeler firmanın diğer birimlerinden izole ve gizlilik ön planda olarak yürütülmektedir. Bu yüzden Ar-Ge departmanının satış faaliyetleri, satınalma faaliyetleri, insan kaynakları faaliyetleri, üretim faaliyetleri, kalite yönetim sistemi faaliyetleri, proje yönetim faaliyetleri, muhasebe ve finans faaliyetleri, tedarik zinciri faaliyetleri ayrı bir şekilde sürdürülmektedir. Arge departmanında müşteriden gelen yeni bir ürün, yeni bir yazılım, yeni bir tasarım vb. talepler farklı alt süreçlerin faaliyetleri sonucunda ortaya koyulmaktadır. Bunlar; proje başlatma alt süreci, planlama alt süreci, donanım geliştirme alt süreci, yazılım geliştirme alt süreci, montaj alt süreci, test alt süreci ve etiketleme alt süreçlerinden oluşmaktadır. Belirtilmiş olan alt süreçlerin her biri birbiri ile senkronize çalışmalıdır. Alt süreçler birbiri ile senkronize çalışmadığı durumda; zamanında teslimat yapamama, maliyeti yüksek ürünler üretme, çalışan ve müşteri memnuniyetsizliği gibi problemler ortaya çıkmaktadır. Operasyonel olarak yaşanan tüm problemlerin çözülmesi firmanın Ar-Ge departmanını idame ettirmesi için önemlidir. Departmanın tüm sürecindeki problemler kapsamlı olarak incelenmiştir. Problemler, 5 faz altında değerlendirilmiştir. Bu fazlar süreç, metot, insan , çevre, yönetim bazlı olarak şekillenmiştir. Bu fazlar için oluşan problemler proje ekibi ile detaylı 6 Sigma toplantıları yapılarak ortaya çıkartılmıştır. Süreç bazlı problemler; birim üretim süresinde artışa, müşteriye ürünleri zamanında teslim edememeye, hazırlık süresinin fazla olmasına, kalite kontrol sürelerinin uzun olmasına, raporlama hatalarına yol açmaktadır. Metot bazlı problemler; direk olarak birim üretim süresinde artışa sebep olmaktadır. Yönetim bazlı problemler; optimal maliyetlerde ürün üretmemeye, birim üretim sürelerinde azalma, raporlama sistematığının eksik olması gibi problemlere yol açmaktadır. İnsan bazlı problemler; yanlış tedarikçi seçimi sonucu üretim sürelerinin doğrudan etkilenmesi ve birim üretim maliyetlerinin yüksek olmasına sebebiyet vermektedir. Çevre kaynaklı problemler; yabancı tedarikçilerden temin edilen komponentlerin geç teslim edilmesi, hazırlık ve birim üretim süresinin doğrudan etkilemektedir.

Problemler, DMAIC(tanımlama,ölçme,analiz,iyileştirme,kontrol) metodolojisi kullanılarak çözüme ulaştırılabilir. Bu metodolojide problemin tanımlanması, ölçülmesi, analiz edilmesi, geliştirilmesi ve kontrol edilmesi üzerine iyileştirmelerin yapılması amaçlanmıştır. DMAIC metodolojisinde her faz için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda; sorunların belirlenmesi, analiz edilmesi, ölçülmesi, iyileştirilmesi, kontrol edilmesi aşamasında Ar-Ge Departmanına uygulanması en optimal olacak 6 Sigma yöntemleri belirlenmiştir. DMAIC'in her fazı için farklı 6 Sigma yöntemleri seçilmiştir. Tanımlama fazı için; Sıpoc analizi, ölçüm fazı için; akış şemaları, analiz fazı için; kök neden analizi, iyileştirme fazı için; beyin fırtınası, kontrol fazı için; geçmiş veriler ile iyileştirme sonrası veriler kıyaslanmıştır.

Tanımlama fazında tüm süreç adımların baştan sona doğru sırayla belirlenmiştir. Sıpoc tablosunda oluşturulan süreç girdileri ve çıktıları analiz ve ölçme fazında verilerin toplanması ve analiz edilmesinde önemli bir rol oynayacaktır. Ar-Ge faaliyetleri sürdürülürken;

tedarikçilerin kim olduğu, üretim sürecine doğrudan etkisi olan girdiler, Ar-Ge sürecinin bir çevriminin hangi aşamalardan geçerek tamamlandığı, süreç sonucunda elde edilen çıktılar ve bu çıktıları talep eden müşteriler detaylı bir şekilde tanımlanmıştır. Ölçme aşamasında Ar-ge sürecinin akış şeması detaylı olarak çıkartılmıştır. Süreç akış şeması 4 Alt süreçten oluşmaktadır. Alt süreçlerden ilki proje planlama ve donanım geliştirme alt sürecidir. Proje planlama ve başlatma alt sürecinde; arge proje fikrinin geliştirilmesi, teknik ve teknolojik olarak yapılabilirlik analizleri, maliyet ve zaman planlama, proje bütçesinin belirlenmesi, akademik destek gereksinimlerinin belirlenmesi faaliyetleri yürütülmektedir. Alt süreçlerden ikincisi donanım geliştirme alt sürecidir. Donanım geliştirme alt sürecinde; malzeme listelerinin oluşturulması, elektronik bileşenlerin satın alma faaliyetleri, tasarım, montaj, test faaliyetleri yürütülmektedir. Alt süreçlerden üçüncüsü yazılım geliştirme alt sürecidir. Yazılım geliştirme alt sürecinde projeye uygun referans yazılım yok ise; algoritma ve kod mimarisi geliştirme, kod geliştirme, yazılım testleri ve revizyon faaliyetleri yürütülmektedir. Alt süreçlerden dördüncüsü; montaj ve test alt sürecidir. Montaj ve test alt sürecinde montaj, gerilim testi, haberleşme testi, akım testi, veri doğrulama testi, kalite kontrol faaliyetleri yürütülmektedir.

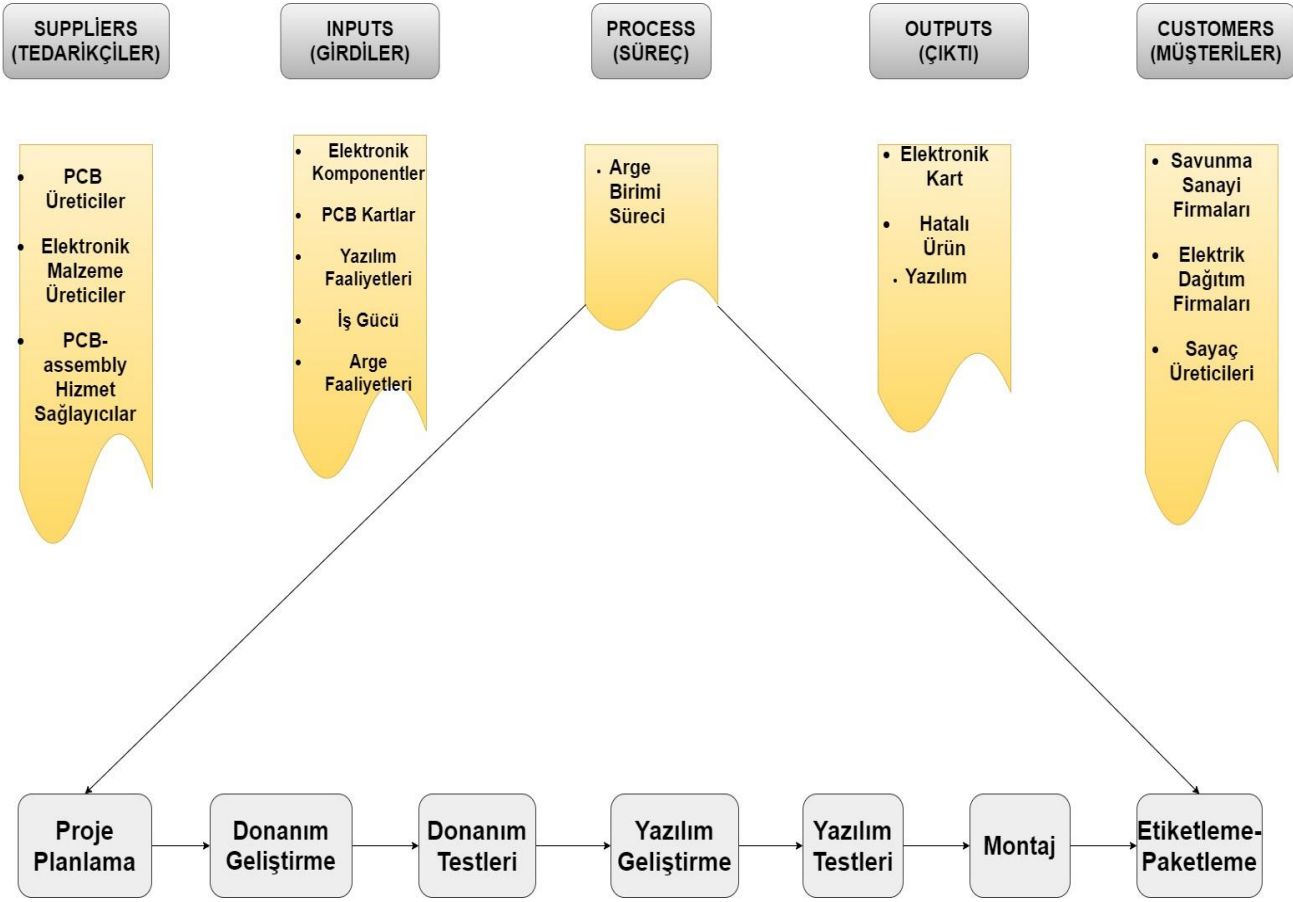
Belirlenen alt süreçlerin ayrı ayrı süreç akış şemaları çıkartılmıştır. Belirlenen 4 alt süreç için; önemli unsurları, işlem basamaklarını, gereksiz detayları, personellerin görevlerini, alt süreçlerin birbiri ile olan etkileşimlerini, sistemdeki kusurları, katma değer yaratmayan işlem basamakları, sorunların tespiti süreç akış şemasında ki yapılmıştır. Süreç akış şeması üzerinde inceleme yapıldığında birim üretim sürelerinin fazla olmasının, hazırlık sürelerinin fazla olması, müşteri taleplerini zamanında karşılayamama, kalite kontrol faaliyetlerinin sürelerinin uzun olması ve buna rağmen kalite kontrolden geçmeyen ürünlerin sayısının fazla olması ve raporlama sistematığının eksik olması, maliyetlerin optimal seviyeden fazla olması, malzeme tedarik süresinin fazla olması odaklanılan ana sorunlar olarak belirlenmiştir. Ölçme aşamasında belirlenen bu sorunlar üzerine analiz fazında, yaşanan sorunların temelini inilmiştir. Belirlenen problemlerin analiz aşamasında kullanılacak olan yöntem kök neden analizi yöntemidir. Analiz aşamasında; bir önceki ölçme aşamasında akış şeması üzerinde belirlenen sorunlar 5 temel nedene ayrılarak irdelenmiştir. Yukarıda belirtilen problemlerin; süreç kaynaklı, metot kaynaklı, yönetim kaynaklı, insan kaynaklı ve çevre kaynaklı olarak kök neden analizi yapılması uygun bulunmuştur. Her bir problem için detaylı olarak problemin kaynağı irdelenmiş ve alt sebeplere ayrılmıştır. Kök neden analizi sonucunda 5 temel nedenin kendine özgü hata sebepleri ortaya çıkmıştır. Analiz sonucunda ortaya çıkan sorunların kaynaklarına inilmiş ve hatalara sebep olan alt nedenler tespit edilmiştir. Belirlenen sorunların iyileştirilmesi için dördüncü aşama olan geliştirme fazına geçilmiştir. Geliştirme fazında; beyin fırtınası yöntemi kullanılmıştır. Beyin fırtınası sonucu analiz aşamasında belirlenen süreç, metot, yönetim, insan, çevre bazlı belirlenen problemlerin analiz aşamasında sorunların derinine inerek tespit edilmesi sonucu, problemler üzerinde yapılabilecek iyileştirmeler için proje ekibiyle birlikte karar verilmiştir. Problemlere sebep olan sorunun kendisi ve sorunun temelini oluşturan nedenler analitik olarak incelenmiştir. Yapılacak iyileştirmelerin kontrol fazında sınanabilmesi için, analitik yönden sonuç alınabilecek sorunların üzerinde iyileştirmelere yoğunlaşmıştır. Kontrol aşamasında ise; yaşanan problemlerin geçmiş verileri ile iyileştirme sonrasındaki verileri kıyaslanmıştır.

### 3.2.Tanımlama

Bu aşamada problemlerin ayrıntılı ve herkes tarafından anlaşılacak şekilde tanımlanması ilk hedef olmuştur. Tanımlama fazında SIPOC diyagramı kullanılarak üzerinde çalışılan sürecin tedarikçilerini tanımlama, bu tedarikçiler tarafından sağlanan girdiler listelenmiş, üzerinde çalışılan sürecin temel maddelerle akış şeması çizilmiş, sürecin çıktıları belirlenmiş ve son olarak çıktılar için müşteri segmentleri belirlenmiştir. Müşteriler belirlenirken firmanın ürünlerini yüksek oranda talep eden firmalar seçilmiştir. Aynı zamanda firmanın ürün üretirken ve Ar-Ge faaliyetlerini yürütürken satın aldığı malzemeler, oransal olarak fazla alım yapılan tedarikçiler seçilmiştir. Ar-Ge aşamasında kullanılan girdi ve süreç sonunda elde edilen çıktı ve sürecin temel olarak hangi aşamalardan geçerek tamamlandığı belirlenmiştir.



## 3.2.1- Sıroc



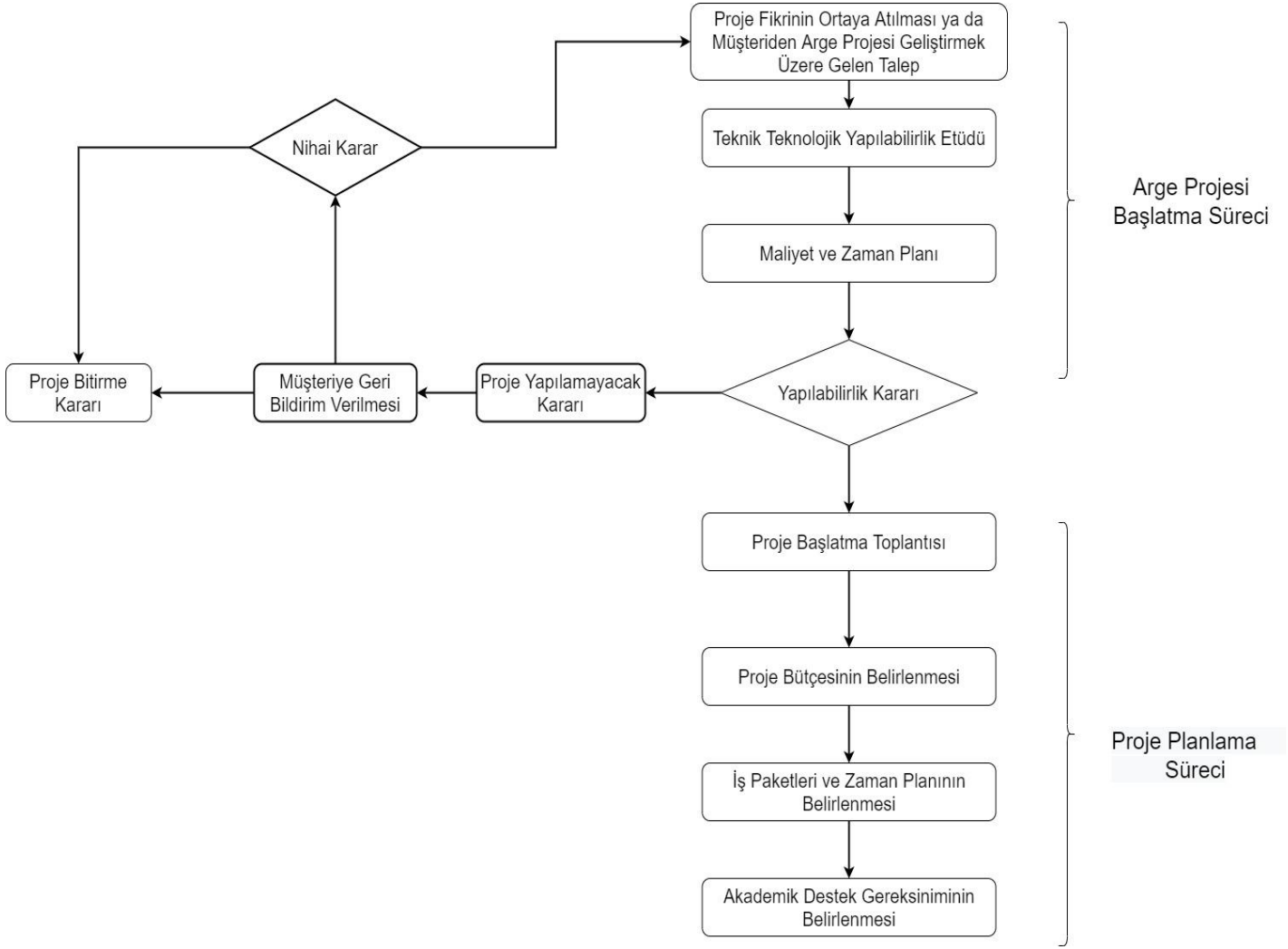
Şekil 1. SIPOC Diyagramı

## 3.3. Ölçme

Ölçme aşamasında yapılan tüm işlerin detaylı olarak işlem maddeleri belirlenmiştir. Yapılan tüm işler için daha kolay, sorun ve çözümlerine ulaşabilmek için tüm Ar-Ge süreci 4 alt sürece ayrılmıştır.

## 3.3.1. Proje planlama ve başlatma alt süreci

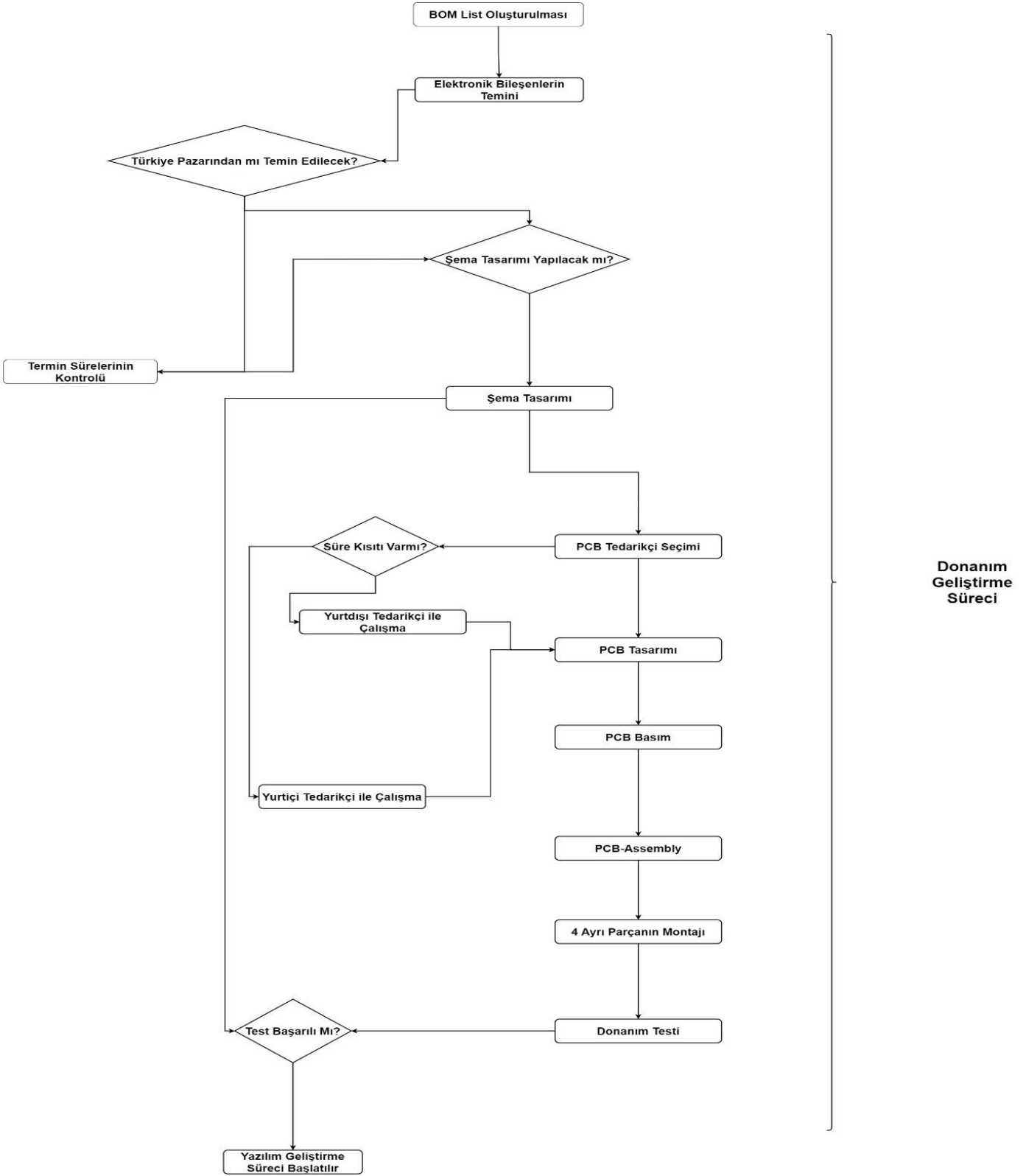
Ortaya çıkan proje fikri sonrasında projenin baştan sona yaşam döngüsünün analizinin ve yapılan analiz sonucunda yapılabilir kararı alındığı durumda; projenin zaman, bütçe, maliyet, destek planlarının yapıldığı aşamadır. Bu aşamada ortaya çıkan problemler doğrudan tüm proje yaşam döngüsünü etkilemektedir.



**Şekil 2.** Proje Başlatma ve Planlama Alt Süreci

### 3.3.2. Donanım geliştirme alt süreci

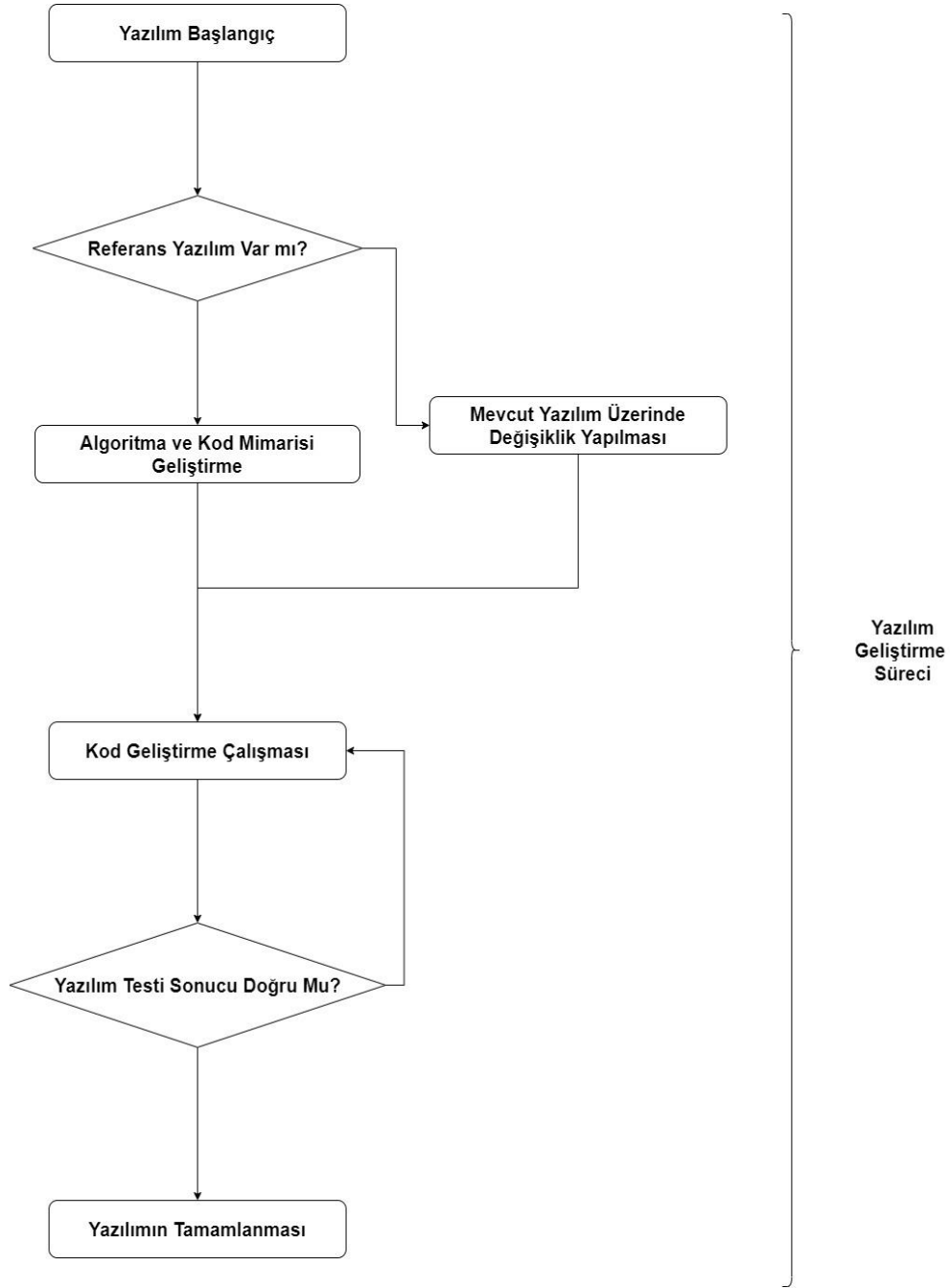
Proje planlama ve başlatma alt süreci tamamlandığında ikinci alt süreç olan donanım geliştirme alt süreci başlar. Donanım geliştirme alt sürecine ait süreç akış şemasını aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3. Donanım Geliştirme Alt Süreci

### 3.3.3.Yazılım geliştirme alt süreci

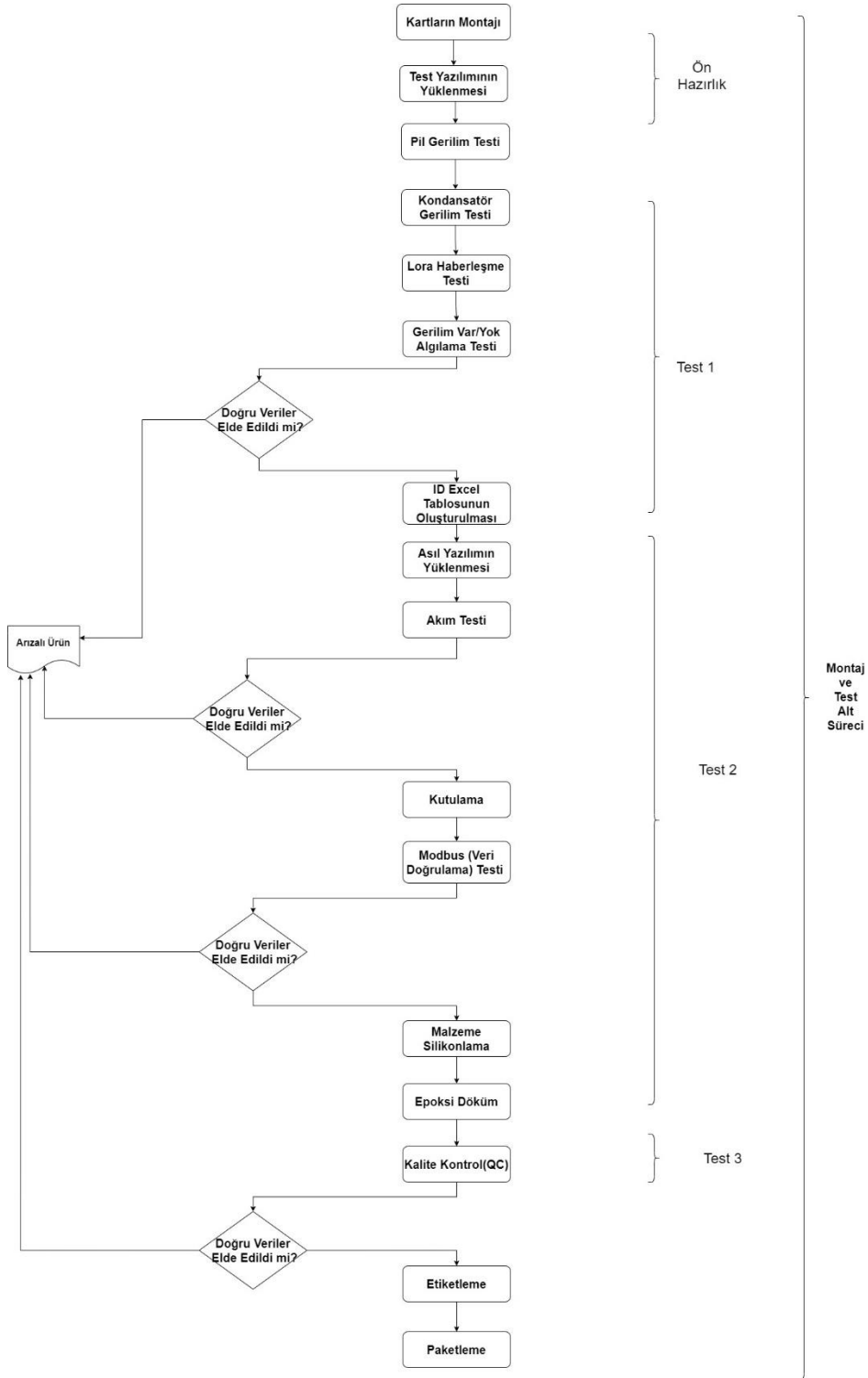
Projenin donanım geliştirme alt süreci tamamlandığında üçüncü alt süreç olan yazılım geliştirme alt süreci başlar. Farklı proje tipleri için yazılım geliştirme yaşam döngüleri süreçleri değişebilir. Aşağıdaki süreç akış şeması Ar-Ge projelerinde uygulanan genel adımlar göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir.



Şekil 4. Yazılım Geliştirme Alt Süreci

### 3.3.4. Montaj ve test alt süreci

Ar-Ge projesinin donanım ve yazılım faaliyetleri tamamlandıktan sonra detaylı olarak donanım, yazılım ve haberleşme testlerinin yapılması, gerekli montaj işlemleri, etiketleme ve paketleme işlemlerinin yapıldığı dördüncü alt süreç başlatılır.



Şekil 5. Montaj ve Test Alt Süreci

Süreç akış şeması üzerinde inceleme yapıldığında birim üretim sürelerinin fazla olmasının, hazırlık sürelerinin fazla olması, müşteri taleplerini zamanında karşılayamama, kalite kontrol faaliyetlerinin sürelerinin uzun olması ve buna rağmen kalite kontrolden geçmeyen ürünlerin sayısının fazla olması ve raporlama sistematığının eksik olması, maliyetlerin optimal seviyeden fazla olması, malzeme tedarik süresinin istenen zamandan uzun sürmesi odaklanılan ana sorunlar olarak belirlenmiştir. Ölçme aşamasında odaklanılan bu sorunların sayısal veriler ile desteklenebilmesi için zaman- metod etüdü yapılmıştır. Ayrıca müşteri taleplerini karşılama süreleri, kalite kontrol faaliyetinin çevrim süresi, proje maliyet hesaplamaları sayısal olarak geçmiş verilere bakılarak analiz edilmiştir.

Aşağıdaki tabloda, üzerinde yapılacak iyileştirme noktalarının sayısal verileri belirtilmiştir.

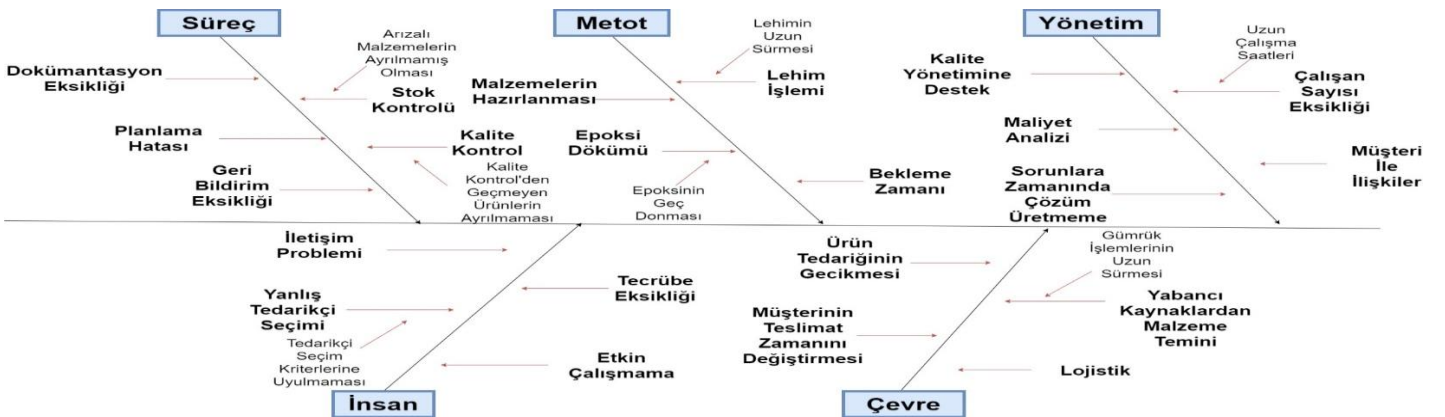
**Tablo 1.** İyileştirilmesi Gereken Maddeler

Süreç İçerisinde İyileştirilmesi Gereken Maddeler	İlk Veriler
Birim Üretim Süresi	45 dakika
Ürünün Birim Maliyeti	16 \$
Üretime Hazırlık Süresi	20 dk
Müşteriye Ürünün Teslim Edilme Süresi	120 gün
Malzeme Tedarik Süresi	25 gün
Kalite Kontrol Proses Süresi	25 dakika

Analiz ve iyileştirme çalışmaları sonucunda yukarıdaki tabloda verilen sürelerin ve maliyetlerin azaltılması hedeflenmektedir. İyileştirme sonrası veriler ile ilk veriler kıyaslanacak olup, iyileştirmenin doğruluğu sınanacaktır.

### 3.4. Analiz

Analiz aşamasının başında ölçme aşamasında iyileştirilmesi hedeflenen metriklerin neler olduğu analiz edilmiştir. Ölçme aşamasında belirlenen sonuçlar dikkate alınarak analiz planı oluşturulmuştur. Oluşturulan analiz planında üzerinde iyileştirme yapılacak olan maddelerin kök nedenine inerek balık kılıcı diyagramı çizilmiştir. Balık kılıcı diyagramı çizilirken 5 temel neden üzerinde çalışılmış ve bu nedenlerin sebep olan problemler ve onların alt nedenleri analiz edilmiştir. Burada asıl amaç ilgili faktörün sahip olduğu zayıflığın kök nedenine inmektir. Sorunların, hataların hangi işlem basamaklarında olduğu süreç akış şemaları üzerinde analiz edilmiş ve hataların hangi sebep kaynaklı olduğu ve alt nedenleri balık kılıcı diyagramında irdelenmiştir.



**Şekil 6.** Balık Kılıcı Diyagramı

### 3.5.İyileştirme

Elde edilen veriler ve kök neden analizi sonucunda oluşan iyileştirilmesi gereken işlem maddelerinin hangi maddeler olacağı analiz aşamasında belirlenmiştir. İyileştirme aşamasında; birim üretim süresi, birim ürün maliyeti, üretime hazırlık süresi, müşteriye ürünün teslim edilme süresi, malzeme tedarik süresi, kalite kontrol proses süresi maddelerinde iyileştirme çalışmaları yapılacaktır. İyileştirme çalışmalarında temel amaç işlem süreleri ve maliyetlerin azaltılması, müşteriye zamanında teslimat yapabilmek olmuştur. İyileştirme faaliyetlerine başlamadan önce proje ekibi ile görüşülüp bir strateji belirlenmiştir. Zamanın kısıtlı olmasından kaynaklı iyileştirme yapılırken ilk göz önünde bulundurulacak olan hususun zaman kısıtını azaltacak faaliyetler olmasına karar verilmiştir. İyileştirmesi orta ve uzun vadede zaman alacak ve yüksek maliyetler gerektiren iyileştirme faaliyetlerinin sonraki dönemlerde yapılması kararlaştırılmıştır.

#### 3.5.1.Beyin fırtınası

Hazırlanmış olan kök neden analizi sonucunda problemler ve temel nedenler tespit edilmişti. İyileştirme aşamasında ilgili birimin proje personelleri ile yapılan beyin fırtınası sonucu iyileştirilmesi hedeflenen problemler için üzerinde düşünülmüştür. Problemler için her bir proje personeli 3 adet çözüm önerisi öne sürmüştür. Öne sürülen çözüm önerileri için aynı proje ekibindeki personeller puanlama sistemi ile önem derecesine göre 1-9 puana kadar puan verilmiştir. Her bir iyileştirme fikri için puanlar toplanmıştır. Yüksek puandan düşük puana doğru iyileştirme fikirleri sıralanmıştır. Süreç, metot, yönetim, insan ve çevre bazlı 3 farklı iyileştirme yöntemleri belirlenmiştir. Belirlenen iyileştirme yöntemleri arasından her bir faz için en yüksek puanı alan iki tane iyileştirme fikri seçilmiştir. Bu şekilde her bir problemin çözümünü kapsayacak ve her faz için de çözüm üretilmiş olacaktır. Aşağıdaki tabloda proje ekibinin iyileştirme yöntemleri için öne sürdükleri yöntemler ve puanlamaları mevcuttur.

**Tablo 2.** İyileştirme Önerileri ve Puanlama

1	İyileştirme Önerileri		Grup	Süreç	Sonuç	Ç	S	A	F	G	M	H	K	M	Toplam Puan
1	Ürünlerin Halinde Sayımının Yapılması	Gruplar Stok	Süreç	Üretime Hazırlık Süresinde Azalma	6	8	8	7	7	8	9	8	7	68	
2	Kalite Geçmeyen Ürünlerin Etiketlerinin Değiştirilmesi ve Muhafazası	Kontrolde	Süreç	Kalite Kontrol Proses Süresinde Azalma	7	8	8	8	6	7	7	9	6	58	
3	Lot Bazlı Kontrol Yapılması	Kalite	Süreç	Kalite Kontrol Proses Süresinde Azalma	9	8	8	9	9	8	9	8	9	77	
4	PCB kartın malzemelerinin dizgisinin taşeron firmada yaptırılması	dip	Süreç	Birim Üretim Süresinde Azalma	8	9	9	7	8	9	9	8	7	74	
5	Lehim İşlemi Parçaların Birleştirilmesi	İşlemi yerine Pim İle	Metot	Birim Üretim Süresinde Azalma	5	7	8	7	8	9	6	6	6	62	
6	Kutu İşleminde Kullanılan Aletlerinin Değiştirilmesi	Kesme El	Metot	Üretime Hazırlık Süresinde Azalma	7	8	8	9	7	8	7	9	9	72	
7	Kalite Faaliyetlerinde Gereksiz İşlemlerin Çıkarılması	Kontrol Olan	Metot	Kalite Kontrol Proses Süresinde Azalma	8	8	7	7	9	8	8	6	8	69	

Tablo 2 (devam). İyileştirme Önerileri ve Puanlama

	İyileştirme Önerileri	Grup	Sonuç	Ç	S	A	F	G	M	H	K	M	Toplam Puan
8	15'li Gruplar ile Üretim Yapılması	Metot	Birim Üretim Süresinde Azalma	8	9	7	7	8	9	8	6	8	78
9	Tedarikçi Değerlendirme Kriterlerine Göre Tedarikçi Seçimi Yapılması	İnsan	Malzeme Tedarik Süresinde Azalma	7	6	5	6	7	8	5	6	6	56
10	Üretime Başlamadan Önce Test Düzenliğinin Kurulması	İnsan	Üretime Hazırlık Süresinde Azalma	8	7	8	6	5	7	5	5	6	51
11	Satınalma İşlemlerinin Proje Başlatma Toplantısından Hemen Sonra Yapılması	İnsan	Müşteriye Ürünün Teslim Edilme Süresinde Azalma	8	8	9	9	9	5	8	7	8	71
12	Proje Başlatma Toplantısında Gerçek Mali Veriler ile Maliyet Analizi Yapılması	Yönetim	Ürünün Birim Maliyetinde Azalma	8	7	7	8	8	9	7	9	7	70
13	Yeni Personel İstihdamı ve Vardiyalı Çalışma Sistemine Geçiş	Yönetim	Müşteriye Ürünün Teslim Edilme Süresinde Azalma	6	8	8	9	7	9	8	8	8	71
14	Yurtdışı Kaynaklı Komponent Alımını Durdurma	Yönetim	Malzeme Tedarik Süresinde Azalma	8	8	8	7	7	6	9	7	8	68
15	Ürünlerin Bulunabilirlik Seviyelerine Göre Satınalma Faaliyetlerinin Yürütülmesi Kararı	Yönetim	Malzeme Tedarik Süresi	8	8	7	8	9	8	7	9	8	72
16	Lojistik Faaliyetlerini Müşterinin Yürütmesi	Çevre	Ürünün Birim Maliyetinde Azalma	7	8	8	7	8	7	6	7	6	64
17	Proje Planlama Sürecinde Zaman Planının Müşteri İle Birlikte Yapılması	Çevre	Müşteriye Ürünün Teslim Edilme Süresinde Azalma	8	5	5	6	7	4	5	6	4	50
18	Toplu Miktarlarda Malzeme Temini Yapılması	Çevre	Ürünün Birim Maliyetinde Azalma	8	6	8	8	8	7	7	8	8	68



Proje ekinin 1'den 9'a kadar numaralandırarak puanlanmış olduğu iyileştirme önerileri sonucunda süreç bazlı yaşanan problemler için; ürünlerin gruplar halinde stok sayımının yapılması, lot bazlı kalite kontrol faaliyetlerinin yürütülmesi ve PCB kartın dip malzemelerinin dizgisinin taşeron firmada yaptırılması fikri en yüksek puanı alan iyileştirme önerisi olmuştur. Bu iyileştirme fikirleri sırası ile üretime hazırlık süresinde azalma, kalite kontrol proses süresinde azalma ve birim üretim süresinde azalma metrikleri için iyileştirme sağlayacaktır. Metot bazlı yaşanan problemler için; kutu kesme faaliyetlerinde kullanılan el aletlerinin değiştirilmesi ve 15'li gruplar halinde üretim yapılması en yüksek iki puanı alan iyileştirme önerisi olmuştur. Metot bazlı belirlenen bu iki iyileştirme fikri sırası ile üretime hazırlık süresinde azalma ve birim üretim süresinde azalma metrikleri için iyileştirme sağlayacaktır. İnsan bazlı yaşanan problemlerden en yüksek puana sahip olan iyileştirme fikri satınalma işlemlerinin proje başlatma toplantısından hemen sonra yapılmasıdır. Bu iyileştirme fikri müşteriye ürünün teslim edilme süresini azaltacaktır. Yönetim bazlı sunulan iyileştirme fikirlerinde en yüksek puanı alan fikirler; proje başlatma toplantısında gerçek mali verilerle maliyet analizini yapılması, yeni personel istihdamı ve vardiyalı çalışma sistemine geçiş, yurtdışı kaynaklı komponent alımını durdurma ve ürünlerin bulunabilirlik seviyesine göre satınalma faaliyetlerinin yürütülmesidir. Bu iyileştirme fikirleri sırası ile ürünün birim maliyetlerinde azalma, müşteriye ürünün teslim edilme süresinde azalma, malzeme tedarik süresinde azalma problemlerini iyileştirecektir. Çevre bazlı yaşanan problemlerde en yüksek puanı ise; toplu miktarlarda malzeme temini yapılması fikridir. Bu iyileştirme fikri ürünün birim maliyetinde azalma sağlayacaktır.

**Tablo 3.** Seçilen İyileştirme Önerileri

Seçilen İyileştirme Fikri	İyileştirilecek Problem
Lot Bazlı Kalite Kontrol Yapılması	Kalite Kontrol Proses Süresi
Kalite Kontrol Faaliyetlerinde Gereksiz Olan İşlemlerin Çıkarılması	Kalite Kontrol Proses Süresi
PCB Kartın Dip Malzemelerinin Dizgisinin Taşeron Firmada Yaptırılması	Birim Üretim Süresi
15'li Gruplar ile Üretim Yapılması	Birim Üretim Süresi
Kutu Kesme İşleminde Kullanılan El Aletlerinin Değiştirilmesi	Üretime Hazırlık Süresi
Ürünlerin Gruplar Halinde Stok Sayımının Yapılması	Üretime Hazırlık Süresi
Yurtdışı Kaynaklı Komponent Alımını Durdurma	Malzeme Tedarik Süresi
Ürünlerin Bulunabilirlik Seviyelerine Göre Satınalma Faaliyetlerinin Yürütülmesi Kararı	Malzeme Tedarik Süresi
Proje Başlatma Toplantısında Gerçek Mali Veriler ile Maliyet Analizi Yapılması	Ürünün Birim Maliyeti
Toplu Miktarlarda Malzeme Temini Yapılması	Ürünün Birim Maliyeti
Yeni Personel İstihdamı ve Vardiyalı Çalışma Sistemine Geçiş	Müşteriye Ürünün Teslim Edilme Süresi
Satınalma İşlemlerinin Proje Başlatma Toplantısından Hemen Sonra Yapılması	Müşteriye Ürünün Teslim Edilme Süresi

### 3.6.Kontrol

Kontrol aşamasında; İyileştirme öncesinde geçmiş verilerin analizi sonucunda oluşan rakamların iyileştirme faaliyetleri sonrasında müşteriden gelen ardışık talepler ile karşılaştırılmıştır.

#### Birim Üretim Süresi

İyileştirme faaliyetleri öncesinde birim ürün süresi 45 dakika olarak ölçülmüştü. Pcb kartın firma bünyesinde el ile yapılan dip malzemelerin diziminin taşeron firmada makine ile yaptırılması ve üretimin 15'li partiler halinde yapılmasına karar verilmiştir. Karar verilen bu iyileştirmeler sonucunda birim üretim süresi için zmaan etüdü yapılmıştır. Yapılan zaman etüdü sonucunda aşağıdaki tablodaki veriler ölçümlenmiştir.

### *Birim Ürün Maliyeti*

Ürün birim maliyeti; toplu olarak malzeme alınması sonucunda ve gerçek mali veriler ile maliyet analizi yapıldığında 11\$ seviyelerine düşürülmüştür. Fakat birim üretim süresini düşürmek için Pcb dip malzemelerin dizgisinin taşeron firmaya yaptırılması ve yeni personel istihdamı maliyeti artırmıştır. Bu durumda ürünün birim maliyeti 14\$'a çıkmıştır. Yine de iyileştirme çalışmaları öncesindeki maliyet analizi sonucunda oluşan miktardan daha az maliyetle ürün üretilebilmektedir.

### *Üretime Hazırlık Süresi*

Üretime hazırlık süresi için; iyileştirme faaliyetleri öncesinde kutu kesme işlemleri yan keski ile yapılıyorken el aletinin değiştirilmesi sonucu dikey matkap tezgahı kullanımına karar verilmiştir. Bu iyileştirme faaliyeti kutu kesme işlemi 3 dakikadan 1 dakikaya düşürmüştür. Fakat yan keski ile ya da dikey matkap tezgahı ile kesilen kutuların deforme olmasının önüne geçilememiştir.

Aynı zamanda üretime başlamadan önce yapılan stok sayımlarının çoklu gruplar halinde yapılması da üretime hazırlık süresini azaltmıştır. İyileştirme öncesinde 20 dakika olan üretime hazırlık süresi iyileştirme faaliyetleri sonrasında 16 dakikaya düşmüştür.

### *Müşteriye Ürünün Teslim Edilme Süresi*

Yapılan iyileştirme faaliyetlerini doğrudan etkileyen ve iyileştirilecek noktalar arasında ilk sıraya konulan müşteriye ürünü zamanında teslim etmektir. Yeni personel istihdamı ve vardiyalı çalışma sistemine geçme fikri maliyeti artıracak yönde fakat müşteriye ürünü zamanında teslim etmek için doğrudan etkili olmuştur. Ayrıca satınalma faaliyetleri iyileştirme öncesinde proje yaşam döngüsü süreci içerisinde yapılırken iyileştirme sonrasında proje başlatma toplantısından hemen sonra yapılması, satınalma faaliyetlerinin süresini kısaltmıştır. Bu iki yapılan iyileştirme sonrasında 120 günde teslim edilen ürünler 95 günde ve hatta müşterinin istediği süreden daha kısa sürede teslim edilmiştir.

### *Malzeme Tedarik Süresi*

Malzeme tedarik süresi iyileştirme öncesinde ortalama 25 gün olarak ölçümlenmişti. Yurtdışı kaynaklı malzeme alımını durdurmak ve ürünlerin bulunabilirlik seviyelerine göre malzeme alımı yapmak; gümrükte bekleme süresi ve lojistik faaliyetlerini doğrudan etkilediği için bu süre 12 güne düşmüştür.

### *Kalite Kontrol Süresi*

Kalite kontrol prosesi iyileştirme öncesinde 25 dakika sürmektedir. Yapılan iyileştirmede lot bazlı yani gruplar halinde kalite kontrol faaliyeti yapılması ve bütün ürünlere değil günlük üretim miktarının %15'ine kalite kontrol yapılacağı geri kalan %85'lik kısma ise gözle kontrol yapılmasına karar verilmiştir. Aynı zamanda çok fazla vakit kaybı olan ve ayrı ayrı her parçanın testinin yapıldığı işlem basamağı faaliyetler arasından çıkartılmıştır. Bu iyileştirmeler sonucunda sadece kalite kontrol faaliyetleri için yapılan zaman etüdü sonucunda kalite kontrol faaliyetinin çevrim süresi 11 dakikaya düşmüştür. Bu aşamada süreç yeterliliğinin sağlanması, maliyetten tasarruf edilmesi, karın maximum seviyeye çıkartılması, süreç standartları ve prosedürlerin geliştirilmesi, projenin başarılı bir şekilde tamamlanması amaçlanmaktadır.

Aylık periyotlar ile üzerinde iyileştirme yapılan işlem maddelerinin süreklilik kazanıp kazanmadığı kontrol edilmiştir. Üzerinde iyileştirme yapılan işlem maddeleri üst yönetime raporu sunularak standardize edilmiş ve süreç şemalarına bu şekilde dahil edilmiştir. Sürecin devamlılığını sağlayabilmek için DMAIC süreci tamamlanmasına rağmen aynı döngülerin sürekli tekrar edilmesi gerekmektedir.

## **4.Sonuç**

Günümüzde yoğun olarak yaşanan rekabet ortamında, firmalar hayatta kalabilmek için müşterilerinin ihtiyaç ve beklentilerini beklenenin daha üst seviyesinde karşılamak zorundadırlar. Ayrıca bunların yanı sıra düşük maliyetlerde, beklenen sürede verimli ve istenen faydayı sağlayacak ürün üretmeli, müşterilerinin öneri ve şikayetlerini dinlemelidirler. İmalat sektöründe üretici firma müşteri ile sürekli iletişim halinde olması gerekmektedir. Müşterinin hizmetten aldığı geri dönüşler ve müşterinin ihtiyaçlarından kendilerine iyileştirme örnekleri çıkarmalıdır. Müşteri eğer üretilen üründen ve firmanın hizmetinden memnun kaldıysa sürekli olarak talebin artması söz konusudur. Süreç yönetimi prensiplerini dikkate alarak çalışan bir firma hedeflerine daha kolay ulaşabilmektedir. Bu noktada süreç yönetimi felsefesi gereği iş süreçleri detaylı olarak tanımlanmalıdır. İş süreçlerinde iyileştirme yapılması gereken faaliyetler belirli periyotlar ile gözden geçirilmelidir. Süreç içerisinde maliyeti azaltacak, verimliliği artıracak, çevrim sürelerini azaltacak, müşteriye memnun edecek, kalite prensiplerinde ürün üretecek süreçler ortaya koymak; rakiplerin önüne geçmekte etkin bir roldür.

Süreç yönetiminde süreçlerin yaşamını artırmak ve müşteri beklentilerini en üst seviyede karşılayabilmek için, sürekli olarak süreçlerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Süreç iyileştirme faaliyetlerini uygularken ilk hedef sürecin performansını artıracak iyileştirmelerdir. Sürecin performansı artırıldığında katma değeri olmayan işler çıkartılıp, israfın ve boş zamanın önüne geçilmiş olur. Süreçlerde yaşanan problemler göz önüne alındığında direkt olarak probleme ve çözüme ulaşılabilir. Bunun için ilk olarak yaşanan problemin sıklığına ve kök nedenine bakılmalıdır. Sorunun asıl kaynağı bulunmadan sorunu iyileştirmek mümkün olsa bile bu kalıcı bir iyileşme faaliyeti sağlayamayacak, problem ilerleyen zamanda tekrar baş gösterecektir. Problemin temeline inerek sorunu tespit etmek ve temel sorunu çözmek problemin tekrarlanmaması için önemli bir husustur.

Altı sigma metodolojisi problemlerin kök nedenlerini çözmeye yönelik faaliyetlerde kullanılan etkili bir yöntemdir. Aynı zamanda problemlere bulunan çözümlerin yüksek performans gösterdiği de kanıtlanmıştır. Bu metodoloji problemlerin kök nedenleri ve onlarla ilgili verilerle etkili olarak çalışan bir sistemdir. Firmalarda yaşanan ve çözümünün çok zor olduğu düşünülen problemlere basit çözümler üretme ve üretilen çözümlerin kalıcılığını sağlayıp, sistematikleştirme açısından oldukça etkilidir. Bu metodolojide çok fazla kullanılmakta olan yöntem DMAIC'dir. DMAIC yönteminde problemlerin tanımlanması, geçmiş verilere bakılarak ölçülmesi, sürecin analizi yani problemlerin ortaya konulması ve problemlerin kök nedenlerinin araştırılması, iyileştirme faaliyetlerinin yürütülmesi ile iyileştirme faaliyetleri sonrasında bu faaliyetlerin kontrolü ve devamlılığı bulunmaktadır.

Gerçekleştirilen uygulamada imalat ve arge faaliyetleri yürüten firmada müşteriden gelen talep ile başlayıp ürünü ve hizmeti teslim edene kadar geçen bütün süreç adımları için iyileştirme faaliyetleri yapılmıştır. İyileştirme faaliyetleri boyunca DMAIC'in iyileştirme sürecinde kullanılmakta olan mevcut sistem çatısı kullanılmıştır. DMAIC'in çatısı adım adım uygulanmıştır. DMAIC'in her fazı için farklı 6 Sigma yöntemleri seçilmiştir. Tanımlama fazı için; Sıpoc analizi, ölçüm fazı için; akış şemaları, analiz fazı için; kök neden analizi, iyileştirme fazı için; beyin fırtınası, kontrol fazı için; kontrol tabloları ile geçmiş veriler ile kıyaslama yapılmıştır. Süreçte yapılan iyileştirmeler sürekli olarak sınanmaya devam etmiştir.

Ar-Ge departmanında yapılacak olan iyileştirmeler sonucunda; birim üretim süresinde azalma, müşteriye zamanında ürün teslim edilmesi, kalite kontrol süreçlerinde iyileşmeler, optimal maliyetlerde ürün üretilmesi, malzeme tedarik süresinde azalma, üretime hazırlık süresinin azaltılması hedeflenmektedir. Geçmiş veriler ile iyileştirme faaliyetleri sonrasında ölçümlenen verilere bakıldığında asıl amaç olan müşteriye zamanında ürünü teslim etme hedefi gerçekleşmiştir. Bunun yanı sıra birim üretim süresinde 17 dakikalık ciddi bir azalma olmuştur. Üretime hazırlık süresi 20 dakikadan 16 dakikaya indirilmiştir. Üretim sürecinin büyük bir zamanını oluşturan kalite kontrol faaliyetlerinin süresi 25 dakikadan 11 dakikaya inmiştir. Üretimi gerçekleştirilen ürünün maliyetinde ciddi bir azalma olmamıştır. Çünkü ürünü zamanında teslim etme kısıtı firma için daha önemli bir noktaydı. Ürünü zamanında teslim edebilmek için yapılan iyileştirme faaliyetleri ürünün birim üretim maliyetinde artışa sebep olmuştur. Daha sonra birim üretim maliyetini azaltmak için yapılan satınalma stratejileri sonrasında ürünün birimi maliyetinde düşük de olsa bir miktar azalma olmuştur. Amaçlanan iyileştirmeler sonucunda, rekabetçi piyasada optimal fiyatlarda müşterinin istediği kalitede ürünü zamanında üretmek yeni müşteri portföyü kazanmaya, firmanın farklı Ar-Ge projelerinde yer alabilmesine, çalışan memnuniyetinin artmasını sağlayacaktır. Firmaların altı sigmaya olan güvenleri ve aldığı sonuçlar her geçen gün artmaktadır. Ayrıca çözümü zor olarak görünen problemlere basit çözümler üreterek etkili sonuçlar elde etmek altı sigmanın ne kadar etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. İlerleyen dönemlerde piyasada rekabetin yoğunlaşması altı sigmanın önemini ve uygulamasını daha da artıracaktır. Bu yüzden firmalar yeni pazarlara açılmak ve konumlarını korumak için bu ve bunun gibi metodolojileri kullanmak konusundan açık fikirli olmalıdırlar.

## Referanslar

- Akarşlan, B. (2003). Altı sigma metodu ve bir şirket, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akyüz Çağlar, M., & Kurt, M. (2015). Altı sigma yaklaşımı ve savunma sanayi sektöründe. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(3), 13-24.
- Altuncu, A. (2003). Süreç yönetimi, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Altuğ, M., & Nalbant, M. (2010). Süreç iyileştirme yaklaşımı olarak altı sigma ve bir uygulama. *Journal of New World Science Academy*, 5(4), 689-712.
- Avunduk, H. (2019). Yalın altı sigma: bir pet şişirme makinesinde süreç iyileştirme uygulaması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(70), 633-653.
- Besceli, İ. (2006). Süreçlerle yönetim ve bir uygulama, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Bezirci, G. (2006). "Hizmet İşletmelerinde Süreç İyileştirme ve Bir Uygulama". Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Berber, G. ve Deste, M. (2021). Bir gıda işletmesinde süreç iyileştirme uygulaması: dondurma fabrikası örneği. *Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(3), 53-72.
- Büyükköse, B. ve Mehtap, V. (2008). Süreç yönetimi ve bir uygulama, Yüksek lisans tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Çakırlı Akyüz N. ve Çetin, C. (2009). Yalın organizasyon ilkeleri ve uygulamaları üzerine bir araştırma. *Öneri Dergisi*, 8 (32), 1-14.
- Deste, M. ve Karabulut, M. (2020). Altı sigma tekniğiyle tekstil sektöründe çevrim sürelerinin iyileştirilmesine yönelik bir uygulama. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(13), 137-147.

- Deste, M. ve Berber, G. (2018). Süreç iyileştirme uygulamaları üzerine bir literatür araştırması. Uluslararası Ekonomi, İşletme ve Politika Dergisi , 2(2), 213-230.
- Eren, N. S. (2017). Süreç iyileştirme yöntemleri ve altı sigma uygulamaları bir işletme örneği, Yüksek lisans tezi, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Ergün, A. K. (2003). Altı Sigma metodolojisi ve Türkiye'deki uygulamaları, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erten, S. (2010). Lojistik süreç yönetimi bir kamu kurumu analizi, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Ertuğrul, İ. ve Tekin, B. (2016). Meslek kuruluşlarında süreç yönetimi: denizli ticaret odası'nda uygulanması . Pamukkale İşletme ve Bilişim Yönetimi Dergisi , (1) , 11-26 .



## Hasta Ergonomisi Açısından Servis Güzergâhlarının İyileştirilmesi

### Improving Service Bus Routes for Patient Ergonomics

Beyza Günesen<sup>1</sup> , Muzaffer Kapanoğlu<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

**Başvuru/Received:** 01/10/2021

**Kabul / Accepted:** 30/12/2021

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 31/12/2021

**Son Versiyon/Final Version:** 31/12/2021

#### Öz

Hasta ergonomisi, sistem performansının ve hasta konforunun birlikte optimize edilmesini gerektirir. Sağlık kuruluşlarında sunulan tüm hizmetlerin hasta odaklı tasarımı, hizmet kalitesinin ve hasta memnuniyetinin artırılması bakımından oldukça önemlidir. Bu çalışmada diyaliz merkezlerinde tedavi gören hastaların merkeze geliş gidişleri için sunulan servis araçlarına ait rotaların optimizasyonu problemi üzerinde durulmuştur. Rotaların iyileştirilmesi ile hastaların servis içerisinde geçirilen yolculuk sürelerinin mümkün olduğunca azaltılması ve dengelenmesi hedeflenmektedir. Servis araçlarının rotasyonunun etkin biçimde gerçekleştirilmesi ile hasta konforu arttırılacaktır. Servis araçlarının rotalanması problemi, başlangıç ve bitiş noktaları aynı birden fazla servis aracının tüm hastaları konumlarından alıp merkeze getirilmesi faaliyetlerini içerdiğinden Çoklu Gezgin Satıcı Problemi olarak ele alınmıştır. Problem kapsamında, servis araçlarına ait en uzun mesafenin ve toplam mesafenin en küçüklenmesini gözeten bir çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Yöntem kümeleme ve rotalama olmak üzere iki ana adımdan meydana gelmektedir. Birinci adımda konumlar k – ortalamalar yöntemi ile kümelenecek ikinci adımda ise En Yakın Komşu Sezgiseli ve 2 – opt algoritmalarının ardışık kullanımı ile rotalanmaktadır. Varılan sonuçlar probleme ait matematiksel model sonuçları ile karşılaştırılmış, bir servis aracının kat ettiği en uzun mesafe, tüm araçların kat ettiği mesafeler toplamı ve çözüm süresi performans kriterleri olarak belirlenmiştir. Yöntem ilk en iyi çözüme yaklaşmış diğer kriterlerde ise daha iyi sonuçlar vermiştir.

#### Anahtar Kelimeler

*“Hasta ergonomisi, diyaliz merkezi, çok – amaçlı optimizasyon, çoklu gezgin satıcı problemi”*

#### Abstract

Patient ergonomics requires optimizing system performance and patient comfort concurrently. The patient-oriented design of all services offered in health institutions is crucial in terms of increasing service quality and patient satisfaction. In this research, the problem of optimization of the routes of the shuttle vehicles offered for the patients who are treated in the dialysis centers to the center is emphasized. With the improvement of the routes, it is aimed to reduce the waiting time of the patients and the travel times spent in the service as much as possible. Patient comfort will be increased by the effective rotation of service vehicles. The problem of routing vehicles has been considered as the Multiple Traveling Salesman Problem since the starting and ending points include the activities of the same more than one vehicle, picking all patients up from their locations and delivering them to the center. A solution method has been developed for the problem, which takes into account the minimization of the longest distance and the total distance of the service vehicles. The method consists of two main steps, clustering and routing. In the first step, the locations are clustered with the k-means method, and in the second step, they are routed by the sequential use of Nearest Neighbor Heuristics and 2-opt algorithms. The results obtained were compared with the results of the mathematical model of the problem, and the longest distance traveled by a vehicle, the sum of the distances and the solution time were determined as performance criteria. The proposed method approached the best solution in the first criterion and gave better results in other two criteria.

#### Key Words

*“Patient ergonomics, dialysis center, multi objective optimization, multiple travelling salesman problem”*

## 1. Giriş

Artan nüfus artışı ve kaynakların kıtlığı endüstrinin birçok dalında olduğu gibi sağlık endüstrisi üzerinde de etkiye sahiptir. Yükselişte olan maliyet ve taleplerin yanı sıra buna bağlı olarak gerçekleşen kalifiye sağlık personeline ve sağlık hizmet binalarına olan gereksinim, günümüzde sağlık endüstrisinin karşılaştığı güçlükler arasında başı çekmektedir (Springer, 2007). Kalite iyileştirme, sağlık hizmetlerinin merkezi bir ilkesi haline gelmiştir.(Campbell,2003) Talep artışının sunulan hizmet kalitesinde düşüşe sebep olması istenmeyen bir durum olduğundan sağlık işletmesi yöneticileri, hasta memnuniyetine her zamankinden fazla önem vermek durumundadırlar. Sağlık hizmetleri, mamul, ürün gibi somut çıktılara sahip olmadığından bu tür servis sağlayıcıların niceliksel ölçümler ile değerlendirilmesi söz konusu olmamakla birlikte hizmet kalitesi, servis süreci, servis alan ve servis sunan taraflar arasındaki etkileşimler ile kıyaslanmaktadır (Joss ve Kogan,1995). Servis sağlayıcı ve alıcı arasındaki yoğun etkileşim sebebi ile hizmet sürecinin herhangi bir aşamasında meydana gelebilecek en ufak değişim süreç kalite performansı üzerinde hızlı ve etkili bir geri dönüşe yol açmaktadır. Sağlık sistemlerinde hizmet kalitesi, tıp bilimi ve teknolojinin, riski artırmadan sağlığa faydasını maksimize edecek şekilde uygulanması olarak tanımlanmaktadır (Donabedian, 1985). Hastanın ruhsal ve fiziksel durumunu etkileme ihtimali olması sebebi ile tedavi öncesi ve sonrası tüm işlemlerin önemine işaret edilmektedir. Sistemin yalnızca hastalığın giderilmesi veya etkilerinin azaltılması için gerçekleştirilen tedavi hizmetlerine değil tüm kolları ile bir bütün olarak ele alınarak sürekli bir iyileştirme sürecine adapte edilmesi gerekmektedir. Karar verici ve hastalar arasında kurulan güçlü bir iletişim ağı ile iyileştirme gereksinimlerine anında cevap verilme olanağı artırılabilir. Sistemin en önemli bileşeni olan hasta için hasta odaklı yapılacak her yeni düzenleme, yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir. Sistemin ergonomik performansı hizmet kalite puanını etkileyen önemli bir kriterdir.

Ergonomik koşullar tüm iş yerlerinde dikkat edilmesi gereken başlıca husus olmasının yanında sağlık işletmeleri için söz konusu olan hizmet sağlık hizmetinin kendisi olduğundan asla göz ardı edilmemelidir. Hasta ergonomisi, insan faktörü ve ergonomi çalışmalarının hastaları merkez alarak koşulların hastalar üzerinde incelenmesi ve iyileştirilmesidir. Hasta güvenliği problemleri oldukça karmaşıktır ve nadiren yalnızca bir faktör veya bir bileşene bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle ergonomi çalışmalarının sağlık sistemleri üzerinde faydalı olabilmesi için tüm olası problemler sistematik olarak tanımlanmalı ve doğru olanlara öncelik verilerek tamamına etkin çözümler geliştirilmelidir. (Gurses vd., 2018) Hasta ergonomisi yalnızca fiziksel olarak ele alınmamalı, bilişsel ve psikolojik ergonomi gibi zihin ve ruhsal sağlığı etkileyen ergonomi dalları, geliştirme çalışmalarına dahil edilmelidir. Hastanın stres seviyesinin yükselmesine sebep olan her bir detay hastanın kendisi için bir risk faktörüdür ve bir sağlık sisteminin başlıca amacı bu risk faktörlerini en aza indirmek ve mümkün ise yok etmektir. Sağlık kurumları, devlet hastaneleri, ağız ve diş bakım merkezleri, aile sağlığı merkezleri, diyaliz merkezleri, evde bakım merkezleri, halk sağlığı laboratuvarları başlıca olmak üzere farklılaşan hizmetler sunmaktadır. Bu bağlamda ayakta tedavi, yerinde tedavi ve yatarak tedavi uygulayan birimlerde sunulan ek hizmetler de farklılık göstermektedir. Ergonomik koşulların analiz edilmesi esnasında en iyi performansla ulaşabilmek amacıyla sistem bir bütün olarak ele alınacağından sağlık kurumunun türüne göre verdiği her türlü hizmet kendi içerisinde incelenmelidir. Diyaliz merkezleri, yatarak ve uzun süreli tedavi hizmeti veren dolayısı ile risk faktörü yüksek hastalara hizmet sağlayan sağlık kuruluşlarıdır.

Yapılan son araştırmalar dünya çapında artan bir kronik böbrek yetmezliği grafiği rapor etmektedir. (Bikbov vd.,2020) Kronik böbrek yetmezliği (KBY), böbrek işlevinin ilerleyici ve geriye dönüşsüz biçimde kaybedilmesidir. Donör bulmaktaki güçlükler dikkate alındığında bu hastalarda renal transplantasyonun çok güç olduğu bilinmektedir. KBY olan kişilerin yaklaşık üçte ikisi hemodiyaliz, dördte biri böbrek nakli ve onda biri periton diyalizi tedavisi almaktadır.(Abbasi, 2009) Hemodiyaliz işlemi tedavi için geliştirilmiş ekipmanlar kullanılarak hastadan alınan kirli kanın temizlenerek tekrar hastaya aktarılması prensibine dayanır ve hastanın klinik olarak takip edilmesini gerektiren bu sebeple özel merkezlerde gerçekleştirilebilen bir işlemdir. Türk Nefroloji Derneği 2018 verilerine göre ise Türkiye genelinde hemodiyaliz tedavisi gören 60 bin 643 hasta bulunmakta ve 17 bin 322 hemodiyaliz cihazı hastalara hizmet vermektedir. Artan nüfus ve beslenme bozukluklarının yaygınlaşması sebebi ile hasta sayısı her geçen yıl artma eğilimindedir. Hastalarda biyolojik, ruhsal ve sosyal iyilik durumunun bozulduğu bilinmektedir. Hemodiyaliz tedavisi gören hastalarda depresyon ve anksiyetenin daha sık görüldüğünü bildiren birçok çalışma mevcuttur. Hastalığın kişi üzerinde yarattığı muhtemel tüm riskler göz önünde bulundurularak hizmetlere yansıtılması ve hasta memnuniyetinin maksimum ölçüde sağlanması karar vericilerin sorumluluğundadır. Diyaliz merkezleri bünyesinde klinik operasyonların yanı sıra yemek, ulaşım, sosyal aktiviteler başlıca olmak üzere ek olanaklar tedavi süreçleri içerisine dâhil edilmektedir. Kapsama alınan her bir hizmetin hasta odaklı olarak tasarlanması ve optimize edilmesi bir gerekliliktir. Hizmet kalitesinde yapılacak en küçük iyileşme hasta yaşam kalitesi üzerinde büyük etki göstermektedir. Yaşam kalitesini düzelterek her türlü yaklaşımın bu hastalarda mortalite riskinin azaltılmasında faydalı olacağı aşiktardır. Diyaliz merkezleri hastaların merkeze ulaşımı için servis hizmetleri sağlamaktadırlar. Her bir hasta bulunduğu adresten alınmakta ve tedavi sonra yine aynı adrese bırakılmaktadır. Bu aşamada serviste geçirilen zaman oldukça önemlidir. Diyaliz tedavisi periyodik olarak uygulanmaktadır ve bir sonraki tedavi yaklaştıkça hastaya ait birtakım fiziksel işlevler düşüş eğilimine geçmektedir. Bunun yanı sıra zamanlarının büyük çoğunluğunu tedavi olarak geçirmek durumunda kalan hastalar için yaşadıkları her zaman kaybı hastada stres seviyesinin yükselmesine sebebiyet vermektedir.

Hemodiyaliz seans başına tedavi süresi ve sıklığı doktor reçetesine bağlı olarak değişmekte ve her hasta için özel hazırlanmaktadır. Hemodiyaliz tedavisi incelendiğinde seans süresi 2 ila 5 saat sıklığı ise haftada 2 ila 4 gün olmak üzere değişkenlik göstermektedir. Çalışma kapsamında diyaliz merkezleri servis araç güzergahlarına yönelik optimizasyon problemi üzerinde durulmuştur. Merkezlerde bir işgünü sabah – öğle – akşam olmak üzere üç seansa bölümlendirilmiştir. Aynı seansa gelecek hastalar belirttikleri konumdan servis aracı ile alınmakta ve seans sonunda adreslerine ulaştırılmaktadır. Merkez, bünyesinde üç adet servis aracı barındırmaktadır. Rotaların optimizasyonu, servis araçlarının taşıma sürelerinin kısaltılması dolayısı ile hasta konforunun iyileştirilmesi için önemli bir adımdır.

## 2. Materyal ve Yöntem

İşbu çalışmada diyaliz merkezleri servis aracı rotalama problemi üzerinde durulmaktadır. Birden fazla servis aracı merkezden hareket ederek hastaların buldukları her bir adrese uğramakta ve merkeze dönmektedir. Seans bitiminde ise aynı şekilde hastaların konumlarına dağıtılması süreci işlemektedir ve bu esnada mümkün olan en kısa mesafe hedeflenmektedir. Problem yapısı itibari ile literatürde Çoklu Gezgin Satıcı Problemi olarak ele alınmakta ve araştırılmaktadır. ÇGSP,  $m > 1$  ( $m$ =araç sayısı) olacak şekilde araç içermesi dışında klasik Gezgin Satıcı Problemine (GSP) oldukça benzerlik göstermektedir. (Carter, 2003) GSP, NP-zor sınıfta yer almaktadır ve ÇGSP, her bir araca hangi uğrak noktaların tahsis edileceğini belirlemenin yanı sıra her bir araca tahsis edilen noktalar arasındaki optimum sıralamayı da gerektirdiğinden GSP'den daha zor bir problemdir. (Sing ve Baghel, 2008)

Uygulama yapılacak olan işletme, bünyesinde, üç adet servis aracına sahiptir ve araç kapasiteleri toplamı ilgili seansa gelecek hastalar için yeterlidir. Araç sayısı üç olduğundan ÇGSP deneylerinde  $m=3$  alınarak sonuçlar elde edilmiş ve değerlendirilmiştir. Literatürde eniyi çözümü veren matematiksel modeller incelendiğinde iki adet amaç karşımıza çıkmaktadır. Genel olarak toplam mesafeyi minimize eden amaç fonksiyonu üzerinde öneriler geliştirilmiştir ancak araçlar arasında bir dengeli bir dağıtımın da yapılması gerçek hayat uygulamaları için bir gerekliliktir. (Matsuura ve Numata, 2014)

Problemin çözümü için iki aşamalı bir yöntem tercih edilmiş olup kümeleme ver rotalama adımlarından oluşmaktadır. Yöntem problemin her iki amacına da uygun olacak şekilde tercih edilmiştir. Kümeleme adımında  $k$  – ortalamalar metodu ile veri seti, birbirlerine olan konumlarına göre üç kümeye ayrılmakta ve bu şekilde üç farklı GSP elde edilmektedir. En Yakın Komşu Sezgiseli ve 2 – opt algoritmasının ardışık kullanımı ile GSP'ler için çözümler ayrı ayrı olarak bulunmuştur.

### 2.1. Matematiksel Model

Tek depolu standart ÇGSP, yönlü bir çizge olarak formüle edilmektedir. (Bektas,2006)  $G = (V,A)$  çizgesinde  $V$  noktalar kümesi ve  $A$  ayrıtlar kümesini temsil etmekte olup  $C = (c_{ij})$ ,  $A$  kümesi elemanlarına ait ağırlık matrisidir.  $x_{ij}$ ,  $(i,j)$ , 0 ve 1 değerlerini alabilen ikili değişken kümesidir. GSP'den hareketle amaç fonksiyonu her aracın geçtiği yolların uzunluk toplamı olarak alınmış ancak bunun sonucunda araçlar arasındaki işyükünde büyük dengesizlikler meydana gelmiştir. Bu sebeple gerçek hayat problemlerine uygulanabilir olması için araçlar arasında dengeli bir dağıtımı sağlayacak modellere ihtiyaç duyulmuştur. En uzun yolu giden aracın mesafesi en küçüklendiği amaç fonksiyonu istenileni başarmıştır. Aşağıda her iki amaç için kurulmuş modeller verilmektedir. Toplam mesafeyi minimize etme amaçlı model aşağıda verilmiştir. (Kara ve Bektaş, 2006)

$$\text{EnkZ} \quad \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

*k. a.*

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = m \quad (2)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{j1} = m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 2, \dots, n \quad (5)$$

$$u_i - u_j + (n - m) * x_{ij} \leq n - m - 1, \quad 2 \leq i \neq j \leq n \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A. \quad (7)$$

Amaç fonksiyonu (1), toplam mesafeyi minimize eder. Kısıt (2)  $m$  adet satıcının merkezden çıkış yapmış ve kısıt (3)  $m$  adet satıcının merkeze dönmüş olmasını sağlar. (4) ve (5) her düğüme yalnızca bir kez gelinmesini ve bir kez çıkış yapılmasını sağlayan derece kısıtlarıdır. (6), Gavish (1976) tarafından önerilen alttutur eleme kısıtıdır.

MinMax amaç fonksiyonuna sahip ÇGSP modeli için karar değişkenine satıcı kümesini içeren üçüncü bir indis ( $k$ ) eklenmiştir. Böylece her bir satıcının turu ve kat ettiği mesafe belirlenmiş olacaktır. (Necula,2015)

$$\text{EnkZ} \sum_{(i,j) \in A} T \quad (8)$$

k. a.

$$\sum_{j=2}^n x_{1jk} = 1 \quad k = 1, \dots, m \quad (9)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{j1k} = 1 \quad k = 1, \dots, m \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1, \quad j = 2, \dots, n, i \neq j \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1, \quad i = 2, \dots, n, i \neq j \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = \sum_{i=1}^n x_{jik}, \quad j = 2, \dots, n \quad (13)$$

$$u_i - u_j + (n - m) * x_{ij} \leq n - m - 1, \quad k = 1, \dots, m, i \neq j \quad (14)$$

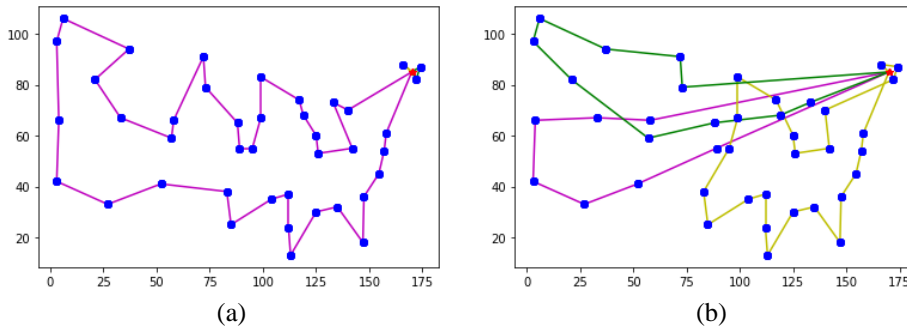
$$\sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ijk} \leq T, \quad k = 1, \dots, m \quad (15)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i,j) \in A, \quad k = 1, \dots, m \quad (16)$$

Bu modelde amaç fonksiyonu en uzun turun en küçüklenmesidir. Bu amacı gerçekleştirebilmek adına yeni bir T değişkeni modele eklenmiştir. Kısıt (16), T değişkeninin değerini en uzun tura göre belirler.

TSPLIB kütüphanesinden alınan *Dantzig42* isimli veri setinin her iki model kullanılarak çözdürüldüğüne elde edilen rotalar Şekil 1a'de verilmektedir. Rota izdüşümlerinden de kavranabileceği üzere EnkTop amaç fonksiyonlu model araçlar arasında oldukça dengesiz bir dağılım yaratmaktadır. Günlük hayat problemlerinde ve çalışma kapsamında üzerinde durulan servis araç rotasyonları özelinde de bu tür dengesizlik yaratan çözümlerin kullanılması yeni problemler yaratacağından uygun görülmemektedir. Şekil 1b'de ise EnkEnb modele yine aynı veri setinin kullanılması ile elde edilen rotalar verilmektedir. İkinci model kullanıldığında ise toplam rota uzunluğunda bir artış kaydedilmektedir ki yine gerçek hayat uygulamalarında istenmeyen bir sonucu ortaya çıkarmaktadır. Görseller ile de desteklenen sebepler neticesinde her iki amacın da gözetilmesi akılcı çözümlerin elde edilebilmesi için bir gerekliliktir.

EnkEnb amaç fonksiyonu içeren formülasyonun çıktılarını önerilen yöntemin geçerliliğini sınamak adına ilerleyen bölümlerde kullanılmaktadır. İkinci modelin karşılaştırma aşamasında tercih edilmesinin sebebi daha makul çözümler ürettiği ve gerçek hayat problemlerinden yola çıkılarak düzenlenmiş bir versiyon olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca ÇGSP bilimsel yazın tarandığında çözümlere ulaşmada metasezgisel yöntemlerin kullanıldığı görülmektedir ki geliştirilen her bir yöntem yine metasezgisellerin ürettiği sonuçlar ile kıyaslanmaktadır. İleriki kısımlarda açıklanan yöntem eniyi çözümlerin üretildiği ikinci modele ait sonuçlar ile kıyaslanarak etkinliği ölçülmüştür. Böylece eniyi çözümleri veren EnkEnb model çözümlerine yakın aynı zamanda EnkTop amacını da gözeten çözümlerin üretilmesi amacına ne kadar ulaşıldığı daha net bir şekilde ifade edilmektedir.



Şekil 1. (a) EnkTop Rota; (b) EnkEnb Rota



## 2.2. Önerilen Yöntem

Diyaliz merkezlerinde hizmet veren servis araçlarına ait güzergâhların optimizasyonu problemi ÇGSP olarak ele alınmış ve literatürde yer edinen çalışmalar bu bağlamda değerlendirilmiştir. İlgili problem üzerinden önerilen matematiksel modeller amaçlarına göre eniyi çözümlere ulaştırmaktadır ancak problem boyutunun artması ile çözüm uzayı üstel bir artış gösterdiğinden gerçek hayat problemleri için çözümlere ulaşmak önemli bir zaman kaybı kimi zaman ise imkânsız hale gelebilmektedir. Bu sebeple araştırmacılar eniyi çözüme ulaşmaktan çok iyiye yakın çözümlere makul sürelerde ulaşmayı hedeflemişler ve çözüm yöntemlerinde sezgisel ve metasezgisel algoritmalara yönelmişlerdir.

Diyaliz merkezlerinde randevu planlamaları iki haftalık periyotlarla yenilenmektedir. Bu durumda seans ve gün bilgisinde yapılacak her değişim servis rotalarına da yansıtacaktır. Hizmet kalitesi boyutu göz önüne alındığında hızlı ve etkili çözümlerin üretilebilmesi mutlak bir gerekliliktir. Bu çalışmada bilimsel yazın sonucunda varılan sonuçlar neticesinde iki aşamalı bir sezgisel yöntem önerilmektedir. Yöntem problemin iki amaçlı yapısına hizmet etmenin yanı sıra kısa sürede çözüme götürme konusunda iyi performans sergilemektedir. İlk aşamada k-ortalamlar kümeleme yöntemi kullanarak noktalar gruplandırılmıştır. İkinci aşama ise rotalama aşaması olup En Yakın Komşu Sezgiseli ve 2 – opt algoritmaları ardışık olarak kullanılmaktadır.

### 2.2.1. K – ortalamlar yöntemi

K – ortalamlar, nümerik verilerle çalışan, denetimsiz, deterministik olmayan yinelemeli bir kümeleme yöntemidir. Basit ve çok hızlı bir yöntem olması sebebi ile birçok pratik uygulamada kullanılmış ve yöntemin iyi kümeleme sonuçları üretebilen çok etkili bir yol olduğu kanıtlanmıştır (Na vd. 2010). Yöntem, N adet veriyi, her küme içindeki hata kareleri toplamı en küçük olacak şekilde k adet kümeye ayırır. Hata kareleri fonksiyonu aşağıdaki gibidir (Lu ve Hu,2013).

$$E = \sum_{l=1}^k \sum_{p \in C_l} |p - m_l|^2 \quad (17)$$

E, veri kümesindeki tüm elemanların hata kareleri toplamıdır. P, belirli bir veriyi (nesneyi) ifade eden bir noktadır.  $m_l$ ,  $C_l$  kümesinin ortalamasıdır. E fonksiyonun en azlanmasıyla aynı kümeye ait veriler olabildiğince benzer ve farklı kümelere ait veriler olabildiğince farklı elde edilmektedir.

K – ortalamlar algoritması aşağıdaki adımları içermektedir.

Adım 1: Her bir kümenin ağırlık merkezini temsil eden k adet başlangıç noktasını seç.

Adım 2: Verileri başlangıç noktasına yakınlığına göre kümelere ata.

Adım 3: Tüm veriler kümelere atandığında, küme ağırlık merkezlerini tekrar hesapla.

Adım 4: Küme merkezleri değişmeyene kadar Adım 2 ve Adım 3'ü tekrarla.

Literatürde, k- ortalamlar yönteminde k'nın doğru seçilmesine odaklanan çok sayıda çalışma yer almaktadır. Üzerinde durulan problem türünde k sayısı belirli olup gezgin satıcı sayısına tekabül etmektedir. k sayısının belirli olması, k – ortalamlar kümeleme yönteminin seçilmesinde önemli bir etkidir.

### 2.2.2. En Yakın Komşu Sezgiseli (Nearest Neighbour Heuristic)

En Yakın Komşu Sezgiseli (EYK), GSP çözümünde kullanılan en basit ve en kullanışlı yöntemdir (Matai vd., 2010). EYK, rotalar oluşturulurken her defasında bir önceki şehre en yakında bulunan şehrin ziyaret edilmesine dayanan bir sezgisel yöntemdir. Algoritma aşağıdaki adımlardan meydana gelmektedir (Marikanis, 2001)

- Adım 1: Herhangi bir başlangıç noktası seç.
- Adım 2: Başlangıç noktasına en yakın noktaya git tura ekle.
- Adım 3: Rotaya eklenmemiş ve son eklenen noktaya en yakın noktaya git.
- Adım 4: Adım 3'ü nokta kalmayınca kadar tekrarla. İlk ve son gidilen noktayı birleştir.

EYK, asimptotik karmaşıklığı  $O(n^2)$  olan bir açgözlü algoritmadır. n, problemdeki şehir (nokta) sayısına karşılık gelmektedir (Taiwo vd.,2013).

### 2.2.2. 2 – Opt Algoritması

2 – opt algoritması, mevcut turun iyileştirilmesi ile ilgilenen iteratif bir yerel arama algoritmasıdır. Algoritma ilk kez Croes (1958) tarafından önerilmiş olup günümüze dek yaygın olarak kullanılmıştır. Algoritma, hali hazırda oluşturulmuş bir turdan iki kenarın kaldırılması ve turun yeniden hesaplanarak iyileşme gerçekleşmişse yeni yolun kullanılması esasına dayanır. Algoritma adımları aşağıdaki gibidir.

- Adım 1: Mevcut turdaki iki kenarı sil.
- Adım 2: Bağlanmamış kalan parçaları iki yeni kenar ekleyerek bağla.
- Adım 3: Yeni kenarlar eklendikten sonraki maliyeti hesapla. Eğer daha düşüğe yeni kenarları tut değil ise eski kenarları kullanmaya devam et.
- Adım 4: Maliyet değişmeyene kadar adımları tekrarla.

2 – opt algoritmasının genişletilmiş bir versiyonu olan Lin – Kernighan algoritması, her iterasyonda kaç kenarın değiştirilmesi gerektiğine karar verir. Bu özelliği algoritmayı karmaşık bir hale getirir. Hesaplama karmaşıklığı  $O(n^{2.2})$  olarak bulunur ve 2 – opt ile karşılaştırıldığında daha uzun sürelerde sonuç veren bir algoritmadır (Matai vd. 2010).

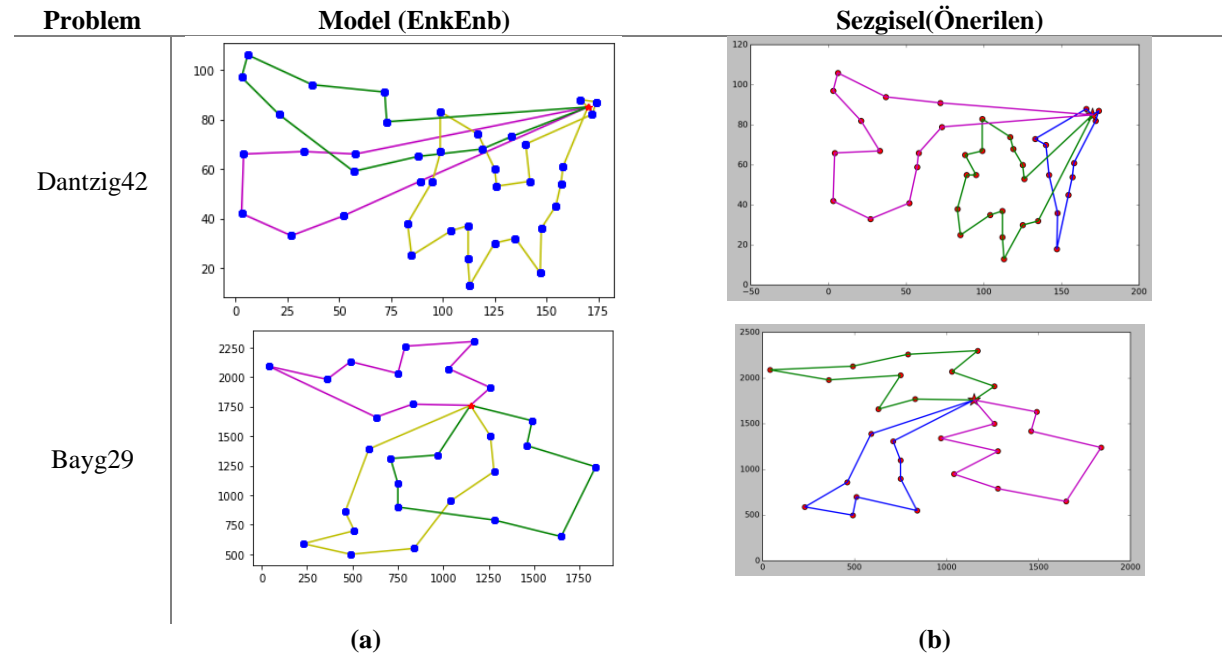
### 3. Deneysel Sonuçlar

Uygulama yapılacak olan kuruluş bünyesinde üç servis aracı barındırdığından önerilen çözümün geçerliliğinin sınındığı bu bölümde tüm problemler üç araçlı olacak şekilde çözdürülmüştür. Yöntem, TSPLIB kütüphanelerinden alınan kıyaslama problemleri ve rassal olarak türetilen problemler kullanılarak test edilmiştir.

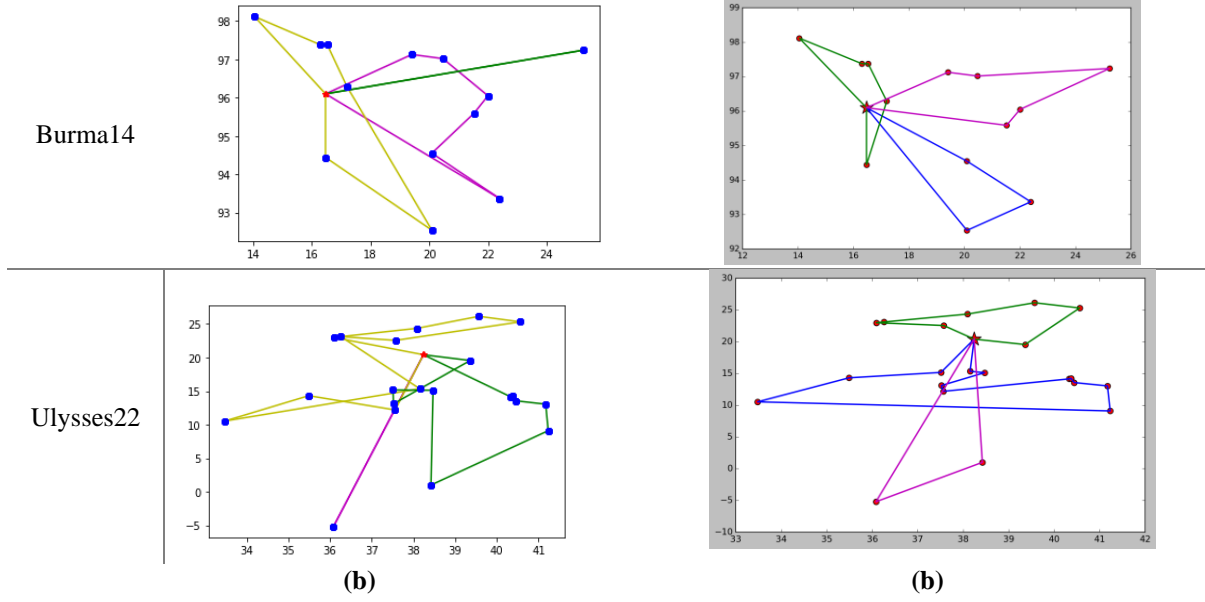
Algoritmalar PYTHON programlama dilinde ve modeller GUROBI optimizasyon programında yazılmış olup Intel® Core™ i5 – 8400 CPU 2.80GHz, 16 GB RAM özelliklerini içeren bir bilgisayar ortamında çözümler elde edilmiştir. Sonuçlar özet halinde izleyen bölümlerde yer alan tablolarda verilmektedir.

**Tablo 1.** TSPLIB Örnek Problem Sonuçları

Problem	Model				Sezgisel(Önerilen)		
	m	En Uzun Tur	Toplam Tur	Süre	En Uzun Tur	Toplam Tur	Süre
Dantzig42	3	369.7179	1104.8673	80sa	466.3866	970.4782	<1 sn
Bayg29	3	3690.801	10821.515	982.06sn	3814.738	10980.689	<1 sn
Burma14	3	17.667	52.710	8.15sn	18.128	42.853	<1 sn
Ulysses22	3	51.441	142.59	2.3sa	51.77	106.1545	<1 sn



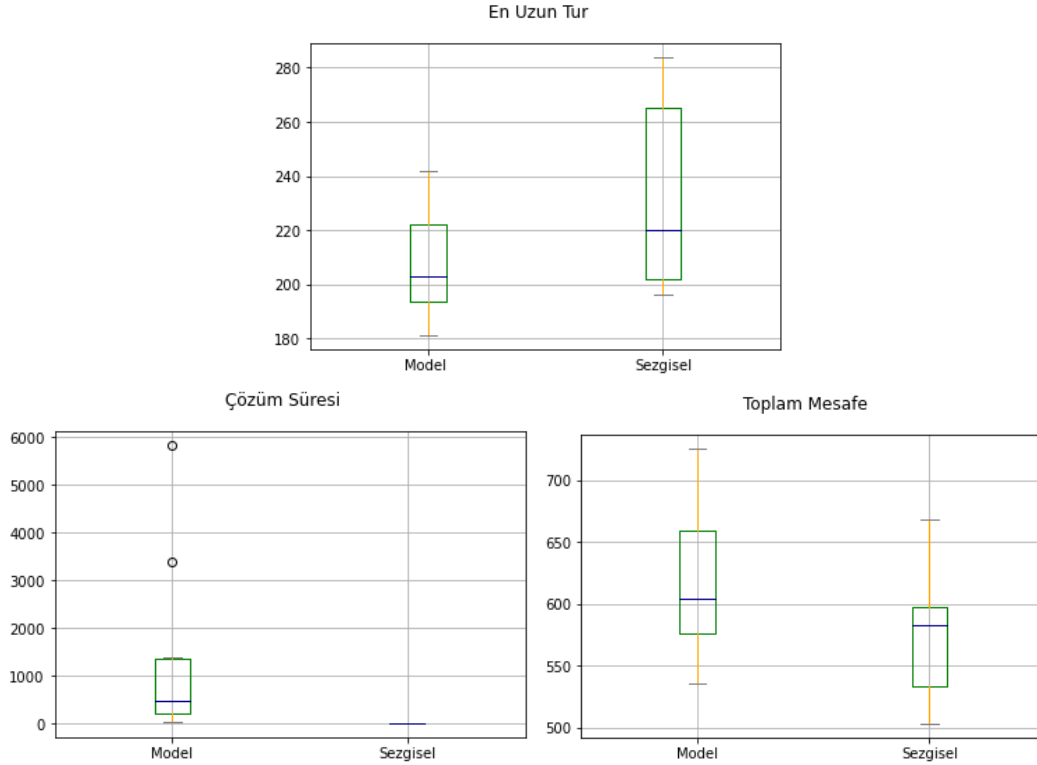
**Şekil 2.** (a) Model Sonuçlarına Ait Rotalar; (b) Önerilen Yöntem Sonuçlarına Ait Rotalar



Şekil 2(devam). (a) Model Sonuçlarına Ait Rotalar; (b) Önerilen Yöntem Sonuçlarına Ait Rotalar

TSPLIB kitaplığından alınan farklı boyutlarda 4 adet örneğe ait sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. İki aşamalı yöntem, araçlar arasında dengeli dağıtımın en iyi derecede sağlandığı model sonuçlarına yakınsadığı görülmektedir. Sayısal sonuçlar Şekil 2’de sunulan rota izdüşümleri ile de desteklenmektedir. Toplam uzunluğun makul derecede olmasının istendiği diğer amaçta ise daha iyi sonuçlara varılmıştır. Sezgisel yöntemin çözüme varış hızı ise 1 saniyeyi aşmayarak bu kriterde modelden oldukça üstündür.

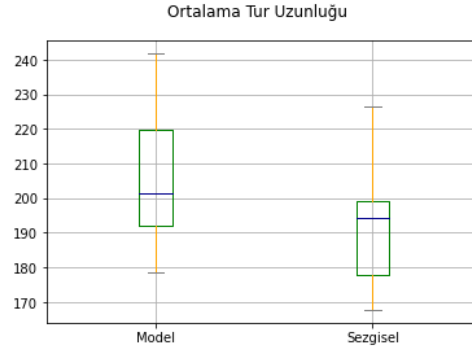
Koordinatları 0 ve 100 aralığına düşecek şekilde üretilen 20 rassal problem aynı şekilde çözdürülmüş ve ilgilenilen ölçütlere göre sonuçlar analiz edilerek Şekil 3’te kutu grafiği halinde sunulmuştur.



Şekil 3. Kriterlere Göre Sonuç Analizi Kutu Grafikleri

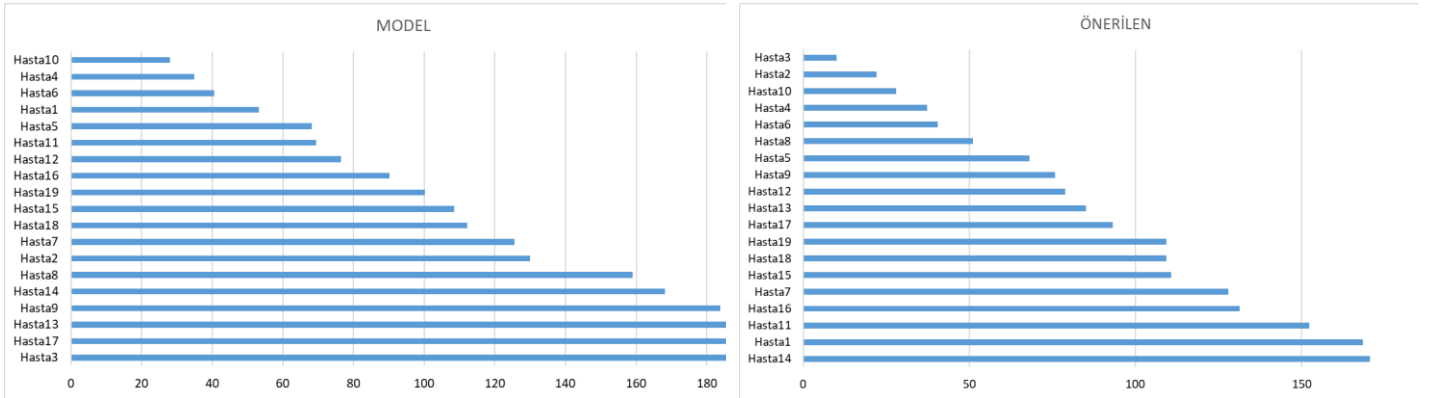
Şekil 3'te paylaşılan kutu grafikleri daha önce yorumlanan çözüm sonuçları ile uyumlu çıktılar vererek, ilk kriter için dengeli bir dağıtım sağlayan eniyi çözümlere yakın toplam mesafe ve süre kriterlerinde daha iyi sonuçlara varıldığını vurgulamaktadır. Dengeli dağıtım ve toplam mesafe hedefleri arasındaki ödünleşme nedeni ortaya çıkan düzensizlik iki hedefi de gözetken yaklaşımla ortadan kaldırılabilmektedir.

Her bir aracın yol alacağı mesafe ortalamasını baz alan Şekil 4'te verilen grafikte ise sezgisel yöntemde araçlar daha az mesafe katmaktadır ki bu modelin dengeli dağıtım yapabilmek adına gereksiz sapmalar yarattığını ortaya koymaktadır.

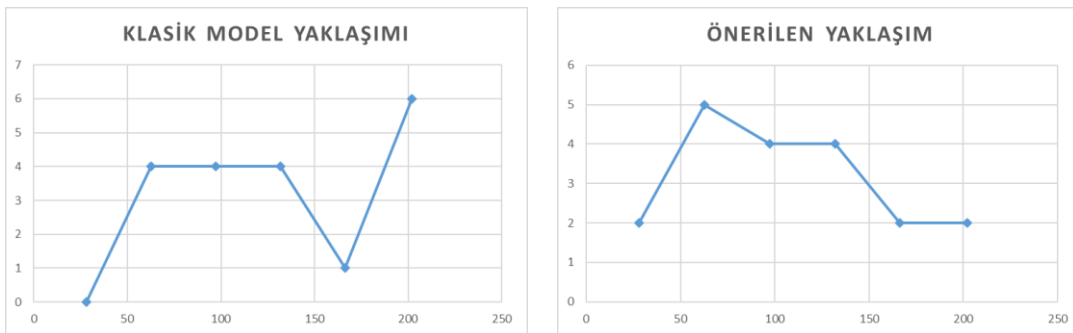


Şekil 4. Ortalama Tur Uzunluğu Kutu Grafiği

Probleme özel türetilen 10 noktalı 20 rassal veri seti içerisinde yine rassal olarak bir tanesi seçilmiş ve her bir noktada bir hastanın ikamet ettiği varsayılarak servis aracında gidecekleri mesafeler hasta özelinde Şekil 5 ve 6'da grafiksel olarak görselleştirilmiştir. Her iki Şekil'den varılacağı üzere önerilen sezgisel yöntemde hastaların gideceği mesafeler ve daha uzun mesafe giden hasta frekansları model sonuçlarından düşük çıkmaktadır.



Şekil 5. Hasta başına gidilecek mesafe sütun grafiği



Şekil 6. Gidilecek mesafe – Hasta Frekans Grafiği

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Çalışma kapsamında üç servis araçlı bir diyaliz merkezi için rota optimizasyonuna yönelik bir yöntem önerilmiştir. Servis araçlarının optimize edilmesi esnasında servis araçlarının dolayısı ile hastaların yolculuk mesafesinin düşürülmesi ve araçlara ait mesafelerin mümkün olduğunca dengeli dağıtılması hedeflenmiştir. İlgili problem Çoklu Gezgin Satıcı Problemi olarak ele alınmış ve problem literatürü incelendiğinde iki amaca yönelik iki ayrı eniyileme modeli tespit edilmiştir. EnkTop formülasyonu araçlar arasında oldukça dengesiz dağıtım yaptığından göz ardı edilmiş ve dengeli dağıtım gerçekleştiren EnkEnb formülasyonu üzerinde yoğunlaşmıştır. Kümeleme ve rotalama olmak üzere iki aşamadan oluşan önerilen yöntem her iki amaca da hizmet etmektedir. Uygulama yapılacak diyaliz merkezi 3 adet servis aracı içerdiğinden üç araçlı problemler üzerinde deneysel çalışılmıştır. Çözüm süresi ise bir diğer ölçüt olarak ele alınmış ve önerilen yöntem bu yönüyle de test edilmiştir. TSP kütüphanesinden alınan ve rassal olarak türetilen problem sonuçları ışığında ilk kriter olan EnkEnb amacı için yeni çözümlere %70-80 oranında yakınsamıştır. Bir diğer kriter toplam mesafe kriterinde model sonuçlarından daha iyi çözüm süresi kriterinde ise çok daha iyi sonuçlar vermiştir.

Rotaların iyileştirilmesinde en önemli katkı hastalara sağlanmaktadır. Araçların kat ettiği toplam mesafede meydana gelen iyileşmeler yolculuk süresinin de doğru orantılı olarak azaltılmasını sağlamaktadır. Yolculuk süresinin azaltılması ise hali hazırda yaşam kalitesi hastalık sebebi ile olumsuz etkilenen hastalara verilen hizmetin geliştirilmesini sağlayarak hasta stres seviyesi ve risk faktörlerini azaltarak hasta memnuniyetini arttırmaktadır. Yöntemde ele alınan diğer kriter ise araçlara ait en uzun rotanın enküçüklenmesidir. Böylece her bir aracın kat edeceği mesafe mümkün olduğunca dengeli dağıtılacaktır. Dengeli dağıtım ile tüm araçlardaki hastaların araç içerisinde geçirdikleri süreler de dengelenmiş olacaktır. Bu durumda hastalar arasında meydana gelebilecek olumsuz algılar önlenmiş olacaktır.

#### Kaynaklar

- Abbasi, M. A., Chertow, G. M., & Hall, Y. N. (2010). End-stage renal disease. *BMJ clinical evidence*, 2010.
- Al Saran, K., & Sabry, A. (2012). The cost of hemodialysis in a large hemodialysis center. *Saudi Journal of Kidney Diseases and Transplantation*, 23(1), 78.
- Angel, R. D., Caudle, W. L., Noonan, R., & Whinston, A. N. D. A. (1972). Computer-assisted school bus scheduling. *Management Science*, 18(6), B-279.
- Bektas, T. (2006). The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. *Omega*, 34(3), 209-219.
- Bikbov, B., Purcell, C. A., Levey, A. S., Smith, M., Abdoli, A., Abebe, M., ... & Owolabi, M. O. (2020). Global, regional, and national burden of chronic kidney disease, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 395(10225), 709-733.
- Bolaños, R., Echeverry, M., & Escobar, J. (2015). A multiobjective non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA-II) for the Multiple Traveling Salesman Problem. *Decision Science Letters*, 4(4), 559-568.
- Brumitt, B. L., & Stentz, A. (1996, April). Dynamic mission planning for multiple mobile robots. In *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation* (Vol. 3, pp. 2396-2401). IEEE.
- Campbell, S. M., Braspenning, J. A., Hutchinson, A., & Marshall, M. (2002). Research methods used in developing and applying quality indicators in primary care. *Quality and Safety in Health Care*, 11(4), 358-364.
- Carter, A. E. (2003). *Design and application of genetic algorithms for the multiple traveling salesperson assignment problem* (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- Carter, A. E., & Ragsdale, C. T. (2002). Scheduling pre-printed newspaper advertising inserts using genetic algorithms. *Omega*, 30(6), 415-421.
- Croes, G. A. (1958). A method for solving traveling-salesman problems. *Operations research*, 6(6), 791-812.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management science*, 6(1), 80-91.
- Gavish, B. (1976). Note—a note on “the formulation of the m-salesman traveling salesman problem”. *Management Science*, 22(6), 704-705.
- Gilbert, K.C. & Hofstra, R.B. (1992). A new multiperiod multiple traveling salesman problem with heuristic and application to a scheduling problem. *Decision Sciences*, Vol. 23, pp.250–9.
- Gulcu, S. D., & Ornek, H. K. (2019). Solution of multiple travelling salesman problem using particle swarm optimization based algorithms. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 7(2), 72-82.

Gunesen, Beyza (2021), "Data For: Euclidean Matrix", Mendeley Data, V1, doi: 10.17632/rvv4ymck92.1

Gurses, A. P., Ozok, A. A., & Pronovost, P. J. (2012). Time to accelerate integration of human factors and ergonomics in patient safety. *BMJ quality & safety*, 21(4), 347-351.

Holland, J. (1994). Scheduling patients in hemodialysis centers. *Production and inventory management journal*, 35(2), 76.

<http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>

<https://nefroloji.org.tr/tr/>

Huang, Z. (1998). Extensions to the k-means algorithm for clustering large data sets with categorical values. *Data mining and knowledge discovery*, 2(3), 283-304.

Joss, R., & Kogan, M. (1995). *Advancing quality: Total quality management in the National Health Service*. Open university press. *Journal of Operational Research*, Vol. 124, pp. 267–82

Junjie, P., & Dingwei, W. (2006, August). An ant colony optimization algorithm for multiple travelling salesman problem. In *First International Conference on Innovative Computing, Information and Control-Volume I (ICICIC'06)* (Vol. 1, pp. 210-213). IEEE.

K. Helsgaun. An Effective Implementation of the Lin-Kernighan Traveling Salesman Heuristic, Department of Computer Science, Roskilde University.

Kara, I., & Bektas, T. (2006). Integer linear programming formulations of multiple salesman problems and its variations. *European Journal of Operational Research*, 174(3), 1449-1458.

Kitjacharoenchai, P., Ventresca, M., Moshref-Javadi, M., Lee, S., Tanchoco, J. M., & Brunese, P. A. (2019). Multiple traveling salesman problem with drones: Mathematical model and heuristic approach. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 14-30.

Kodinariya, T. M., & Makwana, P. R. (2013). Review on determining number of Cluster in K-Means Clustering. *International Journal*, 1(6), 90-95.

Laporte, G. & Nobert, Y. (1980). A cutting planes algorithm for the m-salesmen problem. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 31, pp.1017–23.

Latah, M. (2016). Solving multiple TSP problem by K-means and crossover based modified ACO algorithm. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 5(02).

Lin, S. & Kernighan, B. (1973). An effective heuristic algorithm for the traveling salesman problem. *Operations Research*, Vol. 21, pp. 498–516.

Liu, W., Li, S., Zhao, F., & Zheng, A. (2009, May). An ant colony optimization algorithm for the multiple traveling salesmen problem. In *2009 4th IEEE conference on industrial electronics and applications* (pp. 1533-1537). IEEE.

Lu, J., & Hu, R. (2013, March). A new hybrid clustering algorithm based on K-means and ant colony algorithm. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering* (pp. 1718-1721). Atlantis Press.

Matai, R., Singh, S. P., & Mittal, M. L. (2010). Traveling salesman problem: an overview of applications, formulations, and solution approaches. *Traveling salesman problem, theory and applications*, 1.

Matsuura, T., & Numata, K. (2014, September). Solving min-max multiple traveling salesman problems by chaotic neural network. In *International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications*.

Miller, C.E.; Tucker, A.W. & Zemlin, R.A.(1960). Integer programming formulation of traveling salesman problems. *Journal of Association for Computing Machinery*, Vol. 7, pp. 326–9.

Na, S., Xumin, L., & Yong, G. (2010, April). Research on k-means clustering algorithm: An improved k-means clustering algorithm. In *2010 Third International Symposium on intelligent information technology and security informatics* (pp. 63-67). IEEE.

Nallusamy, R., Duraiswamy, K., Dhanalaksmi, R., & Parthiban, P. (2010). Optimization of non-linear multiple traveling salesman problem using k-means clustering, shrink wrap algorithm and meta-heuristics. *International Journal of Nonlinear Science*, 9(2), 171-177.

Napoleon, D., & Lakshmi, P. G. (2010, December). An efficient K-Means clustering algorithm for reducing time complexity using uniform distribution data points. In *Trendz in information sciences & computing (TISC2010)* (pp. 42-45). IEEE.

- Necula, R., Breaban, M., & Raschip, M. (2015, November). Tackling the bi-criteria facet of multiple traveling salesman problem with ant colony systems. In *2015 IEEE 27th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)* (pp. 873-880). IEEE.
- Necula, R., Raschip, M., & Breaban, M. (2018). Balancing the subtours for multiple TSP approached with ACS: Clustering-based approaches vs. MinMax formulation. In *EVOLVE-A Bridge between Probability, Set Oriented Numerics, and Evolutionary Computation VI* (pp. 210-223). Springer, Cham.
- Nuriyeva, F., & Kizilates, G. (2017). A new heuristic algorithm for multiple traveling salesman problem. *TWMS Journal of Applied and Engineering Mathematics*, 7(1), 101-109.
- Rosenkrantz, D. J., Stearns, R. E., & Lewis, II, P. M. (1977). An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem. *SIAM journal on computing*, 6(3), 563-581.
- Shabanpour, M., Yadollahi, M., & Hasani, M. M. (2017). A New Method to Solve the Multi Traveling Salesman Problem with the Combination of Genetic Algorithm and Clustering. *IJCSNS*, 17(5), 221.
- Shuai, Y., Yunfeng, S., & Kai, Z. (2019). An effective method for solving multiple travelling salesman problem based on NSGA-II. *Systems Science & Control Engineering*, 7(2), 108-116.
- Singh, A. (2016). A review on algorithms used to solve multiple travelling salesman problem. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(4), 598-603.
- Singh, S., & Lodhi, E. A. (2013). Study of variation in TSP using genetic algorithm and its operator comparison. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 3(2), 264-267.
- Somhom, S., Modares, A., & Enkawa, T. (1999). Competition-based neural network for the multiple travelling salesmen problem with minmax objective. *Computers & Operations Research*, 26(4), 395-407.
- Soylu, B. (2015). A general variable neighborhood search heuristic for multiple traveling salesmen problem. *Computers & Industrial Engineering*, 90, 390-401.
- Springer, T. (2007). Ergonomics for healthcare environments. *Geneva, IL: Knoll, HERO*.
- Svestka, J.A. & Huckfeldt, V.E. (1973). Computational experience with an m-salesman traveling salesman algorithm. *Management Science*, Vol. 19, No. 7, pp. 790-9.
- Sze, S., & Tiong, W. (2007). A comparison between heuristic and meta-heuristic methods for solving the multiple traveling salesman problem. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 1.
- Taiwo, O. S., Josiah, O., Taiwo, A., Dkhrullahi, S., & Sade, O. K. (2013). Implementation of heuristics for solving travelling salesman problem using nearest neighbor and nearest insertion approaches. *International Journal of Advance Research*, 1(3), 139-155.
- Tang, L., Liu, J., Rong, A., & Yang, Z. (2000). A multiple traveling salesman problem model for hot rolling scheduling in Shanghai Baoshan Iron & Steel Complex. *European Journal of Operational Research*, 124(2), 267-282.
- Tiong, W. K. (2007). A Comparison between Heuristic and Meta-Heuristic Methods for Solving the Multiple Traveling Salesman Problem. *International Journal of Mathematical and Computational Sciences*, 1(1), 13-16.
- Xu, X., Yuan, H., Liptrott, M., & Trovati, M. (2018). Two phase heuristic algorithm for the multiple-travelling salesman problem. *Soft Computing*, 22(19), 6567-6581.
- Yu, Q., Wang, D., Lin, D., Li, Y., & Wu, C. (2012, June). A novel two-level hybrid algorithm for multiple traveling salesman problems. In *International Conference in Swarm Intelligence* (pp. 497-503). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Yuan, S., Skinner, B., Huang, S., & Liu, D. (2013). A new crossover approach for solving the multiple travelling salesmen problem using genetic algorithms. *European Journal of Operational Research*, 228(1), 72-82.
- Zhang, T.; Gruver, W.A. & Smith, M.H. (1999). Team scheduling by genetic search. *Proceedings of the second international conference on intelligent processing and manufacturing of materials*, Vol. 2., pp. 839-44.



## Tarımsal Faaliyetlerde Sırtta Taşınarak Kullanılan Bazı Makinaların Ergonomik Açından Değerlendirilmesi

### Ergonomic Evaluation of Some Carry-on Back Machines Used in Agricultural Activities

İkbal AYGÜN<sup>1</sup> , Erkan Urkan<sup>1</sup> , Fazilet N. Alayunt<sup>1</sup>  Bülent Çakmak<sup>1-2</sup> 

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, 35100, İzmir, TÜRKİYE

<sup>2</sup> Azerbaycan Devlet Tarım Üniversitesi, AZ2000, Gence, AZERBAIJAN

**Başvuru/Received:** 01/10/2021

**Kabul / Accepted:** 30/12/2021

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 31/12/2021

**Son Versiyon/Final Version:** 31/12/2021

#### Öz

Tarımsal faaliyetlerde kullanılan makinaların birçoğunda güç kaynağı traktör olsa da özellikle küçük alanlarda gerçekleştirilen tarımsal üretimde elde ya da sırta taşınan elle çalıştırılan yad ada kendinden motorlu makinalar kullanılmaktadır. Özellikle tarımsal mücadele ve hasat işlemlerinde sırta taşınan makinalar yaygın olarak kullanılmaktadır. TÜİK 2020 yılı verilerine göre ülkemizde kullanılmakta olan sırta taşınan pülverizatör ve atomizör adedi 800.540 olarak belirtilmiştir.

Çalışma sırasında sırta taşınarak kullanılan makinalardaki yük ağırlığı arttıkça, öne eğilme ve dizlerde giderek artan bir gerilme oluşmakta ve benzer şekilde yük omuzdan bele doğru inmeye başladığında, gövdenin öne eğilmesi de artmaktadır. Bu tür sırta taşıma işlerinin çalışan sağlığı için riski azaltmak amacıyla Dünya Çalışma Örgütü'nün (ILO) ve ülkelerin "Taşınabilir Maksimum Yük" kararları ve uygulamaları mevcuttur. Bu çalışma kapsamında tarımsal faaliyetlerde kullanılan otomatik sırt pülverizatörü, membranlı tip sırt pülverizatörü ve zeytin hasat makinaları incelenmiştir. Makinaların boşken ve aktif kullanımı sırasında ağırlıkları belirlenmiş ve taşınabilir maksimum yük kararları ile kıyaslanmıştır. Makinaların tarımsal faaliyetlerde kullanımı sırasında çalışanlara etkisi bedensel yüklenme ve duruş bozukluğu şeklinde olduğundan bu durumlar kamerayla kayıt altına alınmıştır. Özellikle ilaçlama sezonunda makinaların en az 12 saat boyunca sırta taşınmasının tarım işçisini en çok zorlayan durum olduğu belirlenmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

*Sırtta taşıma, sırt pülverizatörü, REBA*

#### Abstract

Although the power source for most of the machines used in agricultural activities is the tractor, the power source for the machines used in agricultural production, especially in small areas, is human. Especially in spraying and harvesting processes, machines carried on the back are widely used. According to TUIK 2020 data, the number of sprayers and atomizers carried on the back used in our country is 800540. As the weight of the loads carried on the back increases, an increasing strain occurs in the forward bending and knees, and similarly, when the load begins to descend from the shoulders to the waist, the forward bending of the trunk increases. There are "Maximum Carryable Load" decisions of the World Labor Organization (ILO) and each country in this type of carry-on work. Within the scope of this study, the weights of the back atomizer, back sprayer and olive harvesting machines used in agricultural activities were determined at idle and during use and compared with the portable maximum load decisions. At the same time, camera recordings were taken about the bodily loads and posture disorders of the employees during the use of the machines in agricultural activities. Carrying the machines on the back for 12-13 hours, especially during the spraying season, was determined as the most challenging situation for the worker.

#### Key Words

*Carry on back, back sprayer, REBA*



## 1. Giriş

Tarımsal faaliyetlerde kullanılan makinaların birçoğunda güç kaynağı traktör olsa da özellikle küçük alanlarda gerçekleştirilen tarımsal üretimde kullanılan makinalarda güç kaynağı olarak insan kullanılmaktadır. Tarımsal üretimde teknolojik gelişmelerin hızlı bir şekilde adapte edildiği birçok mekanizasyon işlemi olmasına karşılık bazı tarım işlerinde fiziksel işgücüne ihtiyaç duyulmaktadır.

Tarımsal faaliyetler yürüten işletmelerde yapılan çalışmalarda yetişkinlerin %50'sinden fazlası, yaşamlarının en az bir döneminde sırt ağrılarında şikâyetçi olduğu bildirilmektedir. (London et al, 1972). İnsan iskelet sisteminin en önemli bölümlerinden birisi esnek yapıdaki omurdan meydana gelen omurgadır. Yetişkinde yaklaşık 70 santimetre uzunluğunda bulunan bu yapı boyun, gövde, bel ve kuyruk sokumu bölümlerinden meydana gelir. Omurga, uzun ve eğrilikleri azalmış bir "S" harfine benzetilmektedir. Bu eğriliklerin artması ya da azalması önemli iskelet sistemi sorunlarına yol açmaktadır (Güler, 1997).

Sırtta taşınan yüklerin ağırlığı arttıkça, öne eğilme ve dizlerde giderek artan bir gerilme oluşmakta ve benzer şekilde, yük omuzdan bele doğru inmeye başladığında gövdenin öne eğilmesi de artmaktadır. Bu tür sırtta taşıma işlerinde Dünya Çalışma Örgütü'nün (ILO) ve her ülkenin "Taşınabilir Maksimum Yük" kararları ve uygulamaları mevcuttur (Anonim, 2013a).

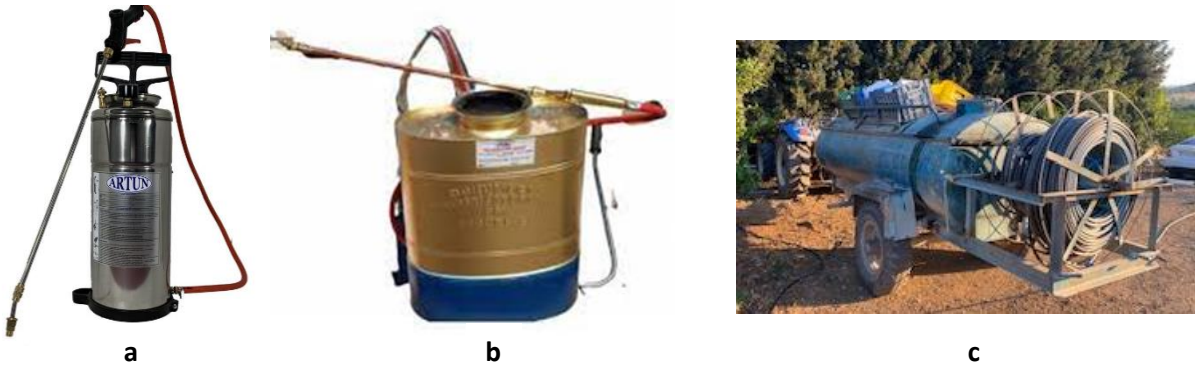
Tarımsal faaliyetlerde çalışanları etkileyen en önemli alanlardan birisi tarımsal mücadele yöntemleridir. TÜİK 2020 yılı verilerine göre ülkemizde kullanılmakta olan sırtta taşınır pülverizatör adedi 800.540 tır. Yurtlu vd. (2012) yaptıkları çalışmada çiftçilerin tarım makinaları kullanımına ait risk algılarını belirlemek için 38 tarım çalışanıyla yüz yüze yaptıkları görüşmelerin sonuçlarına yer vermişlerdir. Çalışanlar farklı tarım makinası guruplarına ait risk değerlendirmesinde tarımsal mücadele makinalarını en riskli ikinci makine gurubu olarak belirlemişlerdir. Ghugare vd. (1991) sırt pülverizatörü ile çalışan 10 işçiden topladığı verileri değerlendirmişler ve çalışmanın fizyolojik kriterlere uygun olduğunu belirtmişlerdir. Bununla beraber çalışanlara uygulanan konforsuzluk anketinin sonuçlarında belin alt kısmında ve boyunda çalışma pozisyonundan kaynaklı rahatsızlık hissi olduğu vurgulanmıştır.

## 2. Materyal ve Metod

Denemeler, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Deneme alanında ve İzmir ili Seferihisar ilçesinde bulunan mandalina üreticisine ait bahçede gerçekleştirilmiştir.

### 2.1 Denemelerde kullanılan sırt pülverizatörleri

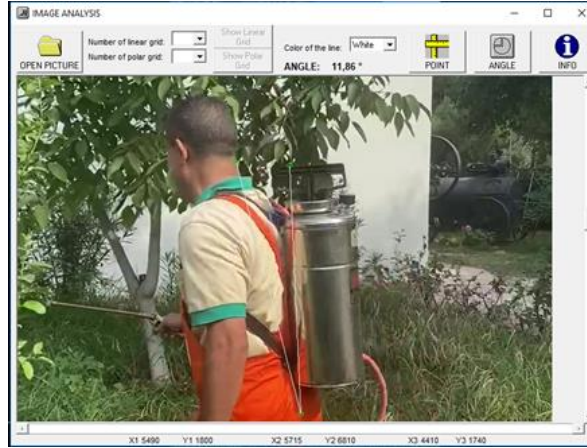
Denemelerde biyosidal ürün ve bitki koruma ürünlerin (BKÜ) atılmasında ve ilaçlama sezonunda en çok ve yaygın kullanılan iki adet geleneksel sırt pülverizatörü ve bir adet çekilir tip yardımcı tabancalı bağ-bahçe pülverizatörü kullanılmıştır (Şekil 1). Sırt pülverizatörlerinden biri otomatik sırt pülverizatörü, diğeri ise membranlı tip sırt pülverizatördür. Otomatik sırt pülverizatöründe basınç, çalışma öncesinde depo içine basılan hava yardımıyla oluşmakta ve çalışma başlayıp püskürtme yapıldıkça basınç düşmektedir. Membranlı tip sırt pülverizatöründe ise çalışma sırasında makina üzerindeki basma kolu aşağı yukarı hareket ettirilerek membranın sıvıyı sıkıştırması ve basınç oluşturması sağlanır. Çalışmanın başından sonuna kadar basınç belli aralıkta uygulama yapılarak sabit kalması sağlanır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan (a) otomatik sırt pülverizatörü, (b) membranli tip sırt pülverizatörü, (c) çekilir tip tabancalı bağ-bahçe pülverizatörü

## 2.2 Analiz programı

Üç farklı pülverizatörle yapılan işleminde işçilerin çalışması ve durumu incelerken ErgoFellow 3.0 (Şekil 2) paket programının imaj analiz, REBA ve RULA modülleri kullanılmıştır.



Şekil 2. ErgoFellow 3.0 paket programı ara yüzü

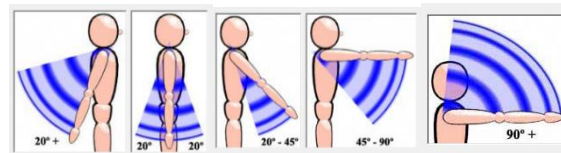
## 2.3 Metod

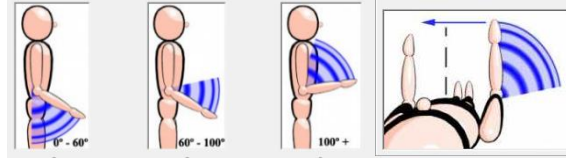
Herhangi bir cismin ağırlık merkezi, cismin her durumda dengesini sağladığı noktadır (Şekil 3). Ayakta duran bir kişinin ağırlık merkezi, göbeğin arkasında ve kalça kemiklerinin ortasındadır (Turgutlu, 2006). Sırtta taşımada, taşınan yüklerin ağırlığı arttıkça, öne eğilme ve dizlerde giderek artan bir gerilme oluşmakta ve bu durumda yük omuzdan bele doğru inmeye başladığında yükün vücut tarafından dengelenebilmesi için gövdenin öne eğilmesi de artmaktadır.



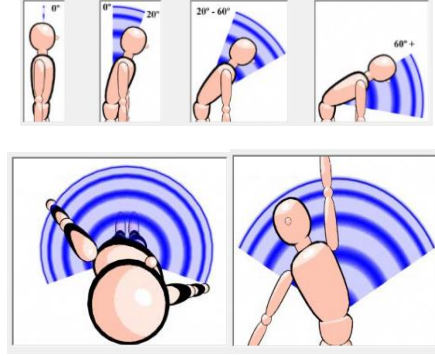
Şekil 3. İnsanın ağırlık merkezi (Turgutlu, 2006) ve sırtta taşınan yükün dengelenmesi

Yük taşıma sırasında taşınan yükün ağırlığına ve taşıma süresine bağlı olarak işçinin ağırlık merkezinde yer değiştirmeler olmaktadır. Bu yer değiştirmenin işçi üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek için RULA yöntemi kullanılarak üst ekstremitelerin (el ve omuz arasını kapsayan kısım) ergonomik açıdan yüklenmesi değerlendirilir (Şekil 4, Şekil 5). Çalışmada işçinin yüklenmesi sırasında boyun, gövde ve üst ekstremitelerin zorlanması biyomekanik ve postür açısından ilgili program kullanılarak incelenmiştir. İnceleme iki kısımdan oluşmuştur. “Ham veriler, kullanılan yöntemlere ait referans çizelgeler yardımıyla çapraz eşleştirme yapılarak ergonomik yüklenme düzeyinin risk skoru belirlenmiştir” (Aygün vd., 2018).



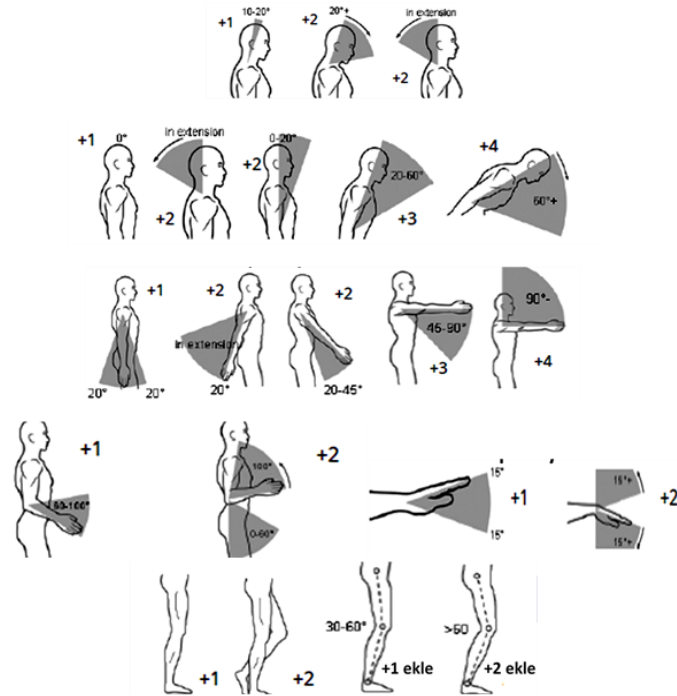


Şekil 4. RULA yönteminde kullanılan üst ve alt kola ait sınıflandırmalar



Şekil 5. RULA yönteminde kullanılan gövdenin duruş pozisyonuna ait sınıflandırmalar

REBA yöntemi kullanılarak işçinin tüm vücudunun ergonomik yüklenmesi değerlendirilmiştir. Bu yöntem ile boyun, gövde ve üst ekstremiteleri ile birlikte uzuvlar ile çalışanın aktivite yoğunluğu değerlendirilmiştir. Kullanılan yöntemlerde ErgoFellow 3.0 Programı kullanılarak referans veriler yardımıyla elde edilen değerler çapraz eşleştirme yapılarak ergonomik yüklenme düzeyinin risk skoru belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. REBA yönteminde kullanılan kol, bilek, boyun ve gövdenin duruş pozisyonuna ait skor tanımlamaları

### 3. Bulgular

#### 3.1 Gözlemsel Bulgular

Araştırma sonucunda ilaçlama işlemi sırasında çalışanların sırtta taşınan pülverizatörün ağırlığına ve çalışma süresine bağlı olarak öne doğru eğilmenin artma eğiliminde olduğu gözlenmiştir (Şekil 7 a). Bahçe pülverizatörü kullanılarak yapılan ilaçlamada ise işçi sadece ilaçlama hortumunu taşıdığı için sırtta yük binmesi söz konusu olmamaktadır (Şekil 7 b).



Şekil 7. İlaçlama sırasında sırt pülverizatörü (a) ve bahçe pülverizatörü (b) ile uygulama

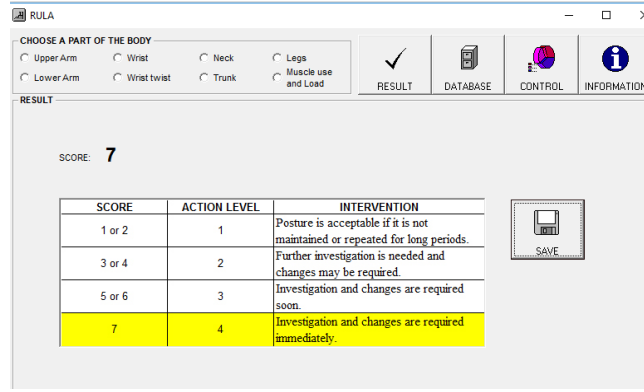
#### 3.2 Analiz Sonuçları

##### 3.2.1 Otomatik Sırt pülverizatörü ile çalışmada elde edilen sonuçlar

Otomatik sırt pülverizatörü ile çalışmada RULA ve REBA skorları Ergofellow 3.0 programı kullanılarak (Şekil 8.) sırasıyla en üst değer olan 7 ve 11 olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre işçi ergonomik açıdan çok riskli durumda ve çalışma pozisyonunu acilen değiştirmelidir (Tablo 1).

Tablo 1. Otomatik Sırt pülverizatörü ile çalışmada elde edilen sonuçlar

RULA Skoru	Aktivite Seviyesi	Açıklama	REBA Skoru	Açıklama
1 - 2	1	Çalışılan anda duruşun korunduğu aynı zamanda uzun periyotta çalışıldığında ise kabul edilebilir bir pozisyonudur.	1	Risk yok ya da ihmal edilebilir.
3-4	2	Bazı ilave gözlemler yapılmalı. Çalışma durumunda değişiklik gerekebilir.	2-3	Az riskli. Değişiklikler yapılabilir.
5-6	3	Kısa süre içerisinde çalışma durumunda değişiklik yapılmalı	4-7	Orta riskli. Daha fazla araştırma yapılmalıdır. Duruş kısa sürede değiştirilmelidir.
7	4	<b>Çalışma duruşu acilen değiştirilmeli</b>	8-10	Yüksek riskli. Değişiklik araştırılmalı ve uygulanmalıdır.
			<b>11 ve üzeri</b>	<b>Çok yüksek riskli. Acilen değişiklik uygulanmalıdır</b>



Şekil 8. Otomatik sırt pülverizatörü ile çalışmada ErgoFellow 3.0 programı RULA skoru hesaplama

### 3.2.2 Membranlı tip sırt pülverizatörü ile çalışmada elde edilen sonuçlar

Membranlı tip sırt pülverizatörü ile çalışmada ise otomatik sırt pülverizatörü ile aynı sonuçlar elde edilmiştir. RULA skoru 7 hesaplanırken REBA skoru 11 olarak hesaplanmıştır (Şekil 9). Bu değerlere göre işçi ergonomik açıdan çok riskli durumda ve çalışma pozisyonunu acilen değiştirmelidir (Tablo 2).

Tablo 2. Membranlı tip sırt pülverizatörü ile çalışmada elde edilen sonuçlar

RULA Skoru	Aktivite Seviyesi	Açıklama	REBA Skoru	Açıklama
1 - 2	1	Çalışılan anda duruşun korunduğu aynı zamanda uzun periyotta çalışıldığında ise kabul edilebilir bir pozisyonudur.	1	Risk yok ya da ihmal edilebilir.
3-4	2	Bazı ilave gözlemler yapılmalı. Çalışma durumunda değişiklik gerekebilir.	2-3	Az riskli. Değişiklikler yapılabilir.
5-6	3	Kısa süre içerisinde çalışma duruşunda değişiklik yapılmalı	4-7	Orta riskli. Daha fazla araştırma yapılmalıdır. Duruş kısa sürede değiştirilmelidir.
7	4	<b>Çalışma duruşu acilen değiştirilmeli</b>	8-10	Yüksek riskli. Değişiklik araştırılmalı ve uygulanmalıdır.
			<b>11 ve Üzeri</b>	<b>Çok yüksek riskli. Acilen değişiklik uygulanmalıdır</b>

REBA

CHOOSE AN OPTION BELOW

Neck, trunk and legs  Load  Upper arm, lower arm and wrist  Coupling  Activity

RESULT

SCORE: **11**

SCORE	RISK
1	Negligible risk
2 or 3	Low risk, change may be needed
4 to 7	Medium risk, further investigation, change soon
8 to 10	High risk, investigate and implement change
11 or more	Very high risk, implement change

RESULT SAVE DATABASE CONTROL INFORMATION

Şekil 9. Membranlı tip sırt pülverizatörü ile çalışmada ErgoFellow 3.0 programı REBA skoru hesaplama

### 3.2.3 Bahçe pülverizatörü ile çalışmada elde edilen sonuçlar

Bahçe pülverizatörü ile çalışma sırasında RULA ve REBA değerleri hesaplandığında sırası ile 4 ve 9 değerleri elde edilmiştir (Tablo 3). Bu değere göre çalışma pozisyonu ile ilgili iyileştirmeler yapılabilir, değişiklikler yapılmalı ve uygulanmalıdır.

Tablo 3. Bahçe pülverizatörü ile çalışmada elde edilen sonuçlar

RULA Skoru	Aktivite Seviyesi	Açıklama	REBA Skoru	Açıklama
1 - 2	1	Çalışılan anda duruşun korunduğu aynı zamanda uzun periyotta çalışıldığında ise kabul edilebilir bir pozisyonudur.	1	Risk yok ya da ihmal edilebilir.
3-4	2	<b>Bazı ilave gözlemler yapılmalı. Çalışma durumunda değişiklik gerekebilir.</b>	2-3	Az riskli. Değişiklikler yapılabilir.
5-6	3	Kısa süre içerisinde çalışma duruşunda değişiklik yapılmalı	4-7	Orta riskli. Daha fazla araştırma yapılmalıdır. Duruş kısa sürede değiştirilmelidir.
7	4	Çalışma duruşu acilen değiştirilmeli	<b>8-10</b>	<b>Yüksek riskli. Değişiklik araştırılmalı ve uygulanmalıdır.</b>
			11 ve Üzeri	Çok yüksek riskli. Acilen değişiklik uygulanmalıdır

### 4. Sonuç

RULA ve REBA yöntemi; çalışma pozisyonlarına bağlı üst ekstremité duruşlarının; çalışmanın statik veya dinamik yapısı ile yüklenme değerlerine bağlı olarak değerlendirilen gözleme dayalı bir yöntemdir. *Bu çalışmada, geleneksel* iki adet sırt pülverizatörü ve bahçe pülverizatörü ile çalışmada işçinin çalışma pozisyonu değerlendirilmiştir. Pülverizatörleri sırtta taşıma işi, çalışanların bedensel yükünü artırmaktadır. Sırtta taşımada elde edilen RULA ve REBA skorları dikkate alındığında uzun dönem çalışma şartlarında kas iskelet rahatsızlıklarına yol açabileceği öngörülmektedir.

Gerek yapılan gözlemler gerekse ölçümlerden elde edilen sonuçlar, tarımsal mücadele işinin kullanılan makinelerle ergonomik olmayan koşullarda gerçekleştiğini göstermektedir. Yapılan gözlemlerin yanı sıra RULA ve REBA skorları bahçe pülverizatörü ile çalışmanın işçinin vücut pozisyonu açısından diğer makinalara göre daha sağlıklı olduğunu ortaya koymuştur. Sırtta taşınan pülverizatörlerde makine deposuna konan sıvı miktarı toplam yüklerin ağırlığı artırmaktadır. Artan ağırlık çalışanın kendini denge konumuna alabilmesi için öne doğru eğilmesini zorlamaktadır. Bu durumda yük, dizlerde oluşan gerilimi zamana bağlı olarak artırmaktadır. Benzer şekilde, yük omuzdan bele doğru inmeye başladığında, gövdenin öne eğilmesi de artmaktadır. Özellikle ilaçlama sezonunda makinaların uzun

süre boyunca sırtta taşınması, işçiyi en çok zorlayan durum olarak belirlenmiştir. İşçilerin bu tür bedensel zorlanmasını en aza indirmek için belli aralıklarda çalışması, sırtta binen yükün azaltılması için deponun tam doldurulmaması vb. gibi çözümler uygulanabilir. Diğer bir çözüm ise sırtta taşınan makine bileşenlerinin yoğunluğu düşük malzemelerle ikamesini yapılması ve faydalı yük oranının artırılması şeklinde olabilir.

## 5. Referanslar

Anonim, (2021). Elle Yük Taşıma ve Kaldırma İşlerinde İş Güvenliği, Web sayfası: [http://www.pausem.com/\\_upload/dokuman/35\\_02.pdf](http://www.pausem.com/_upload/dokuman/35_02.pdf), Erişim tarihi: 02.08.2021.

Aygün, İ., Çakmak, B., & Alayunt, F. N. (2018). Narenciye Hasadının Ergonomik Açıdan İncelenmesi, Journal of Engineering Sciences and Design, DOI: 10.21923/jesd.358270.

Güler, Ç. (1997). Ergonomiye Giriş, T.C. Sağlık Bakanlığı Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi ,No:45.

London, T., London, F., & Grandjean E. (1972). Ergonomics of The Home, Zürich.

Turgutlu, Z. (2006). Vücut Mekanikleri, Web sayfası: [www20.uludag.edu.tr/~ztugutlu/index\\_dosyalar/vucut.ppt](http://www20.uludag.edu.tr/~ztugutlu/index_dosyalar/vucut.ppt), Erişim tarihi: 02.07.2013.



## Atış Performanslarının Ergonomik Test Analizleri ile Tahmini

### Prediction Of Shooting Performances with Ergonomic Test Analysis

Kemal Gürol Kurtay<sup>1</sup>, Yunus Gökmen<sup>1</sup>, Aygün Altundaş<sup>1</sup> Hakan Ayhan Dağistanlı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Milli Savunma Üniversitesi Kara Harp Okulu Dekanlığı Endüstri ve Sistem Mühendisliği Bölüm Başkanlığı, 06530 Ankara, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 01/10/2021

Kabul / Accepted: 30/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

#### Öz

Bu çalışmada, atıcıların başarılı atış yapmalarının sağlanması ve müsabakalardaki puanlarının artırılmasına yönelik iki farklı deneyden elde edilen sonuçların atış başarısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Amaç, atıcıların sahip olduğu özelliklere göre atışa olan elverişliliklerinin yapılan bu testler ile belirlenmesidir. İlk deney, Auto Scoring Mirror Tracer ekipmanı ile yapılmıştır. Bu deney tek el ile yapılan ve atıcının bir hedefi aynadaki yansımasından görerek çizmeye çalıştığı bir deneydir. İkinci deney, Two Arm Coordination Test ekipmanı ile düzenlenmiştir. Bu deneyde ise atıcı iki el ile koordineli bir şekilde hedefi direkt olarak görerek çizmeye çalışmıştır. Uygulanan bu iki deneydeki amaç testi en kısa sürede ve en az hata ile tamamlamaktır. Yapılan iki deney 55 farklı atıcıya uygulanmış ve deneyi tamamlama süreleri ile hata sayıları kayıt altına alınmıştır. Deneyi tamamlayan kişilere her deney sonrası farklı kategorilerde atış yaptırılmış ve yaptıkları atış kayıtları not edilmiştir. Bu çalışmada deneyleri en az hatayla ve en kısa sürede tamamlayan atıcıların, silahlarını hedeflerinde daha başarılı bir şekilde sabit tutacağı ve diğer atıcı rakiplerine göre daha başarılı atışlar yapacağı düşünülmüştür. Bu düşüncenin ortaya konması için deneylerden elde edilen sonuçlar ile atıcıların atış başarıları arasındaki ilişki lojistik regresyon analizi ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ergonomik test skorları ile atış başarılarının doğru tahminlenebileceğini göstermiştir. Ergonomi testlerinin atış performanslarını artırmak için antrenman amaçlı yararlanılabileceği ayrıca atıcı seçiminde de bir değerlendirme kriteri olarak kullanılabileceği önerilmektedir.

#### Anahtar Kelimeler

“Ergonomi, Atıcılık, Başarılı Atış Skoru, Lojistik Regresyon”

#### Abstract

In this study, the effects of the results obtained from two different experiments to ensure successful shooting of shooters and to increase their scores in competitions on shooting success were examined. The aim is to determine the shooting suitability of the shooters according to their characteristics with these tests. The first experiment was done with Auto Scoring Mirror Tracer equipment. This experiment is designed in a one-handed fashion where the shooter tries to draw a target by seeing its reflection in the mirror. The second experiment was set up with the Two Arm Coordination Test equipment. In this experiment, the shooter tried to draw the target directly by seeing it in coordination with both hands. The purpose of these two designed experiments is to complete the test as soon as possible and with the least error. The two designed experiments were applied to 55 different shooters and the completion times and completion errors were recorded. The people who completed the experiment were shot and their shooting records were noted. In this study, it was thought that the shooters who completed the experiments with the least error and in the shortest time would keep their guns more successfully on their targets and shoot more successfully than other shooters. In order to demonstrate this idea, the results obtained from the experiments and the shooting success of the shooters and the relationship between them were examined by logistic regression analysis. The results obtained showed that shooting successes could be predicted correctly with ergonomic test scores. It is suggested that ergonomics tests can be used for training purposes to increase shooting performances and can also be used as an evaluation criterion in the selection of shooters.

#### Key Words

“Ergonomics, Shooting, Successful Shooting Score, Logistic Regression”



## 1. Giriş

Atış, hedef olarak belirlenen noktaya bir merminin bir silahla fırlatılma eylemi olarak tanımlanabilir (Ball, Best and Wrigley 2003). Atıcılık sporu, yarışmacıların yatarak, ayakta veya diz çökerek; atış tekniklerini kullanıp belirlenen süre içinde sabit ya da hareketli hedefleri mümkün olduğunca merkezden vurması gereken bir spor dalıdır. Atıcıların atış pozisyonlarına göre kullandığı teknikler farklılık göstermektedir. Atıcıların, diz çökerek yaptıkları atışlarda pozisyonlarının belirlenmesinde sağ veya sol ellerini kullanmaları önemli bir etkidir. Sağ elini kullananlar sağ dizinin, sol elini kullananlar ise sol dizinin üzerine çökerek atış yapmaktadır. Sporunun kullandığı ilk teknik olan yatarak atışta, silahın herhangi bir obje ile temas halinde olmamasına dikkat edilmektedir. Başlıca 2 türü vardır. Bunlar, serbest silahlarla sabit hedefe atış ve av silahlarıyla hareketli hedefe atıştır.

Farklı araştırmacılarca atıcılık sporunun kökeni avcılık ile ilişkilendirilmektedir. Başlangıçta ok atma, mızrak fırlatma gibi silahlarla yapılan atıcılık bir spor olarak ilk defa 10. Yüzyılda İsviçre’de yapılmıştır (Kaya, 1999). 13. ve 14. yüzyıllarda Almanya’da atıcılık kulüpleri kurulmuş ve atıcılık faaliyetleri icra edilmiştir. Atıcılığın tam bir spor haline gelmesi ise silah sektöründeki gelişmeler ile birlikte 16. yüzyılda olmuştur. 1700’lü yıllarda Amerika’da yaygınlaşmaya başlayan atıcılık sporuna olan ilgi 1890’larda özel silahların geliştirilmesi ile artmıştır. Çok farklı silahlar ile yapılabilen bu spor dalı artan ilgi ile beraber ilk defa 1896 yılında Olimpiyat programına dâhil edilmiştir. Türkiye’de ise atıcılık, 1910 yılından sonra ilgi görmeye başlamış, spor kulüplerinin yeni yeni kurulması ve ordunun ilgi göstermesi sayesinde ilk atıcılarımız yetiştirilmeye başlanmıştır. 1937 yılında Atıcılık Federasyonu kurulmuş ve Türkiye’nin Dünya Şampiyonalarına ilk kez katılımı ise 1947 yılında olmuştur (Gilmore,1976).

Olimpiyatlarda da müsabakaların yapılmasıyla beraber daha profesyonel bir hal alan atıcılık sporunda, atıcıların seçiminde ve eğitiminde farklı metotlar uygulanarak atıcıların iyi atış yapmalarındaki faktörler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu faktörler belirlenirken, sporcuların fiziksel, psikolojik, biyolojik vb. birçok özelliği göz önüne alınarak farklı çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada, atıcıların başarılı atış yapmalarının sağlanması ve müsabakalardaki puanlarının artırılmasına yönelik iki farklı ergonomik deneyden elde edilen sonuçların atış başarısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu iki deney birbirinden yapılsı açısından farklı, amaç ve kapsam bakımından ise benzerlik göstermektedir. Deneylerin ikisi de zamana ve yapılan hata sayısına göre gözlemlenmiştir.

Çalışmanın amacı, atıcıların sahip olduğu özelliklere göre atışa olan elverişliliklerinin yapılan ergonomik testler ile belirlenmesi ve yeni atıcıların seçimi ile eğitiminde kullanılabilecek yeni bir yaklaşım ortaya koymaktır. Bu sayede, yeni atıcılar belirlenirken ergonomik testlerde gösterdikleri performansa göre değerlendirme yapılabilecektir. Hali hazırdaki sporcuların eğitimi için ise ergonomi testleri ile yapılan antrenmanlar sayesinde sporcuların atış müsabakalarında yaptıkları atıcılık sporu ile ilgili, çift eli koordine bir şekilde kullanabilme, titreme, kabza kavrama gibi hataların en aza indirgenmesi beklenmektedir.

## 2. Literatür Taraması

Yapılan literatür taramasında atıcılık ve nişancılık ile ilgili ergonomik çalışmalara yer verilmiştir.

Kayıhan ve arkadaşları tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada polislerin fiziksel ve fizyolojik parametreleri ile tabanca atış etkinlikleri arasındaki ilişki incelenmiştir. 237 erkek ile yapılan çalışmada 10 metre mesafeden tabanca atışı ve bu atışlardan aldıkları skorlar değerlendirilmiştir. Bu atışlardaki başarı durumlarına göre atıcıların bilek çevresi, biceps çevresi gibi fizyolojik özellikleri arasındaki ilişkilere bakılarak anlamlılıkları değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarının atıcılık becerilerinin önemli olduğu polis ve sporcuların seçimi ile atış eğitimlerinde yol gösterici olacağı değerlendirilmiştir (Kayıhan vd., 2013).

Morelli ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada geri tepme ölçümü ve silah tasarımının nişancılık performansına etkisi üzerine durulmuştur. Çalışmada iki amaç bulunmaktadır. Bunlardan ilki küçük silahların geri tepmesinin nasıl ölçüldüğü ve geri tepme etkisini en aza indirmek için tasarımlarda geliştirilebilecek noktalara değinmektir. İkinci amaç ise atışlar sonucunda ortaya çıkan performansın nasıl iyileştirileceğini araştırmaktır. Elde edilen bulgulara göre silah tasarımı ve performans iyileştirmeye yönelik önerilerde bulunulmuştur (Morelli vd., 2014).

Carbone ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada taktik polis memurlarının nişancılık becerilerine yük taşımanın etkisi, pilot bir çalışma ile ele alınmıştır. 6 taktik hareket polislerinin nişancılık performansları yüksüz ve yüklü olarak 6 metrelik mesafeye atış ile ölçülmüştür. Çalışmadaki atış verileri incelendiğinde yakın mesafede tabanca atışının yük taşıma durumundan etkilenmediği, nişancıların başarısını azaltmadığı sonucuna varılmıştır (Carbone vd., 2014).

Erdoğan ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada 17 üniversite öğrencisi ile el kavrama kuvveti ile atış performansları arasında ilişki olup olmadığına dair bir inceleme yapılmıştır. Bu incelemeyi yapabilmek için el dinamometresi testi uygulanmıştır. Yapılan testler sonucunda kadın öğrencilerde el kuvveti ile atış puanı arasında dominant bir ilişki olduğu, erkek öğrencilerde ise çok zayıf ve anlamsız seviyede ilişki olduğu saptanmıştır (Erdoğan vd., 2016).

Landman, Nieuwenhuys ve Oudejans tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada kişilik özelliklerinin ve mesleki deneyimin polis memurlarının baskı altındaki atış performanslarına etkisi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Tümü erkek personelden oluşan bir tutuklama birimi ile çalışılmıştır. İlk aşamada personelin kişilik özellikleri ve deneyimleri belirlenmiş daha sonra ise düşük ve yüksek basınç ortamında, kaygı durumunda, hareket hızları ve bakış davranışları dikkate alınarak ölçümler yapılmıştır. Sonuç

olarak deneyimin, kaygı ve performansı çok güçlü şekilde etkilediği, heyecan ve özenetim kişilik özelliklerinin ise daha az oranda da olsa etkisinin olduğu görülmüştür (Landman, Nieuwenhuys ve Oudejans, 2016).

Landman, Nieuwenhuys ve Oudejans tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada karar ile ilgili eylemlerin polislerin baskı altında atış performansına etkisi üzerine inceleme yapılmıştır. Çalışmada yüksek baskının, kaygı durumu, atış davranışı ve atış performansı üzerindeki olumsuz etki durumu test edilmiştir. 42 memur üzerinden kalp atış hızı, atış süresi ve atış başarısı için tahminler ve kontroller gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak polislerin eylemlerine bakıldığında yüksek baskı altında yapılan atışların başarısı önemli ölçüde doğru tahmin edilmiştir (Landman, Nieuwenhuys ve Oudejans, 2016).

Sivrikaya, Aydın ve Dumangöz tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada 117 kişilik sporcu grubu ile çalışılmıştır. Çalışma ile çoklu zeka örnekleri; cinsiyet, yaş ve silah türüne göre karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizler neticesinde erkek ve kadın sporcular için Mantıksal, Matematiksel ve Kişilerarası Sosyal Zekâ arasındaki farklılıklar anlamlı olarak tespit edilirken cinsiyet faktörü göz ardı edilerek silah türüne göre yapılan incelemelerde İç Zeka ve Sözel Dilsel özellikler arasında anlamlı farklılık görülmüştür. Yaş kriterinde ise herhangi bir anlamlılık gözlenmemiştir (Sivrikaya, Aydın ve Dumangöz, 2017).

Tenan, LaFiandra ve Ortega tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada askerlerin yürüyüş mesafesi, sırt çantası yükleri ve kalp atış hızlarının nişancılık üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 12 erkek asker ormanlık arazide 12 kilometrelik mesafede yürüyüş gerçekleştirmiştir. Askerler yürüyüş öncesi, ortası ve sonrasında atış görevi gerçekleştirmiştir. Sonuçta sırt çantası yükü, kalp atış hızı ve yürüyüş mesafesi arasında üçlü bir etkileşim görülmüştür. Yürüyüş sonrası kalp atış hızları, hedefi vurma olasılığını olumsuz etkilemiştir. Sırt çantası yükü etkileri ise tutarsız olarak belirlenmiştir (Tenan, LaFiandra ve Ortega, 2017).

Thomas ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada özel silah ve taktik ekip üyelerinde, yük taşımının atış poligonunda taktik performansa etkisi üzerinde durulmuştur. 12 erkek yetişmiş personel, yüklü ve yüksüz olarak atış poligonunda simüle testler gerçekleştirmiş ve bu testleri tamamlama zamanları kayıt altına alınmıştır. Yüklü ve yüksüz yaptıkları atış performansları ile test tamamlama zamanları istatistiksel analize tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar ile yorgunluğun performans üzerindeki olumsuz etkisi gösterilmiştir (Thomas vd., 2018).

Aydın, Arıkan ve Revan tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada 25 kişilik sporcu grubu ile çalışılmıştır. Atıcılar ağırlık, uzunluk, vücut kütle indeksi, vücut yağ yüzdesi ve somatotip özelliklerine bakılarak test edilmiştir. Kadın ve erkekler atıcıların tümünde bu kriterlerin hepsine göre anlamlı farklılık tespit edilirken vücut tipleri arasında özellikler sınıflandırılmıştır (Aydın, Arıkan ve Revan, 2019).

Kocahan ve arkadaşları tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada 12 kişilik milli takım oyuncusu ile çalışılmıştır. Sporcuların bir yıllık süredeki resmi karşılaşmalarda ayak basış genişlikleri, vücut salınımları ve kas grupları kuvvetleri ile atış performansları arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak izometrik kas kuvvetinin performansta etkili olduğu, ayak açıklıkları ve vücut salınım hızı arasında anlamlı ilişki bulunduğu tespit edilmiştir. Anlamlı ve etkisi büyük kas grupları için çeşitli antrenman önerileri geliştirilmiştir (Kocahan vd., 2019).

Tınaz tarafından 2019 yılında yapılan yüksek lisans tez çalışmasında 10 kişilik tabanca atış sporcusu ile çalışılmıştır. Göz takip cihazı ve atış simülatörü ile testler yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda tecrübesiz atıcılar olumsuz vuruş geri bildirimlerinden psikolojik olarak daha yüksek oranda etkilenmiş, tecrübeli atıcılarda ise bu oran daha alt seviyede kalmıştır (Tınaz, 2019).

Diler tarafından 2019 yılında yapılan yüksek lisans tez çalışmasında 20 kişilik sporcu grubu ile çalışılmıştır. Sporcuların karşılaşma öncesi tükettikleri kafein oranının kalp hızı, tetik düşürme süresi ve atış skorları üzerine etkisine bakılmıştır. Farklı cinsiyet grupları ve kafein kullanımından sonra farklı sürelerin geçmesiyle değişkenlik gösteren anlamlılıklar çeşitli istatistiksel testler ile elde edilmiştir (Diler, 2019).

Batur tarafından 2019 yılında yapılan yüksek lisans tez çalışmasında serbest zaman algısının yaş, cinsiyet, eğitim, medeni hal, gelir düzeyi gibi değişkenlere göre incelenmesi ele alınmıştır. Her kritere göre serbest zaman algısı durumu rakamları tespit edilerek anlamlılık yorumları yapılmıştır (Batur, 2019).

Muirhead ve arkadaşları tarafından 2019 yılında yapılan çalışmada ABD merkezli bir kolluk kuvveti grubu için zindelik durumu ile nişancılık ilişkisi incelenmiştir. 34 kişilik polis memuru ekibi için dört farklı kondisyon ölçümü ile üç farklı atış senaryosu üzerine çalışılmıştır. Çalışmada mekik, kavrama kuvveti ve bacak antrenmanları ile atıcılık arasında anlamlı bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir (Muirhead vd., 2019).

Vural ve Okan tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada 196 sporcu ile çalışılmıştır. Kişisel bilgiler ve sporda bilinçlilik ölçeği yardımıyla istatistiksel testler kullanılarak incelemeler gerçekleştirilmiştir. Sporcuların, spor yapma geçmişinin farkındalıkta baskın bir durumda olduğu cinsiyetin ise çeşitli düzeylerde farkındalık oluşturduğu tespit edilmiştir (Vural ve Okan, 2021).

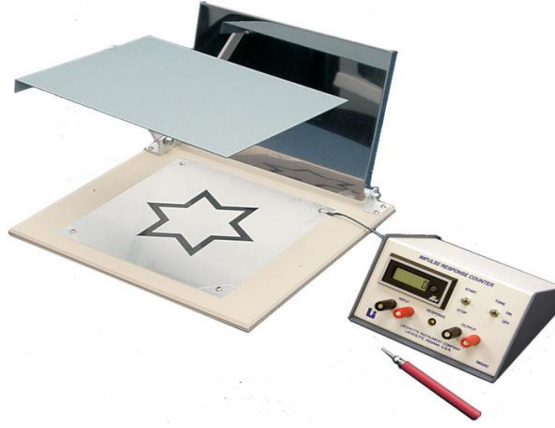
Brown ve arkadaşları tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada kavrama kuvvetleri ve atıcıların cinsiyetlerinin atıcılık performanslarına etkisi üzerine inceleme yapılmıştır. Etkili bir atış performansının büyük ölçüde kavrama gücüyle ilişkili olduğu düşüncesinden yola çıkılmıştır. Çalışmada 86 erkek ve 32 kadın atıcı için lbs cinsinden el kavrama kuvvetleri tabanca yeterlilik puanları ile ölçülmüştür. Bu puanların yeterli kavrama düzeyi seviyesi için standartları belirlenmeye çalışılmıştır. Atıcı cinsiyeti ile el kavrama kuvveti arasında anlamlı bir ilişki gözlemlenmiştir (Brown vd., 2021).

### 3. Deneysel Tasarım

Atıcıların sahip oldukları özelliklere göre atışa olan elverişliliklerini belirleyebilmek için iki farklı **ergonomik** deney yapılmıştır. Yapılan bu iki deneydeki amaç testi en kısa sürede ve en az hata sayısı ile tamamlamaktır. Tasarlanan iki deney 55 farklı atıcıya uygulanmış ve deneyi tamamlama süreleri ile tamamladıklarında yaptıkları hata sayıları kayıt altına alınmıştır. Her deney sonrası atıcılara Kategori 1 ve Kategori 2 olarak adlandırılan 2 farklı kategoride atış yaptırılmış ve yaptıkları atış kayıtları başarılı veya başarısız olma durumlarına göre not edilmiştir. Kategori 1, dürbünlü silahla 200 m mesafedeki hedefe yapılan atış iken Kategori 2, uzun namlulu silahla 50 m uzaktaki hedefe yapılan atıştır. Bu çalışmada deneyleri en az hata sayısı ve en kısa süre ile tamamlayan atıcıların, silahlarını hedeflerinde daha uzun süre sabit tutacağı ve diğer atıcı rakiplerine göre daha başarılı atışlar yapacağı düşünülmüştür. Bu düşüncenin ortaya konması için deneylerden elde edilen sonuçlar ile atıcıların atış başarıları karşılaştırılmış ve aralarında anlamlı bir ilişki olup olmadığı ikili değişkenler (0-1, başarılı-başarısız vb.) ile tahmin yapmaya elverişli olan yöntemlerden lojistik regresyon analizi ile araştırılmıştır.

#### 3.1. Auto Scoring Mirror Tracer Test

İlk deney, Auto Scoring Mirror Tracer ekipmanıyla yapılmıştır. Bu deney tek el ile yapılan ve atıcının bir hedefi aynadaki yansımından görerek çizmeye çalıştığı bir şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan test ekipmanı Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Auto Scoring Mirror Tracer Test Ekipmanı

Deneyi yapan kişi aynadan gördüğü yıldız şeklini, desenin dışına çıkmadan en kısa sürede tamamlamaya çalışır. Deseninin dışına her temas edişinde hata sayacı 1 artar. Deneyi yapan kişi başladığı noktaya geri döndüğünde test biter ve tamamlama zamanı ile hata sayısı kayıt altına alınır. Deneyin uygulama aşamaları Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Auto Scoring Mirror Tracer Test Uygulaması

Dürbünlü silahlarla uzaktaki hedeflere başarılı atış yapan atıcıların, bu testlerde en az hata ve en kısa zamanda başarılı olacakları düşünülmektedir. Çünkü yansıma testinde başarılı olan atıcılar, dürbünden atış yapacakları hareketli hedeflerin üzerinde daha uzun süre izleme ve takip yapabileceklerdir. Bu izlemenin sonucunda da başarılı atış oranları artacaktır.

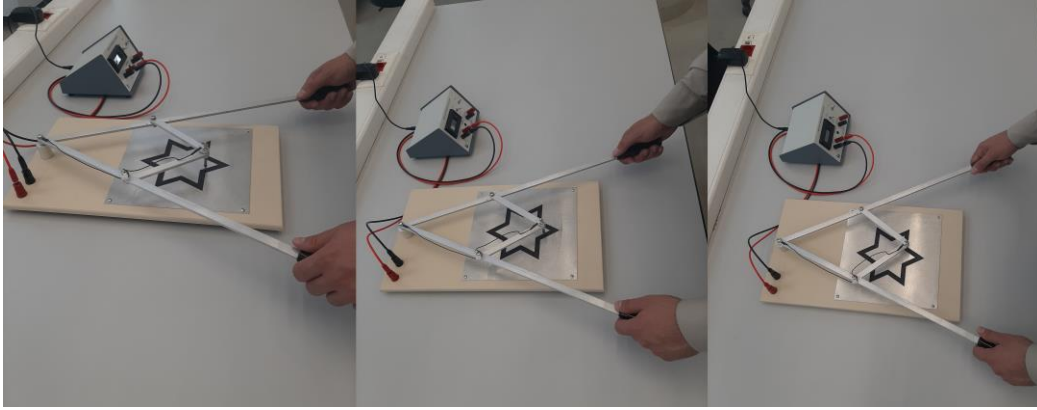
#### 3.2. Two Arm Condition Test

İkinci deney, Two Arm Coordination Test ekipmanıyla düzenlenmiştir. Bu deneyde ise atıcı iki el ile koordineli bir şekilde hedefi direkt olarak görerek çizmeye çalışmıştır. Kullanılan test ekipmanı Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Two Arm Condition Test Ekipmanı

Deneyi yapan kişi direkt olarak gördüğü yıldız şeklini iki elini koordineli bir şekilde kullanarak desenin dışına çıkmadan en kısa sürede tamamlamaya çalışır. Deseninin dışına her temas edişinde hata sayacı 1 artar. Deneyi yapan kişi başladığı noktaya geri döndüğünde test biter ve tamamlama zamanı ile hata sayısı kayıt altına alınır. Deneyin uygulama aşamaları Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Two Arm Condition Test Uygulaması

Tüfek gibi uzun namlulu silahlar ile hareketli hedeflere atış yapan atıcıların, bu testlerde en az hata sayısı ve en kısa sürede başarılı olacakları düşünülmektedir. Çünkü bu tür koordinasyon testlerinde başarılı olan atıcıların, iki elleriyle hâkimiyetini sağladıkları silahlarını hedeflerin üzerinde daha uzun süre titremeden tutabilecekleri değerlendirilmektedir.

### 3.3. Atış Testi

Deneylerin uygulandığı 55 kişiye farklı kategorideki iki atış türünde test yapılmıştır. Kategori 1, dürbünlü silahla 200 metre ilerideki hedefe yapılan atış, Kategori 2 ise uzun namlulu silahla 50 metre ilerideki hareketli hedefe yapılan atıştır. Yapılan farklı kategorilerdeki atışlar Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Atış Kategorileri

### 3.4. Lojistik Regresyon Analizi

Atıcıların deneyleri tamamlama süreleri ve hata sayıları ile atış başarıları ikili lojistik regresyon analizi ile incelenmiş ve aralarında anlamlı bir ilişki olup olmadığı araştırılmıştır.

Lojistik regresyon analizinde amaç, kategorik bağımlı değişkenin değerini tahmin etmek olduğundan, aslında burada yapılmaya çalışılan iki ya da daha fazla gruba ilişkin “üyelik” tahminidir. Buna göre analizin amaçlarından birinin sınıflandırma, diğerinin ise bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri araştırmak olduğu ifade edilebilir (Mertler ve Vannatta, 2013).

Basit ve çoklu doğrusal regresyon analizleri, veri setlerinde bağımlı ve bağımsız değişkenler ile hata terimleri varyansının normal dağılım göstermesi zorunluluğuna sahipken, lojistik regresyon analizi bu yöntemlerden farklı olarak bağımsız değişkenlerin dağılımına ilişkin karşılanması gereken herhangi bir zorunluluk içermez. Ayrıca bağımlı değişkenin ikili değer aldığı durumlarda da oldukça uygulanabilir (Tabachnick ve Fidell, 1996).

Lojistik regresyonun yansız ve sapmasız istatistikler ortaya koyması için yeterli sayıda örneklem gerekmektedir. Özellikle bağımlı değişkenin ikiden fazla kategorisinin olduğu durumlarda, geçerli bir hipotez testi için en az 50 kişilik bir grup büyüklüğüne ihtiyaç vardır (Çokluk, 2010). Bu çalışmada da 55 farklı atıcı üzerinde testler uygulanarak bu koşul sağlanmıştır.

#### 4. Sonuçlar

Auto Scoring Mirror Tracer (Deney 1) ve Two Arm Condition (Deney 2) testleri 55 farklı atıcıya uygulanmış ve Tablo 1'de gösterilen veriler elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Deney 1 ve 2 Verileri

Sıra No	Deney 1		Sıra No	Deney 1		Sıra No	Deney 2		Sıra No	Deney 2	
	Tamamlama zamanı (sn)	Hata Sayısı		Tamamlama zamanı (sn)	Hata Sayısı		Tamamlama zamanı (sn)	Hata Sayısı		Tamamlama zamanı (sn)	Hata Sayısı
1	50,10	5,00	30	59,20	5,00	1	61,12	6,00	30	83,13	7,00
2	47,18	8,00	31	48,33	5,00	2	70,05	8,00	31	65,58	5,00
3	52,16	7,00	32	60,03	7,00	3	121,40	14,00	32	130,12	10,00
4	57,28	6,00	33	109,50	10,00	4	45,26	4,00	33	96,12	14,00
5	47,35	9,00	34	60,25	3,00	5	74,47	8,00	34	85,23	11,00
6	32,03	1,00	35	52,15	5,00	6	52,12	5,00	35	153,21	19,00
7	49,47	4,00	36	48,35	2,00	7	30,18	1,00	36	75,63	8,00
8	42,59	5,00	37	52,59	3,00	8	79,10	7,00	37	35,60	2,00
9	58,23	6,00	38	105,70	12,00	9	42,43	3,00	38	63,35	5,00
10	48,49	7,00	39	68,25	8,00	10	73,80	7,00	39	103,20	10,00
11	70,22	11,00	40	52,10	2,00	11	62,18	4,00	40	99,36	8,00
12	65,23	9,00	41	49,80	1,00	12	90,27	6,00	41	54,36	5,00
13	61,00	2,00	42	38,75	4,00	13	93,38	5,00	42	59,54	5,00
14	58,41	5,00	43	63,21	5,00	14	87,30	11,00	43	77,32	7,00
15	120,00	18,00	44	46,58	5,00	15	47,26	13,00	44	88,25	8,00
16	62,17	4,00	45	60,03	5,00	16	82,43	10,00	45	44,56	3,00
17	82,06	7,00	46	108,54	11,00	17	149,16	17,00	46	87,39	5,00
18	50,07	5,00	47	44,56	5,00	18	78,51	9,00	47	51,27	4,00
19	48,45	4,00	48	55,21	3,00	19	38,10	3,00	48	64,15	5,00
20	35,30	,00	49	48,30	2,00	20	63,35	7,00	49	72,12	4,00
21	62,25	4,00	50	39,65	4,00	21	101,25	10,00	50	90,54	8,00
22	60,56	6,00	51	63,21	4,00	22	88,41	7,00	51	43,15	1,00
23	49,38	3,00	52	62,30	5,00	23	58,12	4,00	52	89,33	2,00
24	52,59	3,00	53	66,25	5,00	24	64,15	5,00	53	50,32	1,00
25	105,30	12,00	54	108,30	9,00	25	72,12	8,00	54	83,13	,00
26	66,07	7,00	55	44,56	4,00	26	90,54	9,00	55	65,58	1,00
27	53,50	2,00				27	43,15	2,00			
28	52,20	1,00				28	89,33	6,00			
29	37,45	4,00				29	50,32	4,00			

Uygulanan her deney sonrası atıcılara deneyin başarı ölçütü olacağı düşünülen kategorilerde atış yaptırılmış ve Tablo 2'deki atış kayıtları elde edilmiştir.

**Tablo 2.** Atış Kayıtları

Sıra No	Kategori 1	Sıra No	Kategori 1	Sıra No	Kategori 2	Sıra No	Kategori 2
1	Başarılı	30	Başarısız	1	Başarılı	30	Başarılı
2	Başarısız	31	Başarılı	2	Başarısız	31	Başarılı
3	Başarılı	32	Başarılı	3	Başarısız	32	Başarısız
4	Başarılı	33	Başarısız	4	Başarılı	33	Başarısız
5	Başarısız	34	Başarılı	5	Başarısız	34	Başarısız
6	Başarılı	35	Başarılı	6	Başarılı	35	Başarısız
7	Başarılı	36	Başarılı	7	Başarılı	36	Başarısız

8	Başarılı	37	Başarılı	8	Başarısız	37	Başarılı
9	Başarılı	38	Başarısız	9	Başarılı	38	Başarılı
10	Başarılı	39	Başarısız	10	Başarısız	39	Başarısız
11	Başarısız	40	Başarılı	11	Başarılı	40	Başarılı
12	Başarısız	41	Başarılı	12	Başarısız	41	Başarılı
13	Başarılı	42	Başarılı	13	Başarısız	42	Başarılı
14	Başarılı	43	Başarısız	14	Başarısız	43	Başarısız
15	Başarısız	44	Başarılı	15	Başarısız	44	Başarısız
16	Başarılı	45	Başarılı	16	Başarısız	45	Başarılı
17	Başarısız	46	Başarısız	17	Başarısız	46	Başarısız
18	Başarılı	47	Başarılı	18	Başarısız	47	Başarılı
19	Başarılı	48	Başarılı	19	Başarılı	48	Başarılı
20	Başarılı	49	Başarılı	20	Başarılı	49	Başarısız
21	Başarılı	50	Başarılı	21	Başarısız	50	Başarısız
22	Başarılı	51	Başarısız	22	Başarılı	51	Başarılı
23	Başarılı	52	Başarılı	23	Başarılı	52	Başarılı
24	Başarılı	53	Başarılı	24	Başarılı	53	Başarılı
25	Başarısız	54	Başarısız	25	Başarısız	54	Başarılı
26	Başarısız	55	Başarılı	26	Başarısız	55	Başarılı
27	Başarılı			27	Başarılı		
28	Başarılı			28	Başarısız		
29	Başarılı			29	Başarılı		

Elde edilen verileri anlamlandırmak için İkili Lojistik Regresyon Analizi yapılmıştır. Lojistik regresyon analizinde bağımlı değişken atış başarısı, bağımsız değişkenler ise deneyi tamamlama zamanı ve hata sayısı olarak tanımlanmıştır. Böylece elde edilecek modelde hata sayısı ve tamamlama zamanının kullanılmasıyla atış başarısı tahmin edilebilecektir. Tanımlanan bu değişkenler ve değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

**Tablo 3.** Lojistik Regresyon Analizi Tanımlanan Değişkenler

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken
$y_i = 0$ Başarısız	$x_1 =$ Tamamlama zamanı
$y_i = 1$ Başarılı	$x_2 =$ Hata Sayısı

#### 4.1. Auto Scoring Mirror Tracer Testi Analizi

SPSS paket programı kullanılarak, ele alınan bağımsız değişkenler yardımıyla atış başarısı bağımlı değişkenini etkileyen değişkenleri belirlemek için İkili Lojistik Regresyon Modeli kurulmuştur. Öncelikle ileri doğru değişken seçme yöntemi ile etkili faktörler bulunarak lojistik regresyon denklemi elde edilmiş, sonra Omnibus testi ile bu denklemin genel anlamlılığı incelenmiş ve son olarak Hosmer and Lemeshow ile Cox&Snell and Nagelkerke testleri ile verilerin modele uygunluğu ve denklemin varyans açıklama gücü araştırılmıştır. İleri doğru değişken seçme tekniğiyle, lojistik regresyon analizi sonucu elde edilen en büyük olasılırlık katsayı kestirimleri Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** İleri Doğru Değişken Seçme Yöntemi Analiz Sonuçları

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I.for EXP(B)	
							Lower	Upper
hata	-2,881	1,333	4,671	1	,031	,056	,004	,765
sure	-,394	,202	3,786	1	,052	,675	,454	1,003
hata by sure	,030	,017	3,217	1	,073	1,031	,997	1,065
Constant	30,572	13,79	4,913	1	,027	0,125		

Tablo 4'teki significant değerlerine baktığımızda atış başarısındaki etkili faktörün sadece hata sayısı olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Çünkü significant değeri anlamlıdır ( $p < 0,05$ ). Tamamlama zamanı ve Hata sayısı \* tamamlama zamanı etkileşimi değişkenleri ise anlamsız çıkmıştır. Dolayısıyla sınıflandırma için kullanılacak denklem Eşitlik 1'deki gibi oluşturulmuştur.

$$\hat{y} = 30,572 - 2,881x_{1i} - 0,394x_{2i} + 0,03x_{12i} \quad (1)$$

Oluşturulan denklem 55 örneklem için test edildiğinde Tablo 5'de verilen sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Ayrıntılı analiz verileri EK-A'da sunulmuştur.

**Tablo 5.** İleriye Doğru Değişken Seçme Tekniğine Göre Sınıflandırma Sonuçları

Gözlenen	Tahmin Edilen		Doğruluk Yüzdesi
	Başarısız	Başarılı	
Sonuç	Başarısız	10	62,5
	Başarılı	8	79,4

Kurulan model, 16 başarısız atışın 10'unu başarısız 6'sını ise başarılı olarak tahmin ederken, 39 başarılı atışın 31'ini başarılı 8'ini ise başarısız olarak tahmin etmiştir. Buna göre modelin başarısızları doğru tahmin etme oranının %62,5, başarılıları doğru tahmin etme oranının ise %79,4 olduğu tespit edilmiştir. Denklemin doğru sınıflandırma oranı ise %74,54'dür. Bu durum modelin ele alınan atıcıların %74,54'ünün atış başarı durumunu doğru olarak tahmin ettiğini göstermektedir. Sonuç olarak, modelin atış başarısını tahmin etme gücünün iyi olduğu söylenebilir.

Modelin genel olarak anlamlılığını incelemek için Omnibus testi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 6'da sunulmuştur.

**Tablo 6.** Model Katsayılarının Omnibus Test Sonuçları

	Chi-square	df	Sig.
Step	44,558	3	,000
Block	44,558	3	,000
Model	44,558	3	,000

Significant değerlerine bakıldığında modelin genel anlamlılığının, yani uyum iyiliğinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ( $p < 0,01$ ).

Modelin verilere uygunluğunu araştırmak için Hosmer and Lemeshow testi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 7.** Hosmer and Lemeshow Test Sonuçları

Step	Chi-square	df	Sig.
1	1,381	7	,986

Hosmer ve Lemeshow testinin sonuçlarında Significant değerlerine bakıldığında tahmin edilen lojistik regresyon modelinin verilere uygun olduğu ( $p = 0,986$ ) görülmüştür.

Modelin varyansı açıklama gücünü ortaya koymak amacıyla Cox&Snell ve Nagelkerke testi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 8'de verilmiştir.

**Tablo 8.** Cox & Snell ve Nagelkerke Test Sonuçları

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	21,768 <sup>a</sup>	,255	,396

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde atış başarısındaki toplam varyansın %39,6'sının, ele alınan bağımsız değişkenler tarafından açıklandığı tespit edilmiştir.

#### 4.2. Two Arm Condition Testi Analizi

SPSS paket programı kullanılarak, ele alınan bağımsız değişkenler yardımıyla atış başarısı bağımlı değişkenini etkileyen değişkenleri belirlemek için İkili Lojistik Regresyon Modeli kurulmuştur. Öncelikle ileri doğru değişken seçme yöntemi ile etkili faktörler bulunarak lojistik regresyon denklemi elde edilmiş, sonra Omnibus testi ile bu denklemin genel anlamlılığı incelenmiş ve son olarak Hosmer and Lemeshow ile Cox&Snell and Nagelkerke testleri ile verilerin modele uygunluğu ve denklemin varyans açıklama gücü araştırılmıştır. İleri doğru değişken seçme tekniğiyle, lojistik regresyon analizi sonucu elde edilen en büyük olabilirlik katsayı kestirimleri Tablo 9'da verilmiştir.

**Tablo 9.** İleri Doğru Değişken Seçme Yöntemi Analiz Sonuçları

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I.for EXP(B)	
							Lower	Upper
hata	-1,776	,717	6,143	1	,013	,169	,042	,690
sure	-,163	,068	5,788	1	,016	,850	,744	,970
hata by sure	,013	,007	3,769	1	,042	1,013	1,00	1,027
Constant	17,048	5,952	8,204	1	,004	0,625		

Tablo 9'daki significant değerleri incelendiğinde atış başarısındaki etkili faktörlerin; süre, hata sayısı ve hata sayısı \* sure etkileşimi olduğu belirlenmiştir. Çünkü significant değerleri anlamlıdır ( $p < 0,05$ ). Dolayısıyla sınıflandırmada kullanılacak denklem Eşitlik 2'deki gibi oluşturulmuştur.

$$\hat{y} = 17,048 - 1,776x_{1i} - 0,163x_{2i} + 0,013x_{12i} \quad (2)$$

Oluşturulan denklem 55 örneklem için test edildiğinde Tablo 10'da verilen sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Ayrıntılı analiz verileri EK-B'de sunulmuştur.

**Tablo 10.** İleri Doğru Değişken Seçme Tekniğine Göre Sınıflandırma Sonuçları

Gözlenen	Sonuç	Tahmin Edilen		
		Başarısız	Başarılı	Doğruluk Yüzdesi
Sonuç	Başarısız	26	1	96,3
	Başarılı	3	25	89,3
Ortalama Yüzdesi				92,7

Kurulan model, 27 başarısız atışın 26'sını başarısız 1'ini ise başarılı olarak tahmin ederken, 28 başarılı atışın 25'ini başarılı 3'ünü ise başarısız olarak tahmin etmiştir. Buna göre modelin başarısızları doğru tahmin etme oranının %96,3, başarılıları doğru tahmin etme oranının ise %89,3 olduğu tespit edilmiştir. Denklem doğru sınıflandırma oranı ise %92,7'dir. Bu durum modelin ele alınan atıcıların %92,7'sinin atış başarı durumunu doğru olarak tahmin ettiğini göstermektedir. Sınıflandırma oranına baktığımızda modelin atış başarısını tahmin etme gücünün oldukça yüksek olduğu değerlendirilmektedir.

Modelin genel olarak anlamlılığını incelemek için Omnibus testi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 11'de sunulmuştur.

**Tablo 11.** Model Katsayılarının Omnibus Test Sonuçları

	Chi-square	df	Sig.
Step	47,512	3	,000
Block	47,512	3	,000
Model	47,512	3	,000

Tüm değişkenler modele ilave edildikten sonra, model uyum iyiliğini tespit etmek için significant değerlerine baktığımızda modelin genel anlamlılığının, yani uyum iyiliğinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir ( $p < 0,01$ ).

Modelin verilere uygunluğunu araştırmak için Hosmer and Lemeshow testi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 12'de verilmiştir.

**Tablo 12.** Hosmer and Lemeshow Test Sonuçları

Step	Chi-square	df	Sig.
1	4,889	7	,674

Hosmer ve Lemeshow testinin sonuçlarında Significant değerlerine bakıldığında tahmin edilen lojistik regresyon modelinin verilere uygun olduğu ( $p=0.674$ ) görülmüştür.

Modelin varyansı açıklama gücünü ortaya koymak amacıyla Cox&Snell ve Nagelkerke testi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 13'te verilmiştir.

**Tablo 13.** Cox & Snell ve Nagelkerke Test Sonuçları

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	28,716 <sup>a</sup>	,578	,771

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde atış başarısındaki toplam varyansın %77,1'inin, ele alınan bağımsız değişkenler tarafından açıklandığı tespit edilmiştir.

## 5. Tartışma

Bu çalışmada, atıcılık sporuna ilgi duyan bireylerin eğitimi ve hali hazırda bu spor ile uğraşanların yarışma, müsabaka gibi faaliyetler için seçiminde yardımcı olması amacıyla yeni bir metot önerilmiştir. Bu eğitim ve seçim faaliyetleri için dürbünlü silah atışları ile tüfek gibi uzun namlulu silah atışları örnek olay olarak düşünülmüştür. Yapıları gereği bu olaylardaki başarıyı doğru tahmin edeceği öngörülen Auto Scoring Mirror Tracer ve Two Arm Condition testleri örneklem grubunda bulunan 55 sporcu ile yapılmıştır. Yapılan her test sonrası sporcuların hata sayıları ve testleri tamamlama süreleri kayıt altına alınmıştır. Atış başarıları ile kayıt altına alınan bu verilerin arasında anlamlı bir fark olup olmadığı ikili lojistik regresyon analizi ile araştırılmıştır.

Yapılan analiz sonucunda Auto Scoring Mirror Tracer testindeki hata sayısının dürbünlü silahlar ile yapılan atışlardaki sporcu başarısını etkileyen en önemli faktör olduğu tespit edilmiştir. Kurulan lojistik regresyon modelinin atış başarısını tahmin etme oranı % 74,54 olarak bulunmuştur. Two Arm Condition testinde ise uzun namlulu silahlar ile yapılan atışlardaki sporcu başarılarının hata sayısına bağlı olduğu kadar testin tamamlanma süreleri ile de ilişkili olduğu görülmüştür. Bu test için kurulan lojistik regresyon modelinin atış başarısını tahmin etme oranı ise %92,72 olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda her iki test için kurulan modellerin farklı kategorilerdeki atış başarısını ölçme gücünün yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Dolayısıyla bu iki testin yeni sporcuların seçimi ve mevcut sporcuların eğitimi için uygulanabileceği değerlendirilmektedir.

Profesyonel anlamda bir spor dalı olan atıcılıkta başarı, çeşitli mesafelere ve çeşitli pozisyonlarda yapılan atışlar ile ölçülmektedir. Atıcılıkta hedefe odaklanma, temel vücut duruşu, el-kol ve omuz duruşları ile silahı tutarken ellerin koordinasyonu, silahı fazla baskı uygulayarak tutma veya gevşek olarak tutma gibi insan ergonomisi üzerinde etkili çeşitli ergonomik temel konularda hatalar yapılabilmektedir. El, kol ve omuz duruşları ile ellerin kullanımı ve koordinasyonu konuları ergonomi biliminin içerisinde var olan



antropometrinin önemli bir ilgi alanına girmektedir. Çalışmada Auto Scoring Mirror Tracer ve Two Arm Condition ergonomi testlerinin atış başarısını doğru tahmin etmede ve ölçmede iyi sonuçlar verdiği ispatlanmış olan ergonomi testlerinin bu temel hataların giderilebilmesi amacıyla kullanılabilirliği düşünülmektedir. Her iki ergonomik testte de sporcuların el ve kol ile hareket sınırları, titremeden hedef üzerinde sabit durabilme kabiliyeti ve iki elin birlikte koordinasyonu bu testler ile yapacağı antrenmanlar sayesinde geliştirilebilecektir. Bu testler sayesinde atıcı seçimi ve buna paralel müsabakalardaki başarı performanslarında artış sağlanabilecektir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda literatürdeki örneklerden de yola çıkılarak atıcıların fizyolojik, psikolojik ve biyolojik faktörleri de göz önünde bulundurarak modelde yer alan bağımsız değişkenlerin sayısı artırılıp modelin kapsamı genişletilerek, testler için hata sayısı ve tamamlanma zamanı standartları belirlenerek sporcuların baskı altında gerçekleştireceği atış başarılarının incelenebileceği ve bu testlerin tabanca atışı gibi atıcılık sporunun farklı branşları için atış başarısını tahmin etme yeteneğinin araştırılabilirliği değerlendirilmektedir.

## EKLER

### EK A.

No	hata	sure	tesonuc	Predicted probability	Predicted group
1	5,00	50,10	başarılı	,98174	başarılı
2	8,00	47,18	başarısız	,57638	başarılı
3	7,00	52,16	başarılı	,70242	başarılı
4	6,00	57,28	başarılı	,74657	başarılı
5	9,00	47,35	başarısız	,23592	başarısız
6	1,00	32,03	başarılı	1,00000	başarılı
7	4,00	49,47	başarılı	,99605	başarılı
8	5,00	42,59	başarılı	,99701	başarılı
9	6,00	58,23	başarılı	,70640	başarılı
10	7,00	48,49	başarılı	,82207	başarılı
11	11,00	70,22	başarısız	,00398	başarısız
12	9,00	65,23	başarısız	,03319	başarısız
13	2,00	61,00	başarılı	,98873	başarılı
14	5,00	58,41	başarılı	,87698	başarılı
15	18,00	120,00	başarısız	,02794	başarısız
16	4,00	62,17	başarılı	,88708	başarılı
17	7,00	82,06	başarısız	,00983	başarısız
18	5,00	50,07	başarılı	,98187	başarılı
19	4,00	48,45	başarılı	,99701	başarılı
20	,00	35,30	başarılı	1,00000	başarılı

21	4,00	62,25	başarılı	,88488	başarılı
22	6,00	60,56	başarılı	,59424	başarılı
23	3,00	49,38	başarılı	,99904	başarılı
24	3,00	52,59	başarılı	,99747	başarılı
25	12,00	105,30	başarısız	,00059	başarısız
26	7,00	66,07	başarısız	,15622	başarısız
27	2,00	53,50	başarılı	,99907	başarılı
28	1,00	52,20	başarılı	,99984	başarılı
29	4,00	37,45	başarılı	,99985	başarılı
30	5,00	59,20	başarısız	,85471	başarılı
31	5,00	48,33	başarılı	,98805	başarılı
32	7,00	60,03	başarılı	,35863	başarısız
33	10,00	109,50	başarısız	,00023	başarısız
34	3,00	60,25	başarılı	,97479	başarılı
35	5,00	52,15	başarılı	,97029	başarılı
36	2,00	48,35	başarılı	,99983	başarılı
37	3,00	52,59	başarılı	,99747	başarılı
38	12,00	105,70	başarısız	,00058	başarısız
39	8,00	68,25	başarısız	,05146	başarısız
40	2,00	52,10	başarılı	,99941	başarılı
41	1,00	49,80	başarılı	,99993	başarılı
42	4,00	38,75	başarılı	,99979	başarılı
43	5,00	63,21	başarısız	,68934	başarılı
44	5,00	46,58	başarılı	,99216	başarılı
45	5,00	60,03	başarılı	,82781	başarılı
46	11,00	108,54	başarısız	,00036	başarısız
47	5,00	44,56	başarılı	,99519	başarılı
48	3,00	55,21	başarılı	,99442	başarılı
49	2,00	48,30	başarılı	,99983	başarılı
50	4,00	39,65	başarılı	,99973	başarılı
51	4,00	63,21	başarısız	,85534	başarılı
52	5,00	62,30	başarılı	,73464	başarılı
53	5,00	66,25	başarılı	,51446	başarılı
54	9,00	108,30	başarısız	,00017	başarısız
55	4,00	44,56	başarılı	,99897	başarılı

**EK B.**

No	hata	sure	sonuc	Predicted probability	Predicted group
1	6,00	61,12	başarılı	,77944	başarılı
2	8,00	70,05	başarısız	,23171	başarısız
3	14,00	121,40	başarısız	,00524	başarısız
4	4,00	45,26	başarılı	,99301	başarılı
5	8,00	74,47	başarısız	,18948	başarısız
6	5,00	52,12	başarılı	,95726	başarılı
7	1,00	30,18	başarılı	,99998	başarılı
8	7,00	79,10	başarısız	,27227	başarısız
9	3,00	42,43	başarılı	,99848	başarılı
10	7,00	73,80	başarısız	,35249	başarısız
11	4,00	62,18	başarılı	,95657	başarılı
12	6,00	90,27	başarısız	,23446	başarısız
13	5,00	93,38	başarısız	,29012	başarısız
14	11,00	87,30	başarısız	,01662	başarısız
15	13,00	47,26	başarısız	,00346	başarısız
16	10,00	82,43	başarısız	,03562	başarısız
17	17,00	149,16	başarısız	,01620	başarısız
18	9,00	78,51	başarısız	,08084	başarısız
19	3,00	38,10	başarılı	,99911	başarılı
20	7,00	63,35	başarılı	,53279	başarılı
21	10,00	101,25	başarısız	,02006	başarısız
22	7,00	88,41	başarılı	,16220	başarısız
23	4,00	58,12	başarılı	,97179	başarılı

24	5,00	64,15	başarılı	,87454	başarılı
25	8,00	72,12	başarısız	,21116	başarısız
26	9,00	90,54	başarısız	,04898	başarısız
27	2,00	43,15	başarılı	,99950	başarılı
28	6,00	89,33	başarısız	,24891	başarısız
29	4,00	50,32	başarılı	,98786	başarılı
30	7,00	83,13	başarılı	,21955	başarısız
31	5,00	65,58	başarılı	,85850	başarılı
32	10,00	130,12	başarısız	,00821	başarısız
33	14,00	96,12	başarısız	,00307	başarısız
34	11,00	85,23	başarısız	,01724	başarısız
35	19,00	153,21	başarısız	,03269	başarısız
36	8,00	75,63	başarısız	,17943	başarısız
37	2,00	35,60	başarılı	,99982	başarılı
38	5,00	63,35	başarılı	,88281	başarılı
39	10,00	103,20	başarısız	,01890	başarısız
40	8,00	99,36	başarılı	,05277	başarısız
41	5,00	54,36	başarılı	,94743	başarılı
42	5,00	59,54	başarılı	,91599	başarılı
43	7,00	77,32	başarısız	,29793	başarısız
44	8,00	88,25	başarısız	,09557	başarısız
45	3,00	44,56	başarılı	,99802	başarılı
46	5,00	87,39	başarısız	,42225	başarısız
47	4,00	51,27	başarılı	,98654	başarılı
48	5,00	64,15	başarılı	,87454	başarılı
49	4,00	72,12	başarısız	,88048	başarılı
50	8,00	90,54	başarısız	,08476	başarısız
51	1,00	43,15	başarılı	,99985	başarılı
52	2,00	89,33	başarılı	,78686	başarılı
53	1,00	50,32	başarılı	,99957	başarılı
54	,00	83,13	başarılı	,97126	başarılı
55	1,00	65,58	başarılı	,99577	başarılı

## Kaynaklar

- Aydın, A. S., Arıkan, Ş., & Revan, S. (2019). Havalı Tabanca Atıcılarının Somatotip Özelliklerinin İncelenmesi. *Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 4(2), 222-228.
- Ball, K., Best, R., & Wrigley, T. (2003). Body sway, aim point fluctuation and performance in rifle shooters: inter-and intra-individual analysis. *Journal of sports sciences*, 21(7), 559-566.
- Batur, A. (2019). "Türkiye’de atıcılık branşı ile ilgilenen sporcuların serbest zaman algısı ve engelleri", Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Batman.
- Brown, A., Baldwin, S., Blaskovits, B., & Bennell, C. (2021). Examining the impact of grip strength and officer gender on shooting performance. *Applied Ergonomics*, 97, 103536.
- Carbone, P. D., Carlton, S. D., Stierli, M., & Orr, R. M. (2014). The impact of load carriage on the marksmanship of the tactical police officer: a pilot study. *J. Aust. Strength Cond*, 22(2), 50-57.
- Çokluk, Ö. (2010). Lojistik Regresyon Analizi: Kavram ve Uygulama. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 10(3).
- Diler, K. (2019). "Havalı Tabanca Sporcularında Müsabaka Öncesi Tüketilen Kafeinin Kalp Atım Hızı, Tetik Düşürme Zamanı ve Atış Skoru Üzerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Erdoğan, M., Sağıroğlu, İ., Şenduran, F., Ada, M. & Ateş, O. (2016). Elit Atıcıların El Kavrama Kuvveti ile Atış Performansları Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *İstanbul Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, 6(3), 22-30.

- Gilmore, R. (1976). " The New Courage": Rifles and Soldier Individualism, 1876-1918. *The Journal of Military History*, 40(3), 97.
- Kaya, M. (1999). *Silah Ve Atış, Güvenlik Serisi-1*, Ankara, 12-14.
- Kayihan, G., Ersöz, G., Özkan, A., & Koz, M. (2013). Relationship between efficiency of pistol shooting and selected physical-physiological parameters of police. *Policing: an international journal of police strategies & management*.
- Kocahan, T., Akınoğlu, B., Genç, A., Kabak, B., Deliceoğlu, O. G., & Hasanoğlu, O. A. (2019). Tabanca Atıcılık Sporcularında Ayak Basış Genişliği, Postural Salınım, Üst Ekstremité İzometrik Kas Kuvveti ve Atış Performansı Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Türkiye Klinikleri Spor Bilimleri*, 11(1).
- Landman, A., Nieuwenhuys, A., & Oudejans, R. R. (2016). The impact of personality traits and professional experience on police officers' shooting performance under pressure. *Ergonomics*, 59(7), 950-961.
- Landman, A., Nieuwenhuys, A., & Oudejans, R. R. (2016). Decision-related action orientation predicts police officers' shooting performance under pressure. *Anxiety, Stress, & Coping*, 29(5), 570-579.
- Morelli, F., Neugebauer, J. M., LaFiandra, M. E., Burcham, P., & Gordon, C. T. (2014). Recoil measurement, mitigation techniques, and effects on small arms weapon design and marksmanship performance. *IEEE Transactions on human-machine systems*, 44(3), 422-428.
- Muirhead, H., Orr, R., Schram, B., Kornhauser, C., Holmes, R., & Dawes, J. J. (2019). The relationship between fitness and marksmanship in Police Officers. *Safety*, 5(3), 54.
- Sivrikaya, K., & Aydın, S. (2017). Elit atıcıların çoklu zekâ özelliklerinin cinsiyet, kullandıkları silah türü ve yaş faktörlerine göre karşılaştırılması. *İstanbul Aydın Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 3(2), 79-94.
- Tenan, M. S., LaFiandra, M. E., & Ortega, S. V. (2017). The effect of soldier marching, rucksack load, and heart rate on marksmanship. *Human factors*, 59(2), 259-267.
- Tınaz, H. (2019). " Havalı Tabanca atıcılıkta Verilen vuruş Geribildiriminin göz Hareketleri Ve Performans üzerindeki Etkisi " Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Thomas, M., Pohl, M. B., Shapiro, R., Keeler, J., & Abel, M. G. (2018). Effect of load carriage on tactical performance in special weapons and tactics operators. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(2), 554-564.
- Vannatta, R. A., & Mertler, C. (2013). *Advanced and multivariate statistical methods: Practical application and interpretation*. Pyczak Publishing, Los Angeles.
- Vural, C., & Okan, İ. (2021). Sporda Bilinçli Farkındalık: Atıcılık Spor Branşları Üzerine Bir Araştırma. *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*, 4(2), 265-273.



## Sürdürülebilir Üretim Çizelgeleme Problemlerinde İnsan Faktörü

### The Human Factor in Sustainable Production Scheduling Problems

Muhammed Zahid Koç<sup>1</sup> , Çağrı Sel<sup>1</sup> , Fatih Keskinkılıç<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Demir Çelik Kampüsü 78050 Karabük, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO Müdürlüğü, 40100 Kırşehir, TÜRKİYE

**Başyuru/Received:** 01/10/2021

**Kabul/Accepted:** 30/12/2021

**Çevrimiçi Basım/Published Online:** 31/12/2021

**Son Versiyon/Final Version:** 31/12/2021

#### Öz

Küresel ısınma, kuraklık ve iklim krizi gibi günlük hayatımızda daha sık duymaya başladığımız sorunların başlıca sebeplerinden biri üretim süreçleridir. Üretim sektörü enerji kaynaklarının çoğunu tüketmektedir, bununla birlikte yüksek miktarda CO<sup>2</sup> salınımı ile çevreye zarar vermektedir. Üretim sektörü artan nüfus, kısıtlı hammadde ve kaynaklar sebebiyle rekabete dayalıdır. Üretimin çevreci ve sosyal sürdürülebilir hedeflere odaklanması, bu hedefler ek maliyetler getiriyorsa zordur. Ancak planlama ve çizelgeleme gibi üretim yönetim süreçlerinde bu hedefler gözetilerek daha az emek ve maliyetle üretim planlandığında kaynaklardan ve enerjiden tasarruf edilerek eş zamanlı olarak sürdürülebilir verimlilik hedefine ulaşılmaktadır. Bir üretimi planlarken onu sürdürülebilir kılmanın hızlı ve etkin yollarından biri de üretim çizelgesini yeniden tasarlamaktır. Sürdürülebilir çizelgeleme problemlerinde, insan faktörü göz önüne alındığında bütün sosyal paydaşlar açısından sürdürülebilir bir üretim ortamı sağlanacaktır. Bu çalışmada üretimde sürdürülebilir makine çizelgeleme problemleri incelenerek bir literatür araştırması yapılmıştır. Sürdürülebilir üretim çizelgeleme problemlerinde insan faktörü üzerine yapılan araştırmalara yönelik artan ihtiyacı ortaya koyan bir mevcut durum analizi yapılmıştır ve potansiyel çalışma alanları tartışılmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

*Sürdürülebilir üretim yöntemleri, makine çizelgeleme, insan faktörü, sevk kuralları, sosyal sürdürülebilirlik*

#### Abstract

The manufacturing processes are one of the main causes of the problems that we encounter frequently in our daily lives, such as global warming, drought, and climate crisis. The manufacturing sector depletes the energy resources and harms the environment with high CO<sup>2</sup> emissions. The manufacturing sector is competitive due to the increasing population, the limited raw materials, and the resources. The manufacturing sector can focus on environmental and social sustainability goals under additional costs. In production management processes such as planning and scheduling, when production is planned with less labour and cost by considering the goal of sustainable efficiency is achieved simultaneously by saving resources and energy. One of the quick and efficient way to plan the sustainable production is to redesign the production scheduling. Considering the human factor in sustainable scheduling problems enable all stakeholders to have a sustainable production environment. In this study, literature research has conducted on sustainable production scheduling problems. The current literature is examined to reveal that considering the human factor is a need for sustainable production scheduling problems, and the potential future directions are discussed.

#### KeyWords

*Sustainable production methods, machine scheduling, human factor, dispatching rules, social sustainability*

## 1. Giriş

Sürdürülebilirlik günümüzün en çok ilgi duyulan konularındandır. Üretim sektörünün ciddi miktarlarda sera gazı salınımı, enerji ve hammadde tüketimi söz konusudur. Sürdürülebilir üretim yöntemleri artık üreticiler için kaçınılmaz birer zorunluk haline gelmiştir. Sürdürülebilir verimlilik hedefine modern üretim yönetimi yaklaşımları ile ulaşılmaktadır. Bir üretim tesisinde sürdürülebilirlik hedefini makine parkurunu yenileyerek, ürün üzerinde çalışarak veya üretim yönetimini yeniden tasarlayarak gerçekleştirebiliriz. Sürdürülebilir üretimi ürün ve makine seviyesinde gerçekleştirmek istediğimizde ciddi ilk yatırım maliyetleri ve zaman gerekmektedir. Ancak üretim yönetimi açısından ele aldığımızda ek bir maliyet veya iş oluşturmada üretim sürdürülebilir kılmak mümkündür. (Peng vd., 2018). Geri dönüşüm, tekrar kullanım, çevresel zararları azaltma, sürdürülebilir üretim için yapılması gereken yatırımlar yerine etkin ve bu hedefleri gözetten bir çözümlenme yöntemi geliştirilebilir.

Çözümlenme problemleri uzun zamandır çokça çalışılmış olmasına rağmen gerçek dünyayı temsil eden, gerçek verilerle test edilen veya dinamik yapıları çalışmaları az sayıda olduğu bilinmektedir. Üretim ortamında birçok amacı aynı anda optimize etmek gerekmektedir. Ancak 1950'lerden beri çözümlenme problemleri tek amaçlı optimizasyon problemleri şeklinde çalışıla gelmiştir. Ayrıca üretim ortamının dinamik yapısı göz ardı edilerek çoğunlukla statik problemler çalışılmıştır. Literatürdeki çözümlenme problemlerinin matematiksel varsayımlara dayandığı ve birbirleriyle çelişen hedefleri göz ardı ederek yalnızca bir amacı (çoğunlukla atölye tamamlanma süresini) ele alarak çözüm yöntemleri geliştirildiği bilinmektedir. Bununla birlikte araştırmacılar, son zamanlarda tek taraflı ekonomik hedeflere odaklanmak yerine gelişen çevresel ve sosyal kaygıları da göz önüne alan konular (örneğin, enerji verimli ve sosyal adaleti sağlayan üretim sistemleri) üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu durum birbirleriyle çelişebilen iki veya daha fazla hedefi aynı anda değerlendirmeyi kaçınılmaz hale getirmiştir.

Sürdürülebilir üretim, olumsuz çevresel etkileri en aza indiren, enerji ve doğal kaynakları koruyan, çalışanlar, topluluklar ve tüketiciler için güvenli ve ekonomik olarak sağlam süreçleri kullanan üretilmiş ürünlerin oluşturulması şeklinde tanımlanmaktadır (<https://www.oecd.org/sti/41503582.pdf>). Sürdürülebilirlik gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneğinden ödün vermeden şimdiki nesillerin ihtiyaçlarını karşılama şeklinde de ifade edilmektedir. Tablo 1'de sürdürülebilir üretimin tetikleyici unsurlarından bahsedilmektedir. Bu çalışma üretim çözümlenme problemlerinde sürdürülebilirlik hedeflerinin literatürde nasıl ele alındığını ortaya koyarak, özellikle insan faktörünün bundan sonraki çalışmalarda dikkate alınması ile, üretim ortamlarının sosyal sürdürülebilirliğinin artırılması hedeflenmektedir.

**Tablo 1.** Sürdürülebilir üretimin tetikleyici unsurları

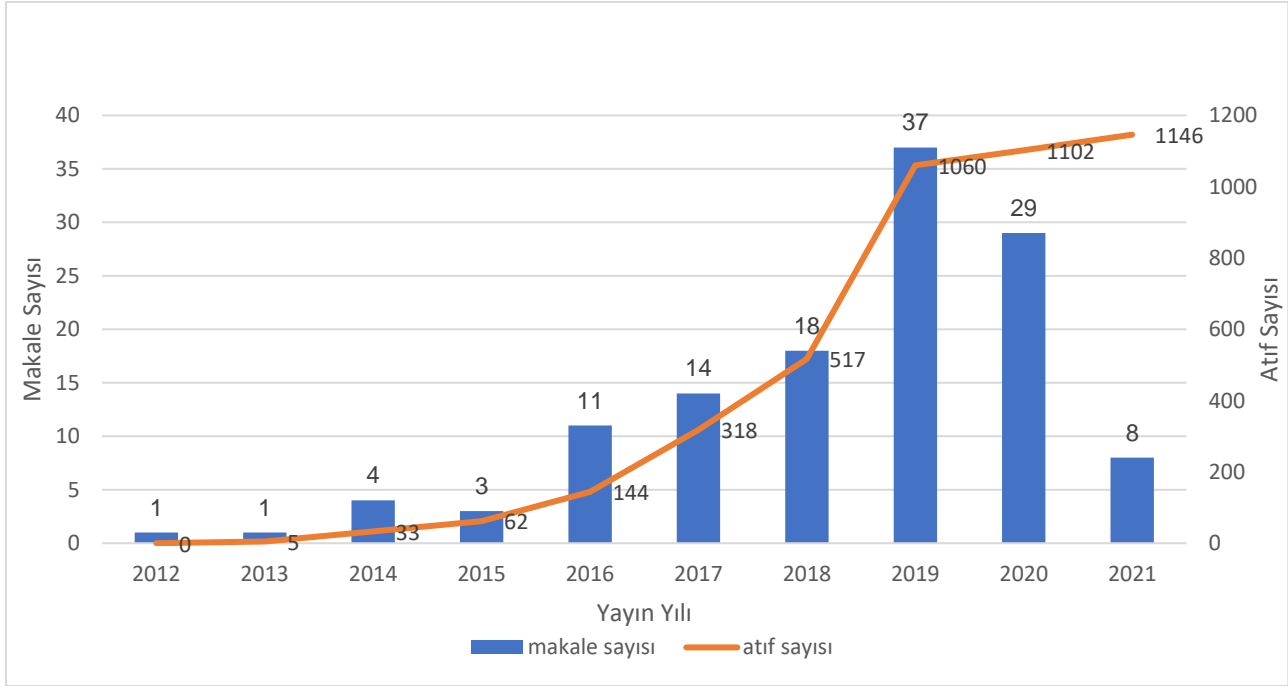
<b>Sürdürülebilir üretim neden gereklidir?</b>
Çevresel kaygılar
Yenilenemeyen kaynakların azalması
Daha katı mevzuat
Sürdürülebilir üretim teşvikleri, hibe destekleri
Yüksek enerji maliyetleri
Çevre dostu ürünler (üretim) için artan tüketici tercihi

Bu çalışmanın giriş bölümünü takip eden ikinci bölümde literatür taraması bölümüne yer verilmiştir. Literatür taramasında sürdürülebilir üretim göstergelerinin neler olduğu tanımlanmış ve literatürdeki sürdürülebilir üretim çözümlenme problemleri bu göstergeler açısından incelenmiştir. Üçüncü ve son bölümde literatür bilgilerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir ve potansiyel çalışma alanları tartışılmıştır.

## 2. Literatür Taraması

2010 yılından itibaren Web of Science veri tabanında, SCI-Expanded ve SSCI dergilerde yer alan makaleler incelenmiştir. Sürdürülebilirlik ile ilgili hedeflere vurgu yapmayan ve matematiksel programlama modeli yöntemini içermeyen makaleler araştırmaya dahil edilmemiştir. Seçilen makalelerden 126 makaleden yalnızca insan faktörünü dikkate alan 6 adet araştırmacının olduğu gözlenmiştir ve az sayıdaki bu araştırmalar ele aldığı sürdürülebilirlik göstergeleri açısından detaylandırılmıştır.

İlk olarak 2007 yılında Mouzon vd. tarafından çalışılan sürdürülebilir üretim çözümlenme problemlerine ilgi son yıllarda giderek artmıştır. İlgili çalışmaların atıf sayılarının da hızla artması konunun önemini ortaya koymaktadır (Şekil 1).



\*2021 yılına ait araştırmalar halen devam etmektedir.

Şekil 1. 2010-2021 yılları arasında literatürde yer alan sürdürülebilir üretim çizelgeleme problemleri

## 2.1 Sürdürülebilir Üretim Göstergeleri

Sürdürülebilir üretim göstergeleri, ekonomik, çevresel ve sosyal olmak üzere üç alt başlıkta değerlendirilmektedir. Çizelgeleme literatüründe, öteden beri çalışılan ekonomik göstergelerin yanında, son yıllarda çevresel göstergeler de yer almaya başlamıştır. Ancak sosyal göstergeler yeterince ilgi alanı oluşturamamıştır. Günümüzde birçok çevresel ve ekonomik göstergenin aynı amacı optimize edebildiği görülmektedir. Örneğin, toplam enerji kullanımını minimize etmek çevresel bir gösterge olsa da sonucunda enerji maliyetini azalttığı için aynı zamanda ekonomik bir göstergedir. En az bu hedefler kadar önemli bir başka konu da sosyal sürdürülebilirliktir. Sosyal kaygıların çizelgeleme problemlerinde ele alınması ve üreticilerin en önemli beşerî sermaye kaynağı olan personellerinin sürdürülebilir bir çalışma ortamında verimli çalışmalarını sağlanmalıdır. Sosyal hedefler gözetildiğinde personel sirkülasyonunun azaldığı, işletme hafızasının arttığı, üretim hatalarının azaldığı, iş kazası risklerinin azaldığı, personel ve müşteri memnuniyetinin sağlandığı, kaliteli ve verimli bir üretim ortamı mümkündür.

Çalışan sirkülasyonu arttıkça süreç verimliliği düşmektedir. Çalışanların elde tutulması, devamsızlığın (işe devam etmeme) azaltılması, ücret ve yan haklar gibi sosyal göstergelerin iyileştirilmesi şirketin toplum nezdinde imajını ve itibarını iyileştirmeye ve üretkenliği artırmaya olanak sağlamaktadır (Laureani ve Antony, 2010; Mendiola vd., 2013)

Sosyal sürdürülebilirlik göstergelerinden bazıları, toplumdaki işgücü mevcudiyeti, işyerinin yaşam kalitesi, işyerinin güvenliliği, maaş ve diğer haklar olarak belirtilmektedir (Helleno vd., 2017). Böylece sosyal göstergeler başlığı altında ekonomi, memnuniyet seviyesi, kalite ve sağlık, insan kaynakları ve topluluk alt başlıkları altında toplayabiliriz. Bu başlıklara ek olarak, çalışan memnuniyeti, işe devam durumu, çalışan sirkülasyonu, sağlık programları ve çalışan güvenliği, ergonomi, gürültü düzeyi, işyerinin konumu (işçinin işyerine erişimi), vasıflı işçilik, işe alım-seçim, eğitim saatleri, çalışanların performansları, halk sağlığı, topluluk geliştirme gibi göstergeler belirlenebilir. Ayrıca iş kazası ve meslek hastalığı oranı, çalışan katılımı, işçi-işveren ilişkisi, çalışanın refahı, çalışanın eşitliği (cinsiyet eşitliği), işyeri sağlığı ve güvenliği, işgücü verimliliği de bu göstergelere eklenebilir.

Tablo 2’de, sürdürülebilir üretim göstergeleri verilmiştir. Literatürde sosyal sürdürülebilirlik başlığı altında şu ana kadar sadece gürültü düzeyi ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Birçok sürdürülebilirlik göstergesinin üretim çizelgeleme problemleri literatüründe henüz çalışılmadığı görülmektedir.

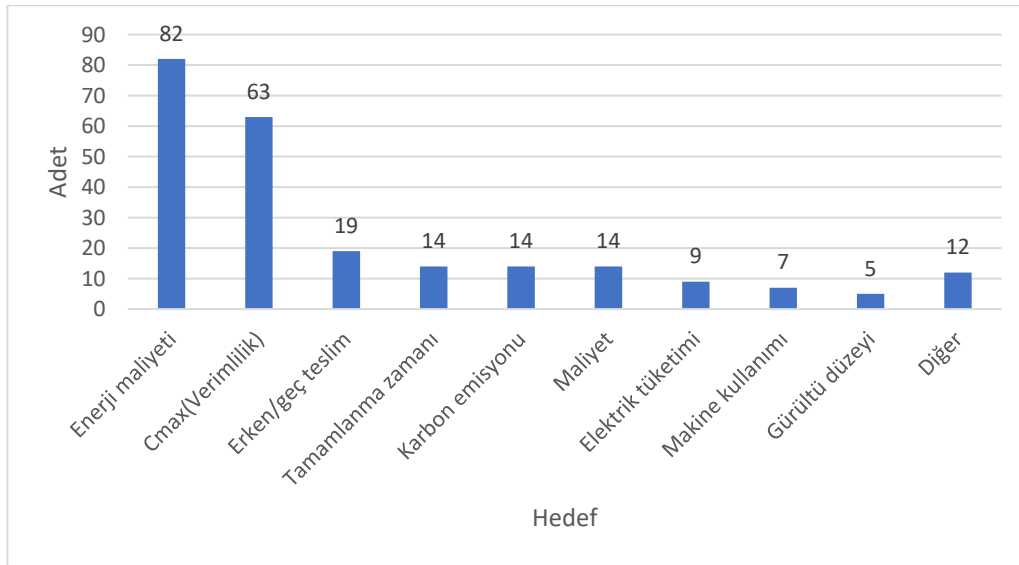
Tablo 2. Sürdürülebilir Üretim Göstergeleri (Akbar ve Irohara, 2018; Amrina ve Vilsı, 2015; Helleno vd., 2017).

Ekonomik	Sosyal	Çevresel
<i>Finansal performans</i> - Net kar aralığı - Yatırım getirisi - Maliyet tasarrufu	<i>Topluluk</i> - Sürdürülebilirlik ödülleri - Müşteri şikayetleri - Müşteri	<i>Emisyon ve Kirleticiler</i> - Su atık deşarjı - Üretilen katı atık - Atık enerji emisyonu - Zararlı gaz salınımı - Atık ayrıştırma yüzdesi * Sera gazı emisyonları ve karbon ayak izi
<i>Üretim maliyeti</i> - Malzeme maliyeti - Personel maliyeti - İşletme ve sermaye maliyetleri - Envanter/stok maliyeti - Ürün teslimatı * Enerji maliyeti	<i>Personel</i> - Kayıp iş günleri - Çalışan yıpranması/sirkülasyon - Kişisel koruyucu donanım ekipmanları - Kaza oranı - Personel ilişkileri - Personel sürdürülebilirlik eğitimi - Personel verimliliği * Gürültü düzeyi	<i>Kaynak Tüketimi</i> - Üretimde yeniden kullanım - Ambalaj malzeme atığı - Enerji yoğunluğu - Ürünlerden elde edilen enerji - Su yoğunluğu - Suyun tekrar kullanımı - Araç yakıt tüketimi - Hatalı ürün yüzdesi - Yeşil hammadde kullanım yüzdesi * Enerji verimliliği ve elektrik güç tüketimi

\* Tabloda vurgulanan hedefler literatürde sıklıkla çalışılan hedeflerdir.

## 2.2 Sürdürülebilir Çizelgeleme Problemleri

Üretim çizelgeleme, üretim kaynaklarının (insan, makine vb.) belirli zaman dilimlerinde görevlere tahsis edilmesi ve belirlenen amaçları optimize etmektir. Atölyenin toplam tamamlanma zamanının, atölye süresinin, toplam akış süresinin, maksimum gecikme süresinin, toplam gecikme süresinin veya geciken iş sayısının minimizasyonu makine çizelgeleme problemlerinin geleneksel hedeflerine örnek olarak verilebilir. Son yıllarda sürdürülebilirlik ile ilgili amaçlar makine çizelgeleme problemlerinde dikkate alınmaya başlasa da birçok sürdürülebilirlik göstergesi olmasına rağmen literatürde genellikle bu göstergelerden çok azının çalışıldığı görülmektedir. Literatürde en çok çalışılan hedefler toplam enerji maliyetini ve atölye tamamlanma süresini (Cmax) minimize etmektir (Şekil 2).



Şekil 2. Sürdürülebilir üretim çizelgeleme problemlerinin amaç fonksiyonları

Makine çizelgeleme problemlerinin notasyonu incelendiğinde üretim ortamı, dikkate alınan kısıtlar ve optimize edilecek hedefler yer almaktadır (Allahverdi vd., 2008). Örneğin,  $Pm/sij/Cmax$  şeklinde bir notasyona sahip problem de, paralel makineli üretim ortamında sıra bağımlı hazırlık süreleri dikkate alınarak atölyenin maksimum tamamlanma süresinin optimize edilmeye çalışıldığı anlaşılmaktadır. Literatür incelenerek ilgili problemler bu notasyonlar yardımıyla, üretim ortamlarına göre, optimize edilmesi istenen amaç sayısına göre ve varsa sürdürülebilir hedeflere göre sınıflandırma yapılabilmektedir. Ayrıca literatürde ele alınan problemleri çözüm yöntemlerine göre de sınıflandırmak mümkündür (Tablo 3).

Tablo 3. Çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması



Çözüm yöntemine göre	Üretim ortamına göre	Sürdürülebilirlik hedefine göre	Amaç sayısına göre
Kesin yöntem	Tek makine	Toplam enerji tüketimi	Tek amaçlı
Sezgisel yöntem	Paralel makine	Karbon emisyonu	İki amaçlı
Meta-sezgisel yöntem	Akış tipi	Atık yönetimi	Çok amaçlı
Simülasyon	Atölye tipi		

Literatürde, insan faktörünün sürdürülebilir hedefler içinde yer aldığı görülmektedir. Böylece insan faktörünü dikkate alan problemlerin geleneksel çözelme hedefi yanında bir de sürdürülebilirlik hedefine de sahip olduğu çok amaçlı optimizasyon problemlerine evrildikleri görülmektedir. Dolayısıyla bu problemlerin çözümünde aynı anda birden fazla hedefi optimize etmek gerektiği görülmektedir. Literatür taraması neticesinde amaç fonksiyonunda sosyal sürdürülebilirlik göstergelerine sahip makaleler tespit edilmiştir ve gürültü düzeyi/kirliliği dışında diğer sosyal göstergelerin çalışmadığı görülmektedir (Tablo 4). Bu problemlerin hepsinin çok amaçlı optimizasyon problemleri olduğu ve meta-sezgisel algoritmalar geliştirilerek çözüldüğü tespit edilmiştir.

**Tablo 4.** Literatürde yer alan sosyal sürdürülebilirlik hedefine sahip makine çözelme problemleri.

Yazar	Dergi	Anahtar kelimeler	Amaç Fonksiyonu	Üretim ortamı	Çözüm Yöntemi
Yin vd. (2017a)	Sustainable Computing: Informatics and Systems	Düşük karbon çözelme, Çok amaçlı optimizasyon, Enerji verimliliği, Gürültü kirliliği*	Üretkenliği, enerji verimliliğini ve gürültü azaltmayı maksimize etmek	Esnek atölye tipi	Meta-sezgisel (Çok amaçlı genetik algoritma)
Yin vd. (2017b)	Advances in Mechanical Engineering	Enerji verimli çözelme, Çok amaçlı optimizasyon, Enerji tüketimi, Gürültü kirliliği*	Üretkenliği, enerji verimliliğini ve gürültü azaltmayı maksimize etmek	Atölye tipi	Meta-sezgisel (Çok amaçlı genetik algoritma)
C. Lu vd. (2018)	Journal of Cleaner Production	Enerji verimliliği, Çok amaçlı optimizasyon, Gürültü kirliliği*	Atölye süresini, gürültü kirliliğini ve toplam enerji tüketimini minimize etmek	Kaynak Atölyesi	Meta-sezgisel (Karma çok amaçlı hücresel gri kurt algoritması)
C. Lu vd. (2019)	Applied Soft Computing Journal	Çok amaçlı optimizasyon, Hücresel otomatlar, Enerji verimliliği, Gürültü kirliliği*	Atölye süresini, gürültü kirliliğini ve toplam enerji tüketimini minimize etmek	Karma akış tipi	Meta-sezgisel (Çok amaçlı hücresel gri kurt algoritması)
Guo vd. (2020)	Computers and Industrial Engineering	Yeşil çözelme problemi, İyileştirilmiş gri kurt optimizasyon algoritması, Karbon emisyonu, Gürültü maliyeti*	Maksimum tamamlanma zamanını, karbon emisyonunu ve gürültü maliyetini minimize etmek	Akış tipi	Meta-sezgisel (İyileştirilmiş gri kurt optimizasyon algoritması)

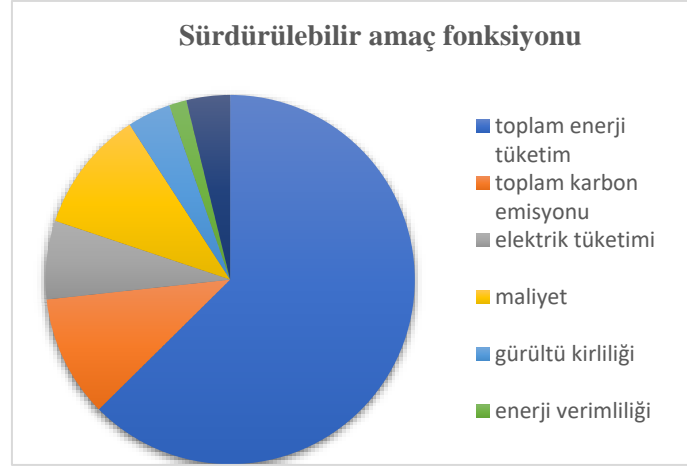
\* Araştırmalarda sosyal sürdürülebilirlik göstergesi olarak yalnızca gürültü kirliliği ve maliyeti yer almaktadır.

Makine çözelme problemleri kesikli kombinatoriyel optimizasyon problemleri sınıfında yer almaktadır. Problemlerin NP-hard sınıfında olduğu ispatlanmıştır (Paolucci vd., 2017). Problemler, matematiksel programlama gibi kesin çözümler ile ve simülasyon yöntemleriyle modellenmiştir. Bir çözüm yaklaşımı olarak sıklıkla sezgisel ve meta-sezgisel yöntemlerin tercih edildiği görülmektedir.

Arama tabanlı sezgisel algoritmaların (tabu araması, tavlama benzetimi, genetik algoritmalar vb.) yanında ayrıca matematiksel tabanlı sezgisel sevk kuralları geliştirilmiştir. Bu kurallar üretim ortamına, üretim sektörüne, ürün yönetimine, üretici firmanın/müşterinin önceliklerine göre geliştirilmektedir. Çözelme literatüründe en çok kullanılan sezgisel tabanlı sevk kuralları şunlardır; İlk giren ilk çıkar kuralı, En kısa işlem süresi kuralı, En uzun işlem süresi kuralı, En erken teslim süresi kuralı, Kritik oran kuralı, Ağırlıklı en kısa işlem süresi kuralı, En kısa hazırlık süresi kuralı. Bu kurallar incelendiğinde sürdürülebilirlik hedefini göz önünde bulundurmadıkları görülmektedir. Ayrıca üretimde insan faktörünü göz önüne alan sevk kuralları da mevcut değildir. Örneğin üretim sırasında harcanan enerji miktarını minimize edecek şekilde bir çözelme geliştirilmemiştir. Üretim ortamına bağlı olarak harcanan kimyasal madde miktarını, harcanan su miktarını, ortaya çıkan atık miktarını dikkate alan sevk kurallarının olmadığı görülmektedir.

### 3. Tartışma ve Sonuç

Çizelgeleme literatüründe sürdürülebilir üretim problemleri 2010 yılından itibaren çalışılmaya başlamıştır. Özellikle son 5 yılda çalışmaların sayısı ciddi oranda artmıştır. Sürdürülebilir üretim göstergeleri ele alındığında birçok göstergenin literatürde yeterince temsil edilmemiş potansiyel çalışma alanları olduğu görülmektedir. Çizelgeleme literatüründe sürdürülebilir üretim enerji verimliliğine ve karbon emisyonuna indirgenmiş durumdadır (Şekil 4).



Şekil 4. Literatürde yer alan makine çizelgeleme problemlerinde sürdürülebilir amaç fonksiyonları

Bir üretim ortamını sürdürülebilir hale nasıl getiririz sorusuna cevap ararken, dikkate alınması gereken hususlardan birisi de üretimi doğrudan etkileyen insan faktörüdür. Ancak literatür incelendiğinde son yıllarda giderek artan bir şekilde literatürde yer edinmiş birçok konu çalışılmışken insan faktörünün göz ardı edildiği, nadiren bir hedef olarak problemlerde yer aldığı görülmektedir. Aslında sürdürülebilirliğin sosyal göstergeleri altında değerlendirilen insan faktörünün matematiksel bir problem halinde ele alınmasının zorluğu da bu durumda önemli bir etkidir. İnsan faktörünün üretim ortamında işlem süresinin belirsizliği, işlerin zamanında teslimi, üretimin kalitesi gibi konular üzerinde önemli etkisi vardır. İnsan faktörü, henüz sürdürülebilir çizelgeleme problemleri literatüründe dikkate alınmamıştır. Sadece sosyal göstergelerden gürültü düzeyinin çalışıldığı gözlenmiştir.

Sosyal sürdürülebilirlik ile ekonomik sürdürülebilirliğin arasında sıkı ilişki olduğu önceki çalışmalarda ortaya koyulmuştur (Sudusinghe ve Seuring, 2020). Bu noktadan hareketle sürdürülebilir üretim için sosyal göstergelerinde göz önünde bulundurulması üreticileri, sosyal adaleti sağlayan bir üretim hedefine ulaştıracaktır. Bu alandaki çalışmaların gelecekte aşağıda belirtildiği çerçevede gelişerek devam edeceği değerlendirilmektedir.

- Literatürde sürdürülebilir çizelgeleme problemleri, enerji verimliliği üzerinde yoğunlaşmıştır. Gelecek çalışmalarda diğer sürdürülebilirlik göstergelerinin de (su, atık vb..) dikkate alınması gerekmektedir.
- Enerji etkin çizelgeleme problemleri incelendiğinde makineleri enerjinin ucuz olduğu saatlerde çalıştırarak, üretimi gerçekleştirme yaklaşımını görmekteyiz. Böylece enerji maliyetlerinde tasarruf sağlanabilir. Ayrıca sera gazı emisyonu azaltılabilir. Ancak bu zaman dilimi işçi/personel verimliliğinin ve personel maliyetinin dikkate alınmadığı görülmektedir. Tıpkı makineler gibi insanlarda enerji harcamaktadır. Sürdürülebilir optimizasyon problemlerinde personel yorgunluğunun da veya verimliliğinin de dikkate alınması gerekmektedir.
- Literatürdeki bir başka yaklaşım da makine hızının değiştirilerek enerji tüketiminin kontrol altına alınmaya çalışılmasıdır. Burada insan (işçi, operatör) faktörünün bir etken olarak değerlendirilmediği görülmektedir. Ancak makinenin devrini artırdığımızda hata sayısı, operatör müdahale sayısı artabileceğinden bu durumun, üretim verimliliği ve ürün kalitesi üzerindeki etkileri göz ardı edilmemelidir.
- Gürültü düzeyi dışındaki diğer sosyal sürdürülebilirlik göstergelerinin (personel sirkülasyonu, iş kazaları ve meslek hastalığı oranları gibi) personel ve üretim ortamının verimliliği üzerine etkisi, daha önce irdelenmemiş potansiyel çalışma alanları olarak değerlendirilmektedir.
- Üretim sektörünü incelediğimizde sevk kurallarının endüstriyel uygulamalarda daha yaygın kullanıldığı görülmektedir. Literatür taraması sonucu sürdürülebilir çizelgeleme problemlerinin çözümünde sevk kurallarının neredeyse hiç kullanılmadığı belirlenmiştir ve potansiyel bir çalışma alanı olduğu öngörülmektedir.
- Sürdürülebilir çizelgeleme problemlerinde geleneksel hedefe ek olarak, sürdürülebilirlik hedefi de olduğu için, çok amaçlı optimizasyon problemleri şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak, gelecek çalışmalarda şimdiye kadar çoğunlukla tek amaçlı olarak ele alınan geleneksel çizelgeleme problemlerinin, gelecek çalışmalarda çok amaçlı çizelgeleme problemleri halinde ele alınacağı düşünülmektedir.
- Sürdürülebilir üretim çizelgeleme problemlerinin çözümünde sürdürülebilir sevk kuralları geliştirilerek, üretim sırasında tüketilen enerji, su, kimyasal madde miktarı gibi kaynakları minimize edecek şekilde üretim planlanabilir.

- İnsan faktörünü göz önüne alan sevk kuralları geliştirilebilir. Böylece sosyal sevk kuralları geliştirilerek daha insan ve çevre odaklı, adil bir üretim anlayışı firmalara yerleştirilebilir.

## Referanslar

- Allahverdi, A., Ng, C. T., Cheng, T. E., & Kovalyov, M. Y. (2008). A survey of scheduling problems with setup times or costs. *European journal of operational research*, 187(3), 985-1032. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.060>
- Akbar, M., & Irohara, T. (2018). Scheduling for sustainable manufacturing: A review. *Journal of cleaner production*, 205, 866-883. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.100>
- Amrina, E., & Vilsı, A. L. (2015). Key performance indicators for sustainable manufacturing evaluation in cement industry. *Procedia CIRP*, 26, 19–23. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.072>
- Helleno, A. L., de Moraes, A. J. I., & Simon, A. T. (2017). Integrating sustainability indicators and Lean Manufacturing to assess manufacturing processes: Application case studies in Brazilian industry. *Journal of cleaner production*, 153, 405-416. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.072>
- Laureani, A., & Antony, J. (2010). Reducing employees' turnover in transactional services: a Lean Six Sigma case study. *International Journal of Productivity and Performance Management* 59(7), 688-700 <https://doi.org/10.1108/17410401011075666>
- Mendiola, I. S., Beltran, A.G., & Tirados, R.M.G., (2013). Evaluation and implementation of social responsibility. *The Service Industries Journal*, 33(9-10), 846-858. <https://doi.org/10.1080/02642069.2013.719890>
- Mouzon G., Yildirim M.B., & Twomey J. (2007). Operational methods for minimization of energy consumption of manufacturing equipment. *International Journal of Production Research* 45 (18-19) 4247-4271 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.072>
- Paolucci, M., Anghinolfi, D. & Tonelli, F. (2017). Facing energy-aware scheduling: a multi-objective extension of a scheduling support system for improving energy efficiency in a moulding industry. *Soft Computing* 21(13), 3687–3698 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.072>
- Peng C., Peng T., Zhang Y., Tang R., & Hu L. (2018). Minimising Non-Processing Energy Consumption and Tardiness Fines in a Mixed-Flow Shop. *Energies*. 11(12):3382. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.072>
- Sudusinghe JI., & Seuring S. (2020). Social Sustainability Empowering the Economic Sustainability in the Global Apparel Supply Chain. *Sustainability*, 12(7):2595. <https://doi.org/10.3390/su12072595>
- US Department of Commerce. Sustainable manufacturing initiative. Proceedings of the 2nd Annual Sustainable Manufacturing Summit 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.072>



## Pandemi Döneminde Çalışma Ortamlarında Oluşan Risk Faktörlerinin Değerlendirilmesi

### Evaluation Of Risk Factors In Working Environments During The Pandemic Period

İlayda Ardıç<sup>1</sup> , İrem Düzdar<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, 81260 Düzce, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 01/10/2021

Kabul / Accepted: 30/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

#### Öz

Dünyamızı 2020 yılından itibaren etkisi altına alan Covid-19 ile insanlar yaşam mücadelesi vermektedir. Dünya Sağlık Örgütü tarafından “pandemi” kabul edilen bu dönemde hızlı bir şekilde yayılan virüsten, insanlar kendilerini ve çevrelerindeki korumayı amaçlamaktadırlar. İnsanlar kendini korurken işletmelerde dünya ekonomisinde yerlerini ve sürdürülebilirliklerini korumayı amaçlamaktadırlar. Bu amaç doğrultusunda işletmeler çalışanlarından en yüksek düzeyde verim almalı ve bu verimi etkin bir şekilde kullanmalıdırlar. Çalışanlarını korumak için bu dönemde en önemli etkiye sahip olan işyeri içindeki çalışma ortamlarını analiz ederek ve iyileştirmeler yaparak başlamalıdır. Bu çalışmada, çalışma ortamlarında pandemi döneminde oluşan riskleri tespit ederek bu riskleri en aza indirme amacıyla Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) yöntemi kullanılmaktadır. Kullanılan çok kriterli karar verme yöntemi ile risklerin işletme içerisinde etkili olduğu ağırlık düzeyi belirlenir ve risk faktörleri önem derecelerine göre sıralanır. Yapılan çalışma sonucunda AHP yöntemi ile risk faktörleri değerlendirilmiş ve pandemi döneminde çalışma ortamlarını ve işletme verimliliğini etkileyen en büyük riskin psikolojik faktör olan çalışan motivasyonu, en düşük riskin ise ortam nemi kriteri olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmanın işletmelere katkısı, güncel olarak etkisini devam ettiren Covid-19’un işletmelerde oluşan risk faktörlerinin ve boyutlarının tespit edilerek insan sağlığını tehdit eden unsurlara karşı önlem alınmasını ve zararlarını minimum düzeyde, verimlerini ise maksimum düzeyde tutulmasına katkı sağlar.

#### Anahtar Kelimeler

“Pandemi, Risk faktörleri, Çalışma Ortamları, Ergonomi, Analitik Hiyerarşik Proses”

#### Abstract

People are struggling for life with Covid-19, which has influenced our world since 2020. People aim to protect themselves and those around them from the virus, which spreads rapidly during this period, which is considered a “pandemic” by the World Health Organization. Business aims to protect its place and sustainability in the world economy, while people protect themselves. For this purpose, businesses should get the highest level of efficiency from their employees and use this efficiency effectively. They should start by analyzing and making improvements to the work environments within the workplace that have the most significant impact during this period to protect their employees. In this study, AHP method is used in order to minimize these risks by detecting the risks that occur during the pandemic period in working environments. The Multi-Criteria Decision-Making Method used determines the weight level at which risks are effective in the business, and the risk factors are sorted according to their degree of priority. As a result of the study, risk factors were evaluated using the AHP method and it was determined that the greatest risk affecting working environments and operating efficiency during the pandemic period was employee motivation, which is a psychological factor, and the lowest risk was ambient humidity. The contribution of this study to enterprises ensures that measures are taken against elements that threaten human health by identifying the risk factors and dimensions of Covid-19, which continue to have a current impact on enterprises. It contributes to keeping losses of enterprises at a minimum level and yields at a maximum level.

#### Key Words

“Pandemic, Risk Factors, Working Environments, Ergonomics, Analytic Hierarchical Process”

## 1. Giriş

Günümüzde küresel dünyada çeşitli işletmeler ve organizasyonlar bulunmaktadır. Bu dünyada rekabet içinde bulunan işletmelerin temel amacı varlıklarını sürdürülebilmek ve dünya koşullarında başarılı olabilmektir. İlerleyen teknoloji ile örgütsel devamlılığı sağlamak, verimliliği arttırmak, bireysel ve örgütsel performansı arttırmak adına yeni yöntemler benimsenmektedir (Yamaç,2020). İşletmelerde çalışanların fiziki ve sosyal koşullarının tatmin edici olması çalışanların verimlilikleri üzerinde önemli rol oynamaktadır (Yamaç,2020). Ergonomi, iş ile insan arasında uyumu sağlar ve bu sayede verimliliği artırır. Ergonomik açıdan kötü çalışma koşulları nedeniyle çalışanlarda oluşan motivasyon azalması ve yorgunluk sonucunda verimlilik düşüşleri gözlenmektedir (Hayta,2007). İşletme içerisinde performansı etkileyen en önemli nedenlerden birisi de çalışma koşullarıdır (Devi,2020). İş sağlığı ve güvenliği açısından işletmeler değişen çevre koşullarına uyum sağlamalıdır. Çalışanlarının sağlığını göz önünde bulundurarak hazırlanmış işyeri ortamları ergonomik ve psikolojik açıdan sağlıklı olması üretimin kalitesini ve üretimin hızını arttırarak istenilen verimi sağlamaktadır. Bu nedenlerden dolayı işletmelerde verimliliği sağlayan ve devam ettiren en önemli unsurlardan bir tanesi işyeri çalışma ortamı ve buna bağlı olarak çalışan sağlığıdır.

2019 Aralık ayında Çin'in Vuhan kentinde ortaya çıkan Covid-19 virüsü, 2020 Mart ayından itibaren ülkemizi etkisi altına almıştır ve bundan kaynaklı olarak dünya da birçok alan değişime uğramıştır. Dünya Sağlık Örgütü tarafından küresel salgın adı verilen "pandemi" ilan edilmiştir (Dünyada Covid-19 Pandemisi,2021). Virüsün bulaşma hızının dünya da ve ülkemizde yüksek ve kolay olması insanların kendilerini ve çevrelerindeki korumaları için yeni yöntemler keşfetmelerine neden olmuştur. İnsanların kendilerini korumayı hedefledikleri gibi işletmelerde bu süreçte ekonomideki yerlerini ve varlıklarını korumayı hedeflemektedirler. Bu hedefler doğrultusunda birçok işletme pandemi döneminde çalışma şartlarını değiştirerek uzaktan çalışma modeline geçiş yapmıştır. Uzaktan çalışma modeline geçiş yapamayan ve çalışmalarını işletme içerisinde devam eden üretim işletmeleri gibi kuruluşlar Covid-19 virüs salgınına özgü riskleri belirleyerek ve işletme içerisinde bu riskler için tedbirler alınarak çalışmaya devam edilmesi gerekmektedir. Virüsün bulaşma riskinin yüksek olduğu yerlerden birisi de çalışma ortamlarıdır. Yukarıda belirttiğimiz üzere temas ve hava yolu ile bulaşan virüs kapalı ortam olan çalışma ortamlarında, ofislerde ve tesislerde çalışanlar üzerinde yüksek bulaşma oranına sahiptir. Çalışma ortamlarının insan sağlığı ve işletme verimliliği üzerine etkisine değinmiştik, pandemi sürecinde işletmeler bu olumsuz etkiyi engellemek amacıyla riskleri en aza indirerek bu ortamları korumalıdır.

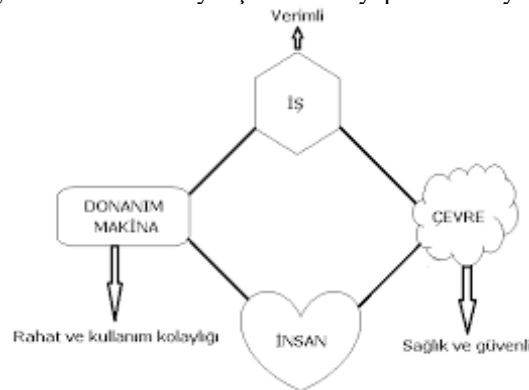
### 1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada ki amaç, pandemi döneminde çalışma ortamlarında oluşan riskleri çok kriterli karar verme yöntemi olan AHP kullanılarak sağlığımızla beraber işletme sürdürülebilirliğini etkileyen faktörlerin değerlendirilmesinin yapılmasıdır.

İnsanlık tarihi boyunca birçok salgın hastalık dünyayı ele geçirmiştir. 2020 yılı itibari ile Covid-19 virüsü hayatlarımıza girmiştir. Zor bir süreçten geçtiğimiz bu günlerde insanlar sağlığın önemini ve değerini daha iyi anlamış ve korumak için önlemler almışlardır. Kapalı ortam olan ve virüsün bulaşma olasılığının yüksek olduğu kabul edilen çalışma ortamlarında sağlığımızı etkileyen risk faktörleri bulunmaktadır. Her işletmenin pandemi döneminde korunma yöntemleri farklıdır. Uzaktan çalışma modeline geçiş, yarı kapasite ile çalışma modeline geçiş, çalışma saatlerinin kısaltılması ve yüz yüze çalışma modeline geçişler yapılmıştır. Yüz yüze çalışma modelini devam ettiren işletmeler için çalışanlarını etkileyen riskleri bulmak ve bu riskler için tedbirler almak önemli bir yere sahiptir. Bu önemden dolayı çalışmada çalışma ortamlarındaki riskleri belirleyerek risklerin AHP yöntemiyle değerlendirilmesi ile risklerin öncelik dereceleri sıralanmaktadır.

### 1.2. Çalışma Ortamları ve Risk Faktörleri

Ergonomi, işin gerçekleştirilme sırasında oluşan çevresel ve çalışma koşullarını inceleyen bilim dalıdır (Üçüncü,2005). Çalışma koşullarında çalışanları olumsuz etkileyen faktörler ve onların iyileştirilmesi ile ilgilenir. Çalışma koşulları işletmelerin önemli bir parçasıdır. Önemli bir parça etkin ve düzenli kullanılır ise işletmeler için büyük faydalar sağlanır. Kurumsal performans, çalışma ortamlarındaki ergonomik faktörlerin değerlendirilmesi ve iyileştirmelerin yapılması ile yüksek başarılar elde eder.



Şekil 1. Ergonominin Kapsamı (Üçüncü, 2005)

Şekil 1. 'de ergonominin işletme içerisinde çalışma ortamı, iş, çevre ve insan faktörleri ile ilişkisi ifade edilmektedir. Ergonominin etkin kullanımı çalışma ortamını rahat ve kullanılabilir düzeye getirir. Çevre düzeni ile çalışan sağlığı sağlanır ve bu sayede işler ile çalışma performansını verimli hale getirilir.

### 1.3. Pandemi Döneminde Çalışma Ortamları

2020 yılı ile hayatımıza giren ve küresel salgın olan Covid-19 iş hayatında birçok değişime neden olmuştur. En büyük değişimlerden biri de işletmelerin çalışma modellerini güncellemeleridir. Pandemi öncesinde beyaz yaka çalışanları baz alarak yapılan bir ankette Türkiye'de işletmelerin %45'i uzaktan çalışma modeli kullanılmaktadır. Pandemi döneminde bu oran %71 tamamen uzaktan çalışma, %19 ise dönüşümlü uzaktan çalışma modeli ile işletmelerde %90 oranında uzaktan çalışma modeli uygulamaya başlamışlardır (Pandemi Sonrası Çalışma Hayatı Beklentilerinin Araştırılması, *HR Dergi*, 23 Haziran,2020). Uzaktan çalışma modeline geçiş yapamayan veya dönüşümlü uzaktan çalışma modelini kullanan %29'luk işletmelerin bu süreçte dikkat etmesi gereken hususlar vardır. DSÖ ve Uluslararası Çalışma Örgütü(ILO) tarafından işletmeler için acil ve tamamlayıcı alınması gereken önlemler belirtilmiştir. İşletmelerin çalışanların sağlığını tehlikeye atacak riskleri en aza indirmek amacıyla koruyucu önlemler olarak organizasyonlarına devam etmelidir.

Pandemi döneminde günlük hayatımız ve iş hayatımızda zorunlu kullanım haline gelen maske ve sosyal mesafe kuralları bütün işletmelerde uygulanır hale gelmektedir. Çalışanların koruyucu ekipman kullanıma özen gösterilmeli ve denetlenmelidir. Kişisel hijyene dikkat edilmeli ve fiziksel mesafe korunarak temas yoluyla bulaşma riski önlenmelidir. Pandemi döneminde çalışan sağlığını ve işletme verimliliğini etkileyecek çalışma ortamlarında ki risk faktörleri ve virüsün bulaşma seviyesi önlemler ile kontrol altına alınmalıdır.

## 2. Literatür Taranması

Literatür incelemesinde daha önceden yapılan benzer çalışmalar incelenmiştir. Yapılan araştırma sonucunda çalışma koşulları, ergonomi, işletme içerisinde değerlendirme ve risk çalışmaları incelenerek çalışmada kullanacağımız yöntem ve kriterler belirlenmiştir. Kapsamlı literatür taraması ile bir sonra ki aşamalar hakkında bilgi edinilmiştir.

Ölmez vd., (2021) çalışmalarında, Covid-19 döneminde normalleşme süreci boyunca işe dönüş kapsamında ofis çalışmalarında oluşan risklerin değerlendirilmesini ve incelenmesini amaçlanmıştır. Balık kılıçığı yönteminin kullanıldığı çalışmada altı faktörün çalışma ortamındaki risklerinin yüksek olduğu belirlenmiştir.

Akbal ve Akbal (2020) çalışmalarında, Covid-19 pandemi döneminde yüzyüze eğitimden farklı olarak eğitimde gerçekleşen yeni sistemin öğrenci bakış açısına göre yaşanan en önemli sorunun tespit edilmesi amaçlanmıştır. AHP yönteminin kullanıldığı çalışmada eğitim sürecinden ortaya çıkan en önemli sorunun fiziki koşullar olduğu sonucuna varılmıştır

Işık ve Dağsuyu (2020) çalışmalarında, üretim yapan bir işletmenin departmanlarında ki ergonomik yapıların farklılıklarından ortaya çıkan ihtiyaçlar mevcuttur. Departmanların ergonomik değerlendirilmesini AHP yöntemi ile yapmışlardır. Ergonomik faktörlerin önem seviyeleri değerlendirilirken çevresel, fiziksel ve psikolojik kriterler göz önüne alınmıştır. Çalışmada ergonomik faktörlerin en önemli üretim departmanlarında olduğu ortaya çıkmıştır.

Pirinççi ve Özdemir Güngör (2019), çalışan motivasyonunu etkileyen faktörlerin AHP yöntemi ile değerlendirilmesinin amaçlandığı çalışma da İzmir'de bulunan ilaç satış temsilcilerin iş motivasyonları Sosyo-ekonomik, örgütsel ve yönetsel ve psiko-sosyal boyutta değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda sosya-ekonomik boyutun çalışan motivasyonunda en önemli kriter olduğu belirlenmiştir.

Büyükselçuk vd.,(2005), çalışma koşullarını ve çalışan memnuniyetini değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmada otomotiv sektörüne ait bir işletmede AHP yöntemi kullanarak değerlendirme yapmışlardır. Çalışma koşullarını fiziksel kriterler ile değerlendirerek işletme için verimliliği etkileyen faktörler belirlenmiştir. Çalışma sonucunda fiziksel çalışma koşullarından en çok öneme ışık kriterinin sahip olduğu belirlenmiştir .

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde AHP yönteminin birçok çalışmada kullanıldığı görülmüştür. Ergonomi içinde kullanılan AHP yöntemi çalışmamızda Pandemi döneminde ele alarak diğer çalışmalara göre farklı bir ilerleyiş gerçekleştirmiştir.

### 2.1. Çalışmada Ele Alınan Risk Faktörleri

#### Fiziksel (Çevresel) Risk Faktörleri

Fiziksel risk faktörleri her çalışma ortamında ortaya çıkan gürültü, ergonomik çalışma durumu, aydınlatma, titreşim ve termal konfor şartlarını ifade eden bir ana kriterdir (Kısa,2014).

Fiziksel(çevresel) Risk Faktörleri alt kriterleri;

- **Ortak alanlar:** İşletme içerisinde çalışanlar tarafından gün içerisinde kullanılan alanları ifade eder. Pandemi döneminde işletmeler için de risk teşkil eden bir faktördür bunun sebebi temas alanlarının birbirleri ile etkileşimidir (Ölmez vd.,2021). Örneğin, lavabo.
- **Ekipman kullanımı:** Ofis ve üretim alanlarında çalışanların yaptıkları işler sırasında yardım aldıkları malzemelerdir. Ekipmanların kişiye özel olmasıyla birlikte toplu kullanım durumları da vardır (Kısa,2014).

- **Havalandırma:** Çalışanların sağlıklı bir şekilde yüksek tempolar da çalışmalarının en önemli etkeni çalışma ortamlarındaki havanın temiz olmasıdır. Covid-19 virüsünün solunum yoluyla bulaşmasından dolayı kapalı çalışma ortamları çalışanlar için büyük risk teşkil etmektedir.
- **Ortam nemi:** Nem oranı yüksek ise çalışanların burun ve boğazları dolar ve çalışmaları bunaltır. Çok kuru hava içeren çalışma ortamları da, çalışanların burun içlerini ve soluk borusunu kurutur ve sık sık su içme ihtiyacı yaratırlar (Büyükselçuk vd.,2005). Bu durumdan kaynaklı uygun nem koşullarının olmazsa çalışanların hasta olma riskleri artar ve pandemi döneminde kapalı ortamlardaki havanın taze ve sağlıklı olması gerekmektedir.
- **Sosyal mesafe:** Çalışma ortamında çalışanlar, çalışma koşulları ve çalışma masalarının arasında belirli bir mesafe olmasını ifade eder (Ölmez vd.,2021). Covid-19'un yayılmasını önlemek için alınan 1,5 metre sosyal mesafe fiziksel temas kuralı tüm işletmelerde kullanılmalıdır (TC. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı Covid-19 Döneminde Ortak Alanlar Kullanım Alanları Rehberi)

**Tablo 1.** Kullanılan Kriterler

ANA KRİTERLER	ALT KRİTERLER
Fiziksel (Çevresel) Risk Faktörleri	Ortak Alanlar
	Ekipman Kullanımı
	Havalandırma
	Ortam Nemliliği
	Sosyal Mesafe
Psikolojik Risk Faktörleri	Koruyucu Ekipman Kullanımı
	İnsan Yaşamı
	İş Yoğunluğu
	Kişisel Hijyen
	Çalışma Motivasyonu
Yönetimsel Risk Faktörleri	Temizlik ve Bakım
	Çalışma Saati
	Çalışan Sağlık Güvencesi
	Kapasite

### Psikolojik Risk Faktörleri

Psikolojik faktörler sosyal, kültürel ve fiziksel ortam içerisinde oluşan ve bireyi etkileyen problemlerdir (Işık ve Dağsuyu,2020). Çalışan psikolojisinin olumsuz yönde etkilenmesi çalışanın ve işletmenin performansını düşürür. Pandemi dönemi insanları psikolojik yönden etkileyen zor bir süreç olmaktadır.

Psikolojik Risk Faktörlerinin alt kriterleri;

- **İnsan yaşamı:** İnsanların çalışma ortamları dışında buldukları özel yaşamları mevcuttur. İnsanlar yaşamları boyunca psikolojik olarak birçok konudan etkilenir. İnsanlar pandemi döneminde sosyal ve çalışma hayatlarını kontrol altına almaya çalışırken kendilerini çok zorladıklarını düşünme durumlarından kendilerinden alınan verimleri azaltırlar (Ölmez vd.,2021).
- **Kişisel hijyen:** İnsanın kendi sağlığı ve çevresinin sağlığı için temizlik kurallarına dikkat etmesidir. Düzenli kişisel hijyen ile oluşan riskleri minimize edilebilir (Ölmez vd.,2021). Bireyler hijyenlerine dikkat ederken bu durumun aşırıya kaçması durumunda kendilerini yıpratırlar.
- **Koruyucu ekipman kullanımı:** Çalışma ortamlarında zorunlu hale getirilen maske kullanımınıdır. Aynı zamanda işletmeler isteğe bağlı siperlik, eldiven gibi ekipmanları da zorunlu hale getirmiştir. Bu zorunluluk durumu ile maske kullanımının nefes darlığı gibi sorunları ortaya çıkartmıştır ve insanlar arasında psikolojik sorunlar oluşturmaktadır. Kullanılmama durumunda ise insan ve ortam açısından büyük riskler oluşur (Ateş,2020).
- **İş yoğunluğu:** Bir çıktı elde etmek için ve süreçlerin kesintisiz devam etmesini sağlamak amacıyla çalışanlar yoğun tempolar ile görevlerini yerine getirmelidir. Bu dönemde yaşanan çalışma ortamları ve çalışma şekillerindeki değişiklikler ile ertelenen, biriken işler mevcuttur daha sonradan bu işlerin yapılabilmesi için ekstra emek harcanmaktadır. Harcanılan bu fazla enerji ile çalışanların bünyelerinin zayıf düşmesiyle birlikte virüse yakalanma riskleri artar (Pandemi Sonrası Çalışma Hayatı Beklentilerinin Araştırılması, *HR Dergi*, 23 Haziran 2020).
- **Çalışan motivasyonu:** Motivasyon, bireylerin amaçlarını ve görevlerini gerçekleştirirken psikolojik olarak kendilerini iyi hissederek enerjik ve verimli hareket etmelerini sağlar. Motivasyonu sağlayan faktörler insanların ihtiyaçlarının sağlanması ile gerçekleştirilir (Pirinççi ve Özdemir Gungör 2019). Pandemi dönemini zor bir süreç olduğu için çalışanların motivasyonlarını kaybetme, ortam verimliliğinin ve işletme verimliliğinin düşmesi gibi riskler ortaya çıkmaktadır (Pandemi Sonrası Çalışma Hayatı Beklentilerinin Araştırılması, *HR Dergi*, 23 Haziran 2020).

### Yönetimsel Risk Faktörleri

İşletme yönetimi tarafından hedefler doğrultusunda sürdürülebilirliklerin devam etmesi için dikkat edilmesi gereken noktalar vardır.

Çalışma ortamlarında fiziksel ve psikolojik risk faktörleri gibi yönetimden kaynaklanan problemlerde işletme için risk teşkil etmektedir.

Yönetimsel Risk Faktörlerinin alt kriterleri;

- **Temizlik ve bakım:** Yönetim tarafından çalışan sağlığını koruyarak çalışan kaybetmek ve işletme verimliliğini düşürmemek ana amaçlardandır. Temizlik işlemi, yüzeyleri bakterileri ve patojenlerden arındırılmasına yardımcı olur bir dezenfeksiyon işlemindedir önemli bir ilk adımdır (TC. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı Covid-19 Döneminde Ortak Alanlar Kullanım Alanları Rehberi). İşletme yönetimi çalışma ortamlarının temizliğini düzenli yapılması için plan yapmalı ve ortamı dezenfekte ederek çalışan sağlığı için ortaya çıkan riskleri ortadan kaldırmalıdır (Hayta,2007).
- **Çalışma saati:** Yönetim tarafından çok çalışma çok verimlilik düşüncesi vardır fakat kapalı ortamlarda uzun süreli çalışma üretkenlik ve verimlilik azaltmaktadır (Hayta,2007). Çalışma saatlerinin uzun olduğu işletmelerde aynı ortamda bulunup aynı havayı soluyan insanların bulunması risk taşımaktadır. Yönetim tarafından belirlenen çalışma saatleri pandemi döneminde önemli bir kriterdir (Hayta,2007).
- **Çalışan sağlık güvencesi:** Yönetim çalışanlarına sağlık konusunda yardımcı olarak ve koruyarak çalışan yönetim arası güven seviyesini güçlendirirler aynı zamanda çalışanlarından alacakları verimi artırırlar.
- **Kapasite:** Aynı ortamda bulunan insan sayısının sınırdır. Yönetim tarafından sosyal mesafe riskine uyulması için belirlenmesi gereken bir kriterdir (TC. AİLE ÇALIŞMA VE SOSYAL HİZMETLER BAKANLIĞI, YENİ KORONAVİRÜS SALGINI KAPSAMINDA İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ PROFESYONELLERİNİN İŞYERLERİNDE ALDIRACAĞI TEDBİRLER,2021)  
Aynı kapalı ortam içerisindeki çalışan sayısının yüksek olması Covid-19 virüsünün bulaşma olasılığını arttırıcı bir etkidir. Yönetim bu riski düşürmek amacıyla çalışma ortamlarındaki kişi sayısını sınırlanmalıdır.

### 3. Yöntem

Çalışma kapsamındaki amaç işletmelerde pandemi döneminde çalışma ortamlarında oluşan risk faktörlerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesidir. Belirlenen risk faktörlerin değerlendirilirken AHP yöntemi kullanılmıştır. İşletme yönetimi bu süreçte en az zarar ile ekonomide ki yerlerini korumayı amaçladıklarından bu risk faktörleri tespit edilip, tedbirlerin alınması büyük bir fayda sağlamaktadır. Risk faktörlerini oluşturan kriterler pandemi dönemini ele alınarak belirlenmiştir. Sözel olan kriterler AHP yöntemiyle ikili matrisler şeklinde ağırlıklandırılıp karşılaştırılır ve daha sonra bu riskler öncelik sıralarına göre sıralanır. Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri arasında bulunan AHP yöntemi ele alınan problemde en önemli risk faktörlerini öncelik sırasını ortaya çıkarmak olduğu için bu yöntem seçilmiştir.

Çalışmada etik kurul onayı alınması gerekmemiştir. Bu bölümde çalışmada kullanılacak yöntem ve uygulama aşamaları hakkında bilgi verilmiştir.

#### 3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi(AHP)

Tüm insanlar hayatları boyunca birer karar vericidir ve yaptıkları her eylemi, vermiş oldukları kararlar neticesinde gerçekleştirirler. Elde edilen bilgiler de olayı benimsemelerine ve daha iyi çözümleme yaparak değerlendirmelerini sağlar ki bu da doğru çözüm kararlar vermeleri için uygun bir altyapı oluşturur (Vassilev ve Vassileva,2005). Çok kriterli karar verme problemlerindeki temel sorun, çeşitli alternatifler arasından birden çok kriter ile seçim yapabilmek için ağırlık, önem veya üstünlük belirlemektir. Belirtilen bu sorunu çözmeye AHP etkin olarak kullanılan bir ÇKKV yöntemidir. AHP’de, karar verme süreçlerinde çözüm elde etmek için karar vericilerin öznel ve nesnel düşünceleri dâhil edilmektedir (Gülenç ve Bilgin,2010)

Analitik Hiyerarşi Prosesi, 1968 yılında ilk olarak Myers ve Alpert ikilisi tarafından ortaya atılmış ve 1977’de Profesör Thomas Lorie Saaty ile bir model olarak geliştirilerek karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilir hale getirilmiştir (Yaraloğlu,2001). AHP yöntemi karar alma sürecinde grup ve bireyin kararlarını da göz önüne alan, nitel ve nicel değişkenleri bir arada değerlendiren matematiksel bir yöntemdir. Bu durum AHP’yi diğer karar verme yöntemlerine kıyasla daha güçlü kılmaktadır. Karar vericiler problemde birbirlerinden farklı olarak değerlendirmelerini yapabilir, daha sonra değerlendirmelerin geometrik ortalamaları alınarak ortak karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Bu uygulama çeşidinde dikkat edilmesi gereken en önemli kısım, her bir karar vericinin değerlendirmeleri ile oluşturulan karşılaştırma matrislerinin aynı tutarlılıklarının incelenmesidir. Daha sonra geometrik ortalamalar alınarak elde edilen bütünleştirilmiş matrislerin tutarlılıkları incelenir (Önder ve Önder,2015). Değerlerin birbirlerine bağlı olarak artış veya azalış gösterdiği durumlarda bu değişimin hızı geometrik ortalama ile doğru sonuçlar verir (Temel İstatistik Ders Notları, On Dokuz Mayıs Üniversitesi,2018).

AHP yönteminin uygulama aşamaları 6 adımdan oluşmaktadır.

##### i. Adım Problemin Tanımlanması

Problemi en iyi şekilde tanımlanmalıdır. Karar için gerekli olan kriterler belirlenir. Seçilmiş olan karar problemin ana amacımıza ve kullanılacak olduğumuz modele de uygun olmalıdır.

##### ii. Adım Hiyerarşik Yapının Oluşturulması



Karar amacı ile en üstten başlayarak karar hiyerarşisi oluşturulur (Gülenç ve Bilgin,2010). Hiyerarşik yapıda hedefin altında ise ana kriterler ve alt kriterler bulunur. Hiyerarşik yapının en altında ise alternatifler yer almaktadır. Hiyerarşinin aşama sayısı, problemin karmaşıklık düzeyine göre şekillenmektedir.

### iii. Adım İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve ağırlıkların belirlenmesi

Hiyerarşik yapı elde edildikten sonra kriterler problemin karar vericileri tarafından ikili karşılaştırmaları yapılmaktadır. İkili karşılaştırma karar matrisleri temelde alternatiflerin karşılaştırılması ve problemdeki kriterlerin kendi aralarında karşılaştırılmasını ile oluşturulur (Dağdeviren ve Eren,2001). A kriterinin B kriteri ile karşılaştırılmasında A kriterinin önem derecesi a ise B kriterinin önem derecesi 1/a olmaktadır (Turgut,2015).

Saaty (2008) tarafından geliştirilen Tablo 2’de belirtilen 1 ile 9 arasında değerler alan bir önem derecesi ölçeği kullanılarak, ana kriterler, varsa alt kriterler ve son olarak tüm kriterler dikkate alınarak kriterlere göre alternatiflerin karşılaştırıldığı matrisler oluşturulur. Şekil 2’de belirtildiği üzere karşılaştırma matrisleri köşegen elemanları 1 olan bir kare matristir.

**Tablo 2.** İkili Karşılaştırma Önem Dereceleri (Saaty ,2008)

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki seçenek de eşit derecede katkıda
3	Orta derecede önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılmaktadır.
5	Kuvvetli derecede	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı oldukça üstün kılmaktadır.
7	Çok kuvvetli derecede	Bir kriter diğerine göre üstün sayılmış ve bu üstünlük uygulamada göze çarpmaktadır.
9	Kesin önemli	Bir kriterin diğerinden üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahip
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler

$$A = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ - & - & \dots & - \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \begin{matrix} n = \text{değerlendirilecek kriter sayısı} \\ c_i = i \text{ kriteri} \\ a_{ij} = i \text{ kriterinin } j \text{ kriterine göre önemi} \\ a_{ji} = 1/a_{ij} \text{ ve } a_{ii} = 1 \text{ dir.} \end{matrix}$$

### Şekil 2. Matris Düzeni

### iv. Adım Öncelik Vektörünün Hesaplanması

Karşılaştırma matrisinin her bir sütunundaki eleman, sütunların toplam değerine bölünerek normalize edilmiş matris bulunur. Matrisin her satırının ortalaması alınarak “Öncelikler Vektörü” bulunur. Öncelikler vektörünün hesaplanmasından sonra “Tüm Öncelikler Matrisi” oluşturulması için elde edilen öncelikler vektörü en başta oluşturulan karşılaştırma matrisi ile çarpılarak, karşılaştırma matrisini dikkate alır (Baysal,2018).

### v. Adım Tutarlılık Oranının Hesaplanması

Karşılaştırma matrislerinin tamamlanmasından sonra öncelik vektörü hesaplanır. Öncelik vektörü hesaplanırken, normalize edilen matrisin her bir satır toplamı, matrisin düzeyine bölünerek ortalamaları bulunur. Elde edilen bu değerler her bir kriter için hesaplanan önem ağırlıklarıdır. Bu ağırlıklar, problemin öncelik vektörünü oluşturur. Karşılaştırmaların ve önceliklerin belirlenmesinden sonra tutarlılık oranı belirlenir. İkili karşılaştırma değerlendirmeleri sonucu oluşan matrisin tutarlı olup olmadığını belirleyebilmek için birçok yöntemden bir tanesi olan “Tutarlılık İndeksi (CI)” adı verilen katsayının hesaplanması gerekmektedir (Açık Ders, 2011).

Karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranı 0, 10’dan küçükse yapılan karar verme işlemi tutarlıdır.

$$CI = \lambda_{max} / (n - 1) \quad (1)$$

CI: Tutarlılık Göstergesi

$\lambda_{max}$ : Öncelikler matrisinin her bir değeri, öncelikler vektörü değerlerine bölünerek, elde edilen yeni matris elemanlarının ortalaması alınarak elde edilir (Saaty, 2008).

n: Matrisin boyutu

CI bulunduktan sonra tutarlılık oranı (CR) şu şekilde hesaplanır;

$$CR = \frac{CI(\text{Tutarlılık Göstergesi})}{RI(\text{Rassallık Göstergesi})}$$

(2)

**Tablo 3.** Rassal Göstergeler (Saaty, 2008)

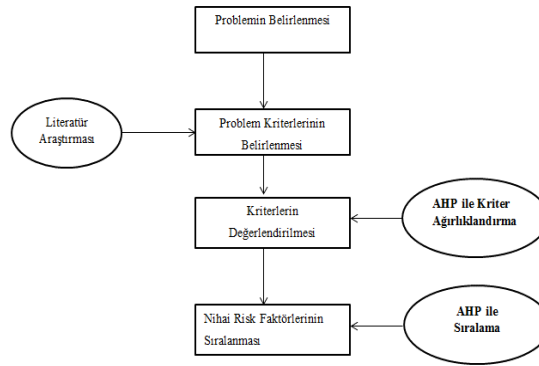
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

### vi. Adım Nihai Kriter Ağırlıklarının Değerlendirilmesi

Belirlenen tutarlılık değerleri ile çalışmanın bir sonraki aşaması kriter ağırlıklarının hesaplanması ve sıralamasıdır. Elde edilen ana kriter öncelik vektörü (W) ile alt kriterlere ait öncelik vektörleri(W) çarpılarak kriter ağırlıkları elde edilir. Kriter ağırlıkları bulunarak sıralama yapılır.

### 3.2. Çalışma Modeli

Bu çalışmada AHP yöntemi kullanılacaktır. Yöntemin belirlenmesi ile birlikte yöntemi ele aldığımız probleme uyarlayarak Şekil 3'de belirtildiği üzere AHP yöntemi ile yapılacak ana aşamalar belirtilmiştir.

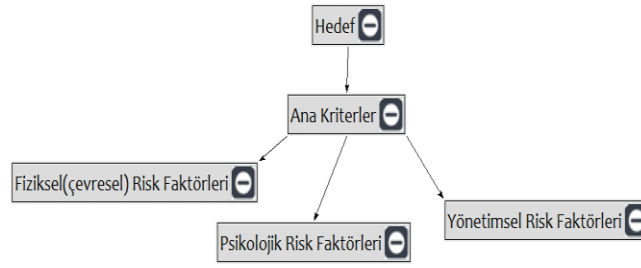
**Şekil 3.** Amaçlanan AHP Yöntemi Aşamaları

Çalışmada ele aldığımız Analitik Hiyerarşi Prosesi yönteminin başarılı sonuçlar elde etmesi için ilk aşama olarak hedefimizin belirlenmesi gerekmektedir.

Çalışmadaki amaç, zorlu bir süreç olan pandemi döneminde işletmelerdeki çalışma ortamlarında oluşan risk faktörlerinin belirlenerek AHP yöntemi ile kriter ağırlıklandırılmalarının yapılması ve risk faktörlerinin öncelik derecelerine göre sıralanmasıdır. Kullanılan kriterler çalışma ortamlarının ergonomik açıdan inceleyen literatürlerin taraması ile belirlenmiştir. Literatür de en çok kullanılan risk faktörleri tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan kriterler; üç ana kriter ve her bir ana kriterin alt kriterleri ile on dört alt kriter vardır. Kriterlerin belirlenmesinden sonra ağırlıklandırılması için AHP yöntemi hiyerarşik yapısı oluşturulmuştur. En üstte çalışmada ulaşılması hedeflenen durum vardır. İkinci seviyede çalışmada ele alınan ana kriterler bulunmaktadır. Üçüncü seviyede her bir ana kritere ait alt kriterler bulunmaktadır.

Çalışmadaki hedef çalışma ortamlarındaki en öncelikli riskin belirlenmesidir. Çalışmada üç ana kriter vardır; Fiziksel(çevresel) Risk Faktörleri, Psikolojik Risk Faktörleri ve Yönetimsel Risk Faktörleri kriterleridir.

Şekil 4'de gösterildiği üzere SuperDecision paket programı ile problemin AHP modeli oluşturulur ve kriterlerin birbirleri ile bağlantıları ifade edilir. Üç seviyeye sahip hiyerarşik modelin hedef kümesinde çalışma ortamlarında öncelikli riskin belirlenmesi amacı bulunmaktadır. Hedef kümesi ikinci seviye olan ana kriterler kümesi ile bağlantılıdır. Ana kriterler kümesinde fiziksel risk faktörleri, psikolojik risk faktörleri ve yönetimsel risk faktörleri bulunmaktadır. Üçüncü seviyede ana kriterler kümesi her bir kriterin alt kriterinin bulunduğu ana kümeler ile bağlantı oluşturmaktadır.



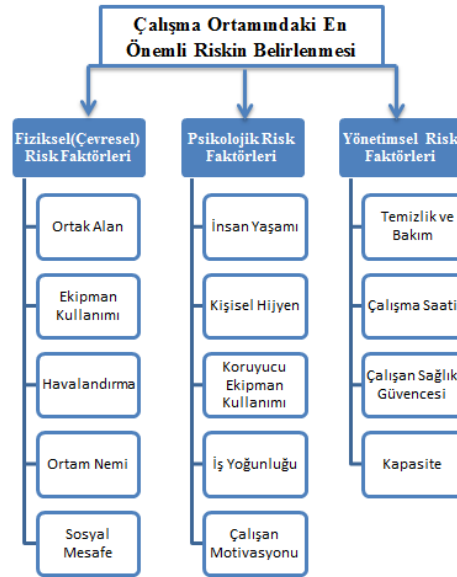
Şekil 4. SuperDecision Üzerinde AHP Modeli

Tablo 4 'de AHP hiyerarşik modeline ait hedef, ana kriterler ve alt kriterlerin ilişkisini gösteren matris bulunmaktadır. A hedef, B kriterler, C alt kriterleri ifade etmektedir. Hedef, kriterlere bağlıdır. Ana kriterler arasında ilişki bulunmaktadır ve ikili karşılaştırmalar yapılmaktadır. Ana kriterlerine göre gruplandırılan alt kriterlerde kendi ana kriterine ait kriterler ile karşılaştırmalar yapılmaktadır.

Tablo 4. İlişki Matrisi

	Hedef	Ana Kriterler	Alt Kriterler
Hedef	0	0	0
Ana Kriterler	A	B	0
Alt Kriterler	0	C	0

SuperDecision programı üzerinden oluşturulan AHP modelinin daha sade ve açıklayıcı modeli Şekil 5'de bulunmaktadır. Şekil 5 üzerinde hiyerarşik yapının seviyesi ve kriterler ile bağlantıları görülmektedir.



Şekil 5. Çalışma Ortamlarındaki En Önemli Riskin Belirlenmesi Hedefi Hiyerarşik Yapısı

### 3.3. Verilerin Elde Edilmesi

Çalışması kapsamında ana ve alt kriterlerin belirlenmesinden sonra AHP yönteminin ana aşamalarından olan kriterlerin değerlendirilmesi için işletmelerde çalışmakta olan üç uzmana danışılmıştır. Belirlenen kriterlerin açıklamaları ve değerlendirme yaparken dikkat edilmesi gereken hususlar iletilmiştir. Kriterlerin birbirleri ile bağlantıları ifade edilerek değerlendirmelerde tutarsızlık meydana gelmesi önlenmiştir. Excel üzerinden pandemi dönemini göz önüne alarak çalışma koşullarında yaşadıkları zorlukları ifade eden risklerin ikili karşılaştırma anketleri oluşturulmuştur ve ana kriterlerin değerlendirilmesinden sonra alt kriterlerin ikili karşılaştırılmasının yapılması istenmiştir. Yapılan değerlendirme sonuçlarının elde edilmesi ile karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur.

### 3.4. Uygulama

Bu bölümde teorik bilgileri ifade edilen çözüm yönteminin uygulama aşamaları ve elde edilen verileri ele alınmaktadır. Problem çözümü için çalışmanın hedefini belirleyerek ve bu hedef doğrultusunda kullanılacak yöntemleri en iyi şekilde benimseyerek faydalı sonuçlar elde etmektedir.

Uygulamanın ilk kısmında AHP yöntemi ile çalışma ortamlarında oluşan risk faktörlerinin belirlenip kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Literatür taraması sonucu elde edilen kriterler Saaty tarafından önerilen 1-9 önem skalası kullanılarak uzman görüşlerin ikili karşılaştırma matrisleri elde edilmiştir. Çalışmanın devamında ikili karşılaştırma matrisleri ile karar vericilerin her biri için ana kriter ve alt kriterlere göre tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Karar vericilerin cevaplarının Tutarlılık oranları  $CR < 0,1$  ile tutarlı kabul edilmiştir.

AHP metodunda birden fazla karar vericinin olduğu durumlarda karar vericilerin birbirlerinden ayrı olarak değerlendirdiği sonuçların geometrik ortalamaları alınır ve ortak bir matris oluşturulur. Ana ve alt kriterler için oluşturulan bütünleştirilmiş matrisin tutarlılık oranını hesaplanmalı ve  $CR < 0,1$  olmalıdır. Çalışmada karar vericilerle birden çok olduğu için ana ve alt kriterlerin bütünleştirilmiş matrisleri SuperDecision paket programı yardımı ile kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Belirlenen kriter ağırlıkları sıralanarak pandemi döneminde işletmeleri etkileyen risk faktörlerinin öncelik sıraları belirlenmiştir.

Tablo 5’de ana kriterlere ait öncelik değerleri ve sıralamaları bulunmaktadır. Ana kriterlerden Psikolojik Risk Faktörü 0,6915 değeri ile en öncelikli kriter olarak belirlenmiştir. Psikolojik Risk Faktörleri sadece insanın çalışma alanındaki verimliliğini değil aynı zamanda kişisel sorunlarını, aile ve sosyal hayatını da olumsuz etkileyen bir risk faktörüdür. AHP yöntemi ile Fiziksel Risk Faktörü 0,1796 değerini olarak pandemi döneminde çalışma ortamlarını etkileyen ikinci kriterdir. Günümüzü etkisi altına alan bu süreçte işletmelerin çalışma ortamlarını Yönetimsel Risk Faktörü 0,1288 değeri ile ana kriterler arasında en az etkileyen risk faktörü olarak belirlenmiştir.

**Tablo 5.** Ana Kriterlerin Öncelik Değerleri

ANA KRİTERLER	AĞIRLIK
Psikolojik Risk Faktörleri	0,6915
Fiziksel Risk Faktörleri	0,1796
Yönetimsel Risk Faktörleri	0,1288

Tablo 6’da alt kriterlerin her birinin öncelik değerleri bulunmaktadır. Risk faktörleri ana kriterlerine göre gruplandırılmıştır. Her ana kritere ait alt kriterlerde öncelik değerleri yüksek olandan düşük olana göre sıralanmıştır

**Tablo 6.** Alt Kriterlerin Öncelik Değerleri

ANA KRİTERLER	ALT KRİTERLER	Ağırlık
Fiziksel (Çevresel) Risk Faktörleri	Sosyal Mesafe	0,3367
	Ortak Alanlar	0,2094
	Havalandırma	0,2074
	Ekipman Kullanımı	0,1733
	Ortam Nemliliği	0,0732
	Çalışma Motivasyonu	0,2877
Psikolojik Risk Faktörleri	Kişisel Hijyen	0,2699
	İş Yoğunluğu	0,2043
	İnsan Yaşamı	0,1204
	Koruyucu Ekipman Kullanımı	0,1177
Yönetimsel Risk Faktörleri	Temizlik ve Bakım	0,3248
	Çalışan Sağlık Güvencesi	0,2966
	Çalışma Saati	0,2171
	Kapasite	0,1615

Çalışmanın son aşamasında elde edilen alt kriterlere ait öncelik değerleri ile ait oldukları ana kriterlerinin çarpma işlemi yapılarak kriter ağırlıklarının bulunmasıdır.  $W$  öncelik vektörlerini ifade etmektedir.

Elde edilen kriter ağırlıkları ile nihai sıralama yaparak problemde amaçlanan çözüme kavuşacaktır. Tablo 5’de belirtilen ana kriterlere ait öncelik değerleri ile Tablo 6’da belirtilen alt kriterlerin öncelik değerleri çarpılarak kriter ağırlıkları Tablo 7’de elde edilmiştir.

$$W_{\text{alt kriter}} \times W_{\text{ana kriter}}$$

(3)

**Tablo 7.** Alt Kriterlerin Ağırlık Değerleri ve Nihai Sıralama

Sıralama	ALT KRİTERLER	SONUÇ
1	Çalışma Motivasyonu	0,19895
2	Kişisel Hijyen	0,18664
3	İş Yoğunluğu	0,14127
4	İnsan Yaşamı	0,08326
5	Koruyucu Ekipman Kullanımı	0,08139
6	Sosyal Mesafe	0,06047
7	Temizlik ve Bakım	0,04183
8	Çalışan Sağlık Güvencesi	0,03820
9	Ortak Alanlar	0,03761
10	Havalandırma	0,03725
11	Ekipman Kullanımı	0,03112
12	Çalışma Saati	0,02796
13	Kapasite	0,02080
14	Ortam Nemliliği	0,01315

Alt kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi ile en yüksek ağırlık değerine sahip kriter 0,19895 değerine sahip “Çalışan Motivasyonu” dur. Daha sonra ise kişisel hijyen, iş yoğunluğu, insan yaşamı, koruyucu ekipman kullanımı, sosyal mesafe, temizlik ve bakım, çalışan sağlık güvencesi, ortak alanlar, havalandırma, ekipman kullanımı, çalışma saati, kapasite ve en az ağırlık değerine sahip olan ortam nemi kriterleri gelmektedir.

#### 4. Sonuçlar

Günümüzde işletme ve çalışan performansını etkileyen en önemli unsur çalışma ortamlarıdır. Çalışan performansını çevresel ve psikolojik açıdan etkileyen faktörler çalışma ortamı düzeni ile doğru orantılıdır. Çalışma ortamlarında uzun çalışma saatleri insanları fiziksel ve psikolojik açıdan yormaktadır. Ergonominin amacı, çalışma ortamlarının insan faktörüne uygun şekilde düzenlenmesi ve insan iş uyumunun sağlanmasıdır. Ergonominin önemini benimsenmesi ve çalışma ortamlarının sağlıklı olması, çalışan verimini artırır bu faaliyette işletme veriminin artmasına fayda sağlamaktadır. Bu yüzden işletmeyi etkileyen faktörler değerlendirilmeli ve önlemler alınmalıdır. 2020 yılında Covid-19 virüsünün dünyayı ele geçirmesi ile günlük hayat ve iş hayatımızdaki risklerle beraber alınması gereken önlemler de artmaktadır.

Bu çalışmada güncel bir konu olan Covid-19 virüsünün bulaşma riskinin yüksek olduğu kapalı çalışma ortamlarında insan sağlığını tehdit eden faktörler bulunmuş ve en öncelikli risk faktörü belirlenmiştir. Problemin amacının belirlenmesi ile amaca uygun yöntem ve kriterler belirlenmiştir. AHP yöntemi ile yapılan uygulamada üç ana kriter ve on dört alt kriter kullanılmıştır. Belirlenen kriterlerin uzman görüşler tarafından ikili karşılaştırmaları yapılmış ve matrisler elde edilmiştir. Üç tane karar vericiden alınan cevapların tutarlılık oranları ve öncelik değerleri hesaplanmıştır.

Yapılan tüm çalışmalar sonucunda AHP yöntemi ile pandemi döneminde çalışma ortamlarını etkileyen öncelikli ana kriterin ‘Psikolojik Risk Faktörü’ olduğu sonucuna varılmıştır. Pandemi döneminde çalışan sağlığını etkileyen en az öneme sahip ana kriter ise “Yönetimsel Risk Faktörü” olduğu sonucuna varılmıştır. İş ve çalışma ortamları insanların fiziksel sağlıklarını etkiledikleri gibi ruhsal sağlığını da etkileyen önemli bir etken olmaktadır (Oruç,2020). Çalışma ortamlarının psikolojik açıdan uygun olmayan işletmelerde çalışanların yaşadığı stres, kaygı, üzüntü, iş kazaları ve iletişim eksikliği işletmelerin performansını da olumsuz yönde etkilemektedir. Oruç’un da çalışmasında görüldüğü üzere, haber yayıncılığında iş sağlığı ve güvenliği üzerine yaptığı çalışması ile psikolojik faktörlerin öneminden ve çalışanları etkileyen önemli kriterin mobing olduğu belirlenmiştir (Oruç,2020).

AHP yöntemi ile problemin ana risk faktörlerinin kriter ağırlıklarının bulunması ile alt kriterlerine ait kriter ağırlıklarında bulunmuştur. Pandemi döneminde çalışma ortamlarında insanları etkileyen en önemli risk faktörünün “Çalışan Motivasyonu” olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Psikolojik Risk Faktörünün alt kriteri olan çalışan motivasyonu bu süreçte insanları ve işletmeyi etkileyen en önemli etmen olarak belirlenmiştir. Pandemi döneminde işletmeleri ve çalışanlar için en az riske sahip kriter ise “Ortam Nemi” faktörü olduğu sonucuna varılmıştır. Yılmaz’da, işgücü verimliliğini etkileyen faktörleri belirlediği çalışmasında çalışanın psiko-sosyal faktörler ve motivasyon açısından tatmin edilmezse, diğer faktörlerin etkisinin bir önemini kalmayacağından bahsetmiştir (Yılmaz,2019).

Covid-19 pandemisi ile fiziksel ve sosyal kısıtlamalar beraberinde psikolojik sorunları da ortaya çıkarmaktadır. Pandemi döneminin uzun soluklu olarak devam etmesi insanlarda hastalığa karşı psikolojik sorunları oluşturmaktadır. İnsanların kendileri ve sevdiklerini koruma içgüdüleri ile hareket ettiği bu dönemde kaybetme korkusu, kısıtlamalardan dolayı ortaya çıkan yalnızlık, işyerleri ve sosyal paydaşlardan virüsün bulaşma korkusu ortaya çıkmaktadır (Tükel,2021). Pandemi ile ortaya çıkan psikolojik sorunlar insanın iş hayatını etkileyen faktörlerdendir. İşletmelerin temel hedefi olan ekonomideki yerlerini ve verimliliklerini artırma gayesi bu süreçte çalışanlarını koruma ile sağlanmaktadır. Bu hedef doğrultusunda ergonomi ile stres faktörleri denetim altına alınıp, çalışma ortamından kaynaklanan olumsuz faktörler azaltılmalı ve çalışanın sağlığını iyileştirerek iş verimini yükselterek kazancın geri dönüşümü artırılır (Düşüngülü vd.,2014). Çalışan performansının etkin ve verimli kullanılması için bireylerin ruhsal ve fiziksel gücünün iş için uygun ve

sağlıklı olması gerekmektedir. Ergonomik çalışma ortamlarının fiziki şartlarının uygun ve çalışanların ruhsal sağlığını tatmin edici düzeyde olmalıdır. Performansın en büyük etkileyici faktörü olan çalışan motivasyonu, çalışmanın sonucunda da görüldüğü üzere pandemi döneminde çalışanlar için en önemli risk faktörü olduğu ortaya çıkmıştır. İnsanların değişen ortam ve sağlık koşullarına uyum sağlamakta zorlandığı ve bu uyumsuzluğu iş verimlerine de etki ettiği görülmektedir.

## 5. Tartışma

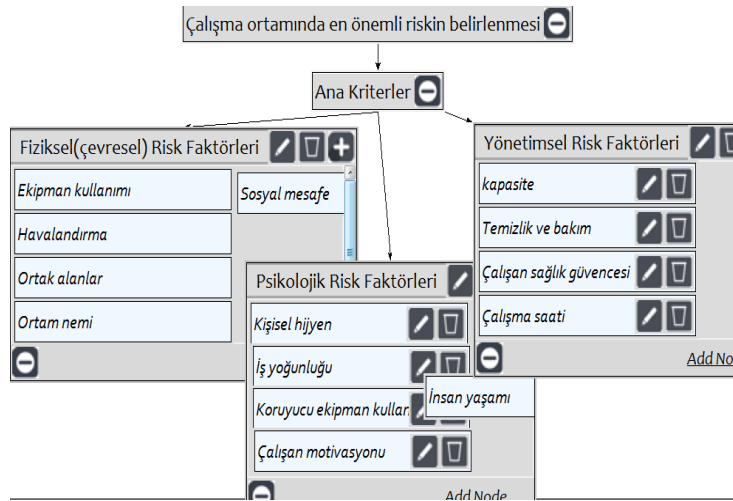
Pandemi dönemi devam etmektedir ve bu konuda yapılan çalışmalar kısıtlıdır. Bu çalışmanın diğer çalışmalara katkısı, pandemi döneminde çalışma ortamlarında insan sağlığını etkileyen faktörlerin belirlenerek bu faktörlerin en aza indirilmesine yardımcı olmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan kriterler pandemi dönemine uygundur ve başka çalışmalar içinde kullanılabilir niteliktedir. Elde edilen sonuçlar işletmeler tarafından göz önünde bulundurulmalı ve risk faktörleri için önlemler alınmalıdır.

## Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

## Ekler

### A. SuperDecision AHP Modeli



### B. SuperDecision Kriter Ağırlıkları

Ekipman kullanımı	0.031140
Havalandırma	0.037272
Ortak alanlar	0.037622
Ortam nemi	0.013156
Sosyal mesafe	0.060500
İnsan yaşamı	0.083320
İş yoğunluğu	0.141294
Kişisel hijyen	0.186570
Koruyucu ekipman kullanımı	0.081440
Çalışan motivasyonu	0.198878
kapasite	0.020804
Temizlik ve bakım	0.041836
Çalışan sağlık güvencesi	0.038210
Çalışma saati	0.027958

## Referanslar

- Açık Ders, Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri-III, Ankara Erişim adresi: <https://acikders.ankara.edu.tr/course/view.php?id=5704>  
Erişim Tarihi: 05 Mart 2021
- AKALP, G., & ÖZOK, A. F. (2017). Ergonomik Risklerin Bulanık Mantık Yöntemi İle Modellenmesi Ve Bir Uygulama. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5, 69-79.
- AKBAL, H., & AKBAL, H. İ. (2020). Covid-19 Pandemi Sürecinde Uzaktan Eğitim İle İlgili Yaşanan Sorunların Öğrenci Bakış Açısına Göre AHP Yöntemi İle İncelenmesi. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(22), 533-546.
- Akpınar, T., Çakmakkaya, B. Y., & Batur, N. (2018). Ofis çalışanlarının sağlığının korunmasında çözüm önerisi olarak ergonomi bilimi. *Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(2), 76-98.
- Ateş, Z. G. (2020). COVID-19'UN İŞVERENİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KONUSUNDA ALMASI GEREKEN ÖNLEMLERE ETKİSİ. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(38), 161-179.
- BAKANLIĞI, Ç. V. S. G., & MÜDÜRLÜĞÜ, İ. DÖKÜM ATÖLYELERİNDEKİ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ KOŞULLARININ ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR VERME YÖNTEMLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ.
- Baysal, G. (2018), Analitik Hiyerarşi Prosesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, *Ders Notları*.
- Camkurt, M. Z. (2007). İşyeri çalışma sistemi ve işyeri fiziksel faktörlerinin iş kazaları üzerindeki etkisi. *TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi*, 21(1), 80-106.
- Çaloğlu Büyükselçuk, E., Üner, Ö., & Özkan, C. (2005). KOBİ'lerde Çalışma Koşulları-Çalışan Memnuniyeti İlişkisi.
- ÇETİNKAYA, F., & BAYKENT, G. (2017). İşyeri Çalışma Ortamı Koşullarının Ergonomik Yönden İncelenmesi (Örnek: Şekerleme Firması). *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 15-31.
- Dağdeviren, M., & Tamer, E. R. E. N. (2001). Tedarikçi firma seçiminde analitik hiyerarşi prosesi ve 0-1 hedef programlama yöntemlerinin kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 16(1), 41-52.
- Devi, R. The Importance of a Healthy Working Environment in Business. *Dünyada Covid-19 Pandemisi* (2020).
- DÜŞÜNGÜLÜ, F., TENGİLİMOĞLU, D., & ÖZTÜRK, Z. (2014). ÇALIŞMA ORTAMLARININ ERGONOMİK TASARIMININ AKADEMİK PERSONEL ÜZERİNDEKİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ GAZİ ÜNİVERSİTESİ DİŞ HEKİMLİĞİ FAKÜLTESİ ÖRNEĞİ. *Ejovoc (Electronic Journal of Vocational Colleges)*, 4(4), 93-102.
- EFE, Ö. F., & BURAK, E. F. E. Tekstil Sektöründe İş Kazalarına Sebep Olan Risk Faktörlerinin DEMATEL Yöntemiyle Analizi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(3), 1162-1175.
- Gülenç, İ. F., & BİLGİN, G. A. (2010). YATIRIM KARARLARI İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ: AHP YÖNTEMİ-A MODEL PROPOSAL FOR INVESTMENT DECISIONS: AHP METHOD. *Öneri Dergisi*, 9(34), 97-107.
- GÜVEN Nurçin, TALAŞLI İMALAT SEKTÖRÜNDE RİSK ANALİZİ, Yüksek lisans Tezi, 2019.
- HAYTA, A. B. (2007). Çalışma ortamı koşullarının işletme verimliliği üzerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi*, (1), 21-41.
- Melek, I. Ş. I. K., & DAĞSUYU, C. Bir Üretim İşletmesinde Departmanların Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Ergonomik Analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(3), 1231-1241.
- ÖLMEZ, H., ERGUN, İ., ENSARİ, M., & Emine, C. A. N. (2021). Normalleşme Sürecinde Ofis Çalışmalarında Covid-19'u Önlemede Balık Kılıç Yöntemi ile Sebep Sonuç Analizi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 33(1), 106-115.
- Ömürbek, N., & Aksoy, E. (2016). Bir petrol şirketinin çok kriterli karar verme teknikleri ile performans değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(3).
- Önder, G., & Önder, E. (2013). Yoğun Bakım Hemşirelerinin İş Tatminine Etki Eden Faktörlerin Önem Derecelerinin Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi İle Belirlenmesi (Determining the Precedence of Incentive Factors of Critical Care Unit Nurses' Job Satisfaction Using Analytic Hierarchy Process Technique). *Ksü İibf Dergisi*, 3(2), 195-216.
- ORUÇ, R. (2020). *Haber Yayıncılığında Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Bağlamında Bulanık Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleriyle Değerlendirilmesi* (Doctoral dissertation, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Önder, G., & Önder, E. (2015). Analitik Hiyerarşi Süreci. *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*. Bursa: Dora.

- Pandemi Sonrası Çalışma Hayatı Beklentilerinin Araştırılması, *HR Dergi*, 23 Haziran (2020). Erişim adresi: <https://hrdergi.com/pandemi-sonrasi-calisma-hayati-beklentileri-arastirmasi> Erişim Tarihi: 05 Mart 2021
- Pehlivanlı, U. (2019). *Safety risk assessment for tunnel construction: application of AHP to Marmaray project* (Master's thesis).
- Pirinçci, S., & Güngör, D. Ö. (2019). Çalışan Motivasyonunu Etkileyen Faktörlerin AHP Yöntemi İle Değerlendirilmesi: Bir İlaç Firması Uygulaması. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 11(4), 2512-2527.
- Roser, M., Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E., & Hasell, J. (2020). Coronavirus pandemic (COVID-19). *Our world in data*.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Samut, P. K. (2014). İki aşamalı çok kriterli karar verme ile performans değerlendirmesi: AHP ve TOPSIS yöntemlerinin entegrasyonu. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 14(4), 57-67.
- T.C Sağlık Bakanlığı Covid-19 Bilgilendirme Platformu (2020). Erişim adresi: <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66113/covid-19.html> Erişim tarihi: 05 Mart 2021
- TC. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı Covid-19 Döneminde Ortak Alanlar Kullanım Alanları Rehberi. Erişim adresi: <https://www.csgeb.gov.tr/media/68339/kiplas-covid-19-doneminde-ortak-kullanim-alanlari-rehberi-26022021.pdf> Erişim Tarihi: 05 Mart 2021
- Temel İstatistik Ders Notları, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, (2018). Erişim adresi: <https://ist-fef.omu.edu.tr/tr/hakimizda/ders-notlari> Erişim Tarihi: 05 Mart 2021
- Turgut, E. Ç. (2015). Tedarik Zinciri Yönetiminde AHP ve Bulanık AHP Yöntemi Kullanılarak Tedarikçilerin Performansının Ölçülmesi, Yeni Yöntem Önerileri Ve Uygulamaları. *Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir*.
- Tükel, R. (2020). Covid-19 pandemi sürecinde ruh sağlığı. *Türk Tabipler Birliği Covid-19 Pandemisi Altıncı Ay Değerlendirme Raporu*, 30, 2020.
- ÜÇÜNCÜ, K. (2005). Ergonomi ve İş Etüdü.
- Ülengin, F. (1992). Ulaşım Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı: İstanbul İçin Bir Uygulama. *TMMOB İstanbul*, 2, 103-121.
- World Health Organization, Cleaning and disinfection of environmental surfaces in the context of COVID-19, (2020). Erişim adresi: <https://www.who.int/publications/i/item/cleaning-and-disinfection-of-environmental-surfaces-inthe-context-of-covid-19> Erişim Tarihi: 05 Mart 2021
- Vassilev, V., Genova, K., & Vassileva, M. (2005). A brief survey of multicriteria decision making methods and software systems. *Cybernetics and information technologies*, 5(1), 3-13.
- Yamaç, S. S. (2020). Performans değerlendirme sisteminin işletme verimliliği üzerine etkisi: Denizli Organize Sanayi Bölgesi'nde bir çalışma
- YARALIOĞLU, K. (2001). Performans değerlendirmede analitik hiyerarşi proses. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(1).
- YILMAZ, Y., & ÖZDEMİR, D. S. İŞGÜCÜ VERİMLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ANALİZİ: BÜTÜNCÜL BİR YAKLAŞIM.





## Temizlik Çalışanlarının Çalışma Duruşlarının REBA Yöntemi İle Ergonomik Risk Analizi

### Ergonomic Risk Analysis of Cleaning Staff's Working Postures by REBA Method

Seher Arslankaya<sup>1</sup> , Miraç Tuba Çelik<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

*Başvuru/Received:* 01/10/2021

*Kabul/Accepted:* 30/12/2021

*Çevrimiçi Basım/Published Online:*31/12/2021

*Son Versiyon/Final Version:* 31/12/2021

#### Öz

Günümüzde teknolojik gelişmelerin etkisi görülse de hala birçok sektörde ağırlıklı olarak insan işgücünden yararlanılmaktadır. İşgücünün yoğun kullanıldığı sektörlerde işletmelerin iş sağlığı ve güvenliğine önem vermeleri gerekmektedir. Bu da iş sağlığı ve güvenliğinin kültürünü oluşturan ergonomiden geçmektedir. Ergonomi, çalışanlar üzerinde olumsuz sağlık durumları oluşturmadan yaşamlarına devam edebilmeleri ve verimliliği artırarak, kaliteli ürün ve hizmetin ortaya çıkabilmesini amaçlayan disiplinler arası bir bilim dalıdır. İşçinin özelliklerine uygun çalışma ortamı sağlayarak oluşabilecek iş kazalarını en aza indirmek ve yapılan işten kaynaklı olarak tekrarlı hareketler ile uygun olmayan duruşlardan kaynaklı oluşabilecek kas ve iskelet sistemi hastalıklarını önlemeyi amaçlar. Bu çalışmanın amacı, temizlik sektöründe çalışan kişilerin sık sık yaptığı ve zorlandığı işlerin REBA yöntemi kullanılarak analiz edilmesidir. Çalışmada paspaslama ve cam silme olmak üzere toplamda 2 iş ve altı adet çalışma duruşu incelenmiştir. Bu işler ileride kas ve iskelet sistemi rahatsızlığına yol açabileceği görüşü de göz önüne alınarak seçilmiştir. REBA yöntemi kullanılarak belirlenen işlerin risk seviyeleri ve önem dereceleri belirlenmiştir. Çalışmada REBA yönteminin kullanılmasının amacı, çalışma sırasında çalışanın tüm vücudunu değerlendirilebilmesidir. REBA yöntemi ile dinamik hareketler dışında, sabit duruşlarda analiz edilebilir.

#### Anahtar Kelimeler

*“Ergonomi, REBA, Risk Seviyesi, Önem Derecesi”*

#### Abstract

Although the impact of technological developments is seen today, human labor is still predominantly used in many sectors. In sectors where the workforce is heavily used, businesses need to give importance to occupational health and safety. This goes through ergonomics, which creates the culture of occupational health and safety. Ergonomics is an interdisciplinary branch of science that aims to enable employees to continue their lives without creating negative health conditions and to increase productivity and to provide quality products and services. It aims to minimize occupational accidents that may occur by providing a working environment suitable for the characteristics of the worker and to prevent musculoskeletal system diseases that may occur due to repetitive movements and inappropriate postures due to the work done. The aim of this study is to analyze the jobs that people working in the cleaning sector often do and have difficulty with using the REBA method. In the study, a total of 2 jobs and six working postures, mopping and wiping windows, were examined. These jobs have been chosen considering the view that they may cause musculoskeletal disorders in the future. The risk levels and importance levels of the jobs determined using the REBA method were determined. The purpose of using the REBA method in the study is to evaluate the entire body of the employee during the study. With the REBA method, it can be analyzed in fixed postures, apart from dynamic movements.

#### Key Words

*“Ergonomics, REBA, Risk Level, Importancelevel”*

## 1. Giriş

Geçmişten günümüze kadar her türlü sektörde çalışan kadın ve erkek işçilerin sağlıkları ve çalışma ortamları arasındaki ilişki bir sorun olarak ele alınmıştır. Bu ilişkinin bir sorun olmasının sebebi gelişen teknolojiye rağmen hala birçok sektörde ağırlıklı olarak insan işgücünden yararlanılmasıdır. Her sektörün kendi içinde çalışanlarına getirdiği riskler farklıdır (Akyol, 2017). Risk, istem dışı bir durumun yaşanma olasılığı ile bu durumun ortaya çıkmasıyla oluşacak problemlerin şiddetinin bileşkesidir (Ergün, 2017). Bu risklerin ortadan kaldırılması için işletmelerin iş sağlığı ve güvenliğine önem vermeleri gerekmektedir. Bu da iş sağlığı ve güvenliğinin kültürünü oluşturan ergonomiden geçmektedir. Ergonomi, çalışanlar üzerinde olumsuz sağlık durumları oluşturmadan yaşamlarına devam edebilmeleri ve verimliliği artırarak, kaliteli ürün ve hizmetin ortaya çıkabilmesini amaçlayan disiplinler arası bir bilim dalıdır (Choi & Liker, 1992). Ergonomide ki en önemli nokta, iş süreçlerinin, çevrenin ve insan tarafından oluşturulan daha birçok faktörün düzenlenmesinde insanın dikkate alınmasıdır (Koç & Testik, 2016).

İşletmelerin ergonomi açısından önem verdiği konulardan biri çalışma duruş pozisyonlarıdır (Özay & Özcan, 2020). Vücut, baş, gövde, kol ve bacakların işçinin yaptığı işe ve o işin özelliğine göre konumlanması çalışma duruşu olarak tanımlanmaktadır (Akay vd., 2003). İşçinin çalışma esnasında sabit duruşlar, tekrarlı hareketler yapması ve uygun olmayan duruşlar sonucunda vücudunu zorlaması kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına sebep olmaktadır (Atıcı vd., 2015). Kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, kaslarda, sinirlerde, tendonlarda vb. bölgelerde meydana gelen bozukluklardır. Eğilme, tutma, bükme ve uzanma gibi vücut hareketlerinden kaynaklanmaktadır (Akay vd., 2003). Temizlik sırasında yapılan ovma, silme, eğilme, çömelme, itme, çekme ve ağırlık kaldırma gibi işlemler kas-iskelet sistemi hastalıklarının çok fazla görüldüğü işlerdir (Çırpan vd., 2016). Temizlik sektörü özel ve kamu alanlarında, kapalı ve açık ortamlarda hizmet sektörünün bir parçasıdır. Hem tek başına çalışma gerektirmesi hem de yoğun işgücünün kullanılması temizlik sektörünü diğer sektörlerden ayırmaktadır. Çalışanların ağır iş yüklerine maruz kalmaları ve yapılan işten kaynaklı çok fazla uygun olmayan çalışma duruşlarının olması temizlik sektörünün zorlukları arasındadır.

Kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olacak ergonomik riskler şu şekilde sıralanabilir (Esen & Fiğlali, 2013):

- Tekrarlı işler,
- Düzensiz yerleşim,
- İşin hızı,
- Sıcaklık, nem, titreşim vb. çalışma ortamının durumu
- Sabit duruşlar
- Çalışanın fiziksel kapasitesi

vb.

Kas-iskelet sistemi hastalıkları sadece ülkemizde değil dünyada çok sık karşılaşılan hastalıklardan bir tanesidir. İşletmelerde iş sağlığı ve güvenliği önlemleri alınmadığı sürece kas-iskelet sistemi hastalıkları çok ciddi artışlar gösterecektir. Bu artışlar neticesinde nitelikli iş gücü azalacak ve işletmelerin finansal sorunlar yaşamasına neden olacaktır (İçağasioğlu vd., 2015).

Bu çalışmada temizlik çalışanlarının çalışma duruşlarının REBA analiz yöntemi ile ergonomik risk analizi yapılmıştır. Seçilen paspaslama ve cam silme işlemlerinde sık sık tekrarlanan işler olması sebebiyle kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına yol açabileceği görülmüştür. Çalışmanın geri kalan kısmı şu bölümlerden oluşmaktadır: ikinci bölümde literatür taraması yapılmış, üçüncü bölümde yöntem anlatılmış, dördüncü bölümde uygulama yapılmış ve beşinci bölümde sonuçlar yazılmıştır.

## 2. Literatür Araştırması

Literatürdeki REBA yöntemi ile yapılan çalışmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Hignett ve McAtamney (2000) sağlık ve diğer hizmet sektörlerinde çalışan kişilerin iş duruşlarını kayıt altına alarak çalışanların çalışma duruşlarını incelemiştir. Çalışmada geliştirilen REBA duruş analiz yöntemi detaylı olarak anlatılmıştır.

Kocabaş (2009) yapı işleri, metal eşya imalatı, metalurji sanayi ve taş işlerinde çalışan işçilerin çalışma anındaki duruşlarını REBA ve OWAS yöntemlerini kullanarak incelemiştir.

Rud (2011) REBA ve RULA yöntemlerini kullanarak bir şirkette ki kargo kutularının kaldırma teknikleri ile ergonomik risk analizini yapmıştır. Çalışmanın sonucunda kargo kutularını kaldırmadan dolayı meydana gelen risk faktörlerinin azaltılması gerektiği sonucuna ulaşmıştır. Aynı zamanda kişisel koruyucu donanım ve idari kontrollerin belirlenmesi gerektiğini söylemiştir.

Chiasson vd., (2012) QEC, HAL (Hand Activity Level), JSI (Job Strain Index), OCRA indeksi (Occupational Repetitive Actions), RULA, REBA metodlarını kullanarak farklı sektörlerdeki 567 görevi içeren 244 iş istasyonunda kas-iskelet sistemi hastalıkları ile ilgili risk faktörlerini değerlendirmişlerdir.

Lasota (2014) REBA yöntemini kullanarak kitap satışı yapan bir şirkette siparişi bulma, ambalajlama ve tasnif etme faaliyetlerini değerlendirmiştir. Çalışma sonucunda sipariş hazırlama sürecinde çalışan kişilerin kas-iskelet sistemi hastalıklarına maruz kalma risklerinin fazla olduğu tespit etmiş ve iş istasyonlarının yeniden tasarlanması gerektiğini belirtmiştir.

Liu (2014) LUBA, REBA, OWAS, KIM, OCRA, SI, ULRA, NIOSH ve RULA yöntemlerini kullanarak kas-iskelet sistemi yük analizi yapmıştır.

Mork ve Choi (2015) REBA ve BodyMap yöntemlerini kullanarak laboratuarda numune hazırlama işlemindeki duruş pozisyonlarını değerlendirmişlerdir.

Sağiroğlu vd., (2015) bir kompresör fabrikasının üretim hattındaki 10 iş istasyonu için REBA yöntemini kullanarak risk analizi yapmışlardır. Çalışma sonucunda 2 istasyon için iyileştirme yapılmasına karar verilmiştir.

Koç ve Testik (2016) OWAS, REBA, QEC, Mantra yöntemlerini kullanarak mobilya fabrikasında ergonomik risk değerlendirmesi yapmışlar ve ergonomik risklere çözüm önerileri geliştirmişlerdir.

Ulutaş ve Gündüz (2017) kablo imalatı yapan bir firmada kas-iskelet sistemi hastalıklarına neden olan problemleri tespit etmişler ve problemlerin iyileştirilmesi için yeni uygulamalar geliştirmişlerdir. Çalışmada HMD (Hızlı Maruziyet Değerlendirme) ve REBA yöntemlerini kullanmışlardır.

Akyol (2017) REBA yöntemini kullanarak tekstil firmasında çalışanların duruşlarını ergonomik risk açısından değerlendirmiş ve riskin kas-iskelet sistemi hastalığı üzerindeki etkisini incelemiştir.

Özoğul vd., (2017) bir metal sanayi işletmesinde bir hatta yapılan 7 işlemde incelemeler yaparak çalışanlar üzerinde etkisi olan ergonomik risk düzeylerini REBA ve OWAS yöntemleri ile tespit etmişlerdir.

Kırcı (2018) bir lojistik deposundaki işçilerin yaptığı işlerin risk analizini REBA, NIOSH ve RULA yöntemlerini kullanarak yapmışlardır.

Kahya ve Söylemez (2019) bir jant fabrikasında 4 tezgahta çalışan işçilerin fiziksel zorlanmalarını REBA ve QUEC yöntemlerini kullanarak tespit etmişler ve iyileştirmelerde bulunmuşlardır.

Özay ve Özcan (2020) temizlik çalışanlarının duruş pozisyonlarını REBA analiz yöntemi ile değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda kas-iskelet sistemi hastalıklarının azaltılması için önerilerde bulunulmuş ve ergonomik risk değerlendirmesi yapılmıştır.

### 3. Materyal ve Metot

REBA yöntemi Hignett ve McAtamney tarafından, sayısal ve sözel tablolar kullanarak elle yapılan taşıma, kaldırma işlemlerindeki riski hesaplayarak hatalı duruş pozisyonlarına bağlı oluşacak kas-iskelet sistemi hastalıklarının oluşmasını engellemek için tasarlanmıştır (Sağiroğlu vd., 2015). REBA yöntemi tüm vücut faaliyetleri sırasında işçinin hem dinamik hem de sabit duruşunu analiz eden gözleme dayalı bir duruş analiz metodudur (Hignett & McAtamney, 2000; Kocabaş, 2009).

REBA yöntemi, pahalı malzemelere gerek duymadan ve çok sayıda duruş pozisyonunu zaman, çaba ve maliyet olmadan seri bir şekilde değerlendirebilmektedir (Sağiroğlu vd., 2015). REBA yöntemi ile çalışma sonucunda duruş yada hareketin sebep olduğu toplam risk sayısal olarak ifade edilebilir bu ifade şekli hareket veya duruşun tek başına oluşturacağı riski belirtmeyi sağlar (Atıcı vd., 2015).

REBA analiz yöntemi iyileştirme yapılacağı zaman iyileştirmenin öncesinde ve sonrasında risklerin azalıp azalmadığını değerlendirmek için kullanılır (Esen ve Fırlalı, 2013). REBA metodu sağlık ve diğer hizmet sektörlerinde yer alan tahmin edilemeyen çalışma duruşlarını kolaylıkla değerlendirmek için kullanılabilir (Ünver Okan & Kaya, 2015).

REBA skoru hesaplanırken ilk olarak vücut A ve B olarak iki gruba ayrılır. A grubu boyun, gövde ve bacaklardan; B grubu ise üst kol, alt kol ve el bileklerinden oluşmaktadır. A grubunda bulunan bölümlerin açıları ölçülerek Şekil 1 'de bulunan puan tablosundan skor belirlenir (Koç & Testik, 2016).

GÖVDE		
Hareket	Skor	Skor Değişimi: Eğer bükme ya da yana doğru dönme hareketi de varsa skora +1 ekle
Dik Duruş	1	
0°-20° fleksiyon 0°-20° ekstansiyon	2	
20°-60° fleksiyon >20° ekstansiyon	3	
>60° fleksiyon	4	
BOYUN		
Hareket	Skor	Skor Değişimi: Eğer bükme ya da yana doğru dönme hareketi de varsa skora +1 ekle
0°-20° fleksiyon	1	
>20° fleksiyon veya ekstansiyon	2	
BACAĞ		
Duruş	Skor	Skor Değişimi: Eğer dizlerde 30°-60° arası fleksiyon varsa skora +1 Eğer >60° fleksiyon varsa skora +2 ekle (ayakta durma durumunda)
Ağırlık iki bacak üstünde, yürüme ya da oturma durumunda	1	
Ağırlık tek bacak üstünde, dengesiz durumda	2	

Şekil 1. Grup A Puanlaması

Gövde, boyun ve bacak skorları Şekil 1'deki tablodan bulunduktan sonra Şekil 2'de yer alan tabloda işaretlenir ve A grubu skoruna ulaşılır (Koç & Testik, 2016).

		Boyun											
		1				2				3			
Gövde	Bacaklar	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	1		1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5
2		2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3		2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4		3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5		4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Şekil 2. Grup A Vücut Bölümlerinin Hesaplanması (Gövde, Boyun, Bacaklar)

Şekil 3'de yer alan yük/kuvvet puan tablosundan yer alan değerde A grubu skoruna eklenerek A skoru elde edilmektedir (Koç & Testik, 2016).

	1	2	+1
<5 kg	5-10 kg	>10 kg	Ani veya hızla artan güç kullanımını gerektiğinde

Şekil 3. Yük/Kuvvet Puanlaması

B grubunda bulunan bölümlerin açılırları ölçülerek Şekil 4 'de bulunan puan tablosundan skor belirlenir (Koç & Testik, 2016).

		ÜST KOLLAR		
		Hareket	Skor	Skor Değişimi: Eğer kol dönmüş veya dışarı çekilmişse : +1 Omuz yükseltilmiş durumdaysa: +1 Eğer hareket yerçekimi desteği ile yapılıyorsa: -1
	20° kadar olan ekstansiyon veya fleksiyon	1		
	>20° ekstansiyon 20°-45° arası fleksiyon	2		
	45°-90° arası fleksiyon	3		
	> 90° fleksiyon	4		
		ALT KOLLAR		
		Hareket	Skor	
	60°-100° fleksiyon		1	
	<60° fleksiyon >100° fleksiyon		2	
		BİLEK		
		Hareket	Skor	Skor Değişimi: Bilek dönmüş durumdaysa: +1
	0°-15° arası ekstansiyon veya fleksiyon	1		
	> 15° fleksiyon veya ekstansiyon	2		

Şekil 4. Grup B Puanlaması

Üst kol, alt kol ve bilek skorları Şekil 4'deki tablodan bulunduktan sonra Şekil 5'de yer alan tabloda işaretlenir ve B grubu skoruna ulaşılır (Koç & Testik, 2016).

		Alt Kol					
		1			2		
Bilek		1	2	3	1	2	3
Üst Kol	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Şekil 5. Grup A Vücut Bölümlerinin Hesaplanması (Üst Kol, Alt Kol, Bilek)

Şekil 6'da yer alan yük kavrama puanlama tablosunda yer alan değerde B grubu skoruna eklenerek B skoru elde edilmektedir (Koç & Testik, 2016).

0 (İyi)	1 (Orta)	2 (Zayıf)	3 (Kabul Edilemez)
Elle iyi kavrama ve orta vade güçlü kavrama	Elle kavrama kabul edilebilir; ancak ideal değil ya da kavrama, vücudun başka bir bölümüyle kabul edilebilir	Mümkün olmasına rağmen elle kavrama kabul edilemez	Elle kavrama uygunsuz ve güvensiz; tutacak yok ya da kavrama, vücudun diğer bölümlerinin kullanılmasıyla kabul edilemez

Şekil 6. Yük Kavrama Puanlaması

A ve B skorları hesaplandıktan sonra Şekil 7'de yer alan genel puanlama tablosundan kesişimleri bulunarak C skoru elde edilir (Koç & Testik, 2016).

		Grup B Puanı											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GRUP A Puanı	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Şekil 7. Genel Puanlama

Elde edilen C skoruna Şekil 8’de yer alan hareket puanı da eklenerek REBA puanı elde edilir (Koç & Testik, 2016).

Skor	Tanım
+1	Bir ya da daha fazla vücut bölümü statikse, örneğin 1 dakikadan daha uzun süre tutma
+1	Tekrarlanan kısa aralıklı eylemler varsa, örneğin dakikada 4 kereden fazla tekrarlama (yürütme hariç)
+1	Eylem, duruşta hızlı büyük değişikliklere neden oluyorsa ya da dengesiz duruş

Şekil 8. Hareket Puanlaması

REBA puanı elde edildikten sonra Şekil 9’da yer alan eylem düzeyleri kullanılarak risk düzeyi ve eylem belirlenir (Koç & Testik, 2016).

REBA Puanı	Risk Düzeyi	Eylem Düzeyi	Eylem (İleri Değerlendirmeyi İçeren)
1	İhmal edilebilir	0	Gerek yok
2-3	Düşük	1	Gerekli olabilir
4-7	Orta	2	Gerekli
8-10	Yüksek	3	Yakın zamanda gerekli
11-15	Çok yüksek	4	Şimdi gerekli

Şekil 9. Eylem Düzeyleri

#### 4.Uygulama

Bu çalışmada temizlik çalışanlarının çalışma duruşlarının ergonomik risk analizi REBA yöntemi kullanılarak yapılmıştır. İlk olarak kas-iskelet sistemi hastalıklarına en çok sebep olan işlemler araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda paspaslama ve cam silme işlemlerinin seçilmesine karar verilmiştir. Paspaslama ve cam silme işleminde çok sık tekrar eden işlemlerin olması ve bel, omuz, bilek bölgelerinin ileride kas-iskelet sistemi hastalıklarına yol açması nedeniyle bu iki işlem seçilmiştir. Paspaslama işleminde 3, cam silme işleminde de 3 adet olmak üzere toplamda 6 adet çalışma duruşu incelenmiştir.

##### 4.1.Paspaslama İşlemi

Paspaslama işlemi her gün düzenli olarak yapılmaktadır. Paspaslama işlemine ait 3 çalışma duruşu Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10.Paspaslama İşlemine Ait Çalışma Duruşları

İlk çalışma duruşuna ait tüm veriler Tablo 1 ‘de gösterilmiştir.

Tablo 1. 1.Çalışma Pozisyonu İçin REBA Analizi

	A Grubu	B Grubu	
Gövde	3	3	Üst kol
Boyun	2	2	Alt kol
Bacak	2	3	Bilek
Vücut Bölüm Puanı	5	5	Vücut Bölüm Puanı
Yük/Kuvvet	0	0	Kavrama
Skor	5	5	Skor
C Skoru	6		
Hareket Puanı	1		
Reba Puanı	7		
Risk Düzeyi	Orta		
Eylem	Gerekli		

İlk olarak şekil 1'deki grup A puanlaması tablosuna bakılmış ve gövde skoru 3; boyun skoru 2; bacak skoru 2 olarak bulunmuştur. Elde edilen skorlar şekil 2'deki tablodan işaretlendiğinde A skoru 5 olarak bulunmuştur. Mop paspasının ağırlığı 5 kg' dan az olduğundan şekil 3'deki yük/kuvvet puanlaması tablosundan yük skoru 0 olarak bulunmuştur. Yük skoru da A grubu skoruna eklenmiş ve A skoru 5 bulunmuştur.

İkinci kısımda şekil 4'deki grup B puanlaması tablosuna bakılmış ve alt kol skoru 2; üst kol skoru 2 ve omuz yükseltilmiş durumda olduğundan +1 eklenerek toplamda 3; bilek skoru 2 ve bilekte dönme olduğundan +1 eklenerek skor 3 olarak bulunmuştur. Skorlar şekil 5'deki tabloda işaretlenmiş ve B skoru 5 bulunmuştur. Çalışma duruşunda elle kavramanın iyi olması sebebiyle kavrama skoru 0 bulunmuştur. Kavrama skoru B grubu skoruna eklenmiş ve B skoru 5 bulunmuştur.

A ve B skorları şekil 7'deki genel puanlama tablosunda işaretlenmiş ve kesişimleri 6 bulunmuştur. Şekil 8'deki hareket puanlaması tablosuna bakılmış ve çalışma duruşunda tekrarlanan kısa aralıklı eylemler olduğundan hareket puanı 1'dir. C skoru ve hareket puanı toplanmış ve REBA puanı 7 bulunmuştur. Şekil 9'daki risk seviyesi tablosuna bakıldığında risk düzeyi orta, eylem düzeyi 2 ve eylemin gerekli olduğu belirlenmiştir.

İkinci çalışma duruşuna ait tüm veriler Tablo 2 'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** 2.Çalışma Pozisyonu İçin REBA Analizi

	A Grubu	B Grubu	
<b>Gövde</b>	4	2	Üst kol
<b>Boyun</b>	2	2	Alt kol
<b>Bacak</b>	2	1	Bilek
<b>Vücut Bölüm Puanı</b>	6	2	Vücut Bölüm Puanı
<b>Yük/kuvvet</b>	0	0	Kavrama
<b>Skor</b>	6	2	Skor
<b>C Skoru</b>	6		
<b>Hareket Puanı</b>	1		
<b>REBA Puanı</b>	7		
<b>Risk Düzeyi</b>	Orta		
<b>Eylem</b>	Gerekli		

İlk olarak şekil 1'deki grup A puanlaması tablosuna bakılmış ve gövde skoru 4; boyun skoru 2; ağırlık iki bacak üzerinde olduğundan 1 ve dizlerde 30-60 derece fleksiyon olması sebebiyle skora +1 eklenerek bacak skoru 2 olarak bulunmuştur. Elde edilen skorlar şekil 2'deki tablodan işaretlendiğinde A skoru 6 olarak bulunmuştur. Mop paspasının ağırlığı 5 kg' dan az olduğundan şekil 3'deki yük/kuvvet puanlaması tablosundan yük skoru 0 olarak bulunmuştur. Yük skoru da A grubu skoruna eklenmiş ve A skoru 6 bulunmuştur.

İkinci kısımda şekil 4'deki grup B puanlaması tablosuna bakılmış ve alt kol skoru 2; üst kol skoru 2; bilek skoru 1 olarak bulunmuştur. Skorlar şekil 5'deki tabloda işaretlenmiş ve B skoru 2 bulunmuştur. Çalışma duruşunda elle kavramanın iyi olması sebebiyle kavrama skoru 0 bulunmuştur. Kavrama skoru B grubu skoruna eklenmiş ve B skoru 2 bulunmuştur.

A ve B skorları şekil 7'deki genel puanlama tablosunda işaretlenmiş ve kesişimleri 6 bulunmuştur. Şekil 8'deki hareket puanlaması tablosuna bakılmış ve çalışma duruşunda tekrarlanan kısa aralıklı eylemler olduğundan hareket puanı 1'dir. C skoru ve hareket puanı toplanmış ve REBA puanı 7 bulunmuştur. Şekil 9'daki risk seviyesi tablosuna bakıldığında risk düzeyi orta, eylem düzeyi 2 ve eylemin gerekli olduğu belirlenmiştir.

Üçüncü çalışma duruşuna ait tüm veriler Tablo 3 'de gösterilmiştir.

İlk olarak şekil 1'deki grup A puanlaması tablosuna bakılmış ve gövde skoru 3; boyun skoru 2; bacak skoru 2 olarak bulunmuştur. Elde edilen skorlar şekil 2'deki tablodan işaretlendiğinde A skoru 5 olarak bulunmuştur. Mop paspasının ağırlığı 5 kg' dan az olduğundan şekil 3'deki yük/kuvvet puanlaması tablosundan yük skoru 0 olarak bulunmuştur. Yük skoru da A grubu skoruna eklenmiş ve A skoru 5 bulunmuştur.

İkinci kısımda şekil 4'deki grup B puanlaması tablosuna bakılmış ve alt kol skoru 2; üst kol skoru 2; bilek skoru 1 olarak bulunmuştur. Skorlar şekil 5'deki tabloda işaretlenmiş ve B skoru 2 bulunmuştur. Çalışma duruşunda elle kavramanın iyi olması sebebiyle kavrama skoru 0 bulunmuştur. Kavrama skoru B grubu skoruna eklenmiş ve B skoru 2 bulunmuştur.

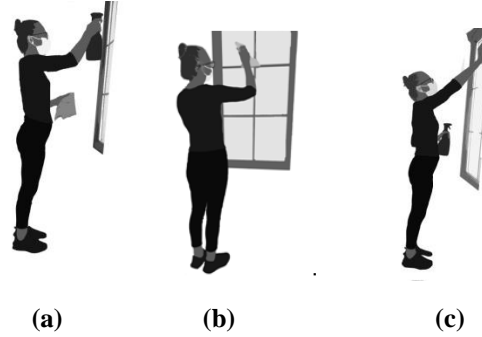
A ve B skorları şekil 7'deki genel puanlama tablosunda işaretlenmiş ve kesişimleri 4 bulunmuştur. Şekil 8'deki hareket puanlaması tablosuna bakılmış ve çalışma duruşunda tekrarlanan kısa aralıklı eylemler olduğundan hareket puanı 1'dir. C skoru ve hareket puanı toplanmış ve REBA puanı 5 bulunmuştur. Şekil 9'daki risk seviyesi tablosuna bakıldığında risk düzeyi orta, eylem düzeyi 2 ve eylemin gerekli olduğu belirlenmiştir.

**Tablo 3.** 3.Çalışma Pozisyonu İçin REBA Analizi

	A Grubu	B Grubu	
<b>Gövde</b>	3	2	Üst kol
<b>Boyun</b>	2	2	Alt kol
<b>Bacak</b>	2	1	Bilek
<b>Vücut Bölüm Puanı</b>	5	2	Vücut Bölüm Puanı
<b>Yük/kuvvet</b>	0	0	Kavrama
<b>Skor</b>	5	2	Skor
<b>C Skoru</b>	4		
<b>Hareket Puanı</b>	1		
<b>REBA Puanı</b>	5		
<b>Risk Düzeyi</b>	Orta		
<b>Eylem</b>	Gerekli		

#### 4.2.Cam Silme İşlemi

Cam silme işlemi her gün düzenli olarak yapılmaktadır. Cam silme işlemine ait 3 çalışma duruşu Şekil 11’de verilmiştir.

**Şekil 11.** Cam Silme İşlemine Ait Çalışma Duruşları

İlk çalışma duruşuna ait tüm veriler Tablo 4 ‘de gösterilmiştir.

**Tablo 4.** 1.Çalışma Pozisyonu İçin REBA Analizi

	A Grubu	B Grubu	
<b>Gövde</b>	1	3	Üst kol
<b>Boyun</b>	1	2	Alt kol
<b>Bacak</b>	1	2	Bilek
<b>Vücut Bölüm Puanı</b>	1	5	Vücut Bölüm Puanı
<b>Yük/kuvvet</b>	0	0	Kavrama
<b>Skor</b>	1	5	Skor
<b>C Skoru</b>	3		
<b>Hareket Puanı</b>	1		
<b>REBA Puanı</b>	4		
<b>Risk Düzeyi</b>	Orta		
<b>Eylem</b>	Gerekli		

İlk olarak şekil 1’deki grup A puanlaması tablosuna bakılmış ve gövde skoru 1; boyun skoru 1; bacak skoru 1 olarak bulunmuştur. Elde edilen skorlar şekil 2’deki tablodan işaretlendiğinde A skoru 1 olarak bulunmuştur. Temizleyicinin ağırlığı 5 kg’ dan az olduğundan şekil 3’deki yük/kuvvet puanlaması tablosundan yük skoru 0 olarak bulunmuştur. Yük skoru da A grubu skoruna eklenmiş ve A skoru 1 bulunmuştur.



İkinci kısımda şekil 4'deki grup B puanlaması tablosuna bakılmış ve alt kol skoru 2; üst kol skoru 3; bilek skoru 2 bulunmuştur. Skorlar şekil 5'deki tabloda işaretlenmiş ve B skoru 5 bulunmuştur. Çalışma durumunda elle kavramanın iyi olması sebebiyle kavrama skoru 0 bulunmuştur. Kavrama skoru B grubu skoruna eklenmiş ve B skoru 5 bulunmuştur.

A ve B skorları şekil 7'deki genel puanlama tablosunda işaretlenmiş ve kesişimleri 3 bulunmuştur. Şekil 8'deki hareket puanlaması tablosuna bakılmış ve çalışma durumunda tekrarlanan kısa aralıklı eylemler olduğundan hareket puanı 1'dir. C skoru ve hareket puanı toplanmış ve REBA puanı 4 bulunmuştur. Şekil 9'daki risk seviyesi tablosuna bakıldığında risk düzeyi orta, eylem düzeyi 2 ve eylemin gerekli olduğu belirlenmiştir.

İkinci çalışma duruşuna ait tüm veriler Tablo 5 'de gösterilmiştir.

**Tablo 5.** 2.Çalışma Pozisyonu İçin REBA Analizi

	A Grubu	B Grubu	
<b>Gövde</b>	1	4	Üst kol
<b>Boyun</b>	1	2	Alt kol
<b>Bacak</b>	1	1	Bilek
<b>Vücut Bölüm Puanı</b>	1	5	Vücut Bölüm Puanı
<b>Yük/kuvvet</b>	0	0	Kavrama
<b>Skor</b>	1	5	Skor
<b>C Skoru</b>	3		
<b>Hareket Puanı</b>	1		
<b>REBA Puanı</b>	4		
<b>Risk Düzeyi</b>	Orta		
<b>Eylem</b>	Gerekli		

İlk olarak şekil 1'deki grup A puanlaması tablosuna bakılmış ve gövde skoru 1; boyun skoru 1; bacak skoru 1 olarak bulunmuştur. Elde edilen skorlar şekil 2'deki tablodan işaretlendiğinde A skoru 1 olarak bulunmuştur. Temizleyicinin ağırlığı 5 kg' dan az olduğundan şekil 3'deki yük/kuvvet puanlaması tablosundan yük skoru 0 olarak bulunmuştur. Yük skoru da A grubu skoruna eklenmiş ve A skoru 1 bulunmuştur.

İkinci kısımda şekil 4'deki grup B puanlaması tablosuna bakılmış ve alt kol skoru 2; üst kol skoru 4; bilek skoru 1 olarak bulunmuştur. Skorlar şekil 5'deki tabloda işaretlenmiş ve B skoru 5 bulunmuştur. Çalışma durumunda elle kavramanın iyi olması sebebiyle kavrama skoru 0 bulunmuştur. Kavrama skoru B grubu skoruna eklenmiş ve B skoru 5 bulunmuştur.

A ve B skorları şekil 7'deki genel puanlama tablosunda işaretlenmiş ve kesişimleri 3 bulunmuştur. Şekil 8'deki hareket puanlaması tablosuna bakılmış ve çalışma durumunda tekrarlanan kısa aralıklı eylemler olduğundan hareket puanı 1'dir. C skoru ve hareket puanı toplanmış ve REBA puanı 4 bulunmuştur. Şekil 9'daki risk seviyesi tablosuna bakıldığında risk düzeyi orta, eylem düzeyi 2 ve eylemin gerekli olduğu belirlenmiştir.

Üçüncü çalışma duruşuna ait tüm veriler Tablo 6 'da gösterilmiştir.

**Tablo 6.** 3.Çalışma Pozisyonu İçin REBA Analizi

	A Grubu	B Grubu	
<b>Gövde</b>	1	4	Üst kol
<b>Boyun</b>	2	2	Alt kol
<b>Bacak</b>	1	1	Bilek
<b>Vücut Bölüm Puanı</b>	1	5	Vücut Bölüm Puanı
<b>Yük/kuvvet</b>	0	0	Kavrama
<b>Skor</b>	1	5	Skor
<b>C Skoru</b>	3		
<b>Hareket Puanı</b>	1		
<b>REBA Puanı</b>	4		
<b>Risk Düzeyi</b>	Orta		
<b>Eylem</b>	Gerekli		

İlk olarak şekil 1'deki grup A puanlaması tablosuna bakılmış ve gövde skoru 1; boyun skoru 2; bacak skoru 1 olarak bulunmuştur. Elde edilen skorlar şekil 2'deki tablodan işaretlendiğinde A skoru 1 olarak bulunmuştur. Temizleyicinin ağırlığı 5 kg' dan az

olduğundan şekil 3'deki yük/kuvvet puanlaması tablosundan yük skoru 0 olarak bulunmuştur. Yük skoru da A grubu skoruna eklenmiş ve A skoru 1 bulunmuştur.

İkinci kısımda şekil 4'deki grup B puanlaması tablosuna bakılmış ve alt kol skoru 2; üst kol skoru 4; bilek skoru 1 olarak bulunmuştur. Skorlar şekil 5'deki tabloda işaretlenmiş ve B skoru 5 bulunmuştur. Çalışma durumunda elle kavramanın iyi olması sebebiyle kavrama skoru 0 bulunmuştur. Kavrama skoru B grubu skoruna eklenmiş ve B skoru 5 bulunmuştur.

A ve B skorları şekil 7'deki genel puanlama tablosunda işaretlenmiş ve kesişimleri 3 bulunmuştur. Şekil 8'deki hareket puanlaması tablosuna bakılmış ve çalışma durumunda tekrarlanan kısa aralıklı eylemler olduğundan hareket puanı 1'dir. C skoru ve hareket puanı toplanmış ve REBA puanı 4 bulunmuştur. Şekil 9'daki risk seviyesi tablosuna bakıldığında risk düzeyi orta, eylem düzeyi 2 ve eylemin gerekli olduğu belirlenmiştir.

## 5. Sonuç

Kas-iskelet sistemi hastalıkları ülkemizde ve dünyada en çok karşılaşılan hastalıklardan bir tanesidir. Çalışanların uzun süre aynı pozisyonda, tekrarlı ve vücutlarını zorlayacak işler yapmaları bu hastalığa yakalanmalarının birinci sebebidir. Aynı zamanda kötü çalışma şartlarına maruz kalmaları da hastalığa yakalanma sebeplerinden bir tanesidir. İşletmelere ergonomi eğitimlerinin verilerek bu konuda bilinçli olmaları sağlanmalıdır. İşletmelerde ergonomik risk analizlerinin yapılarak gerekli tedbirlerin alınması çalışanların sağlıklı bir çalışma yaşamı sürdürmelerini ve verimliliği arttırmalarını sağlayacaktır.

Kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının görüldüğü sektörlerden bir tanesi de temizlik sektörüdür. İşlemlerin tekrarlı ve ağır olması sebebiyle çalışanlar bel, boyun, bacak, omuz gibi vücudun belirli bölgelerinde sorunlar yaşamaktadır. Bu çalışmada temizlik çalışanlarının çalışma duruşlarının ergonomik risk analizi REBA yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Temizlik çalışanlarına temizlik yaparken en çok zorlandıkları işler sorulmuş ve paspaslama ve cam silme işlemlerinin analizin yapılmasına karar verilmiştir. Paspaslama işleminde 3, cam silme işleminde de 3 adet olmak üzere toplamda 6 çalışma duruşu incelenmiştir. Çalışma duruşlarında çalışanların gövde, boyun, bacak, üst kol, alt kol ve bilek açıları ölçülmüştür. Her çalışma duruşu için REBA puanı hesaplanmıştır. Paspaslama işlemindeki çalışma duruşlarının risk seviyesinin orta olduğu ve eyleminde gerekli olduğu bulunmuştur. Cam silme işlemi içinde yapılan hesaplamalar sonucunda risk seviyesi orta olarak bulunmuş ve eylemin gerekli olduğu tespit edilmiştir. Seçilen işlemlerin insan vücudunu zorlayan çalışma duruşlarına sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar eğer önlemler alınmazsa çalışanların ileride kas-iskelet sistemi hastalıklarına yakalanacağını göstermektedir.

REBA yönteminin birçok sektörde tahmin edilemeyen çalışma duruşlarını analiz edebilmesinden dolayı ileride yapılacak çalışmalarda kullanılması beklenmektedir.

## Referanslar

- Akay, D., Dağdeviren, M. & Kurt, M. (2003). Çalışma Duruşlarının Ergonomik Analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(3), 73- 84.
- Akyol, M. (2017). Tekstil Atölyesinde Çalışma Duruşlarının REBA Yöntemi İle Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Atıcı, H., Gönen, D. & Oral, A. (2015). Çalışanlarda Zorlanmaya Neden Olan Duruşların REBA Yöntemi İle Ergonomik Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 3(3), 239-244.
- Chiasson, M. E., Imbeau, D., Aubry, K. & Delisle, A. (2012). Comparing the Results of Eight Methods Used to Evaluate Risk Factors Associated With Musculoskeletal Disorders. International Journal of Industrial Ergonomics, 42(5), 478- 488. doi.org/10.1016/j.ergon.2012.07.003
- Choi, T.Y. & Liker, J.K. (1992). Institutional Conformity and Technology Implementation: A Process Model of Ergonomics Dissemination. Journal of Engineering and Technology Management, 9(2), 155-195. doi.org/10.1016/0923-4748(92)90003
- Çırpan, M., Kahraman, F. & Çırpan, R. (2016). Temizlik İşlerinde Çalışanların Kas İskelet Sistemi Hastalıklarının Değerlendirilmesi. 8. İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı Bildiri Tam Metinleri Kitabı, İstanbul, s.220.
- Ergün, U. (2017). Sağlık Sektörü Çalışanlarının Karşılaştığı Ergonomik Riskler Ve Mersin İlindeki Özel Bir Sağlık Kuruluşu Çalışanlarının Çalışma Duruşlarının OWAS Yöntemi İle Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- Esen, H. & Fırlı, N. (2013). Çalışma Duruşu Analiz Yöntemleri ve Çalışma Duruşunun Kas-İskelet Sistemi Rahatsızlıklarına Etkileri. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 17(1), 41–51. doi:10.16984/saufbed.95143
- Hignett, S. & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, 31(2), 201-205. doi:10.1016/S0003-6870(99)00039-3

- İçağasıoğlu, A., Yumuşakhuylu, Y., Ketenci, A., Toraman, N.F., Maymak Karataş G., Kuru, Ö., Kirazlı, Y., Çapacı, K., Eriman, E. & Haliloğlu, S. (2015). Burden of Chronic Low Back Pain in the Turkish Population. *Turkish Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 61(1), 58-64. doi:10.5152/tftrd.2015.23921
- Kahya, E. & Söylemez, S. (2019). Jant Sektöründe QEC ve REBA Yöntemleriyle Ergonomik Risk Değerlendirmesi. *Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi*, 3(2), 83-96. doi.org/10.33720/kisgd.644584
- Kırcı, B.K. (2018). Lojistik Depo Sektöründe REBA, RULA Ve NIOSH Yöntemleri İle Ergonomi Alanında Bir İrdeleme. Yüksek Lisans Tezi. Üsküdar Üniversitesi, İstanbul.
- Kocabaş, M. (2009). Ağır ve Tehlikeli İşlerde Çalışan İş Görenlerde Zorlanmaya Neden Olan Çalışma Duruşlarının Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Koç, S. & Testik, Ö.M. (2016). Mobilya Sektöründe Yaşanan Kas-İskelet Sistemi Risklerinin Farklı Değerlendirme Metotları İle İncelenmesi Ve Minimizasyonu. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 27(2), 2-27.
- Lasota, A.M. (2014). A REBA-Based Analysis of Packers Workload: A Case Study. *Scientific Journal of Logistics*, 10(1), 87-95.
- Liu, D.R. (2014). Comparison of Concepts in Easy-To-Use Methods For MSD Risk Assessment. *Applied Ergonomics*, 45(3), 420-427. doi: 10.1016/j.apergo.2013.05.010
- Mork, M.A. & Choi, S.D. (2015). An Ergonomic Assessment of Sample Preparation Job Tasks in A Chemical Laboratory. *Journal of Chemical Health and Safety*, 22(4), 23-32. doi:10.1016/j.jchas.2014.11.003
- Özay, M.E. & Özcan, G. (2020). Temizlik Çalışanlarının Çalışma Duruş Pozisyonlarının REBA Yöntemi ile Ergonomik Açından İncelenmesi. *Çanakkale On sekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 122-132. doi.org/10.28979/comufbed.638149
- Özoğul, B., Çimen, B. & Kahya, E. (2017). Bir Metal Sanayi İşletmesinde Ergonomik Risk Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6, 159 – 175. doi.org/10.21923/jesd.359123
- Rud, S. (2011). An Ergonomic Analysis of Current Lifting Techniques in Height Restricted Cargo Bins at Company XYZ, Master's thesis. The Graduate School University of Wisconsin-Stout, United States.
- Sağiroğlu, H., Coşkun, M.B. & Erginel, N. (2015). REBA ile Bir Üretim Hattındaki İş İstasyonlarının Ergonomik Risk Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 339-345. doi:10.21923/MBTD.81484
- Ulutaş, İ.B. & Gündüz, T. (2017). Otomotiv Kablo İmalatında Ergonomik Risk Analizi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 22(2), 107-119. doi.org/10.17482/uumfd.336440
- Ünver Okan, S. & Kaya, A. (2015). Orman Fidanlıklarında Fidan Repikaj İşlerinde Çalışma Duruşlarının REBA Yöntemi İle Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 3(3), 157-163.



## Kalite Fonksiyon Göçerimi ile COVID- 19 Pandemisinde Uzaktan Eğitimin İyileştirilmesi

### Improving Distance Education in the COVID-19 Pandemic with Quality Function Deployment

G. Sena Daş<sup>\*1</sup>, A. Kürşad Türker<sup>1</sup>, Adnan Aktepe<sup>1</sup>, Nilay Ay<sup>1</sup>, İrem Alıcı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yahşihan Kırıkkale, Türkiye

*Başyuru/Received: 01/10/2021*

*Kabul/Accepted: 30/12/2021*

*Çevrimiçi Basım/Published Online:31/12/2021*

*Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021*

#### Öz

Bu araştırmanın amacı, COVID-19 pandemisinde uzaktan eğitim deneyimi yaşayan öğrencilerden alınan geri bildirimler dikkate alınarak uzaktan eğitim sisteminin nasıl geliştirilebileceğini değerlendirmektir. Bu kapsamda öğrencilerin sosyo-demografik özellikleri, uzaktan eğitimin yapıldığı platform hakkındaki düşünceleri, uzaktan eğitim ile yapılan dersler ve sınavlar hakkındaki düşünceleri ve uzaktan eğitime ilişkin görüşleri hakkında veri toplamak amacıyla bir anket tasarlanmıştır. Ankete 2020-2021 Bahar döneminde lisans eğitimine uzaktan devam eden 162 Endüstri Mühendisliği öğrencisi katılmıştır. Sonuçlar, öğrencilerin %64,2'sinin uzaktan eğitimin yüz yüze eğitim kadar verimli olmadığına inandığını göstermiştir. Uzaktan eğitim sisteminde yapılabilecek potansiyel iyileştirmeleri belirlemek için Kalite Fonksiyon Yayımlı tekniği uygulanmıştır. Bunun sonucunda, uzaktan eğitimin iyileştirilmesi için teknik gereksinimler belirlenmiştir. Buna göre; etkileşimli öğretimin sağlanması, ders kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve sınav uygulaması sırasındaki belirsizlik kaynaklarının ortadan kaldırılmasının uzaktan eğitim sistemini iyileştirileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu yönüyle çalışmanın yüksek öğretimde eğitim kalitesinin artırılmasına katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

#### Anahtar Kelimeler

*“Kalite fonksiyon göçerimi (KFG), Uzaktan Eğitim, COVID – 19 Pandemisi, Endüstri Mühendisliği”*

#### Abstract

The purpose of this research is to evaluate how the distance education system can be improved, taking into account the feedback received from students who have experienced distance education during the COVID-19 pandemic. In this context, a questionnaire was designed to collect data about the socio-demographic characteristics of the students, their thoughts about the platform where distance education is held, their thoughts about the courses and exams made with distance education, and their views on distance education. 162 Industrial Engineering students who continue their undergraduate education remotely in the 2020-2021 Spring semester participated in the survey. The results showed that 64.2% of the students believed that distance education is not as efficient as face-to-face education. Quality Function Deployment technique has been applied to identify potential improvements that can be made in the distance education system. As a result, technical requirements for the improvement of distance education were determined. According to this; it has been concluded that providing interactive teaching, diversifying the course resources and eliminating the ambiguities during the exam application will improve the distance education system. In this respect, it is thought that the study will contribute to increasing the quality of education in higher education.

#### Key Words

*“Quality Function Deployment (KFG), Distance Education, COVID – 19 Pandemic, Industrial Engineering”*

## 1.Giriş

Aralık 2019 sonlarında Çin’de ortaya çıkan COVID – 19 enfeksiyonu kısa sürede tüm dünyayı etkisi altına almıştır (DSÖ, 2020). Bu süreçte Dünya’da ve Türkiye’de COVID – 19 enfeksiyonunun toplumda yayılmasının engellenmesi için eğitim kurumlarının da kapatılması gündeme gelmiştir. Ülkemizde ilk COVID olgusu 11 Mart 2020 tarihinde görülmüş ve 25 Mart 2020 tarihi itibari ile de okullar ve eğitim kurumları geçici olarak kapatılmıştır (YÖK, 2020). Sonrasında ise Yüksek Öğretim Kurumu 2020 bahar döneminde uzaktan eğitime geçiş kararı almıştır. Bu süreçte dersler uzaktan çevrimiçi (internet üzerinden) yöntemlerle verilmiştir.

Son yıllarda internetin yaygınlaşması ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler eğitimin uzaktan yapılabilmesine olanak sağlamıştır. Uzaktan eğitim, yüz yüze eğitimin yürütülemediği durumlarda çeşitli ortamlar yoluyla belli bir merkezden sağlanan bir öğretim yöntemidir (Çağiltay, 2002). Yüz yüze eğitime göre nispeten ucuz maliyetli olan uzaktan eğitim sayesinde, farklı coğrafi bölgelerdeki öğrencilere bol ve çeşitli görsel materyaller sunmak mümkündür. Ancak öğrencilerin anında geri dönüş alamaması, sosyalleşebilecekleri alanların olmaması, ders sürelerinin kısa olması, verimli olmaması, teknik aksaklıklar, odaklanma problemi ve uzaktan eğitimde konuların anlaşılabilmesi gibi etmenler dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır (Başaran vd., 2020)

Pandemi öncesinde ülkemizde uzaktan eğitim veren eğitim kurumlar ve üniversiteler olmasına rağmen, neredeyse tüm branşlarda uzaktan eğitime zorunlu geçiş çeşitli problemlere neden olmuştur. Bu problemleri gözlemleyen araştırmacılar bu konuda çeşitli çalışmalar yapmışlardır.

Keskin ve Özer (2020), COVID-19 pandemisi sürecinde uzaktan eğitim gören öğrencilerin geri bildirimlerini değerlendirilmişlerdir. 652 üniversite öğrencisinin katıldığı anketten elde edilen verilere göre; öğrencilerin %84.4’ü uzaktan eğitimin yüz yüze eğitime kadar etkili olmadığını belirtmiştir. Buna rağmen öğrencilerin %45.7’si uzaktan eğitimin yüz yüze eğitimin alternatifi olduğunu belirtmiştir. Uzaktan eğitimle öğrenilenin çabuk unutulduğu (%74.6) ve eğitimler sırasında teknik sorunlar yaşandığı (%53.9) da bu çalışmada bildirilmiştir.

Yılmaz (2020), öğrencilerin uzaktan eğitim konusundaki tutumlarının araştırılmıştır. Yapılan anket çalışmasına 265 öğrenci (216 kız %81,50, 49 erkek %18,49) katılmıştır. Öğrencilerin çoğunun uzaktan eğitimi bilgisayardan takip ettiği görülmüştür. Kız öğrencilerin daha çok bilgisayar kullandığı, erkek öğrencilerin ise daha çok telefon kullandığı gözlemlenmiştir. Öğrencilerin %90’dan fazlası örgün eğitimi tercih ederken %9,7 si uzaktan eğitimi tercih etmiştir. Öğrencilerin %85 den fazlası uygulamalı dersler için % 75’den fazlası ise teorik dersler için uzaktan eğitimin verimliliğini düşük bulmuştur.

Literatür taramasının da işaret ettiği gibi her ne kadar öğrenciler uzaktan eğitimi örgün eğitime alternatif olarak görseler de uzaktan eğitim sürecinin verimi düşük bulunmuştur. Taraflarla yapılan görüşmeler bu verimsizliğin birçok nedeni olduğunu ortaya koymuş ve uzaktan eğitim sisteminin henüz yeterince etkin olmadığını ortaya koymuştur. Bu kapsamda sistemin kullanıcı ihtiyaçları doğrultusunda iyileştirilmesi amacıyla Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG) yaklaşımı kullanılmıştır. KFG, müşteri talep ve gereksinimlerinin, ürün/hizmet karakteristiklerine dönüştürülmesini sağlayan yapılaşmış bir yöntemdir (Juran 1992). Müşteri memnuniyetini sağlamayı hedefleyen bu yöntem kullanılarak (Slack, 2001); müşteri beklentilerinin saptanması, beklentileri karşılayacak ihtiyaçların teknik karakteristiklere dönüştürülmesi ve müşteri memnuniyeti odaklı süreçlerin tasarlanması mümkündür.

Bu çalışmada ise öğrencilerden alınan geri dönüşlerle uzaktan eğitim sisteminin nasıl iyileştirilebileceği üzerinde durulmuştur. Bu amaçla üniversite öğrencilerine anket uygulanarak öğrencilerin uzaktan eğitim hakkındaki görüşleri belirlenmiştir. Sonrasında ise öğrencilerden elde edilen verilerle uzaktan eğitim sisteminin iyileştirilmesi için “Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG)” yöntemi uygulanmış ve uzaktan eğitimin iyileştirilmesi için yapılması gerekenlerle ilgili çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

## 2. Yöntem

Çalışmamızın ilk kısmında, Nisan 2020 – Mayıs 2020 tarihleri arasında internet ortamında öğrencilere anket uygulanmıştır. 162 öğrenciye uygulanan anket 5 bölümden oluşmaktadır. Anketin ilk bölümünde öğrencilerin cinsiyeti, yaşı, öğretim türü, sınıf düzeyi (öğrencilerin sosyo-demografik özellikleri) ve uzaktan eğitimi hangi cihazdan takip ettikleri değerlendirilmiştir. Anketin ikinci bölümünde ise öğrencilerin öğrenim bilgileri elde edilmiştir. Anketin üçüncü bölümünde öğrencilerin uzaktan eğitimi takip ettikleri platformu hakkında ne düşündüklerini sorgulanmıştır. Öğrencilerin uzaktan eğitim dersleri ve sınavları hakkındaki düşünceleri ise anketin dördüncü bölümünde sorgulanmıştır. Öğrencilerin anketteki soruları kendilerine sunulan seçeneklerinden uygun olanı seçerek yapmaları istenmiştir. Son olarak öğrencilerin uzaktan eğitim sistemi hakkındaki görüşleri sorgulanmış ve sistemi iyileştirmeye yönelik önerileri toplanmıştır. Anketin güvenilirliği SPSS programında hesaplanmıştır ve anketin güvenilirliği %90,8 olarak belirlenmiştir.

Çalışmamızın ikinci kısmında ise KFG yöntemi ile öğrenci istekleri ile iyileştirme önerileri arasındaki ilişkiden hareketle her önerinin önem derecesi bulunmuştur. Önem derecelerinin belirlenmesi için gereksinim ile öğrenci istekleri arasındaki ilişkiye bakılmıştır. Buna ek olarak gereksinim ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki de dikkate alınmıştır. Bu sayede öğrenci istekleri arasındaki etkileşimler tespit edilmiştir.

### 3. Bulgular

Anketi cevaplayan öğrencilerin özellikleri Tablo 1’de sunulmuştur. Çalışmaya farklı sınıf düzeylerinden ve farklı öğretim türlerinden öğrenciler katılmıştır. Ayrıca öğrencilerin çoğu 18 – 21 olup, %38,9’u erkek ve %61,1’i kadındır. Bulgular, öğrencilerin uzaktan eğitimi genellikle bilgisayardan (%94,4) izlediği, bu değeri telefonun(%69,8) takip ettiği anlaşılmıştır (Ankette bu soru birden fazla seçenek seçilebilir şekilde hazırlanmıştır.). Tablo1’den de anlaşıldığı gibi öğrencilerin büyük bir çoğunluğu (%74,1) COVID-19 pandemisi öncesinde uzaktan eğitim almamışlardır.

**Tablo 1.** Ankete katılan Bireylerin Genel Bilgileri

Değişken		Sıklık	Yüzde (%)
<b>Cinsiyet</b>	Kadın	99	61,1
	Erkek	63	38,9
<b>Sınıf Düzeyi</b>	1.sınıf	28	17,3
	2.sınıf	41	25,3
	3.sınıf	44	27,2
	4. sınıf	40	24,7
	5.sınıf üstü	9	5,6
<b>Öğretim Türü</b>	Normal öğretim	83	51,2
	İkinci öğretim	79	48,8
<b>Yaş</b>	18 – 21	79	48,8
	22 – 25	69	42,6
	26 - 28	2	1,2
	29 ve üzeri	12	7,4
<b>Kullanılan Cihazlar (birden fazla seçilebilir)</b>	Bilgisayar	153	94,4
	Telefon	113	69,8
	Tablet	11	6,8
<b>Sistemin Aktif Kullanımı</b>	Evet	135	83,3
	Hayır	27	16,7
<b>Pandemi öncesi uzaktan eğitim programına katılım</b>	Evet	42	25,9
	Hayır	120	74,1

Öğrencilerin uzaktan eğitim sistemine yönelik geri bildirimleri Tablo 2’de verilmiştir. Öğrencilerin %53,7’si uzaktan eğitimde derslerin işlendiği uygulamayı kullanışlı bulmamaktadır. Öğrencilerin %61,1’i sistem altyapısının yetersiz olduğunu düşünmektedir. Öğrencilerin %62,9 gibi büyük bir çoğunluğu uzaktan eğitim sırasında teknik sorunlarla karşılaştığını bildirmiştir. Buna karşın öğrenciler sorun yaşadıklarında sorunla ilgili birime ulaşmakta güçlük yaşadıklarını (%43,2) belirtmektedir. Ayrıca öğrencilerin %59,9’u uzaktan eğitimle ilgili duyuru sayfasını düzenli takip ettiklerini belirtmektedir.

**Tablo 2.** Bireylerin Uzaktan Eğitim Sistemine Yönelik Geri Bildirimleri

Değişken	Hiç Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum
<b>Uzaktan eğitimde derslerin işlendiği uygulamayı verimli ve kullanışlı buluyorum.</b>	46 (%28,4)	41 (%25,3)	31 (%19,1)	28 (%17,3)	16 (%9,9)
<b>Uzaktan eğitim sisteminin teknik altyapısı yeterlidir.</b>	49 (%30,2)	50 (%30,9)	26 (%16)	25 (%15,4)	12 (%7,4)
<b>Uzaktan eğitime bağlanmada zaman zaman teknik sorunlar yaşıyorum.</b>	10 (%6,2)	18 (%11,1)	32 (%19,8)	37 (%22,8)	65 (%40,1)
<b>Uzaktan eğitimle ilgili sorun yaşamam durumunda ilgili birime ulaşabiliyorum.</b>	39(%24,1)	31(%19,1)	56(%34,6)	22(%13,6)	14(%8,6)
<b>Uzaktan eğitimle ilgili duyuru sayfasını düzenli takip ediyorum.</b>	17(%10,5)	13(%8)	35(%21,6)	47(%29)	50(%30,9)

Tablo 3’de öğrencilerin uzaktan eğitim döneminde ders çalışma ve dersi takip etme alışkanlıklarına ait bilgiler sunulmuştur. Buna göre, öğrencilerin büyük bir çoğunluğu (%70,4) ders dinleyecek bir fiziksel ortama sahiptir ancak öğrencilerin %67,3’ü dersleri düzenli olarak takip etmektedirler. Buna rağmen, öğrencilerin %92’si dersleri arşivden tekrar izlemekte %78,4’i (bakınız Tablo 4) ise derslerin arşivden tekrar izlenebilir özelliğini faydalı bulmaktadır. Öğrencilerin sadece %36,4’ü ders içeriklerini (slayt, pdf vb.) yeterli bulurken %63,3’lük kısım ders içeriklerini yeterli bulmayarak ek kaynaklardan yararlandıklarını belirtmektedirler.

Öğrencilerin %84’ü dersleri konsantrasyonları bozulmadan takip edemediklerini belirtmektedirler. Uzaktan eğitimin sağlamış olduğu konfor ve rahatlık sonucu öğrenciler dikkatlerini derse veremedikleri ve bunun sonucunda derse odaklanamadıkları ve pasif kaldıkları

görülmektedir. Öte yandan derse konsantre olmak ve derse takip etmek adına öğrencilerin sadece %16'sı kamera ve mikrofon açmak istediklerini belirtmişlerdir. Uzaktan eğitim sürecini verimsiz bulan öğrenciler ders dinlerken çoğunlukla (%66 oranında) not tutmaktadır. Ancak sadece %45,7 oranında anlamadığı yerler hakkında ders esnasında sorular sormaktadır.

**Tablo 3.** Bireylerin Derslerin İşleniş Şekline Yönelik Geri Bildirimleri

Değişken		Sıklık	Yüzde (%)
Dersleri dinleyebilmeniz ve ders çalışabilmeniz için uygun fiziksel ortama sahip misiniz?	Evet	114	70,4
	Hayır	48	29,6
Dersleri düzenli olarak takip ediyor musunuz?	Evet	109	67,3
	Hayır	53	32,7
Dersleri arşivden tekrar dinliyor musunuz?	Evet	149	92
	Hayır	13	8
Dersleri dinlerken not alıyor musunuz?	Evet	107	66
	Hayır	55	34
Ders esnasında takıldığınız yerleri soruyor musunuz?	Evet	74	45,7
	Hayır	88	54,3
Ders içeriklerini (slayt, pdf vb.) yeterli buluyor musunuz?	Evet	59	36,4
	Hayır	103	63,6
Derslerle ilgili ilave kaynaklardan (internet, makale, kitap, video vb.) yararlanıyor musunuz?	Evet	134	82,7
	Hayır	28	17,3
Ders saati dışında o hafta içinde derse pekiştirmeye yönelik bir çalışma (tekrar, başka kaynak okuma, başka hocaların videolarını inceleme vb.) yapıyor musunuz?	Evet	83	51,2
	Hayır	79	48,8
Verilen ödevleri düzenli olarak yapıyor musunuz?	Evet	133	82,1
	Hayır	29	17,9
Dersleri konsantrasyonunuz bozulmadan takip edebiliyor musunuz?	Evet	26	84
	Hayır	136	16
Dersleri aktif olarak takip edebilmek için kamera ve mikrofonunuzu açmak ister miydiniz?	Evet	26	16
	Hayır	136	84

Tablo 4'de ise öğrencilerin uzaktan eğitim sistemine yönelik geri bildirimleri verilmiştir. Öğrencilerin %54,9'u "hiç katılmıyorum" cevabı ile örgün eğitimin uzaktan eğitimden daha verimli olduğunu düşünürken %9,3'lük kısım "katılmıyorum" cevabı vererek bu görüşe destek vermiştir. Toplamda öğrencilerin %64,2'ü yüz yüze eğitimi uzaktan eğitimden daha verimli bulmaktadır. İlginçtir ki bu uzaktan eğitimdeki verimin artırılabilmesi için öğretim üyeleri tarafından verilen ödevler ve yapılan mini sınavların ise öğrencilerin sadece %46,3'ü tarafından faydalı bulunmaktadır. Öte yandan öğrenciler %53,7 oranı ile "kesinlikle katılıyorum" %24,7 oranı ile "katılıyorum" cevabı vererek toplamda %78,4'ü dersleri tekrar izleme özelliğini yararlı bulmuşlardır. Sistemden duyuruları takip etmekte zorlanan sadece %8'lik bir kesim iken ders içeriklerine hızlı erişimde zorlananların oranı ise %15,4'de kalmıştır. Bu veriler öğrencilerin sistemi kullanmada genel anlamda zorlanmadığına işaret etmektedir. Uzaktan eğitim sisteminin en tartışmalı kanularından olan sınavlar konusunda ise öğrencilerin %82,7'si uzaktan uygulanan sınavların sürelerini yeterli bulmamaktadır.

**Tablo 4.** Bireylerin Derse/Snava Yönelik Geri Bildirimleri

Değişken	Hiç Katılmıyorum	Katılmıyorum	Kararsızım	Katılıyorum	Kesinlikle Katılıyorum
Uzaktan eğitimin örgün eğitimden daha verimli olduğunu düşünüyorum.	89 (%54,9)	15 (%9,3)	23 (%14,2)	7 (%4,3)	28 (%17,3)
Uzaktan eğitim sistemi sayesinde ders içeriklerine hızla ulaşabiliyorum.	25 (%15,4)	20 (%12,3)	48 (%29,6)	38 (%23,5)	31 (%19,1)
Uzaktan eğitim sistemi sayesinde dersleri tekrar izlemek bana yarar sağlıyor.	8 (%4,9)	9 (%5,6)	18 (%11,1)	40 (%24,7)	87 (%53,7)
Uzaktan eğitim sistemi sayesinde zamanımı daha verimli kullanabiliyorum.	52 (%32,1)	21 (%13)	38 (%23,5)	18 (%11,1)	33 (%20,4)
Uzaktan eğitimle yapılacak derslerin tarih ve saat bilgileri önceden ilan edilir.	17 (%10,5)	30 (%18,5)	35 (%21,6)	40 (%24,7)	40 (%24,7)
Uzaktan eğitim dersleri ile ilgili bilgilendirici duyuruları takip ediyorum.	14 (%8,6)	19 (%11,7)	41 (%25,3)	50 (%30,9)	38 (%23,5)
Uzaktan eğitim derslerinin süresini yeterli buluyorum.	30 (%18,5)	20 (%12,3)	35 (%21,6)	30 (%18,5)	47 (%29)
Uzaktan eğitim derslerindeki sunumların içeriklerini yeterli buluyorum.	34 (%21)	37 (%22,8)	39 (%24,1)	31 (%19,1)	21 (%13)
Uzaktan eğitim derslerinin anlaşılabilirliğini yeterli buluyorum.	42 (%25,9)	36 (%22,2)	50 (%30,9)	19 (%11,7)	15 (%9,3)
Verilen ödevlerin ve yapılan mini sınavların bana olumlu yönde katkı sağladığını düşünüyorum.	27 (%16,7)	23 (%14,2)	37 (%22,8)	38 (%23,5)	37 (%22,8)
Uzaktan eğitim sınav sürelerini yeterli buluyorum.	105 (%64,8)	29 (%17,9)	13 (%8)	8 (%4,9)	7 (%4,3)

Tablo 5’de Endüstri Mühendisliği müfredatındaki derslerden uzaktan eğitimle verilmesi istenen ilk 10 ders gösterilmiştir. Öğrenciler Türk Dili I – II (%73,6), Atatürk ilkeleri ve inkılap tarihi (%56,3), İngilizce I – II (%54,9), İş Sağlığı ve Güvenliği (%52,1) ve Mühendisliğe Giriş (%51,4) gibi mühendislik için görece kolay derslerin pandemi sonrasında da uzaktan olarak devam edebileceğini belirtmekte ancak mühendislik becerilerine katkısı olan derslerin uzaktan eğitimle verilmesine sıcak bakmamaktadır.

**Tablo 5.** Uzaktan Eğitim Kapsamında Verilmesi İstenen Dersler

Dersler	(%) Yüzde
Türk Dili I-II	%73,6
Atatürk İlkeleri ve İnkılap Tarihi	%56,3
İngilizce I-II	%54,9
İş Sağlığı ve Güvenliği	%52,1
Mühendisliğe Giriş	%51,4
Ekonomi I-II	%38,2
Ofis Yazılımları / Excel	%36,1
Teknik Rapor Hazırlama	%34,7
Malzeme Bilgisi	%28,5
Bilgisayar Programlama	%27,8

#### 4. Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG) ile Uzaktan Eğitim Sisteminin İyileştirilmesi

Literatürde sıklıkla yeni ürün tasarımı için kullanılmış KFG ile bir hizmet veya üretim işletmesinin süreçlerinin geliştirilmesi mümkündür (Çinpolat, 2008). KFG yöntemin ilk uygulayıcılarından Shigeru ve Akao, bu yöntemi müşteri memnuniyetini sağlamak, müşteri taleplerini karşılarken talepleri üretim esnasında kullanılacak başlıca kalite güvence noktalarına dönüştürerek kaliteyi iyileştiren bir yöntem olarak tanımlamıştır (Aktepe vd., 2018). Uzaktan eğitim sisteminin de öğrencilere sunulmuş bir hizmet olduğu gerçeğinden hareketle, KFG yöntemi kullanarak bu sürecin öğrenci odaklı olarak iyileştirilmesi mümkündür.



Çalışmanın 4 temel adımı bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla (Delanovd., 2000; Ersöz ve Aktepe, 2011);

- Aşama 0: Planlama
- Aşama 1: Müşteri İhtiyaçlarının Belirlenmesi
- Aşama 2: Kalite Evinin Oluşturulması
- Aşama 3: Sonuçların Analizi

Planlama aşamasında KFG süreci tasarlanır. Odaklanılacak müşteri grubuna karar verilmesi ve amaçların belirlenmesi de bu aşamada ele alınır. Bu adımı sürece müşterinin sesinin dinlenmesi adımı gelir. Bu adımda anket uygulanacak müşteri grubunun istek ve ihtiyaçları belirlenir. Elde edilen bu ihtiyaçlar kalite evinin oluşturulması için kullanılır. Uzaktan eğitim sistemi için anket yoluyla elde edilen müşteri istekleri Tablo 6’da sunulmuştur.

**Tablo 6.** Öğrenci İstekleri Tablosu

Hizmet Boyutu	Müşteri İsteği
Ders İçeriği	Daha fazla ders kaynağı kullanılması Konu anlatımı haricinde örnek problem çözülmesi Dersten önce slaytların paylaşılması Ders esnasında öğrenciye soru sorulması Ders saatlerinin artırılması ve daha iyi düzenlenmesi
Öğretim Görevlileri	Öğrencilerle düzenli iletişim kurarak isteklerin değerlendirilmesi Motivasyon sağlamaya yönelik uygulamaların yapılması Öğrenciyi zorlamak yerine anlayış gösterilmesi
Sınavlar	Sınav yerine proje ödevi verilmesi Sınav sürelerinin kısıtlanmaması
Ödevler, Quizler ve Projeler	Quizlerin sonrasında cevaplarının paylaşılması Ödevlerin arka arkaya verilerek sıkıştırılmaması Grup projelerinin isteğe bağlı yapılması Ödev ve quiz sayıları artırılarak sınav notuna eklenmesi Quiz saatlerinin iyi ayarlanması
Altyapı	‘Google meet’ ya da ‘zoom’ gibi uygulamalar kullanılması Bağlantı kopukluğunu önleyecek şekilde sistemin tasarlanması

Sonraki aşamada öğrenci beklentilerini karşılayabilmek için ihtiyaç duyulan teknik gereksinimler belirlenmiştir. Ortaya çıkan gereksinimler Tablo7’de sunulan planlama matrisinde kullanılmıştır.

Tablo7’deki matris belirli bir müşteri isteğini karşılamada teknik gereksinimlerin ne kadar etkili olduğunun da tespit edilmesi amacıyla aralarındaki ilişki Amerikan Puanlandırma Sistemine göre puanlandırılmıştır ( Güçlü İlişki 9 puan, orta ilişki 3 puan ve zayıf ilişki 1 puan verilerek değerlendirilmiştir). Planlama matrisindeki 1 rakamı en düşük, 10 rakamı ise en yüksek “önem derecesini” göstermektedir. Teknik önem derecesinin hesaplanması için her teknik özelliğin planlama matrisinde hesaplanan yüzde önem değerleri ile ilişki puanlarının çarpımları toplanmıştır.

Planlama matrisinde “Bugün” sütunu uzaktan eğitim hizmetinin üniversite öğrencileri tarafından nasıl algılandığını göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan ölçekte bugün sütununda 1 puanı en kötüyü, 5 puanı en iyi değerlendirmeyi ifade etmektedir.

“Hedef sütunu” ise uzaktan eğitimin üniversitenin kendisini tarafından nasıl algılandığıyla ilgilidir. “İlerleme oranı” sütunu “hedef” sütunun “bugün” sütuna bölünmesiyle bulunur. Müşteri isteklerini farklı öngörülere göre karşılamının farklı puan karşılığı vardır. Önemli ilerlemeler 1.5 satış puanı ile, normal ilerlemeler 1,2 satış puanı, durağan ilerlemeler ise 1 satış puanı ile ifade edilmiştir. Örneğin “konu anlatımı haricinde örnek problem çözülmesi” öğrenci isteğinin 1 puan ile durağan, “dersten önce slaytların paylaşılması” öğrenci isteğinin 1,2 puan ile ilerleme ve “daha fazla ders kaynağı kullanılması” öğrenci isteğinin 1,5 puan ile önemli ilerleme kaydedeceği görülmektedir.

Son olarak önem derecesi, ilerleme oranı ve satış noktası puanlarının çarpılmasıyla da “önem puanı” hesaplanmıştır. Örneğin “Ödevlerin arka arkaya verilerek sıkıştırılmaması” isteği için önem puanı  $8*1,4*1,2=13,44$  olarak hesaplanmıştır. Elde edilen % önem dereceleri kullanılarak ilişki matrisi oluşturulur. Bu matris sayesinde müşteri istekleri ile yapılabilecek iyileştirmeler ilişkilendirilir. Bu matris Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7. Planlama Matrisi

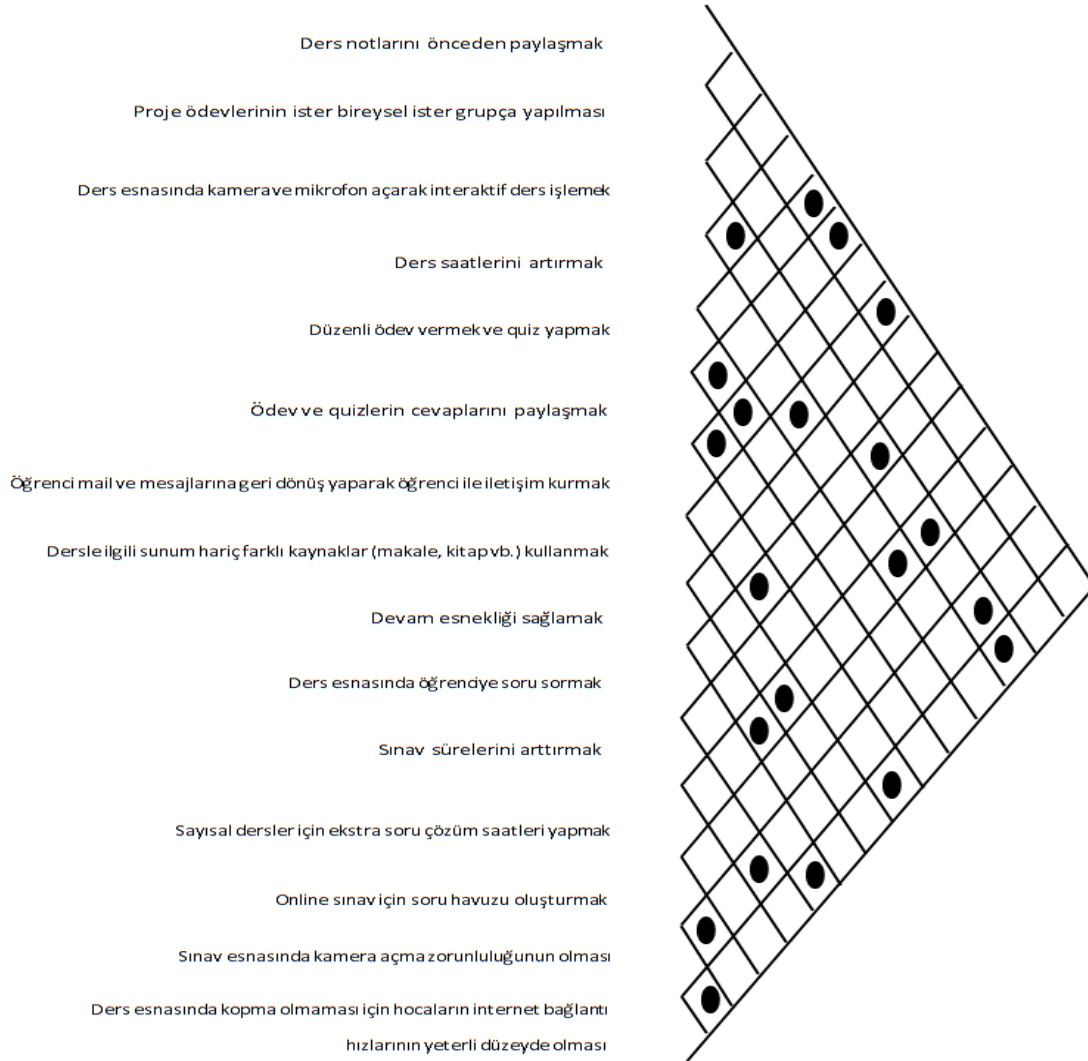
Müşteri İstekleri	Önem Derecesi	Bugün	Hedef	İlerleme Oranı	Satış Noktası Puanı	Önem Puanı	% Önem
Daha fazla ders kaynağı kullanılması	9	3	5	1,7	1.5	22,95	10,96
Konu anlatımı haricinde örnek problem çözülmesi	7	3	4	1,4	1	9,8	4,68
Dersten önce slaytların paylaşılması	9	4	5	1,25	1.2	13,5	6,45
Ders esnasında öğrenciye soru sorulması	8	4	4	1	1	8	3,82
Ders saatlerinin artırılması ve daha iyi düzenlenmesi	10	4	5	1,25	1.5	18,75	8,95
Öğrencilerle düzenli iletişim kurarak isteklerin değerlendirilmesi	9	5	5	1	1.2	10,8	5,16
Motivasyon sağlamaya yönelik uygulamaların yapılması	9	4	4	1	1.2	10,8	5,16
Öğrenciyi zorlamak yerine anlayış gösterilmesi	8	3	4	1,4	1	11,2	5,35
Sınav sürelerinin kısıtlanmaması	10	3	5	1,7	1.5	25,5	12,18
Quizlerin sonrasında cevaplarının paylaşılması	7	3	3	1	1	7	3,34
Ödevlerin arka arkaya verilerek sıkıştırılmaması	8	3	4	1,4	1.2	13,44	6,42
Grup projelerinin isteğe bağlı yapılması	6	4	4	1	1	6	2,87
Ödev ve quiz sayıları artırılarak sınav notuna eklenmesi	9	4	4	1	1.2	10,8	5,16
Quiz saatlerinin iyi ayarlanması	7	5	5	1	1	7	3,34
Mevcut sistemi yerine alternatif bir sistemin kullanılması	9	3	4	1,4	1.2	15,12	7,22
Bağlantı kopukluğu olmayacak şekilde sistemin tasarlanması	10	4	5	1,25	1.5	18,75	8,95
TOPLAM						209,41	100

Teknik önem derecelerine bakıldığında en yüksek değer ile en öncelikli teknik gereksinimler ‘ders esnasında kamera ve mikrofon açarak interaktif ders işlemek’, ‘sınav sürelerini artırmak’ ve ‘dersle ilgili sunum hariç farklı kaynaklar (makale, kitap vb.) kullanmak’ olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla sistemle ilgili yapılacak geliştirmelerin bu istekleri sağlayacak gereksinimler olması beklenmektedir. Bu kapsamda önceliği en düşük teknik gereksinimlerin ise ‘online sınav için soru havuzu oluşturmak’ ve ‘proje ödevlerinin ister bireysel ister grupça yapılması’ olarak belirlenmiştir.

Tablo 8. İlişki Matrisi

Müşteri İstekleri	Yüzde Önem Derecesi (%)	Ders notlarını önceden paylaşmak	Proje ödevlerinin ister bireysel ister grupça	Ders esnasında kamera ve mikrofon açarak interaktif ders işlemek	Ders saatlerini arttırmak	Düzenli ödev vermek ve quiz yapmak	Ödev ve quizlerin cevaplarını paylaşmak	Öğrenci mail ve mesajlarına geri dönüş yaparak öğrenci ile iletişim kurmak	Dersle ilgili sunum hariç farklı kaynaklar (makale, kitap vb.) kullanmak	Devam esnekliği sağlamak	Ders esnasında öğrenciye soru sormak	Sınav sürelerini arttırmak	Sayısal dersler için ekstra soru çözüm saatleri yapmak	Online sınav için soru havuzu oluşturmak	Sınav esnasında kamera açma zorunluluğunun olması	Ders esnasında kopma olmaması için öğretim üyesinin internet bağlantı hızlarının yeterli düzeyde olması	
Daha fazla ders kaynağı kullanılması	10,96	3							9								
Konu anlatımı haricinde örnek problem çözülmesi	4,68				3								9	1			
Dersten önce slaytların paylaşılması	6,45	9							3								
Ders esnasında öğrenciye soru sorulması	3,82			9		1					9						
Ders saatlerinin arttırılması ve daha iyi düzenlenmesi	8,95				9					3							
Öğrencilerle düzenli iletişim kurarak isteklerin değerlendirilmesi	5,16							9									
Motivasyon sağlamaya yönelik uygulamaların yapılması	5,16							1									
Öğrenciyi zorlamak yerine anlayış gösterilmesi	5,35					3				9	3	3					
Sınav sürelerinin kısıtlanmaması	12,18											9					
Quizlerin sonrasında cevaplarının paylaşılması	3,34					9	9										
Ödevlerin arka arkaya verilerek sıkıştırılmaması	6,42					3											
Grup projelerinin isteğe bağlı yapılması	2,87		9														
Ödev ve quiz sayıları arttırılarak sınav notuna eklenmesi	5,16					3								1			
Quiz saatlerinin iyi ayarlanması	3,34					1											
Kuzem sistemi yerine 'Google meet' ya da 'zoom' kullanılması	7,22			9									1		9		1
Bağlantı kopukluğu olmayacak şekilde sistemin tasarlanması	8,95			3													9
<b>TOPLAM</b>	100																
<b>TEKNİK ÖNEM DERECESİ</b>		90,93	25,83	126,21	94,59	88,01	30,06	51,6	117,99	75	50,43	125,67	49,34	9,84	64,98		88,04

İlişki matrisindeki teknik gereksinimler diğer teknik gereksinimler ile ilişkilidir. Bu gereksinimlerden birinin geliştirilmesi amacıyla yapılan bir iyileştirme, ilgili gereksinime ve etkileşimde olduğu diğer gereksinimleri etkiler. Şekil 1’de yukarıda belirlenen teknik gereksinimler arasındaki ilişkiler belirtilmiştir.



Şekil 1. Korelasyon Matrisi

## 5. Sonuç

Uzaktan eğitime ilişkin alan yazın incelendiğinde uzaktan eğitimin etkinliğini ve kalitesini etkileyen faktörleri inceleyen farklı çalışmalara rastlanmıştır. Kan ve Fidan (2016) derse yönelik yaşanan sorunların özellikle uygulama ve iletişim eksikliği nedeniyle oluştuğunu ve bu nedenle öğrencilerin dersten soğuduğunu ve dikkat eksikliği yaşadığını ifade etmiştir. Aynı zamanda bu olumsuz durumların dersi verimsiz ve sıkıcı hale getirdiği ve öğrenmenin kalıcı hale gelmesini engellediğini belirtmiştir. Gülnar (2008) ise öğrencilerin uzaktan eğitim sistemini kullanmama gerekçelerinden birini öğrencilerin internet erişimine sahip olmaması olarak tespit etmiştir. Yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde uzaktan eğitimde etkin olabilmek için internet erişiminin önemli bir faktör olduğu söylenebilir. Barış (2015), Kan ve Fidan (2016), Öztaş ve Kılıç (2017) ve Öztürk’ün (2005) uzaktan eğitim ile ilgili çalışmalarında da internet erişiminde yaşanan problemler sistemin dezavantajı olarak görülmektedir. Benzer şekilde, Tuncer ve Bahadır (2017)’in çalışmasında da, uzaktan eğitiminin olumsuz yönlerinden birinin teknolojik sistemden kaynaklanan sorunların olduğu bildirilmiştir.

Alan yazınla paralel olarak (Kan ve Fidan, 2016; Uzoğlu, 2017; Tuncer ve Bahadır, 2017) öğrencilerin uzaktan eğitimi bazı yönlerden avantajlı bazı yönlerden ise dezavantajlı bulduğunu tespit edilmiştir. Ancak avantajlarına rağmen öğrencilerin genel olarak yüz-yüze öğretimi tercih ettiği belirtilmiştir. Benzer bir sonuç bu çalışma kapsamında öğrencilerine yapılan uzaktan eğitim ile ilgili soruların yer aldığı anket sonucunda da elde edilmiştir. Anketten elde edilen bulgular, pandemi nedeni ile yüz yüze eğitime alternatif bir çözüm

olarak kullanılan uzaktan eğitim sisteminin yüz yüze eğitime göre daha az verimli bulunduğunu göstermiştir. Uzaktan eğitimin avantajları ve dezavantajları bilinmektedir. Uzaktan eğitimin avantajları; ekonomiklik, tekrar ve zaman ve mekan esnekliği olarak ifade edilebilir. Öte yandan öğrenmenin kalıcı olmaması, ölçme ve değerlendirmeden kaynaklı sorunlar, disiplin sorunları, internet sıkıntısı ve etkileşimin olmaması ise dezavantajlar arasındadır (Türküresin, 2020). Bu çalışmada da benzer avantaj ve dezavantajlar saptanmıştır. Çalışmanın bulgularına göre;

- Öğrencilerin uzaktan eğitimde derslerin işlendiği uygulamayı verimli ve kullanışlı bulmadıkları (%53,7) görülmektedir.
- Öğrencilerin uzaktan eğitim alt yapısını yetersiz (%61,1) bulunduğunu görülmektedir.
- Öğrencilerin ders içeriklerini (slayt, pdf vb.) yeterli bulmadığı (%63,6) ve ek kaynaklardan da yararlandıkları (%82,7) görülmektedir.
- Öğrencilerin verilen ödevleri ve yapılan mini sınavları %43,6 oranında yararlı bulduğu görülmektedir.
- Öğrencilerin dersleri arşivden tekrar dinledikleri (%92) ve bu özelliği yararlı buldukları (%78,4) görülmektedir.
- Öğrencilerin dersleri konsantrasyonları bozulmadan dinleyemedikleri (%84,4) görülmektedir.
- Öğrencilerin derslerde daha aktif olabilmek için kamera ve mikrofonlarını açmak istemedikleri (%84) görülmektedir.
- Öğrencilerin sınav sürelerini yeterli bulmadıkları (%82,7) görülmektedir.
- Öğrencilerin uzaktan eğitimi yüz yüze eğitim kadar verimli bulmadıkları (%64,2) görülmektedir.

Elde edilen verilere göre mevcut uzaktan eğitim sisteminin geliştirilmesi için KFG tekniğinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda öğrenci istekleri dikkate alınarak teknik gereksinimler belirlenmiş ve anketten elde edilen önem derecelerine göre bir Kalite Evi oluşturulmuştur. Kalite Evi bölümün öğrencilerinin genel anlamda bu istek ve beklentileri ne derece isteyip istemediğini göstermektedir. Bu doğrultuda teknik önem derecesi yüksek çıkan beklentilerin potansiyel iyileştirme olarak dikkate alınması beklenmektedir. Değerlendirme sonuçlarına göre teknik önem derecesi en yüksek çıkan beklentiler şöyledir;

- Ders esnasında kamera ve mikrofon açarak interaktif ders işlenmesi
- Sınav sürelerinin arttırılması
- Dersle ilgili farklı kaynaklar kullanılarak sunumların desteklenmesi
- Ders saatlerinin arttırılması
- Ders notlarının öğrencilerle önceden paylaşılması
- Düzenli ödev ve quiz yapılması
- Ders esnasında Öğretim üyelerinin bağlantı kopukluğu yaşamaması adına yeterli hızda internet kullanmaları

Öğrenciler sistemin veriminin artması için derslerin interaktif işlenmesi gerektiğine vurgu yapmış ama ders esnasında kamera ve mikrofon açmak istemediklerini belirtmişlerdir. Bu anlamda anket sonuçları ve öğrenci istekleri arasında çelişkili durumlar da gözlenmiştir. Sınav sürelerinin arttırılması durumunda öğrencilerin sınav esnasında bilgi alışverişi yapacağı dolayısıyla sınavın verimli geçmeyeceği düşünülmektedir. Bu iki beklentinin yapılması uzaktan eğitimi verimli kılmayacağı, öte yandan derslerle ilgili farklı kaynak kullanımı, ders saatlerinin arttırılması, ders notlarının önceden paylaşılması, düzenli ödev ve quiz yapılması, yeterli hızda internet kullanılması beklentilerinin sağlanması durumunda ise uzaktan eğitiminin verimini etkileyeceği düşünülmektedir. Bu kapsamda uzaktan eğitimin kalitesini ve verimini arttıracığı düşünülen aşağıdaki öneriler yapılmıştır.

- Uzaktan eğitime uygun öğretim materyalleri geliştirilebilir.
- Teknolojik alt yapı imkânları iyileştirilebilir.
- Sanal sınıf içinde sunum hariç beyaz tahta kullanılabilir.
- Ders saatleri öğrenciye uygun olarak düzenlenebilir.
- Çevrimiçi sınav sistemi değiştirilip geliştirilebilir.

## Kaynaklar

- Aktepe, A., Ersöz, S., Hayyaoğlu, A. N., Şakar, B. B. (2018). Kalite Fonksiyon Yayılımı Yaklaşımı İle Özel Bir Hastanede Hizmet Kalitesi İyileştirme Üzerine Bir Uygulama. *International Journal Of Engineering Research And Development*, 10(2), 245-251.
- Barış, M. F. (2015). Üniversite Öğrencilerinin Uzaktan Öğretime Yönelik Tutumlarının İncelenmesi: Namık Kemal Üniversitesi. *Sakarya University Journal Of Education*, 5(2), S. 36-46.
- Başaran, M., Doğan, E., Karaoğlu, E., Şahin, E. (2020). Koronavirüs (Covid-19) Pandemi Sürecinin Getirisi Olan Uzaktan Eğitimin Etkililiği Üzerine Bir Çalışma. *Academia Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 368-397.
- Bozkurt, A. (2017). Türkiye'de Uzaktan Eğitimin Dünü, Bugünü Ve Yarını. *Açık Öğretim Uygulamaları Ve Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 85-124.
- Çağıltay, K. (2002). Uzaktan Eğitim: Başarıya Giden Yol Teknolojide mi Yoksa Pedagojide mi?, [Çevrimiçi] Elektronik Adres: <http://www.teknoturk.org/docking/yazilar/t000037-yazi.htm> [07.04.2002].

- Çinpolat S. (2008), Kalite Fonksiyon Göçerimi Ve Hizmet Sektöründe Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Delano G., Parnell G.S., Smith C. And Vance M. (2000), Quality Function Deployment And Decision Analysis – A R&D Case Study, International Journal Of Operations And Production Management, 20, Pp. 591–609.
- De Luca, G., Van Kerckhove, K., Coletti, P., Poletto, C., Bossuyt, N., Hens, N., Et Al. (2018). The Impact Of Regular School Closure On Seasonal İnfluenza Epidemics: A Data-Driven Spatial Transmission Model For Belgium. BMC Infectious Diseases, 18(1), 29.
- Dünya Sağlık Örgütü, World Health Organization (WHO). Q&As On Covid-19 And Related Health Topics, Retrieved May 12, 2020, From <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/question-andanswers-hub>.
- Ersöz S., Aktepe A. (2011). Kalite Fonksiyon Yayılımı (Kfy)'De Bir Veri Zarflama Analitik Ağ Süreci (Vzaas) Uygulaması, Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University, Vol:24, No:2, 401-413.
- Güllü, E., Ulcay, Y. (2002). Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Kalite Fonksiyonu Yayılımı Ve Bir Uygulama, Cilt 7, Sayı 1
- Gülınar, B. (2008). Bilgisayar Ve İnternet Destekli Uzaktan Eğitim Programlarının Tasarım, Geliştirme Ve Değerlendirme Aşamaları (Suzep Örneği). Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (19), 259-271
- Juran, J.M. (1992) Quality Control Hand Book, Mc Graw-Hill, New York
- Kan, A. Ü. Fidan, E. K. (2016). Türk Dili Dersinin Uzaktan Eğitimle Yürütülmesine İlişkin Öğrenci Algıları. Turkish Journal Of Educational Studies, 3(2), 23-44.
- Kawano, S., Kakehashi, M. (2015). Substantial Impact Of School Closure On The Transmission Dynamics During The Pandemic Flu H1n1-2009 İn Oita, Japan. Plos One, 10(12).
- Keskin, M., Özer D. (2020). Covid-19 Sürecinde Öğrencilerin Web Tabanlı Uzaktan Eğitime Yönelik Geri Bildirimlerinin Değerlendirilmesi. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 5(2), 59-67.
- Öztaş, S., Kılıç, B. (2017). Atatürk İlkeleri Ve İnkılâp Tarihi Dersinin Uzaktan Eğitim Şeklinde Verilmesinin Öğrenci Görüşleri Açısından Değerlendirilmesi. Turkish History Education Journal, 6(2), 268-293.
- Öztürk, L. (2005). Türkiye’de Dijital Eşitsizlik-Tübitak-Bilten Anketleri Üzerine Bir Değerlendirme. Erciyes Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 24(1), 111-131.
- Slack, N. (2001). Operation Management Üçüncü Basım, Essex, Pearson Education Limited.
- Tayfun, A. R. A. R., Öneren, M., Yurdakul, G. (2021). Covid-19 Kapsamında Uzaktan Eğitim Sürecinin Lisansüstü Öğrencilerin Algısındaki Yeri: Kırıkkale Üniversitesi Örneği. Üniversite Araştırmaları Dergisi, 4(2), 154-167.
- Tuncer, M. & Bahadır, F. (2017). Uzaktan Eğitim Programlarının Bu Programlarda Öğrenim Gören Öğrenci Görüşlerine Göre Değerlendirilmesi. Evaluation, 1(2), 29-38.
- Türküresin, H. E. (2020). Covid-19 Pandemi Döneminde Yürütülen Uzaktan Eğitim Uygulamalarının Öğretmen Adaylarının Görüşleri Bağlamında İncelenmesi. Milli Eğitim Dergisi, 49(1), 597-618.
- Yılmaz, N. A. (2020). Yükseköğretim Kurumlarında Covid-19 Pandemisi Sürecinde Uygulanan Uzaktan Eğitim Durumu Hakkında Öğrencilerin Tutumlarının Araştırılması: Fizyoterapi Ve Rehabilitasyon Bölümü Örneği. Necmettin Erbakan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 3(1), 15-20.
- Yolcu, H. H. (2020). Koronavirüs (Covid-19) Pandemi sürecinde sınıf öğretmeni adaylarının uzaktan eğitim deneyimleri. Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi, 6(4), 237-250.
- Yükseköğretim Kurulu (YÖK) (2020). Basın açıklaması, <https://www.yok.gov.tr/Sayfalar/Haberler/2020/>, Erişim tarihi: 26.03.2020.



## Hastane Kan Toplama Merkezinde Yalın Üretim Uygulaması A Lean Manufacturing Application in a Hospital Blood Collection Center

Volkan Sönmez<sup>1</sup> , Ceren Yağmur<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Beytepe, 06800, Ankara, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kalite ve Uygunluk Değerlendirme Mühendislik Programı, 06800, Ankara, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 01/10/2021

Kabul / Accepted: 30/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

### Öz

Sağlık alanında hizmet veren kurum ve kuruluşların katma değer sağlamayan işlem süreçleri, israf oluşturarak ciddi sorunlara sebep olabilmektedir. Sağlık alanında yaşanan israfların, hasta tanı ve iyileşme sürecine ciddi derecede olumsuz etki etmesi ve bu israfların fark edilmesi için analiz çalışmalarının yapılmaması sonucunda, hastanın tanı ve iyileşme sürecindeki aksaklıklar artmaktadır. Zaman, insan gücü, taşıma, hareket ve bunlara bağlı olarak israflara neden olabilmektedir. Bu nedenle, yalın bakış açısının sağlık alanına kazanımı ve sağlık sektöründeki kişi ve kurumlarca yalın anlayışının benimsenmesi, değer katmayan işlemlerin azaltılmasına ve verimliliğin artmasına katkı sağlayacaktır. Çalışmada, yalın üretim yaklaşımıyla elde edilen verimliliğin, sağlık hizmetleri yönetimine sağladığı olumlu etkiler gösterilmektedir. Çalışmanın uygulama aşamasında, büyük ölçekte sağlık hizmeti veren bir sağlık kurumunun kan alma merkezinde çalışan numune alma personelinin kan numunelerini toplama, taşıma, ayırıştırma, yerleştirme hareketlerinden kaynaklı oluşan israfların Spagetti Diyagramı ile analizleri yapılmış ve Milk-Run yönteminden yararlanılarak verimliliğin sağlandığı çözümler önerilmiştir. Yapılan çalışmada gözlemlenen hareket ve zamandan kaynaklı israfların, çalışma sonucundaki önerilerin uygulanmasıyla azalacağı ve 60% verimlilik sağlanabileceği gösterilmektedir.

### Anahtar Kelimeler

“Sağlık hizmetleri yönetimi, yalın üretim, Milk-Run”

### Abstract

Processes that do not add added value in healthcare centers can cause serious problems by creating wastes. Wastes in the field of health can have serious negative impacts on the patient diagnosis and recovery processes. The fact that there are few studies on waste, increases these problems even more. Waste of time, manpower, transportation, movement can be given as examples. The application of the lean to the field of health and the adoption of the lean by individuals and institutions in the health sector will contribute to the reduction of non-value-added processes and increase efficiency.

In this study, the positive effects of the efficiency obtained with the lean production approach on health services management are shown. In the implementation phase of the study, a blood collection center of a large-scale health institution was considered. The analysis of the waste caused by the employee's movements of collecting, transporting, separating, and placing the samples was performed with the Spaghetti Diagram and solutions were proposed by using the Milk-Run method.

In this study, it is shown that the waste of movement and time will be reduced by the implementation of the recommendations and an efficiency of 60% can be achieved.

### Key Words

“Healthcare management, lean manufacturing, Milk-Run”

## 1. Giriş

Sağlık, insan yaşamı ve tüm canlı hayatının devamlılığını sürdürebilmesinde ciddi öneme sahip ve sürekli iyileştirilmesi amaçlanan bir kavramdır. Yaşam ve yaşamın devamlılığı için önemli olan sağlık kavramı TDK 'ya göre; "Bireyin fiziksel, sosyal ve ruhsal yönden tam bir iyilik durumunda olması, vücut esenliği, esenlik, sıhhat, afiyet "olarak tanımlanmıştır (Türk Dil Kurumu, 2020). Sağlık, bir sistemsel yönetim ile en etkili hale getirilebilmektedir. Bu sistemin mükemmel yakın yönetilmesi ve hızlı iyileştirmelerle insan yaşamına katkı sağlaması önemli bir gerekliliktir. Sağlık sistemi, içinde yer alan tüm süreçlerin aksamadan ilerlemesi, hızlı biçimde karar verme noktasına gelmesi, insan yaşamını tehdit eden faktörlerin azaltılması ve çözüm bulunmasında sistemsel bir yaklaşımdır (Uğurluoğlu & Çelik, 2005).

Bu nedenle sağlık sisteminin büyük bir parçasını oluşturan hastanelerin karmaşıklığından uzak bir şekilde hastalara en iyi hizmeti sunabilmesi için, hastaların şikayetleri doğrultusunda hastaneler birçok alana ayrılmaktadır. Hasta şikayetine göre gerekli bölümde tedavi uygulanmaktadır (Derin, 2008). Tedavi süreci hastanın şikayetlerini dinlemek, gerekli gözlemler yapılması, gözlemlerin kesinliğini sağlayacak istek tetkikler, buna bağlı olarak tanı ve izlem ile devam etmektedir (Sargutan, 2005). Bu süreç içerisindeki istek tetkik sonuçlarının doktora aktarımı hızlı ve doğru olması hasta ve doktor için önemli bir süreçtir (Özen, 2015).

Hastalara ait tanılar ve iyileştirici süreçlerin akışında laboratuvar çalışmaları büyük katkı sağlamaktadır. Laboratuvar test sonuçlarının doğruluğu, güvenilirliği hastaların tedavi sürecini yönlendirici aşamadır. Laboratuvarın doğruluk ve güvenilirliğini etkileyen üç tip aşama bulunmaktadır bunlar; Preanalitik, Analitik ve Postanalitik 'tir.

Preanalitik, laboratuvar sonuçlarını en çok etkileyen hataların meydana geldiği aşamadır. Preanalitik aşama içinde testin istenmesi, numune alma, numune taşıma, numune kabul ve işleme, numune analizlerinin gerçekleştiği süreci ifade etmektedir (Yavuz Taşlıpınar, Özkan, & Yeşilkay). Preanalitik evrede oluşan hatalar, Analitik ve Postanalitik evrede oluşan hatalardan daha fazladır ve bu evrede oluşan hataların önlenmesi sağlık hizmetlerindeki verimliliği artıracaktır (Yücel, 2016). Preanalitik evre adımları; doktor isteği üzerine hastaya ait bazı kan verileri istenir, gerekli istekler hastane bilgi sistemi aracılığıyla birimlere iletilir ve hastanın istekleri barkod sistemi ile gerekli birimlere gönderilmektedir. Hastanın kişisel verilerinin takibi önemlidir ve bu nedenle barkod sistemi ile bu takip sağlanmaktadır. Barkodlar üzerinde hasta isim, soy isim, T.C. kimlik numarası, isteği yapan doktorun isim soy ismi ve hangi isteklerde bulunduğu yazmak zorundadır. Sistem sürecin tamamen sağlıklı işleyebilmesi için kontrollü ve standartlaşmış şekilde devam etmektedir. Hasta kanlarının bulunduğu tüpler renklerine ve içinde barındırdığı özelliklere göre değişmektedir. Kan tüplerinde bulunan numuneler hızlı bir şekilde laboratuvara transfer edilmelidir (Polat, 2010). Numuneler Pnömatik Tüp Sistemi ve numune alma personeli tarafından taşınmaktadır. Taşıma aşamasının hızı ve tüplerin güvenli bir şekilde gerekli birimlere iletilmesi önemlidir. Pnömatik Tüp Sistemleri hastalara ait numune sonuçlarını hızlandırmada büyük kazanç sağlamaktadır (Özgür & Kara, 2020). Pnömatik Tüp Sistemine sahip olmayan yerler de numune alma personelleri numuneleri taşımaktadır. Bu personeller durmaksızın numuneleri toplar ve bu numuneleri gerekli analiz sonuçlarını almak üzere laboratuvarlara taşırlar. Bu taşıma işlemlerinin hızlı, güvenli ve numune sonuçlarını olumsuz etkilemeyecek şekilde ilerlemesi gereklidir (Yavuz Taşlıpınar, Özkan, & Yeşilkay). Numune alma personellerinin numune taşıma işlemleri sağlık kurumundaki lojistik olarak yorumlanabilir ve bu nedenle yalın lojistik aracı Milk-Run ile numune taşıma işlemi arasında benzerlik görülmüştür. Milk-Run, ana üreticinin tedarikçilerine ürünlerini tek vasıta ile taşımalarını sağlar, bu tek vasıta ile tedarikçilerin maliyet yükü azalırken ana üretici ürünlerini büyük bir taşıt içerisinde toplayarak birçok tedarikçiye sipariş edilen ürünleri teslim ederek zamandan ve maliyetten kazanç sağlar. Yalın lojistik aracı Milk-Run 'ı standartlaştırmak ve taşımanın planlı yapılması büyük kazanımlar oluşturur.

Hastane içindeki lojistiğin standartlaştırılması ve planlanarak yapılması özellikle sağlık alanı için,

- Sonuçların hasta ve doktora hızlı iletilmesinde,
- İş yükünün azaltılmasında,
- Numunenin taşıma sürecindeki aşamaların kısaltılmasında,
- Kısaltılan süreçler ile hata paylarının azaltılmasına,
- Daha güvenli numune taşınmasına,
- Laboratuvara taşıma aşamasında gerçekleşen hataların sıfırlanmasına,
- Zamandan kazanca,
- Hastalığın hızlı teşhisine,
- Preanalitik aşamada gerçekleşen olumsuz etkilerin azaltılmasına katkı sağlamış olacaktır.

Yukarıdaki nedenlerde düşünüldüğünde yalının her aracı sadece üretim için değil sağlık hizmetlerinde de büyük sonuçlar vermekte ve her konuda iyileştirmenin mümkün olacağı gözlemlenmektedir. Milk-Run ve Spagetti Diyagramı ile uygulamada gözlemlenen numune alma personelinin hareketlerinin analizleri yapılarak Preanalitik aşama içerisinde yer alan taşıma ve hareket kaynaklı israfların azaltılması hedeflenmiştir.

Sağlık alanının da hizmet veren kuruluş birçok dahili ve cerrahi klinik birimden oluşmaktadır. Klinik birimler içerisindeki arz talep dengesi doktor hasta olarak devam etmektedir. Kurum içerisinde bulunan klinikler ve laboratuvar ile hastanın her türlü isteğine cevap verilebilmektedir. Kurumun dahili ve cerrahi kliniklerine bağlı kan alma merkezinde toplam 327m<sup>2</sup>'lik alanda Glikoz tolerans test



birimi, numune alma birimi, hasta takip odası, kan alma işleminin gerçekleştiği 7 kabini ve hastaların sıralarını beklediği bekleme alanı bulunmaktadır. Sabah 8:00 akşam 16:00 saatleri arasında Glikoz Tolerans testi için tek personel, numune alma birimi için 2 personel ve kan alma için 10 personel kan alma merkezi boş kalmayacak şekilde vardiyalı olarak hizmet vermektedir. Hastalar hastane bilgi sistemi ve randevu yöntemi ile istedikleri birimden istedikleri doktora tedavi olabilmekte, doktorun hastane bilgi sistemine hasta için kan numune isteklerinde bulunmasıyla hasta kan alma merkezine gelmektedir. Hasta kan alma merkezine giriş yapmadan önce hasta kayıt/kabul bölümündeki personel, kaydı doğrularak barkod ve kan alma merkezindeki hasta sıralaması için numara vermektedir. Hasta, merkezdeki Numaratör ekranından numarasını ve gideceği kabin numarasını takip etmekte daha sonra çağrı üzerine kabine gitmektedir. Hemşireler hastaya ait istek barkodlarını kontrol eder ve daha sonra hastalardan aldıkları numuneleri sporlarda (kan tüplerinin yerleştirildiği ekipman) biriktirmektedir. Numune alma biriminde çalışan personel gün içinde sporlarda biriken numuneleri toplar, numunelere ait barkodları okutur ve gerekli analizlerin yapılması için laboratuvarlara transferlerini sağlamaktadır. Doktor, hastaya ait isteklerin laboratuvar sonuçlarını hastanenin bilgi sistemi üzerinden ulaşmakta istek sonuçları üzerine hastaya teşhis veya tedavi yöntemleri uygulamaktadır.

### 1.1. Motivasyon

Kan alma merkezindeki uygulama çalışması sonucu, numune alma personelinin taşıma, hareket gibi nedenlerden doğan israfların, Yalın yöntemleriyle personelin iş yükünün azaltılmasına, numune transferinde harcanan zaman ve enerjinin azaltılması ile verimliliğe dönüşmesinin gerçekleşmesidir.

### 1.2. Problem Tanımı

Numune alma personelinin kan numunelerini toplanması ve laboratuvara transferi sırasında gözlemlenen israflardır.

### 1.3. Literatür Araştırması

Yalın yönetimin sağlık alanındaki verimliliği artırması üzerine birçok ülkede yalın araç ve yöntemlerinin kullanıldığını, sağlık alanında da yalın yönetimin başarısı için üst yönetimden alt birime kadar tüm personelin yalın yönetim yaklaşımının benimsemesinin önemi vurgulanmıştır. Sağlık hizmetlerindeki birçok birim içerisinde uygulandığı ve araştırma sonucunda sağlık hizmetleri birimlerinde yalın yönetimi etkin bir şekilde tavsiye edildiği görülmüştür (Çilhoroz & Arslan, 2018).

Bir diğer literatür çalışmasında ise yalın ve sağlık kavramlarının birleştirildiği tanımlar ile sağlık sektöründe yalın kavramının benimsendiği görülmektedir. Çalışmada “*yalın sağlık*” tanımı kullanılmış ve bu tanımın küresel bir hareket haline geldiği belirtilmiştir. Yalın sağlık tanımının ortaya çıkış nedeninin “*bütçeyi aşan maliyetler, hasta güvenliğini riske eden hatalar, hastaların boşa harcanan vakti ve genel bürokratik verimsizlikler*” olarak belirtmiştir (Yıldız & Yalman, 2015).

Sağlık hizmetlerine duyulan talep ve bu talebin günden güne artması, sağlık hizmetlerindeki iyileştirmeye odaklanıldığını, birçok sağlık kuruluşunun performans iyileştirmede Toyota Üretim Sistemini kullandığı ve Toyota Üretim Sisteminin “*Yalın Sağlık Yönetim Sistemi*” olarak tanımlandığı belirtilmiştir (Yıldız & Yalman, 2015).

Çalışmada yalınla ilgili yapılan araştırmalar; “*sağlık kuruluşlarının performansını ve sağlık çalışanlarının çalışma ortamının geliştirilmesi*” olarak iki konu başlığı belirlendiği görülmüş ve “*sağlık çalışanlarının çalışma ortamının geliştirilmesi ise; sağlık bakım süreçlerinin iyileştirilmesi ve sağlık çalışanlarının rolünün daha aktif olmasını sağlamıştır.*” şeklinde yorumlanmış ve yalının sağlık hizmetleri içerisinde bulunan tüm birimleri ve tüm kişileri etkilemesiyle verimliliğin arttığı belirtilmektedir (Yıldız & Yalman, 2015).

Yalın yönetim ile israflar azaldığı gibi tamamen yok edildiklerini, israfın yok edilmesi üzerine artan verimliliğin, tanı ve teşhis süresini hızlandırdığını, maliyetleri azaltıldığını, hasta bekleme zamanının azaldığını ve standartlaşma sağlayarak iyileşmenin devamının sağlanmasına odaklanıldığı, tam ve etkin çalışma sağlandığına vurgu yapılmıştır. Yalın yönetim ile personele sağlanan iyileştirmelerle moral ve motivasyonlarındaki artışın iş potansiyelini arttırdığı da görüldüğü vurgulanmıştır (Önder, Arslan, Kayalı, Keskin, & Yiğit, 2015).

Yalın yönetimin sağlık alanındaki çalışmalara önemli ve olumlu etkilerinin gözlemlendiği ve uygulandığı görüldüğü gibi, araştırmalar sonucunda yalın yönetimin hangi alanda kullanılırsa kullanılsın kişilerde yalın ve yalın düşünce kavramlarının benimsenmesinin bu süreçlerin hızlı ve etkili ilerlemesinde önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir (Önder, Arslan, Kayalı, Keskin, & Yiğit, 2015).

Sağlık alanındaki israfların her biri hasta hayatını büyük ölçüde etkilediği bilinmekte, bu nedenle hızlı ve etkili bir şekilde verimliliğe ulaşması gerekliliktir. Sağlık hizmetleri bütünü ile hata kabul etmeyecek birimlerden oluşmaktadır. Hastanın sağlık birimine varışından çıkışına kadar her bir adımda, gereksiz bekleme, gereksiz hareket, planlanmadan işlenen süreçler, doktora geç giden numune sonuçları bunlardan bazılarıdır, bunun dışında sağlık biriminin yapı planlamasındaki yanlışlar, işlem adımlarındaki personel bazlı hatalar veya plansızlık sebebiyle personelin hareket ve taşıma işlemleri de hastanın iyileşme sürecinin uzamasına neden olduğu belirtilmiştir (Özen, 2015).

Sağlık alanında zaman önemli bir kavram ve her şey zamanla yarışır haldedir. Yalın yönetim ile sağlık alanındaki çalışmalar içinde önce israfların gözlemlenmesi gerekir, gözlemler sonucu israflar mutlaka küçük büyük demeden ayıklanmalıdır, israfların ne olduğu, nasıl çözüleceği en hızlı çözümü sağlayacak yalın araçlarla çözülmelidir.

Yapılan çalışma kapsamında hastane laboratuvarında gözlemlenen israflar,

- Laboratuvar cihazlarının yerleştirme plansızlığı,
- Gereksiz hareket,
- Gereksiz taşıma

madde başlıkları ile görülmüş ve çalışma içerisinde kullanılacak yalın aracının hangisi olması gerektiği konusunda net bir bilgiye erişilemediği ve kolaylık açısından “spagetti diyagramı” kullanılarak kök nedenler analiz edilmiştir. Laboratuvar için hazırlanan yeni yerleşim planı ile bazı cihazların yerleştirilmesi sonucu adımların arttığı görülmüşüne rağmen, “283 metre olarak hesaplanan toplam süreç adımları 165 metreye düştü” ve “toplamda %41,5 bir azalma kaydedilirken daha ergonomik bir iş ortamına ulaşıldı” yorumu ile literatür sonuçlandırılmıştır. Bu sonuca bağlı olarak, yalın aracı Spagetti diyagramı kullanılarak zamandan, harekettten kazanç sağlanmış bu kazanç sonucunda da personelinde motive olduğu literatür çalışmasıyla desteklenmiştir (Yalçın, Elyas, Yıldız, Alpşen, & Yalçın, 2018).

Taşıma, stok, fazla işlem, hareket, beklemler, hatalar ve aşırı üretim olarak tanımlanan 7 israf türünün yanında literatürde hizmet sektörü için “*dengelemiş yetkiler*” olarak tanımlanan 8 israf belirtilmiştir. Dengelemiş yetkiler, çalışanın sorumlu olduğu iş ile ilgili konularda, fikirlerinin yönetici tarafından önemsenmemesinden ortaya çıkan israf olarak açıklanmaktadır (Güleryüz, 2012).

Literatür çalışmasında, hastanelerde görülen israf türleri olarak; “*hatalar, ihtiyaçtan fazla üretim, gereksiz malzeme hareketi, bekleme, fazla stok, gereksiz insan hareketi, gereğinden fazla işlem*” olarak 7 israf ve “*insan potansiyeli*” olarak 8. israf tanımlanmıştır (Güleryüz,2012,Bektaş, Kiper, & Aytaç, 2018).

İşletmelerde görülen israflar ve bu israfların hastane için tanımlanmasında 7 israf “*hatalar, ihtiyaçtan fazla üretim, gereksiz malzeme hareketi, bekleme, fazla stok, gereksiz insan hareketi, gereğinden fazla işlem*” olarak tanımlanmış ve 8. israf için “*Çalışanların yeteneklerinin dikkate alınmaması*” olarak belirtildiği görülmüştür (Bektaş, Kiper, & Aytaç, 2018).

İsraf üzerine yapılan literatür çalışmalarında 8.israf olarak görülen; dengelenmiş yetkiler, insan potansiyeli veya çalışanların yeteneklerinin dikkate alınmaması başlıklarından oluşan israfın temelinde “insan” olduğu görülmektedir ki, insan hizmet kurumlarında personeldir. 8. İsraf ile personelin katılımının, motivasyonunun hizmette verimlilik sağlamak için ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Sağlık alanında hizmet veren kurumların karşılaştığı hataların büyük bir kısmının laboratuvar sonuçlarını etkileyen Preanalitik evre olduğu bilinmektedir. Literatür çalışmasına göre Preanalitik evrede hastalara ait numunelerin analizlerinde olumsuz etki eden faktörlerden birinin numune taşıma olduğu anlaşılmıştır. Numunenin doğru koşullarda taşınmamasıyla test sonuçlarındaki hatalara ve taşımaya harcanan zamandan dolayı sonuçların geç çıkmasına neden olmaktadır. Numune transferinin personel yerine Pnömatik Tüp Sistemiyle yapılması sayesinde, zamandan, harekettten ve maliyetten kazanç sağlayacağı görülmüştür.

Pnömatik Tüp Sistemiyle sadece numune değil, ilaç, belge, hasta raporları gibi birçok malzemenin sadece laboratuvara değil, eczane, acil servis ve hemşire birimleri gibi birçok yere taşınması sağlanabilmekte ve personel taşımaya ayıracağı enerji ve zamanı hastaya ayırarak hizmette kaliteyi artırabileceği belirtilmiştir.

Literatürün verdiği bilgiye dayanarak sağlık alanında hizmet veren kurum veya kuruluşlarda taşımının ciddi bir israf oluşturduğu anlaşılmaktadır ve personel yerine Pnömatik Tüp Sistemlerle transferin yapılması önerilmiştir (Karacan, Tuncel, Gürsoy Doruk, & Doğan, 2020).

Hastane içinde kullanılan Pnömatik Tüp Sistem üzerine yapılan farklı bir araştırma da ise, saniyede 6-7 m/s 'lik hız ile odalar, katlar hatta binalar arasında yatay veya dikey olarak taşıma yapılabileceği, bu sayede hastane içinde oluşabilecek verim ve Pnömatik Tüp Sistem tasarımının daha etkili kullanılabilmesi için değerlendirmeler yapılmıştır (Özgür & Kara, 2020).

Milk-Run yöntemi üzerine uygulama çalışması yapılan literatürde, bir tekstil işletmesinde hammadde deposundan üretim hatlarına yapılan malzeme besleme problemi ele alınarak, malzeme besleme kaynaklı hat duruşlarının en küçüklenmesi amaçlanan çalışmada problem analizi için Balık Kılıcı Diyagramı kullanılmış, yönetsel faktörler başlığında belirtilen besleme yapan gezici operatörün bir rota planının olmamasından kaynaklı problem için uygulanan çözümler incelenmiştir. Bu inceleme kapsamında problemin çözüm aşamasında gezici operatörün iş akışı şeması oluşturularak operatörün işlem adımları belirlenmiş, operatörün besleme yaptığı rotalar belirlenerek en kısa yol yöntemi kullanılmış ve rota kısaltılması yapılarak zamandan ve mesafeden verimlilik sağlanmıştır (Selim, Selim, & Dabanlı, 2018).

Literatür araştırmaları kapsamında yalının sağlıktaki yeri, sağlıkta israf konuları araştırılması ile sağlık sektörü için büyük bir ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır ve sağlık alanındaki hizmetlerin insan yaşamına veya hasta iyileşme sürecine etki etmesinden kaynaklı hata kabul edilemez oluşu daha net anlaşılmıştır. Birçok sektöre kıyasla daha ciddi sonuçların örneğin; hasta ölüm riski, hastaya ait test

sonuçlarının doktora geç ulaşması ve tanı sürecine olumsuz etkisi gibi işlem akışlarına sahip olan sağlık sektörünün, yönetsel ve organizasyonel anlamda yalın bakış açısı ile iyileştirilebileceği ve bu iyileşmenin standardizasyonu ile sürdürülebilirliğinin sağlanabileceği araştırılan çalışma ve uygulamalarda da görülmektedir. Sağlık kurumlarının sahip olduğu her bir birim için yalın çalışması yapılarak daha hızlı ve etkili iyileştirmeler bütünsel bakış açısı ile sağlanacaktır.

Sağlık hizmetleri içindeki israflar araştırıldığında literatürlerde de taşıma, hareket ve personelin etkisi görülmektedir. Literatürdeki çalışmalarda Spagetti Diyagramının kullanımı ile hareket israflarının önlenmesine bağlı olarak personel memnuniyetinin artması, taşımadan kaynaklı israfların etkisini azaltmak için Pnömatik Tüp Sistemi gibi teknolojik sistemlerin kurulması ve bu kurulum sonucunda personelden kaynaklı hataların azalmasına ve hastalara ait test sonuçlarının sağlıklı ve hızlı bir şekilde doktora ulaşarak tanı, teşhis ve tedavideki zaman kayıplarının sebep olabileceği zararların minimize edilmesine katkı sunduğu anlaşılmıştır.

Uygulama çalışmasında literatürden yararlanılarak lojistik yalın aracı Milk-Run ile yapılan çalışma arasında benzerlik görülmüş, Milk-Run yöntemi denenmiştir. Milk -Run yöntemi ile personel için uygun rota belirlenerek zorunlu hareketten kaynaklı israfın azaltılması hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Yalın, Yalın Yönetim

İkinci Dünya Savaşı sonunda Japon ekonomisinin olumsuz etkilenmesi sonucu üretimde sıkıntılar yaşandı, var olan üretim şekilleri ile kritik yükselme seviyesini bir türlü yakalayamayan ve küresel üretim içerisinde söz sahibi olamayan Japonya, savaş sonrası süreçte maddi zorlukların yanında, malzeme ve insan kaynağında da kıtlık yaşamış ve toparlanmanın yollarını aramıştır. Japon otomobil firması Toyota'nın yöneticisi Taiichi Ohno bu zor süreçte para, insan ve malzeme kaynaklarının kıtlığını azaltmak için israf olarak değerlendirilen tüm harcamaları minimize ederek verimliliği artırmayı hedeflemiş ve bu çaba sonucunda Toyota Üretim Sistemini geliştirmiştir. Toyota Üretim Sistemi'nin sağladığı verimlilik ve etkinlik ile yükselişe geçen Toyota, küresel anlamda kendini ispatlamayı başarmıştır. Sistemdeki amacın, israfların azaltılıp verimliliğin artırılması yani sadeleşme ile "Yalın, Yalın Düşünce ve Yalın Yönetim" kavramlarının temeli atılmıştır.

Yalın, sürece olumsuz etkisi olduğu ve gereksiz harcama olarak düşünülen tüm etkilerden arındırılmayı ifade eder. Yalın kavramı değer yaratarak verimliliği artırmayı ve israfın neden olduğu verimsizliği azaltmayı hedeflemektedir. Türk Dil Kurumunun tanımına göre, "Gösterişsiz, süssüz, sade" olarak tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu, 2020).

Yalın yönetim, işletmelerin operasyonel süreçlerinin bütünü ele alarak süreçteki ana hedefe odaklanan, israfların gözlemlenip yok edilmesi hedeflenen katma değer artırılmasının sağlandığı bütüncül yönetsel yaklaşımdır. Yalın yönetim, yalın üretime bağlı olarak tüm üretim döngüsünün değer katarak sürekli iyileştirildiği yönetim yaklaşımıdır (Çilhoroz & Arslan, 2018) (Önder, Arslan, Kayalı, Keskin, & Yiğit, 2015). Bu yaklaşım birçok üretim sektöründe olduğu gibi hizmet sektörlerinde de kullanılabilen bütünselliğe sahiptir (Çilhoroz & Arslan, 2018). Yalın yönetimin uygulanmasında kullanılan; "Kaizen, 5S, Toplam Verimli Bakım, Hücresel Üretim, Tam Zamanında Üretim, 6 Sigma, Üretim Öncesi Planlama ve Yalın Girişim Tedarikçi Ağları" gibi birçok araç veya yöntem kullanılmaktadır (Çilhoroz & Arslan, 2018).

#### 2.1.1. Değer, israf, israf çeşitleri

Değer, yalın için kritik kavramlardan biridir. Yalın düşünce, yalın üretim ve yalın yönetime sahip kişi, kurum veya kuruluşlar değer kazandırmayı hedef edinmektedir. Değer, hizmet veya ürünün sunulduğu kişi veya son tüketici tarafından tanımlanmaktadır. Bir süreç içerisinde istenen veya belirtilen özelliklerin tam ve doğru olarak, süreçlerin ve sonuçların her adımda daha etkili olması hedeflenen verimlilik bütünü olarak düşünülebilmektedir.

İsraf, yalın için bir diğer kritik tanım israftır. Çıktı olarak sunulan ürün veya hizmet için değer katmayan tüm fonksiyonlardır. Yalın israfı bulmaya, daha iyisi nasıl olur araştırılmaya ve israfı en aza çekmeye odaklanır.

#### İsraf Çeşitleri

1. Aşırı Üretim: İstenen veya talep edilenden fazlasının çıktıya dönüşmesidir.
2. Bekleme: İstenen veya talep edilene idealde ulaşılabilecek süreden daha fazla sürede ulaşılmasıdır.
3. Taşıma: Süreç içerisindeki işlem adımları arasındaki mesafelerin fazla olması, süreç içerisindeki ideal süreyi taşıma için kullanarak verimsizliğin arttığı israftır.
4. Gereksiz İşlem: Sürecin içerisinde bulunan herhangi bir katma değeri bulunmayan, işlem süresinde gereksiz yer edinen, plansız süreç adımlarından kaynaklanan israf türüdür.
5. Aşırı Stok: Gerekenden fazla oluşan her türlü çıktının maliyetten, zamandan ve insan emeğinden alarak işlem sürecinin etkili kullanımını olumsuz etkileyen, mali yük oluşturan israf türüdür.

6. Hareket: Çalışanın gerçekleştirmesi gereken görevini fazla veya gereksiz hareketlerle, iş süresinden kullanarak, insan emeğinin boşa harcanmasına neden olan israf türüdür.
7. Kusur: Sürecin adımlarında ve çıktıda yapılan hatalar bütünüdür.

### 2.1.2. Yalın lojistik

Lojistik kavramı, ürün veya hizmet kaynaklarının istenen yerde ve istenen zamanda bulunmasını sağlayan bir tanımdır. Lojistik sadece ulaşmayı ve ulaştırmanın yanı sıra, planlama, uygulama, koruma, güvenliği sağlama, depolama ve kontrolü sağlamayı da süreç içerisinde sağlıklı bir şekilde yapılmasını hedeflemektedir.

Yalın lojistik, bilinen lojistik kavramı dışında, yalın anlayışını sürecin her adımına uyarlayarak sürekli iyileştirme esaslı yaklaşım ile tasarlanmıştır. Lojistik süreci içerisindeki kaliteyi arttırmayı, hizmet veya ürün alıp satan arasındaki iletişimi kuvvetlendirerek daha planlı iş yapmayı, her iki tarafında kazanmasını sağlamayı, depolamayı minimum da tutmayı, zamanında ulaşımı ve teslimat süresinde yaşanan zaman israfını bertaraf etmeyi, üretim esnekliğini desteklemeyi ve teknolojinin her imkanını en verimli şekilde kullanmayı hedefleyen, yalın anlayışına sahip kavramdır.

Milk-Run, yalın lojistik araçlarından biri olan Milk-Run sistemi, süt dağıtıcısının müşteri isteği kadar araca şişeleri yüklemesi tek seferde tüm müşterilerin istekleri kadar dağıtım yapması ve dönüşte boş süt şişelerini bıraktığı son müşteriden başlayarak toplamasından esinlenilmiştir. Süt dağıtıcısı üzerinden devam edersek müşteri isteğinin önceden bilinmesi ve bilgi kapsamında araca müşteri isteği kadar ürünün yüklenmesi, hangi rotalara dağıtım yapılacağını bilmesi ve uygun gidiş/dönüş rotasının belirlenmesi, gidiş yolunda müşterilere rotaya göre dağıtım yapılması ve geri dönüş yolunda aynı rota ile boş şişelerin toplanmasıyla dağıtıcıya ait maliyet, stok, hareket gibi katma değer sağlamayan israfların minimize edilmesi gibi müşterinin de siparişine vaktinde ulaşmasını sağlayan kavramdır (Demir, 2010).

### 2.1.3. Spagetti diyagramı

Bir iş akışı için kişinin yaptığı tüm hareketlerin görselleştirildiği ve bu hareketlerden ortaya çıkan israfın anlaşılmasını sağlayan yalın araçlarından biridir. Spagetti Diyagramı ile kişilerin aldıkları her yol renklendirilerek harita oluşturulur ve harita üzerinden iş akışı için atılan toplam adım sayısı hesaplanır, yapılan toplam adım hesabı ile gözlemlenen hareket israfının azaltılması amaçlanır (Bialek, Duffy, & Moran, tarih yok).

## 2.2. Numune alma

Hastalığın tanı ve şiddetinin belirlenmesi için hastadan alınan biyolojik materyallerin toplandığı ve hastane bilgi sistemine “numune alma” olarak tanımlanan hekim test isteğinden sonraki işlem basamağıdır.

## 2.3. Numune Taşıma

Numunelerin analizleri yapılmak üzere işlem akışına dahil edilmesinin sağlandığı, en güvenli ve kurallara uygun şekilde, belli süre ve belli şartlarda laboratuvarlara teslim edilmesidir (*Yavuz Taşlıpınar, Özkan, & Yeşilkay*). Hastane içerisinde bu süreçler personel ve Pnömatik Tüp Sistem vasıtasıyla gerçekleşmektedir (*Karacan, Tuncel, Gürsoy Doruk, & Doğan, 2020*).

### 2.3.1. Personel

Personel, numuneleri dereceli çanta veya numune için özel tasarlanan tepsilerde, korunaklı, güvenli şekilde yürüyerek veya araç vasıtası ile taşıyabilmektedir. Hastane içinde genellikle yürüyerek klinikler arası belirlenen sürelerde numuneler toplanır ve laboratuvara teslim edilmek üzere, numunelerin olumsuz etki altında kalmayacağı sürelerde teslim etmektedirler (Polat, 2010).

### 2.3.2. Pnömatik tüp sistemi

Pnömatik tüp sistemler personellerden kaynaklı hataların önlenmesi konusunda tasarlanmıştır. Bu tasarım ihtiyacı, hataları azaltmak ve minimum süre ve harcanan enerji sağlarken maksimum hız ile numunelerin birimlere ulaşımı sağlanmaktadır. Sağlık kurumlarındaki Pnömatik sistemin yapısını;

- Kompresör,
- Taşıyıcı tüpler,
- Borular veya taşıma hattı,
- İstasyonlar, yönlendiriciler,
- Bilgisayar kontrol biriminden oluşmaktadır (Özgür & Kara, 2020).

## 2.4. Numune kabul

Alınan numunelerin çeşitli vasıtalar ile laboratuvara ulaştırılması sağlandıktan sonra numunenin gerekli prosedür ve kurallarla geldiğini kabul veya ret işlemi görenek analiz işlemi başlatılma aşamasıdır (Polat, 2010).

### 3. Bulgular

Kan alma merkezi içerisinde bulunan numune alma birimi, 30 birimden gelen kan numuneleri ile kan alma merkezindeki kabinlerden toplanan tüm kan numunelerinin analizi için laboratuvara transferini sağlamaktadır. Transfer işlemi numune alma birimindeki personel ve Pnömatik Tüp Sistemi vasıtasıyla yapılmaktadır. Farklı birimlerden gelen kan numunelerinin bulunduğu tüpler barkodları okutulmuş şekilde gelmekteyken, kan alma merkezi içerisinde alınan kan numunelerinin barkodları, numune alma biriminde çalışan personel tarafından okutulmaktadır.

Kan alma merkezine bağlı numune alma biriminde çalışan personel, her bir kabin de biriken kan numunelerini, barkodlarını kontrol ederek numunelerin biriktirildiği numune tepsisine toplar, tüm kabinlerdeki numuneler toplandıktan sonra kendi birimi olan numune alma birimine geçer, numuneleri gidecekleri laboratuvara göre ayırıştırır, numuneler eğer ana laboratuvara gönderilecekse numunelerin barkodları mutlaka okutulur ve okutulan numuneler Pnömatik Tüp Sisteme aktarılmak üzere Pnömatik tüplere doldurulmaktadır, numuneler 1. Laboratuvara gönderilecekse barkodları mutlaka okutulur, ayrı bir numune tepsisinde biriktirilir ve biriktirilen numuneler personel vasıtası ile taşınmaktadır. Kan bankası için ayrılan numune haricinde, acil sonuçlanması gereken numuneler ve dış laboratuvara gönderilen numunelerin barkodları okutulur, belirtilen koşullarda teslim edilmek üzere ayrı alanlarda biriktirilmektedir.

Uygulama çalışması kapsamında kan merkezinde bulunan numune alma birimindeki personelin hareketleri ve taşımaları gözlemlenmiştir. Gözlemler kapsamında personelin sorumlu olduğu görevler adım adım takip edilmiştir. Bu takip sonucu personelin her bir hareketinin katma değer sağlayıp sağlamadığına odaklanılmıştır.

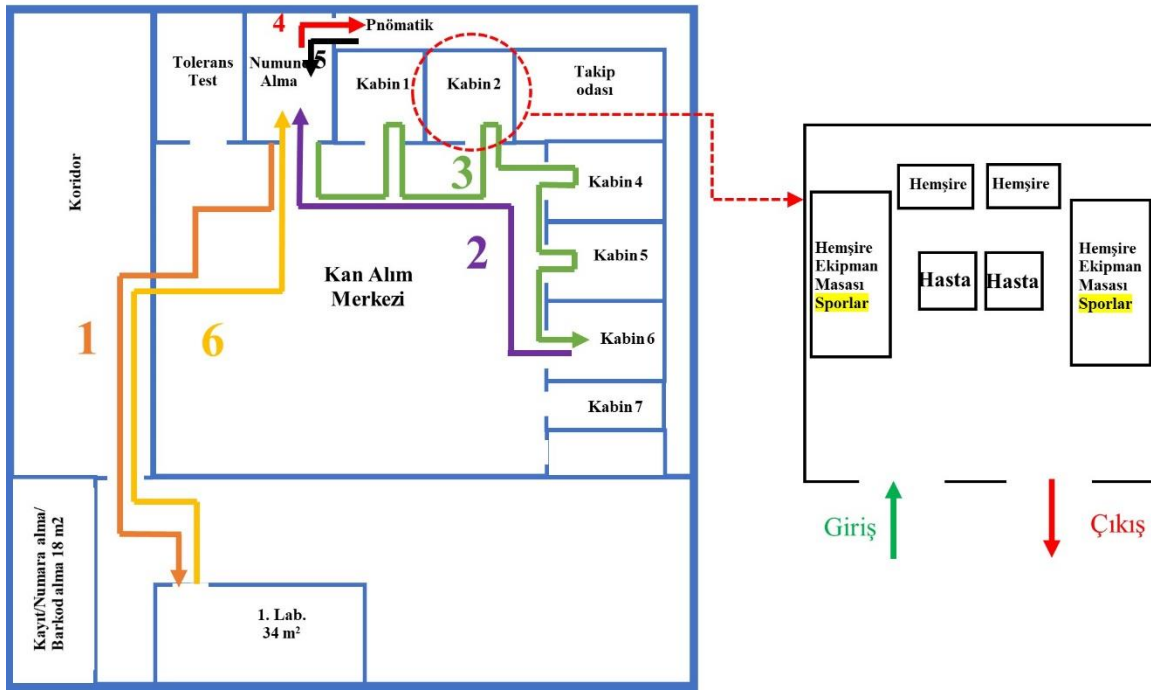
Öncelikle personelin gün içinde her bir işlem başlangıcı ve bitişinde yaptığı genel hareketler aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

1. Personel kan alma biriminden kan tüplerini toplamak üzere eldivenlerini giyiner,
2. Sandalyesinden kalkar,
3. Numuneleri biriktireceği numune tepsisini almak üzere masasına uzanır,
4. Numune tepsisini eline alır,
5. Numune alma biriminden çıkış yapar,
6. 1 numaralı kabine doğru yürür,
7. 1 numaralı kabinde ilk hemşirenin sporuna yönelir,
8. Sporlarda biriken numuneleri ikişer ikişer alır,
9. Kan tüplerinin barkodlarını tek tek kontrol ederek ikişer şekilde tepsiye koyar,
10. 1 numaralı kabindeki ikinci hemşirenin sporuna yönelir,
11. Sporlarda biriken numuneleri ikişer ikişer alır,
12. Kan tüplerinin barkodlarını tek tek kontrol ederek ikişer şekilde tepsiye koyar,
13. 2 numaralı kabine yönelmek üzere 1 numaralı kabinden ayrılır,
14. 2 numaralı kabindeki ilk hemşirenin sporuna yönelir,
15. Sporlarda biriken numuneleri ikişer ikişer alır,
16. Kan tüplerinin barkodlarını tek tek kontrol ederek ikişer şekilde tepsiye koyar,
17. 2 numaralı ikinci hemşirenin sporuna yönelir,
18. Sporlarda biriken numuneleri ikişer ikişer alır,
19. Kan tüplerinin barkodlarını tek tek kontrol ederek ikişer şekilde tepsiye koyar,
20. 4 numaralı kabine yönelmek üzere 2 numaralı kabinden ayrılır,
21. 4 numaralı kabindeki ilk hemşirenin sporuna yönelir,
22. Sporlarda biriken numuneleri ikişer ikişer alır,
23. Kan tüplerinin barkodlarını tek tek kontrol ederek ikişer şekilde tepsiye koyar,
24. 4 numaralı ikinci hemşirenin sporuna yönelir,
25. Sporlarda biriken numuneleri ikişer ikişer alır,
26. Kan tüplerinin barkodlarını tek tek kontrol ederek ikişer şekilde tepsiye koyar,
27. 5 numaralı kabine yönelmek üzere 4 numaralı kabinden ayrılır
28. 5 numaralı kabindeki ilk hemşirenin sporuna yönelir,
29. Sporlarda biriken numuneleri ikişer ikişer alır,
30. Kan tüplerinin barkodlarını tek tek kontrol ederek ikişer şekilde tepsiye koyar
31. 5 numaralı ikinci hemşirenin sporuna yönelir,
32. Sporlarda biriken numuneleri ikişer ikişer alır,
33. Kan tüplerinin barkodlarını tek tek kontrol ederek ikişer şekilde tepsiye koyar
34. 6 numaralı kabine yönelmek üzere 5 numaralı kabinden ayrılır,
35. 6 numaralı kabindeki ilk hemşirenin sporuna yönelir,
36. Sporlarda biriken numuneleri ikişer ikişer alır,
37. Kan tüplerinin barkodlarını tek tek kontrol ederek ikişer şekilde tepsiye koyar
38. 6 numaralı ikinci hemşirenin sporuna yönelir,
39. Sporlarda biriken numuneleri ikişer ikişer alır,
40. Kan tüplerinin barkodlarını tek tek kontrol ederek ikişer şekilde tepsiye koyar,

41. Personel numune alma birimine yönelmek (7.kabinde kimse yoksa) üzere 6 numaralı kabinde ayrılır,
  42. Numuneleri biriktirdiği numune tepsi ile kendi odasına doğru yönelir,
  43. Personel numuneler ile kendi odasına doğru yürür,
  44. Numune alma birimine varır,
  45. Kendi masasına yönelir,
  46. Masasına eğilir,
  47. Numune tepsisini masasına koyar,
  48. Sandalyesine oturmak üzere yönelir,
  49. Sandalyesine yürür,
  50. Sandalyesine varır,
  51. Sandalyesine oturur,
  52. Numunelerin barkodlarını okutmak üzere numune tepsiye uzanır,
  53. Numuneleri tek tek eline alır,
  54. Numuneyi tek tek barkod okutucusuna doğru taşır,
  55. Barkod okutucusunda okutur,
  56. 1. laboratuvar için numune tepsiye yönelir,
  57. 1. Laboratuvar için numuneyi tepsiye taşır,
  58. 1.Laboratuvar için numuneyi tepsiye bırakır,
  59. Ana laboratuvar için Pnömatik tüpe uzanır,
  60. Ana laboratuvar için numuneyi tüpe taşır,
  61. Ana laboratuvar için numuneyi tüpün içine bırakır,
  62. Soğuk zincir için ayrılan numuneler soğuk zincire ait sporlara yerleştirilir,
  63. Kan Bankası için ayrılan numuneler kan bankasına ait sporlara yerleştirilir,
  64. Dış Laboratuvar için ayrılan numuneler, dış laboratuvar ait sporlara yerleştirilir,
  65. Numuneler yerlerine bırakıldıktan sonra tekrar numune tepsiye yönelir,
  66. Numune tepsinde numune kalmayana kadar 53. ve 64. hareketler devam eder,
  67. Soğuk zincire gidecek tüplerin bulunduğu spor alınır,
  68. Buzdolabına konulmak üzere numunelerle buzdolabına yönelir,
  69. Buzdolabına yürür,
  70. Buzdolabı kapağı açmak üzere eğilir,
  71. Buzdolabı kapağı açılır,
  72. Soğuk zincir numuneleri buzdolabına konur,
  73. Buzdolabı kapağı kapatılır,
  74. Ana Laboratuvar için ayrılan Pnömatik Tüplerin içinde biriktirilen tüplere yönelir,
  75. Pnömatik Tüplerin kapakları kapatılır,
  76. Pnömatik tüpler Pnömatik Tüp sistemine doğru taşınır,
  77. Numuneler Ana laboratuvara gitmek üzere boru hattına bırakılır,
  78. Ana Laboratuvar ait kod girilir ve tüplerin boru hattında taşınması başlatılır,
  79. 1. Laboratuvar için numune tepsisinde biriktirilmiş numunelere yönelir,
  80. Numune tepsiye doğru yürür,
  81. Numune tepsisini tutar,
  82. Numune tepsisini kaldırır,
  83. Personel numune alma biriminden ayrılmak için yönelir,
  84. Personel numune alma biriminden ayrılır,
  85. Kan alma merkezinden ayrılmak için yönelir,
  86. Kan alma merkezinden ayrılır,
  87. 1.Laboratuvara yönelir,
  88. 1.Laboratuvara yürür,
  89. 1.Laboratuvara gelir,
  90. 1.Laboratuvara numuneleri teslim eder,
  91. Numune alma birimine geri dönmek üzere yönelir,
  92. Yürüyerek numune alma birimine döner,
  93. Numune alma birimine giriş yapar,
  94. Sandalyesine yürür,
  95. Sandalyesine oturur,
  96. Bir sonraki rutine başlamak üzere odasında bekler.
- Yukarıda madde madde aktarılan iş akışlarının detaylı bilgi ve uygulama çalışmaları aşağıdaki açıklamalarda verilmiştir.

### 1)Personelin numune toplama ve taşıma adım hareketi ile spagetti diyagramı

Bu bölümde personelin her numune toplama ve taşımada aldığı yol ve adım sayısı hesaplanacaktır. Bu gözlem Spagetti Diyagramı (Şekil 1) ile anlatılmıştır. Personelin bir adımı 70 cm olarak değerlendirilmekte ve kan merkezine ait kroki ölçümleri kullanılarak adımları hesaplanmıştır. Personelin adımları 1,2,3,4,5 ve 6 numaralı hareketler ile belirtilmiştir. Personelin işlem akışı 3 numaralı hareket ile başlar daha sonra sırasıyla 2,4,5,1 ve son olarak numune alma odasına dönerken 6 numara ile bitmektedir.



**Şekil 1.** Numune Alma Personelinin Numune Taşıma ve Toplama Adımlarına Ait Spagetti Diyagramı

Diyagrama göre;

- 1.Adım:** Personelin kan alma merkezinden topladığı numuneleri 1. Laboratuvara taşırken aldığı yaklaşık **60** adımı ifade etmektedir.
- 6.Adım:** Personelin 1. Laboratuvardan numune alma birimine geri dönüşünü ifade eden yaklaşık **60** adımı ifade etmektedir.
- 3.Adım:** Personelin kan numunelerini kan alma merkezi içindeki kabinlerden yaklaşık **105** adımla toplamasını ifade etmektedir.
- 2.Adım:** Personelin kabinlerden topladığı numuneleri numune alma birimine yaklaşık **85** adımla taşıdığını ifade etmektedir.
- 4.Adım:** Personelin kabinlerden toplayıp numune alma birimine taşıdığı ve barkod okuması yaptığı numuneleri ana laboratuvara göndermek üzere Pnömatik Tüp Sistemine taşıdığı yaklaşık **10** adımı ifade etmektedir.
- 5.Adım:** Personelin Pnömatik Tüp Sisteminden geri dönen boş tüpleri alarak masasına geri döndüğü yaklaşık **8** adımı ifade etmektedir.

### 2)Numune Alma Personelinin Numune Toplama ve Taşıma Hareketleri için Uygulama

Numune alma personelinin kabinlerden topladığı numune sayılarına bağlı olarak verilerin sayısal tahmini için bir gün boyunca personel ile numune toplanmış her kabine ait toplam numune sayısı ile hareketler arasında ilişki kurulmak istenmiştir. Personelin genel hareketleri 1.ve 51. maddeler arasındaki aşamalar ve Şekil 1'deki Spagetti Diyagramı için yapılan uygulama ile uygulamada elde edilen veriler anlatılacaktır.

**Tablo 1.** Her Kabinden Toplanan Tüp Sayısı

		Saat	1. Kabin	2. Kabin	4. Kabin	5. Kabin	6. Kabin	7. Kabin
1. Hareket	Başlangıç Saati	09:55	2	11	5	17	7	
	Bitiş Saati	09:57						
2. Hareket	Başlangıç Saati	10:15	15		12	14	12	
	Bitiş Saati	10:17						
3. Hareket	Başlangıç Saati	10:32	16	6	10	10	8	
	Bitiş Saati	10:35						
4. Hareket	Başlangıç Saati	10:46	17	1	3	10	8	
	Bitiş Saati	10:49						
5. Hareket	Başlangıç Saati	11:08	11	3	10	3	7	
	Bitiş Saati	11:11						
6. Hareket	Başlangıç Saati	11:25	11	6	7	3	3	
	Bitiş Saati	11:27						

**Tablo 2 (devam).** Her Kabinden Toplanan Tüp Sayısı

		Saat	1. Kabin	2. Kabin	4. Kabin	5. Kabin	6. Kabin	7. Kabin
7. Hareket	Başlangıç Saati	11:47	16		6	13	9	
	Bitiş Saati	11:49						
8. Hareket	Başlangıç Saati	14:40	6	3	8	14	22	
	Bitiş Saati	14:43						
9. Hareket	Başlangıç Saati	15:11	16		5	7	9	
	Bitiş Saati	15:13						

Yukarıdaki tablo içerisinde bulunan veriler doğrultusunda;

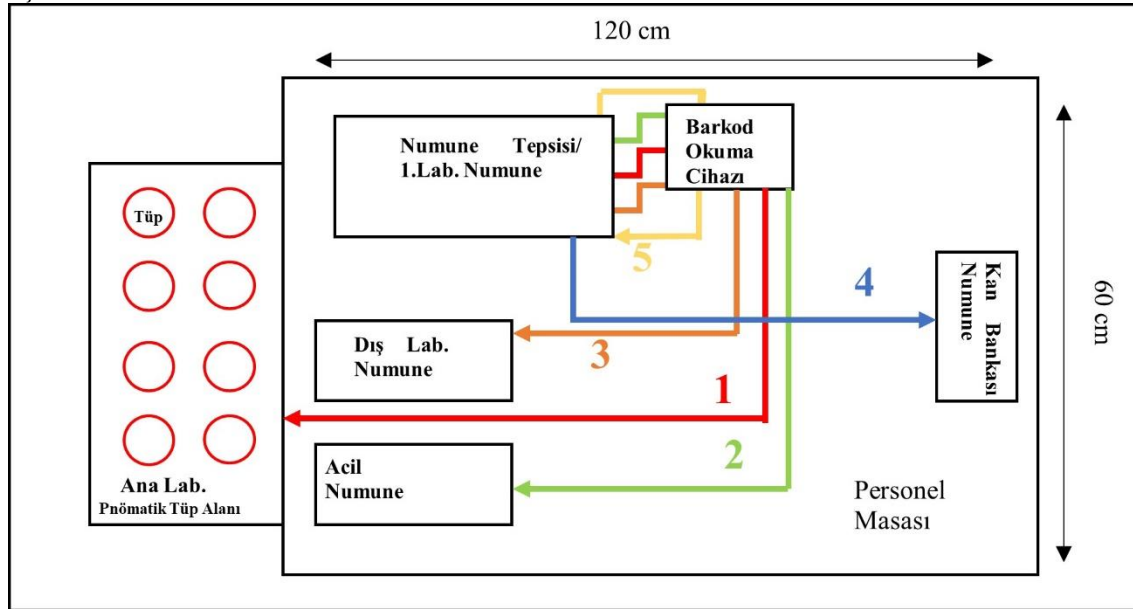
- Personelin her kabinden numuneleri toplama ve kendi birimine geçme hareketi 2 veya 3 dakikada tamamlanmakta,
- Personel gün içinde numuneleri toplamak için 9 kere yerinden ayrılma hareketi,
- 9 kere numuneleri topladıktan sonra yerine dönme hareketi,
- Sabah saatlerinde (09:55-10:49) saat başı 4 kere yerinden ayrılma hareketi,
- Öğlen ve öğleden sonra (11:08-15:13) 3 kere yerinden ayrılma hareketi yapmaktadır.
- Kan alma merkezinin saat 08:00'da başladığı ve 16:00'da kapatıldığı bilinmektedir bu bilgi kapsamında, 08:00-09:55 arasında 15 dakikada bir gerçekleşecek 4 hareket daha olacağı ve 15:13- 16:00 arasında yarım saatte bir gerçekleşecek 1 hareket daha olacağı da tablodaki verilerle ilişkilendirilmektedir.
- Personelin iş başlangıcından (08:00) iş bitimine (16:00) kadar toplamda 14 kere yerinden ayrılmış ve 14 kere kendi birimine döndüğü verilerle anlaşılmaktadır.

Numune alma personeli Tablo 1'deki veriler ve Şekil 1'deki Spagetti Diyagramına göre;

- Tek işlem hareketinde, 1,2,3,4,5 ve 6 numaralı adımlarla toplamda 328 adım,
- Uygulama verisindeki 9 hareketiyle, gün içinde toplam 2952 adım,
- Uygulamaya eklenen 14 hareketiyle, gün içinde toplamda 4592 adım atmaktadır.

### 3) Numune Alma Personelinin Numuneleri Ayrıştırma ve Yerleştirme Hareketi ile Spagetti Diyagramı

Uygulama çalışmasının bu bölümünde personelin masa başında numune ayırıştırma, barkod okutma, numune taşıma ve numune yerleştirme hareketleri gözlemlenmiştir. Personelin genel hareketleri 51.ve 64. maddeler arasındaki aşamalar aşağıda Şekil 2'deki gibi görselleştirilmiştir.



**Şekil 2.** Personel Masası Numune Ayrıştırma Görseli

Personel numuneleri numune tepsisine toplar ve masasındaki adımlarla numuneleri ayırıştırır. Buna göre;

**1.Adım:** Personel numune tepsisinden Ana Laboratuvara gidecek numuneyi alır, barkod cihazında okutur ve Pnömatik tüplere yerleştirir ve 3 adımda tamamlar.

**2.Adım:** Personel numune tepsisinden acil sonuçlanacak numunelerini alır, barkod cihazında numuneleri okutur, Acil sonuçlanacak numuneler için ayrılan sporlara yerleştirir ve 3 adımda tamamlar.



**3.Adım:** Personel numune teysisinden Dış Laboratuvara gidecek numuneyi alır, barkod cihazında okutur, Dış Laboratuvar için ayrılan sporlara yerleştirir ve 3 adımda tamamlar.

**4.Adım:** Personel numune teysisinden Kan Bankasına gidecek numuneyi alır, Kan Bankası için ayrılan sporlara yerleştirir ve 2 adımda tamamlar.

**5.Adım:** Personel numune teysisinden 1.Laboratuvara gidecek numuneyi alır, barkod cihazında okutur ve 1.Laboratuvar için ayrılan numune teysisine tekrar yerleştirir ve 3 adımda tamamlar.

#### 4) Numune Alma Personelinin Numuneleri Ayırıştırma ve Yerleştirme Hareketi için Uygulama

Numune alma personeli kabinlerden topladığı numuneleri laboratuvarlara göndermek üzere numuneleri alma, barkodları okutma, laboratuvarlar için ayrıştırılan alana yerleştirme hareketlerini gözlemek adına Tablo 1 verileri, toplanan numunelerin Şekil 2'deki ayrıştırma hareketleri için Tablo 2'de bulunan veriler ile yorumlanacaktır.

**Tablo 3.** Laboratuvara Göre Ayrılan Tüp Sayısı

Hareket	Kan				TOPLAM
	Bankası	1.Lab.	Dış Lab.	Ana Lab.	
1	1	13	1	27	42
2	0	23	0	30	53
3	2	10	0	38	50
4	0	19	0	20	39
5	0	12	0	22	34
6	0	10	0	20	30
7	0	12	0	16	28
8	2	15	3	33	53
9	0	6	0	15	21

Tablo 2'de bulunan verilere göre gerçekleşen ayrıştırma ve yerleştirme hareketleri;

- Hareket: 1 kere Kan Bankası, 13 kere 1.Laboratuvar,1 kere Dış Laboratuvar ve 27 kere Ana Laboratuvar için ayrılan alana numuneleri yerleştirmek için toplamda 42 kere,
- Hareket: 23 kere 1.Laboratuvar, 30 kere Ana Laboratuvar için ayrılan alana numuneleri yerleştirmek için toplamda 53 kere,
- Hareket: 2 kere Kan Bankası, 10 kere 1.Laboratuvar, 38 kere Ana Laboratuvar için ayrılan alana numuneleri yerleştirmek için toplamda 50 kere,
- Hareket: 19 kere 1.Laboratuvar, 20 kere Ana Laboratuvar için ayrılan alana numuneleri yerleştirmek için toplamda 39 kere,
- Hareket: 12 kere 1.Laboratuvar, 22 kere Ana Laboratuvar için ayrılan alana numuneleri yerleştirmek için toplamda 34 kere,
- Hareket: 10 kere 1.Laboratuvar, 20 kere Ana Laboratuvar için ayrılan alana numuneleri yerleştirmek için toplamda 30 kere,
- Hareket: 12 kere 1.Laboratuvar, 16 kere Ana Laboratuvar için ayrılan alana numuneleri yerleştirmek için toplamda 28 kere,
- Hareket: 2 kere Kan Bankası, 15 kere 1.Laboratuvar,3 kere Dış Laboratuvar ve 33 kere Ana Laboratuvar için ayrılan alana numuneleri yerleştirmek için toplamda 53 kere,
- Hareket: 6 kere 1.Laboratuvar, 15 kere Ana Laboratuvar için ayrılan alana numuneleri koymak için toplamda 21 kere numuneleri, numune teysisinden alma, barkod okutma ve gönderilecek laboratuvar için ayrılan alana yerleştirme hareketi yapılmıştır.

**Tablo 4.** Laboratuvara Göre Ayrılan Tüp Sayısı ile Ayırıştırma, Barkot Okutma, Yerleştirme Hareketlerinin

Hareket	Kan			1.Lab.	Dış			Adım	Ana			TOPLAM	
	Bankası	Adım x2	Top.		Lab.	Adım	Top.		Lab.	Adım x3	Top.		
1	1	2x1	2	13	3x13	39	1	3x1	3	27	3x27	81	125
2	0	2x0	0	23	3x23	69	0	3x0	0	30	3x30	90	159
3	2	2x2	4	10	3x10	30	0	3x0	0	38	3x38	114	148
4	0	2x0	0	19	3x19	57	0	3x0	0	20	3x20	60	117
5	0	2x0	0	12	3x12	36	0	3x0	0	22	3x22	66	102
6	0	2x0	0	10	3x10	30	0	3x0	0	20	3x20	60	90
7	0	2x0	0	12	3x12	36	0	3x0	0	16	3x16	48	84
8	2	2x2	4	15	3x15	45	3	3x3	9	33	3x33	99	157
9	0	2x0	0	6	3x6	18	0	3x0	0	15	3x15	45	63

Numune alma personeli Tablo 2'deki veriler ve Şekil 2'deki Spagetti Diyagramına göre Tablo 3'teki verilerle;

- 1.Hareket ile yapılan numune ayırıştırma, barkod okutma, yerleştirme hareketleri toplamda 125 kere,
- 2.Hareket ile yapılan numune ayırıştırma, barkod okutma, yerleştirme hareketleri toplamda 159 kere,
- 3.Hareket ile yapılan numune ayırıştırma, barkod okutma, yerleştirme hareketleri toplamda 148 kere,
- 4.Hareket ile yapılan numune ayırıştırma, barkod okutma, yerleştirme hareketleri toplamda 117 kere,
- 5.Hareket ile yapılan numune ayırıştırma, barkod okutma, yerleştirme hareketleri toplamda 102 kere,

- 6.Hareket ile yapılan numune ayırıştırma, barkod okutma, yerleştirme hareketleri toplamda 90 kere,
- 7.Hareket ile yapılan numune ayırıştırma, barkod okutma, yerleştirme hareketleri toplamda 84 kere,
- 8.Hareket ile yapılan numune ayırıştırma, barkod okutma, yerleştirme hareketleri toplamda 157 kere,
- 9.Hareket ile yapılan numune ayırıştırma, barkod okutma, yerleştirme hareketleri toplamda 63 kere tekrarlanmıştır.

Tablo 3'teki verilerin doğrultusunda numune alma personeli gün içinde 9 hareket ile toplamda 1045 kere numuneleri ait oldukları laboratuvara göre yerleştirme hareketi gerçekleştirmiştir. Bu hareket gün içindeki 14 hareket ile hesaplandığında hareket sayısının artacağı bilinmektedir ancak 14 hareket için veri olmadığından sayısal yorum yapılamamıştır.

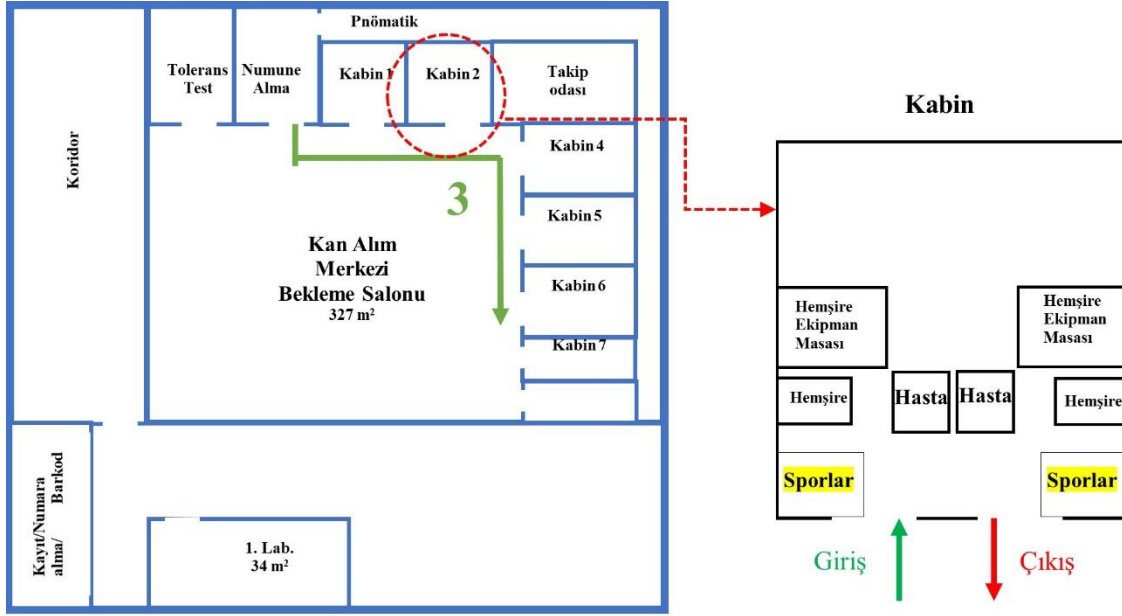
#### 4. Tartışma

Yapılan uygulama çalışması ve literatür araştırmaları, “Yalın ve Yalın Yönetim” kavramlarının sağlık sektöründe önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Sağlık sektörünün amacı, hasta/insan yaşamını iyileştirme ve iyileştirmeyi sürdürebilmektir, ancak iyileştirme sürecini olumsuz etkileyebilecek zaman, enerji, hareket, taşıma, insan gibi faktörlerden kaynaklı birçok israf ortaya çıkmaktadır. Sağlık hizmeti veren bir kurum veya kuruluş için bu israfların sonucu hasta/insan yaşamını olumsuz etkilemektedir ki bu da geri dönülmez ciddi durumlarla sonuçlanabilmektedir. Bu gibi ciddi sonuçların hasta/insan yaşamını olumsuz etkilememesi için sağlık alanındaki kuruluşların sürekli iyileştirmelerle hizmetlerini daha iyi hale getirmeli ve hizmet alanı içinde bulunan her bir adımdaki israf giderilerek verimliliğe dönüştürmelidir. Araştırmalarda da görüldüğü gibi sağlık alanında birçok yalın uygulamaları yapılmış, uygulamalar sonucunda verimlilik sağlanması ile yalın felsefesinin benimsenmesi sonucu “yalın sağlık” (Yıldız & Yalman, 2015), “yalın hastane” (Kılıçarslan, 2018) gibi yeni kavramlar ortaya çıkmıştır.

Yapılan araştırma kapsamında laboratuvar doğruluk ve güvenilirliği için en çok hatanın olduğu Preanalitik evre (Yücel, 2016), testin istenmesi, numune alma, numune taşıma, numune kabul ve işleme, numunenin analizlerinin sonuçlanması olduğu anlaşılmaktadır. Yalın bakış açısı ile bakıldığında hastayı etkileyen israfların büyük bir kısmının bu evrede olduğu düşünüldüğünde uygulama çalışması için belirlenen kan alma merkezinde de bu israflar gözlemlenmek istenmiştir.

Uygulamalar sonucu numune alma personelinin değer katmayan numune taşıma, numune ayırıştırma, numune yerine koyma, numuneleri toplamak için kabinlerin içine yürüme hareketlerinin oluşturduğu israf görülmektedir. Hem birim içindeki hem hastane içindeki numune taşıma planlamasının yeterli olmaması hastane ve kan alma merkezi içindeki hareketliliği ve iş yükünü artırmaktadır. Yalın yaklaşımı ile bulunan israfların katma değere dönüşeceği öneriler;

1. Hastane içindeki Pnömatik Tüp Sistemin doğru yerleşim planlaması ve kurulumu ile numunelerin personeller tarafından taşınması önenebilecektir. Bu öneri ile personel insan gerekliliğinin olduğu birimlere çekilebilecek, numuneler güvenli ve hızlı bir şekilde laboratuvarlara gönderilebilecektir. Önerinin olumsuz tarafı ise Pnömatik Tüp Sisteminin kurulumu ile mali yük artacak, hastane içinde trafik oluşabilecek hasta ve personelin işlem akışı aksayabilecektir. Ancak bu olumsuz duruma karşı hastane ve kan alma merkezi içindeki Pnömatik Tüp Sisteminin etkili yerleşim planlaması sayesinde kısa dönemli aksaklığı uzun dönemli çözüme ulaştıracaktır.
2. Kan alma merkezinde bulunan kabinlerde (7.kabin hariç) iki hemşire bulunmaktadır. Numune alma biriminde çalışan personel numuneleri toplarken her kabinin içine girmekte her hemşirenin sporlarda biriktirdiği numuneleri, numune tepsisinin içine ayırıştırılmadan yerleştirmekte ve daha sonra numune alma birimine geçmektedir. Personelin her bir kabinin içine girmesi gereksiz hareketten kaynaklanan israfı artırmaktadır. Bu nedenle, kabinlerin içine girmek yerine numuneleri kabinlerin dışından toplayabileceği şekilde kabinlerin planlaması ve tasarımı yapılmalıdır.

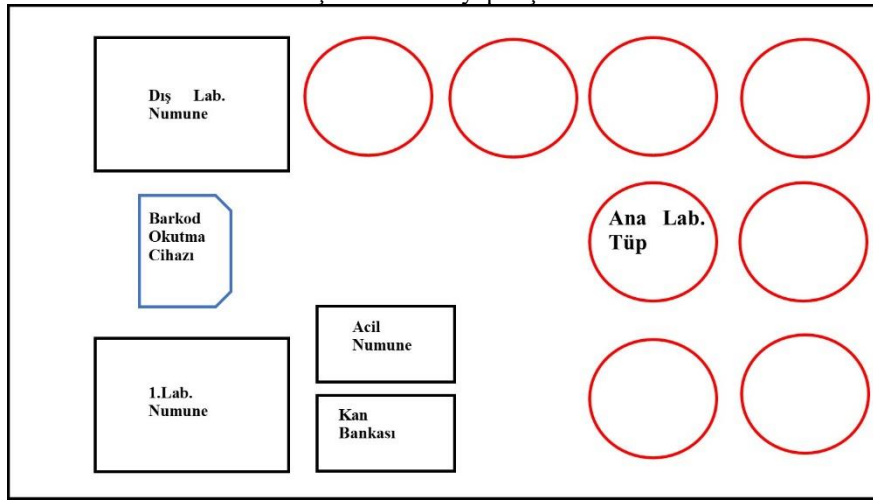


Şekil 3. Önerilen Kabin Yerleşimi

Şekil 1’de personelin kabinlerden tek tek numune toplaması ile oluşan Spagetti Diyagramına ait 3. Adım Hareketi Şekil 3’teki 3.Adım Hareketi gibi düzenlenirse;

- Kabinler için önerilen planlama ile numunelerin biriktirildiği sporların yerleşimi, numune alma personelinin adım sayısı yaklaşık tahminle 5 adım giriş/5 adım çıkış olmak üzere her bir kabin (5 kabin) için toplamda 50 adım azaltacaktır.
- Şekil 1’ gösterilen 3.Adım Hareketindeki 105 adım, öneriye göre 55 adım olacaktır.
- Personelin numune toplamak için tek seferde toplamda aldığı 328 adım, 278 adım olacaktır.

3. Personel numuneleri toplarken tek bir tepsi içine tüm numuneleri biriktirmekte ve numune alma birimine geçtiğinde tepside biriktirdiği tüm numuneleri barkodlarda okutup gerekli laboratuvarlara göre ayırmaktadır bu işlem ile hem gereksiz hareket oluşmakta hem de iş yükü daha da artmaktadır. Ayırıştırma ve barkodları okutma işlemi en başta işlem akışında başlatılarak yapılması bu gereksiz hareketi ve iş yükünü azaltacaktır. Personel numune tepsi yerine, daha kullanışlı olabilecek gezici araç sayesinde numuneleri gönderilecek laboratuvarlara ait alanlara yerleştirerek masa başında yaptığı ayırıştırma ve yerleştirme hareketlerinin oluşturduğu israf minimize edilmiş olacaktır. Personel aynı zamanda numuneleri taşıdığı gezici araç ile taşınabilir barkod okutma cihazı kullanırsa numune okutma işlemlerini de yapmış olacaktır.



Şekil 4. Önerilen Gezici Araç Ait Numune Yerleşimi Planı

Önerilen gezici numune aracı tasarımı ile personele ait işlem akışında yer alan 47. ve 66. arasındaki tüm maddeler elimine edilecektir. Şekil 2’de gösterilen adım/hareket sayıları azalacaktır.

- Kan bankası için olan 2 Adım, 1 Adım,

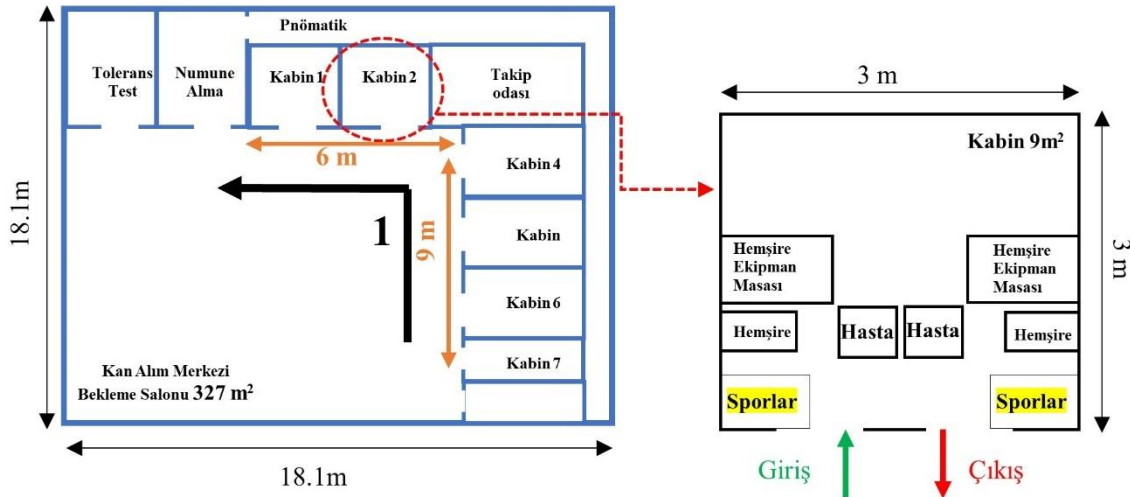
- Acil sonuçlanacak numune için olan 3 Adım, 2 Adım,
- 1. Laboratuvar için olan 3 Adım, 2 Adım,
- Ana Laboratuvar için olan 3 Adım, 2 Adım,
- Dış Laboratuvar için olan 3 Adım, 2 Adım olarak azalacaktır.

**Tablo 5.** Önerilen Gezici Araç ile Laboratuvara Göre Ayrılan Tüp Sayısı ile Ayrıştırma, Barkot Okutma, Yerleştirme Hareketlerinin Adım Sayısı

Hareket	Kan			Dış			Ana			TOPLAM			
	Bankası	Adım x1	Top.	1.Lab.	Adım x2	Top.	Lab.	Adım x2	Top.		Lab.	Adım x2	Top.
1	1	1x1	1	13	2x13	26	1	2x1	2	27	2x27	54	83
2	0	1x0	0	23	2x23	46	0	2x0	0	30	2x30	60	106
3	2	1x2	2	10	2x10	20	0	2x0	0	38	2x38	76	98
4	0	1x0	0	19	2x19	38	0	2x0	0	20	2x20	40	78
5	0	1x0	0	12	2x12	24	0	2x0	0	22	2x22	44	68
6	0	1x0	0	10	2x10	20	0	2x0	0	20	2x20	40	60
7	0	1x0	0	12	2x12	24	0	2x0	0	16	2x16	32	56
8	2	1x2	2	15	2x15	30	3	2x3	6	33	2x33	66	104
9	0	1x0	0	6	2x6	12	0	2x0	0	15	2x15	30	42

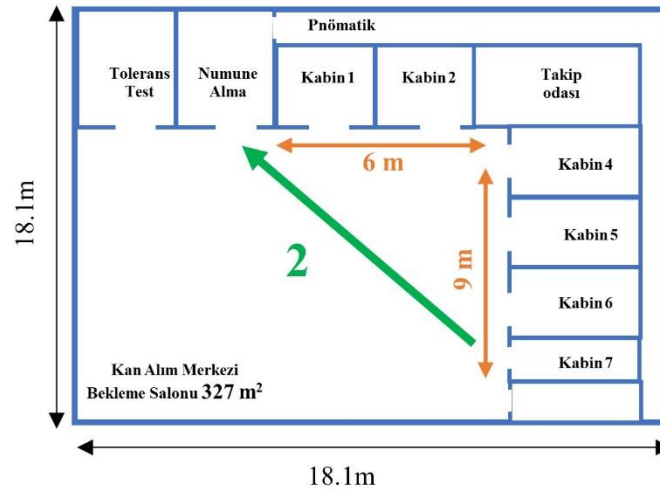
Önerilen gezici araç sonrası hesaplanan ayrıştırma, yerleştirme hareketlerinin bulunduğu Tablo 4 verileri ile Tablo 3'teki 1045 hareket 695 olacaktır.

4. Numunelerin toplanma sonrası numune alma birimine geri dönüşte personel belli bir standarta bağlı olmayan iki yol kullanmaktadır (Şekil 1'deki 2.Adım). Personel birimine dönüşte iki farklı yol (Şekil 5 ve Şekil 6) ve buna bağlı olarak farklı adımlar kullanmaktadır. Bu nedenle Yalın Lojistik için kullanılan Milk-Run sisteminden yararlanılarak personelin en az adım ile geri dönüş rotası Şekil 6'da gösterildiği gibi olmalıdır ve bu rotanın standartlaşması ile personelin adım sayısı azalarak hareket israfı önlenecektir.



**Şekil 5.** Personel 1. Dönüş Rotası ve Milk-Run

Şekil 5'e göre personel kendi birimine dönerken 15 m'lik yol almaktadır ve bir kişinin bir adımı 70-80 cm olduğu bilinerek (Murray, Drought, & Kory, 1964) personelin 70 cm adım attığı varsayılırsa 2 metrede 3 adım ile toplamda yaklaşık 22-23 adım atmaktadır. personelin kendi birimine girişi ile sandalyesine varana kadar yaklaşık 6 adım attığı düşünülürse toplamda 29 adım atacaktır.



Şekil 6. Personel 2. Dönüş Rotası ve Milk-Run

Şekil 6'ya göre personel kendi birimine dönerken 11 m 'lik yol almaktadır toplamda 16-17 adım atmış olacağı görülmüş, personelin kendi birimine girişi ile sandalyesine varana kadar yaklaşık 6 adım attığı düşünülürse Şekil 1'deki 2.Adım Hareketi 85 adım yerine 23 adım ile birimine varacaktır. Personel gün içinde 328 adım yerine 216 adım atmış olacaktır.

## 5. Sonuç

Kan alma merkezi içindeki "Yalın, Yalın Yönetim ve Yalın Lojistik" kavramları yapılan uygulama çalışma önerilerinin gerçekleşmesi sonucu, personelin gün içindeki toplam adım sayısı 2952'den 1944'e azalarak 1008 adımdan kaynaklı hareket israfı ile personelin bir günde yaptığı numuneleri ayrıştırma, barkod okutma, yerleştirme işlemlerinden ortaya çıkan hareket 1045'ten 695'e azalarak 350 adımlık hareket israfı gözlemlenmiştir.

Zamandan elde edilen verimliliğin ölçümü için literatürde "step length" olarak geçen, bir topuğun yere temasından sonra diğer topuğun yere teması arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır ve bu mesafede geçen süre yaklaşık 0,8 sn. olarak belirlenmiştir (Alsancak, 2015), yapılan çalışmada da adım süresi 0,8sn. olarak hesaplanacaktır, personelin tek harekette toplam aldığı yol 5dk sürerken öneri sonucu azalan adım sayısı ile süre 3dk 'ya düşecektir.

Uygulama kapsamında gün içinde toplanan verilerdeki 2952 adımın yaklaşık 40dk sürdüğü ve öneri sonucundaki 1944 adım ile 26 dk. 'ya düşeceği, personelin gün içinde numune ayrıştırma için yaptığı hareketlerin adım olarak hesaplandığında ise yaklaşık 15dk sürdüğü ve öneri sonrasında yaklaşık 10dk 'ya düşeceği hesaplanmıştır. Personelin gün içinde numuneleri toplama ve ayrıştırma hareketinin toplamda 1 saat süre harcadığı ve öneriler toplam sürenin 36dk 'ya düşeceği sonucuna varılmıştır.

Haftalık olarak 5 gün çalışan personel haftada 5 saatini gereksiz hareketler ile harcarken, yıllık 260 saatini yani 11 gününü bu israflara harcadığı görülmüş.

Çalışanın maaşının 4000 TL olduğu düşünülür, günde 8 saat ayda 30 gün çalıştığı bilinirse, çalışanın günlük maaş ücreti  $17 \times 8 = 136$  TL olmaktadır ve 11 günlük maaşı yaklaşık 1500TL olmaktadır. Bir sağlık kurumunda yıllık 1500 TL'nin tamamen boşa harcanyor olması hastalar ve iyileşme süreçleri için, gerekli ekipmanların sağlanamaması, malzeme eksikliğinden kaynaklı hastanın iyileşmesini etkileyen olumsuzluklar gibi sorunlara neden olabilecektir. Bu maddi sonucun sadece bir personel için hesaplandığı düşünülürse, büyük ölçekli sağlık kurumlarında bu personellerin sayısı daha fazladır ve buna dayanarak maddi zarar ve bu zararın sebep olacağı birçok sorun ortaya çıkabileceği görülmektedir.

## Referanslar

Alsancak, S. (2015). Yürüyüş Terminolojisi. *Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 14(2), 1-6.

Bektaş, G., Kiper, F., & Aytaç, B. (2018). Sağlık İşletmelerinde Yalın Uygulamalar. *11(44)*, 205-219. Burdur.

Bialek, R., Duffy, G., & Moran, J. (tarih yok). *KalDer Ankara Şubesi*. Mayıs 20, 2021 tarihinde <https://www.kalderankara.org/bilgi-merkezi/yonetim-ve-kalite-araclari/spagetti-diyagrami-11> adresinden alındı

- Çilhoroz, Y., & Arslan, İ. (2018). Yalın Yönetim Yaklaşımı ve Sağlık Hizmetlerinde Uygulamaları. *Süleyman Demirel Üniversite Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(32), 156-185.
- Demir, Ö. (2010). *Bir Otomotiv Firmasının İhracat Dağıtım Merkezinde Milk Run Sisteminin Kurulması*. Kocaeli: Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği.
- Güleryüz, D. (2012). *Yalın Yönetim Sistemlerinin Hastanelere Uyarlanabilirliği ve Bir Hastane Uygulaması*. Sakarya: Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği.
- Karacan, D., Tuncel, P., Gürsoy Doruk, Ö., & Doğan, Y. (2020). Pnömatik Tüp Taşıma Sisteminin Hemoliz Üzerine Etkisi: Klinik Olarak Anlamlı mı? *Türk Klinik Biyokimya Dergisi*, 18(2), 85-91.
- Kılıçarslan, M. (2018). *Sağlıkta İsrar (Yalın Hastane)*. İksad Yayınevi.
- Murray, M., Drought, A., & Kory, R. (1964). Walking Patterns of Normal Men. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 46(2), 335-360.
- Önder, N., Arslan, E., Kayalı, S., Keskin, Z., & Yiğit, Ö. (2015).
- Sağlık Kuruluşlarında Yalın Yönetim Anlayışının Değerlendirilmesinde Bir Eğitim Araştırma Hastanesi Örneği. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, 2(1), 34-39.
- Özen, İ. (2015). Yalın Düşünce Uygulaması: Hastanelerde Değer Katmayan Faaliyetlerin Ortadan Kaldırılması. *Marmara Üniversitesi Öneri Dergisi*, 11(44), 205-219.
- Özgür, B., & Kara, R. (2020). Hastane Pnömatik Sistemlerinin Bulanık Mantıkla Modellenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(5), 25-34.
- Polat, S. (2010). *ISO 15189 Standardizasyonunun Biyokimya Laboratuvarına Uygulanması*. İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Biyomedikal Mühendisliği Programı.
- Selim, H., Selim, S., & Dabanlı, T. (2018). Bir Tekstil İşletmesinde Milk-Run Uygulaması. *19. Uluslararası EYİ Sempozyumu Tam Metin Bildiri Kitabı* (s. 530-546). içinde Antalya: Marmara Üniversitesi.
- Türk Dil Kurumu. (2020). *Türk Dil Kurumu Sözlükleri*. Mayıs 18, 2020 tarihinde <https://sozluk.gov.tr/> adresinden alındı
- Uğurluoğlu, Ö., & Çelik, Y. (2005). Sağlık Sistemleri Performans Ölçümü, Önemi ve Dünya Sağlık Örgütü Yaklaşımı. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 8(1).
- Yalçın, M., Elyas, C., Yıldız, S., Alpşen, C., & Yalçın, G. (2018). Yalın Metodolojinin Hastane Laboratuvar Süreçlerinin İyileştirilmesinde Kullanılması (Toyota Üretim Sistemi-Spagetti Diyagramı). *Konuralp Tıp Dergisi*, 10(1), 99-104.
- Yavuz Taşlıpınar, M., Özkan, E., & Yeşilkay, Ş. (tarih yok). *Laboratuvar Tetkikleri için Uygun Numune Alımı*. Mayıs 20, 2021 tarihinde <http://www.jcam.com.tr/files/KATD-1600.pdf> adresinden alındı
- Yıldız, S., & Yalman, F. (2015). Sağlık İşletmelerinde Yalın Uygulamalar Üzerine Genel Bir Literatür Taraması. *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, 1(1).
- Yücel, D. (2016). *Hemoglobin Bozuklukları İçin Tarama Testlerinde Sık Karşılaşılan Preanalitik Hatalar*. (Türk Biyokimya Derneği) Mayıs 20, 2021 tarihinde <http://www.turkbiyokimyadernegi.org.tr/upload/48/Dosyalar/tmp/20194111542.pdf> adresinden alındı



# Tasarım Öğrencilerinin COVID-19 Kapanmasındaki Yoğun Uzaktan Eğitim Döneminde Ortaya Çıkan Ergonomik Sorunlarının İncelenmesi

## A Study on Ergonomic Problems of Design Students During Intense Distant Education Period in COVID-19 Lockdown

Mehmet Ali Altın<sup>1</sup> , Onur Ülker<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, 26555, Eskişehir, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık Bölümü, 26555, Eskişehir, TÜRKİYE

**Başvuru/Received:** 01/10/2021

**Kabul / Accepted:** 30/12/2021

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 31/12/2021

**Son Versiyon/Final Version:** 31/12/2021

### Öz

Mimarlık, İç Mimarlık, Endüstriyel Tasarım ve Grafik Tasarım gibi alanlarda eğitim gören tasarım öğrencilerinin günlük ihtiyaçları diğer branşlarda eğitim alan öğrencilere göre farklılık göstermektedir. Tasarım alanında, manuel ve dijital tasarım pratikleri birlikte yürütülür. Öğrenciler elle çizim yaparken bir taraftan da bilgisayar ortamında görselleştirme ya da sunum hazırlamaktadırlar. Bu süreçler yapılan işe uygun vücut pozisyonlarını kullanmayı ve çalışma ortamının uygun şekilde oluşturulmasını da gerektirir. Pek çok öğrenci buldukları çalışma ortamlarında bu düzenlemeleri sağlarlar. 2020 yılının Nisan ayında Covid-19 salgını nedeniyle geçilen uzaktan eğitim düzeni yüz yüze eğitimdeki pratiklerin pek çoğunun değişmesini gerektirmiştir. Pek çok kurum için hazırlıksız yakalanan bu durum uzaktan eğitimi yürüten öğretim elemanları kadar öğrencileri de etkilemiştir. Bu çalışmada, COVID-19 salgını esnasında tasarım öğrencilerinin, uzaktan eğitime geçişle birlikte yaşadığı ergonomik değişimler incelenmiştir. Araştırmaya ESTÜ İç mimarlık bölümünde lisans eğitimi alan 147 öğrenci katılım sağlamış ve farklı sınıflarda, farklı cinsiyet, yaş, boy, kilo özelliklerindeki tasarım öğrencilerinin uzaktan eğitim aldıkları yerdeki şartlarının, yeni oluşan sağlık sorunlarıyla ilişkisi ele alınmıştır. Ayrıca uzaktan eğitim sürecinde kullanılan mekan ve mobilyanın, dijital aletlerin sağlık problemlerinin oluşmasındaki rolü incelenmiştir. Tasarım eğitimi açısından örgün eğitim ve uzaktan eğitimin avantajları ve sağlık yönünden ergonometriye bağlı dezavantajları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

### Anahtar Kelimeler

*COVID 19, Uzaktan Eğitim, Tasarım Öğrencileri, Ergonomi*

### Abstract

The daily needs of design students studying in fields such as Architecture, Interior Architecture, Industrial Design and Graphic Design differ from students studying in other branches. In the field of design, manual and digital design practices are carried out together. While students are drawing by hand, they also prepare visualizations or presentations in the computer environment. These processes also require using body positions suitable for the job and creating a suitable working environment. Many students provide these arrangements in their work environments. The distance education system, which was passed due to the Covid-19 epidemic in April 2020, required many of the practices in face-to-face education to change. In this study, ergonomic changes experienced by design students with the transition to distance education during the COVID-19 epidemic were examined. 147 students who received undergraduate education at ESTU Interior Architecture department participated in the research and the relationship between the conditions of the design students in different classes, different gender, age, height, and weight in the place where they receive distance education and newly emerging health problems was discussed. In addition, the role of space, furniture and digital tools used in the distance education process in the formation of health problems has been examined. In terms of design education, the advantages of formal education and distance education and the disadvantages related to ergonomics in terms of health have been tried to be revealed.

### Key Words

*“COVID 19, Distance education, Design Students, Ergonomics”*

## 1. Giriş

2019 yılının son aylarında Çin'de ortaya çıkan COVID-19 virüsü, kısa sürede tüm dünyayı etkisi altına alan bir salgın haline dönüşmüştür. Günümüzde yürütülen aşılama faaliyetleriyle birlikte kısmen kontrol altına alınmış olsa da virüs üzerinde gelişen farklı mutasyonlar ve aşılama istenilen seviyeye ulaşamamış olması nedeniyle salgın etkisini devam ettirmektedir. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre 2021 Kasım ayı itibarıyla dünyada COVID-19 salgını sebebiyle hayatını kaybedenlerin sayısı beş milyon üzerindedir. Yine benzer şekilde salgından etkilenenlerin sayısı da iki yüz kırk sekiz milyon kişiye ulaşmıştır (Who Corona Virus Dash Board, 2021). Virüsün ortaya çıktığı ve öldürücülüğü ve bulaşıcılığı dışında hakkında henüz pek bir bilginin bulunmadığı ilk günlerde ilk önlemler olarak bulaşmayı kolaylaştıran insan temasını azaltmak üzere bireylerin toplu olarak bir araya geldiği ortamlara sınırlamalar getirme yolu benimsenmiş ve devletler bu bağlamda adımlar atmışlardır. Aynı zamanda virüsün dolaşımını engellemek adına seyahat sınırlamaları da getirilmiştir (Türk Tabipleri Birliği Covid-19 Danışma ve İzleme Kurulu, 2020, s. 75). Bu bağlamda ilk ve orta dereceli okullar ile yüksek öğrenim kurumları için uzaktan eğitim sistemi benimsenmiş ve yüz yüze eğitim verilen eğitim kurumları binalarına erişim engellenmiştir (YÖK Basın ve Halkla İlişkiler Müşavirliği, 2020). Uzaktan eğitim altyapısı bulunan eğitim kurumları bu altyapıları işler hale getirerek devam etmiş ve bu konudaki inisiyatif YÖK tarafından yetki devriyle üniversite yönetimine aktarılmıştır. Tüm eğitim sisteminde tek seferde aynı anda bu derece büyük bir değişim ilk defa yaşanmıştır. Bu durum hem eğitimciler hem de öğrenciler için çok farklı sonuçlar doğurmuştur. Eğitimciler yüz yüze eğitime göre planlanmış ders müfredatlarını, uzaktan eğitime göre planlarken öğrenciler uzaktan eğitimde araç olarak kullanılan dijital iletişim teknolojilerine erişme konusunda sıkıntılar da yaşamışlardır. Yüksek öğretimde yaygın olan aile ortamlarından uzakta, farklı şehirlerdeki kurumlarda eğitim alma halindeki öğrenciler için ise durum daha karmaşık bir boyuta ulaşmıştır. Bir dönemi arkada bırakılmış öğretim yılının ikinci döneminde artık eğitim aldıkları şehirlerdeki konaklamaya dair düzenlerini oluşturmuş pek çok öğrenci için eve dönüş yolculukları başlamıştır. Devlet yurtları ve özel yurtların da kapatılmasıyla bu yolculuk pek çokları için kaçınılmaz hale gelmiştir. Eğitim kurumlarının kapanmasını takip eden üç haftalık süre boyunca kurumlar uzaktan eğitim alt yapılarını oluşturmuş ve öğrenciler farklı platformlar üzerinden uzaktan eğitime dahil olmuşlardır. Yüz yüze eğitimde ihtiyaç duyulan eğitim araçları dijital ortamlar ve iletişim teknolojileri ile sınırlandırılmıştır.

Yüksek öğretimin farklı programlarında, farklı öğretim yöntemleri ve bu yöntemlere bağlı farklı araçlar ve ortamlar olsa da yüz yüze eğitimdeki bu paradigma değişiminde en büyük güçlüğün uygulamalı eğitim ağırlıklı programlarda yaşandığı görülmektedir. COVID-19 öncesinde de uygulamalı derslerin uzaktan eğitimle işlenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Mary V. Mawn, 2011) (Brinson, 2015). Ancak bu çalışmaların pek çoğu kısa süreli, kontrol gruplu deneyler şeklinde yürütülmüş ve eğitimi gündelik hayatın küçük bir kesiti olarak ele almıştır. Bunun yanında teorik ve didaktik dersler için hibrit ya da tümüyle uzaktan eğitim uygulamaları internetin de yardımıyla hayatın bir parçası olarak değerlendirilmeye tabi tutulmuştur. İlk defa 2020 yılında COVID-19 kapanmalarıyla eğitimin yüz yüze yürütülebilmesi için bir alternatif kalmadığında teorik derslerin dışında uygulamalı derslerin de uzaktan eğitimde hayat akışının bir parçası haline gelmesi mümkün olmuş ve bu durum uygulamalı dersler açısından mükemmel bir araştırma zemini oluşturmuştur. COVID-19 döneminde uygulamalı olarak el alınan derslerin işlenmesindeki yeni keşifler ve yöntemler, başarı ve başarısızlık öyküleri gibi pek çok kıstasta değerlendirilmiş çalışma bu dönemde oluşturulmuş ve birçoğu sağlık bilimleri alanındaki bu çalışmalarda ise eğitimin performansının sorgulandığı görülmüştür (McGann, ve diğerleri, 2021). Sağlık bilimleri dışındaki pek çok alan da gerek laboratuvar gerek atölye ortamında pek çok uygulamalı dersi içermektedir.

Fikirlerin çizimlerle anlatıldığı tasarım alanlarında ise uygulamalı dersler eğitimde önemli bir yer tutar. Bu alanlara mimarlık, endüstriyel tasarım, grafik tasarım ve mühendislikler örnek verilebilir. Fikirlerin görselleştirilmesi için özelleşmiş derslerde iki ve üç boyutlu çizim yeteneği öğrencilere kazandırılmaya çalışılır. Özellikle güzel sanatlar temelli alanlarda çizimle başlayan tasarlama süreci eğitim boyunca zamanla bilgisayarda çizime doğru evrilir. Öğrencilerin masa başında çizim yaptıkları sırada ergonomik olmayan postürlerde uzun saatlerini geçirmeleri çok rastlanılan bir durumdur. Öğrencilerin sınıf içindeki çalışma biçimleri eğitim kurumlarının sağlayabildiği imkanlar doğrultusunda kontrol altındadır. Bu anlamda optimum çalışma donatısı değerlerini saptamak adına çalışmalar yapılmıştır (Arslan ve Çınar, 2015) (Yıldırım ve Kasal, 2005) (Kahya, Ünlüer, Güzeldal ve Demirci, 2018). Ancak öğrencilerin eğitim kurumları dışındaki çalışma alanlarında geçirdikleri vakit de göz önüne alındığında bu anlamda yapılan çalışmaların sayısı oldukça azdır. COVID-19 salgını bu anlamda bir farkındalık oluşturmuştur ve bu kapsamda yapılan çalışmaların sayısında belirgin bir artış meydana gelmiştir. Çalışmaların büyük çoğunluğu eğitim faaliyetlerini uzaktan yürütenlerin ve aynı zamanda salgın kaynaklı kapanma dolayısıyla evden çalışmaya geçen kişilerin yaşadıkları sorunları ve iş ve eğitim performanslarındaki değişimleri araştırmaktadır.

Uzaktan eğitim için örnek vermek gerekirse, Soltaninejad vd. 2020 yılında yapmış oldukları çalışmada, COVID-19 salgın döneminde, uzaktan eğitimin öğrencilere olan etkisini ergonomik faktörlere bağlı kalarak incelemiştir. Çocuklar için eğitim alanlarında ergonominin varlığı öğrenme kalitesini artırır, stres ve kaygıyı azaltır ve sağlık protokollerinin gözlemlenmesiyle öğrenciler için sağlıklı ve güvenli ortamlar sağlanabilir sonucuna ulaşmışlardır. Araştırma yapılan faktörler, aydınlatma, gürültü, oda sıcaklığı, hava kalitesi ve iç mekân fiziksel şartlarıdır. Araştırmada "Okullar, çocukların yeteneklerini, fiziksel aktivitelerini ve sosyal yönlerini geliştirmek için en uygun ortamdır, uzaktan eğitimde bu önemli faktörler sağlanamadığı için, motivasyon ve ilgide azalma olmaktadır." sonucuna varılmıştır (Soltaninejad, Babaei-Pouya, ve Poursadeqiyani, 2021).



Choudhary vd. 'nin 2020' de yapmış oldukları çalışmada, COVID-19 salgın döneminde öğrencilerin ve gençlerin iç mekanlara bağlı kalmalarının ve sürekli elektronik cihazları kullanmalarının sonucunda sağlık sorunlarının arttığı ve ergonomi kavramının öne çıktığı vurgulanmıştır. Araştırmacılar, 10-18 yaş grubunda 186 katılımcılı anket düzenlemiş, çalışma ortamlarının düzeni, ders dinlerken oturma süreleri, ekran kullanım süreleri, göz ve ekran ilişkisi, bel ve oturma ilişkisi, klavye ve bilgisayar kullanım ilişkisine ait kavramları incelemişlerdir. İki ay gibi kısa bir sürede, online eğitime katılan öğrencilerin pek çoğunda önemli sorunların geliştiği ve gelecekte kalıcı hasarlara sebebiyet verebileceği ifade edilmiştir. Ayrıca araştırmacılar, ergonomi kavramının ilkokul ve ortaokullarda ders müfredatına eklenmesi gerektiğini belirtmişlerdir (Choudhary, Choudary, Jemal, Kumar, & Jamal, 2020).

Okuyan ve Bergen yapmış oldukları derlemede, COVID-19 salgın sürecinde uzaktan eğitimin ve uzaktan çalışmanın etkilerinin ve dezavantajlarının, çalışma koşullarını nasıl iyileştirilebileceğine ve sağlık sorunlarının nasıl azaltılacağına dair öneriler getirmişlerdir (Okuyan & Beğen, 2021). Vellespin ve Prasetyo 2020 yılında, evlerinde uzaktan eğitim gören yirmi dört (24) öğrenciye çevrimiçi yöntem ile anket yapmışlar ve RULA ve REBA kullanarak duruş analizi oluşturmuşlardır. Çalışmaya katılan, öğrencilerin en yüksek puanı RULA'da 7 ve REBA'da 5'tir. Bu seviyedeki risk puanları, vücut duruşu için orta risk grubuna girmektedir. Anket sonuçları incelendiğinde, bel (%15.37), boyun gibi vücudun yüksek kısımları (%13.29), üst sırt (%10.84) ve sağ bilek (%9.25) tespit edilmiştir. Genel olarak, öğrencilerin ev ortamlarının ergonomik tasarlanmadığı görülmüştür. Mevcut şekilde devam etmesi durumunda, vücut duruşlarının riskli olduğu ve ileride kas iskelet sisteminde rahatsızlıkların oluşacağı düşünülmektedir (Vallespin ve Prasetyo, 2020).

Ayyıldız ve Gümüş 2021 yılında yapmış oldukları çalışmada, Ergonomi dersi alan 100 öğrenciye ABD Çalışma Bakanlığı (OSHA) İş Güvenliği ve Sağlığı dairesinin risk analizi anketini kullanarak, AHP ve TOPSIS metotları ile risk analizi yapmışlardır. Yapılan anket beş farklı alanı kapsamaktadır, bunlar bilgisayar başında çalışma, oturma süreci, bilgisayarların türü ve klavyeler, uzaktan eğitimde kullanılan mekânın fiziksel özellikleri ve psikolojik durum ve memnuniyettir. Bu başlıklardan psikolojik durum ve memnuniyet başlığı ilk sırayı almıştır (Ayyıldız ve Gümüş, 2021).

Aytar vd. 'nin 2020 yılında yaptıkları çalışmada uzaktan eğitim alan öğrencilere verilen duruş ve ergonomi eğitiminin kas-iskelet sistemi bozuklukları, egzersiz davranışı karar verme dengesi ve fiziksel aktivite düzeylerindeki etkilerini araştırmışlardır. İki grup üzerinde yapılan deneyde ergonomi eğitimi verilen grup ile verilmeyen grup arasında kıyaslama yapılmıştır. Kıyaslama için NMQ-E ve IPAQ-SF anketleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ergonomi eğitimi alan grup ile almayan grubun ağrı düzeyleri arasında bir fark bulunamamıştır (Aytar, Altıntaş ve Aytar, 2020).

İde ve Gündüz 2021 yılında yaptıkları çalışmada Korona virüs kapanma döneminde üniversite öğrencilerinin yorgunluk düzeyi ve kas iskelet sistemi rahatsızlıkları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışmada Cornell Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıkları Anketinin (CMDQ) Türkçeleştirilmiş versiyonu olan T-CMDQ anketini kullanmış ve 154 üniversite öğrencisine bu anketi uygulamışlardır. Vücut bölgelerindeki rahatsızlıkların en çok bel, sırt, boyun ve omuz bölgelerinde olduğunu bulmuşlardır. Kadınların erkeklere göre daha çok zorlanma yaşadığı ortaya çıkmış ve uyku düzeni bozukluklarına dikkat çekilmiştir (İde ve Gündüz, 2021).

COVID-19 salgını tedbirleri kapsamında öğrenciler uzaktan eğitime geçmiştir, aynı zamanda riskin azaltılması için uzaktan çalışma potansiyeli bulunan işler için evden çalışma yolu benimsenmiştir. Bu durum, günümüzde bilgiye ulaşmanın en pratik yolu olan cep telefonu gibi elde taşınabilir cihazların kullanım sıklığını ve süresini artırmıştır. Bu bağlamda oluşan ergonomik sorunlara odaklanan çalışmalara literatürde rastlamak mümkündür. Rana ve Mana, 2021 yılında yaptıkları çalışmada bu soruna odaklanmış ve Hindistan'ın farklı şehirlerinden 651 elde taşınabilen cihaz kullanıcılarına COVID-19 döneminde yaşadıkları kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını araştıran bir anket uygulamışlardır. Kullanıcılarda kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının vücudun üst bölgesini en çok etkilediği. Cinsiyete bağlı olarak rahatsızlıkların değişkenlik gösterdiği bulgularına ulaşmışlardır (Jain vd., 2021).

Uzaktan eğitim ve uzaktan çalışmanın belli koşullarının aynı olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle çalışılan ya da eğitim görülen cihaz başında geçirilen sürenin artışı, kapanma dolayısıyla oluşan hareketsiz yaşam ve ruh halindeki değişimler her iki pozisyon için de benzer durumdadır. Bu sebeple uzaktan çalışma ve ergonomik sorunlar üzerine yapılan literatür taramasına da bu çalışmada yer verilmesi uygun bulunmuştur.

COVID-19 salgını sadece sağlık çalışanları için değil, aynı zamanda evden çalışanlar için de büyük sorunlar getirmiştir. Salgın sürecinde tüm dünyada uzaktan çalışma yaygınlaşmıştır. Bu sebeple de uzaktan çalışmanın, kişiler üzerindeki sağlığa dair etkileri pek çok araştırmaya konu olmuştur. Ergonomik ortamlarda çalışma rutinine sahip çalışanlar için uzaktan çalışma sistemi hem işverenlere hem de çalışanlara bazı avantajlar sunar. Fakat, bazı potansiyel dezavantajları da bulunmaktadır, doğru beslenemeyen ve sosyal ihtiyaçlarını yeterince karşılayamayan çalışanlar üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu söylenebilir. Uzaktan çalışanlar için başlıca tehlikeler şunlardır: ergonomik iş ekipmanı ve özel bir çalışma alanının bulunmaması, aşırı çalışma riskinin olması ve negatif psikososyal etkilerinin bulunması (Buomprisco vd., 2021).

ABD’de yapılan bir çalışmada, bilgisayar mühendislerinin ve yazılımcıların COVID-19 salgınındaki evden çalışmaya bağlı memnuniyeti ölçülmüştür. Normalde bilgisayar mühendisleri ofis ortamında tamamlayamadıkları yazılımları evden çalışıp tamamlamaya alışıklardır. COVID-19 salgınından sonra da kalıcı olarak evden çalışma sistemi uygulanması mümkün gözükmektedir. Evden çalışma yönteminin verimliliğini anlamak amacıyla yazarlar (Ford et al., 2020) yazılım mühendislerine iki farklı anket hazırlamışlardır (toplam 3.634 yanıt alınmıştır). Anket sorularının temel noktaları uzaktan çalışmanın faydaları, zorlukları ve fırsatlarıdır. Anketler hem nitel hem de nicel analiz yapılacak şekilde tasarlanmıştır. Bazıları uzaktan çalışma yöntemini aile üyeleri ile birlikte olmanın faydalı olduğu şeklinde değerlendirilirken, bazı çalışanlar için ise çalışma alanlarını aile üyeleri ile paylaşmayı rahatsızlık verici olarak değerlendirmiştir. Anket sonuçlarına göre, üretkenliğin önemli ölçüde artması %11, aynı seviyede kalması %32 ve önemli derecede düşmesi %6 olarak ifade edilmiştir. Evden çalışmanın ilk beş faydası, işe gidiş ve gelişlerdeki zaman kaybının olmaması, maliyetlerin azalması, esnek çalışma saatlerinin olması, aile bireylerine yakın olunması ve normalden daha rahat giysilerin kullanılması olarak ifade edilmiş, uzaktan çalışma sisteminin dezavantajları ise sosyal bağların zayıflaması, sadece iş yaşamı konseptinde sabit bir hayat yaşanması, günlük ergonomi değerlerinde düşüş yaşanması, iş arkadaşları ile zor iletişim kurulması ve fiziksel aktivitelerin azalması ve obezitenin artması olarak değerlendirilmiştir (Ford et al., 2020).

Endenozya’da yapılan bir araştırmada COVID-19 salgını esnasında uzaktan çalışma modeline göre evden çalışan memurların, kas iskelet sisteminde oluşan rahatsızlıklar ve çalışma ortamlarının ergonomik olup olmaması anket yöntemi ile araştırılmıştır. Anket çalışmasına 50 kişi katılmış, anket Google aracılığı ile yapılmıştır. Anket sonuçlarına göre çalışanların %72’si çalışma ortamlarının ergonomisinin iyi olduğunu, %28’i kas ve iskelet sisteminde bazı ağrıları olduğunu, ağrıların ise stres kaynaklı olduğunu ifade etmişlerdir. Evden çalışma yöntemine göre bilgisayar destekli çalışanların %100’ünde boyun ağrısı, %70’inde sırt ağrısı olduğu, %68’in evde fizik hareketleri yaptığı, %22’nin ise sadece yattığı, %42’nin evde çok sıkıldığı, %24’ün ise evde sinir katsayısının yükseldiği ifade edilmiştir (Widianawati et al., 2020).

Tokyo’da yapılan bir araştırmada, iş yerinde hareketsiz şekilde çalışan işçilerin ve COVID-19 salgını nedeni ile evde hareketsiz kalan çalışanların davranışları anket yöntemi ile araştırılmıştır. Anket internet tabanlı olarak planlanmış ve ankete 1239 kişi katılım sağlamıştır, ankete katılanların yaş ortalaması 44,7’dir ve anket katılımcılarının %59,3’ü erkektir. Katılımcıların 494 adedi evden çalıştığını ifade etmiştir, evden çalışanların fiziksel aktiviteleri, işyerinde çalışan fakat hareketi kısıtlı olan işçilere kıyasla daha azdır. Sonuç olarak evden çalışmanın fiziksel aktivitede bulunmayı azalttığı ve çalışanların daha fazla baskı altında olduğu gözlemlenmiştir (Fukushima et al., 2021)

Kanada’da yapılan bir çalışmada, COVID-19 esnasında evden çalışanların sedanter (hareketsiz) yaşama formunda olup olmadıkları incelenmiştir. Sedanter yaşam şeklinde metabolizma 1.5 kat yavaşlamaktadır. Sedanter yaşam TIP 2 diyabet, kalp ve damar hastalıkları ve kas iskelet sisteminde deformasyona sebebiyet vermektedir. ABD’de çalışanların %20’si pandemiden önce de evden çalıştığını ifade etmiş, pandemi döneminde ise çalışanların %71’i evden çalıştığını belirtmiştir. Çalışmaya 148 kişi katılmıştır, katılımcıların yaş ortalaması 44,9’dur. Haftalık çalışma saatleri 9:30-17:30 (8 saat) üzerinden değerlendirilmiştir. Sonuç olarak 95 kişinin günlük 400-500 dakika arası hiç kalmadan çalıştığı tespit edilmiştir. Gün içinde hareketli geçen sürenin ise 50 dakikayı geçmediği ifade edilmiştir. Sonuç olarak COVID-19 pandemisi sürecinde çalışanların hareketlerinin azaldığı bu durum bazı sağlık sorunlarına sebebiyet vereceği düşünülmektedir. (Dillon et al., 2021)

Literatürde farklı yaklaşımdaki çalışmalarda da görüldüğü üzere COVID-19 dönemi kapanması ve buna bağlı gelişen uzaktan eğitim ve uzaktan çalışma durumları öğrenciler ve çalışanlar açısından pek çok ergonomik değişimi beraberinde getirmiştir. Bu çalışmada, konu, uzaktan eğitim uygulamaları açısından dezavantajlı durumda olduğu düşünülen, uygulamalı eğitimin ağırlıkta olduğu tasarım eğitimi açısından ele alınmaktadır. Bu anlamda, çalışma, tasarım alanının bir parçası olan iç mimarlık bölümü öğrencileri üzerinden örneklenmiştir. İç mimarlık eğitimi dört yıl süren ve 8 dönemden oluşan bir süreçtir. Eğitimin ilk yılında elle çizime dayalı dersler ağırlıklı olarak devam etmekte sonraki yıllarda ağırlık giderek bilgisayar destekli yöntemlere dönüşmektedir. İç mimarlık eğitimi içinde iletişim aracı olarak yoğun olarak iki boyutlu çizimlerden faydalanılır, bunun yanında 3 boyutlu bilgisayar çizimleri ve ölçekli fiziksel maketler de eğitimin parçasıdır. Tasarım bölümlerinin pek çoğunda olduğu gibi öğrenciler ödevlerin çokluğundan yakınlar. Özellikle haftalık olarak işlenen proje derslerinin düzenli çizim ödevleri uzun zaman ve emek gerektirir. Bu süreçte öğrencilerin sağlıklarını olumsuz etkileyecek uyku, yeme-içme düzensizliği ve ekran ya da masa başında uzun zaman geçirmeye bağlı ergonomik sıkıntılara sıklıkla rastlanır. COVID-19 kapanma döneminde bu sıkıntılara uzaktan eğitimin getirdiği sorunlar da eklenmiştir. Sorunlar girift biçimde ortaya çıktığı için sorunlara neden olan gündelik rutinindeki alışkanlık değişimlerinin kişisel olarak ayrıştırılması çok zordur. Öğrenciler sağlığa ve psikolojik değişimlere bağlı yakınmalarını dile getirirler de her bir sorunun kaynağının nasıl bir alışkanlık değişiminden kaynaklandığını ifade etmekte zorlanmaktadır. Bu sebeple, çalışma uzaktan eğitim döneminde farklılaşan dış ve iç etkenlerin neden olduğu sorunları ayrı ayrı ele alarak neden-sonuç ilişkisi analizini benimsemektedir.

## 2. Yöntem

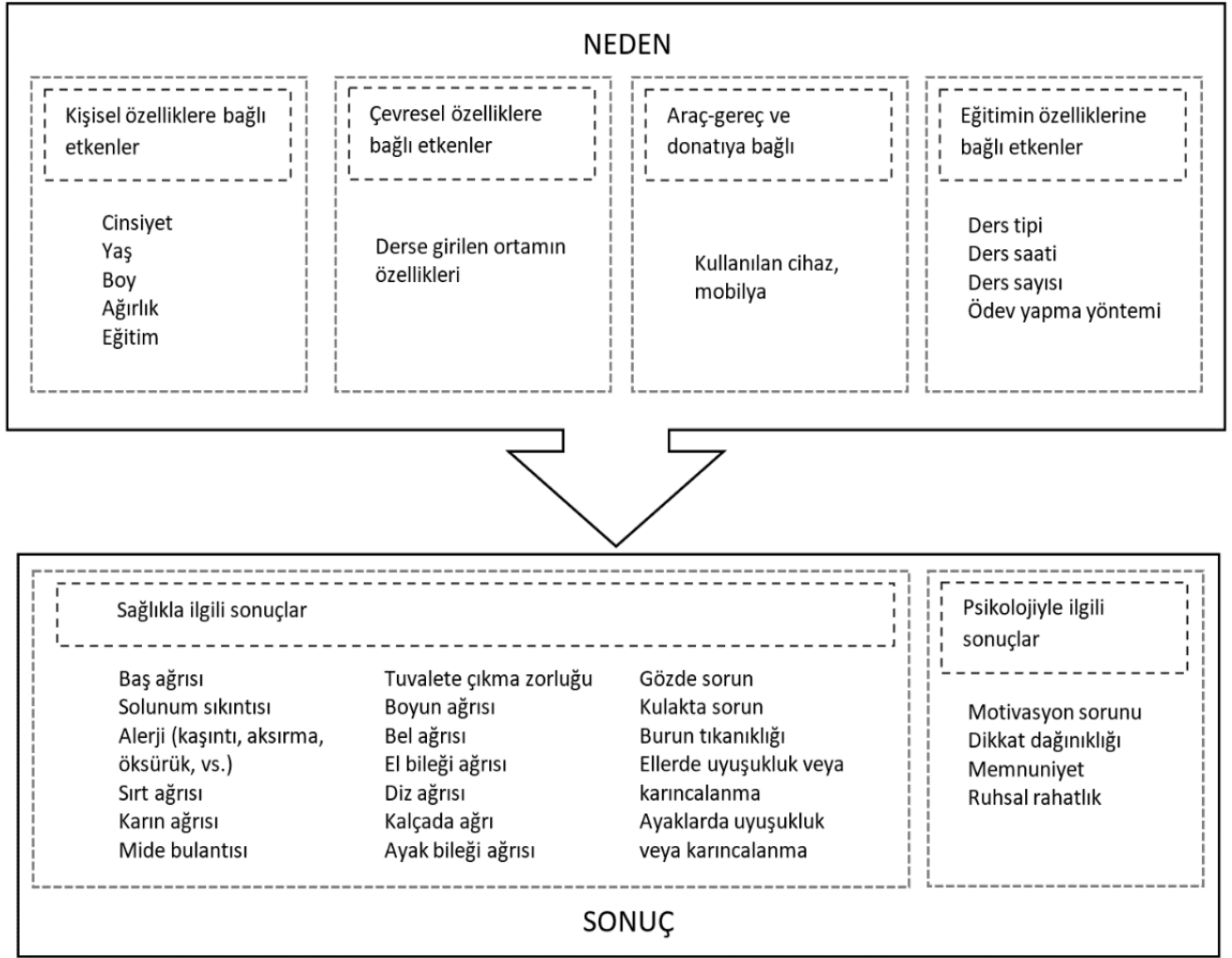
Araştırma, betimsel istatistiksel analiz ve neden-sonuç ilişkisi incelemesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Uzaktan eğitim alan öğrencilerin sağlık problemlerindeki ve psikolojik durumlarındaki değişimler sonuçlar, öğrencilerin maruz kaldığı ergonomik etkenler ise bu problemleri doğuran nedenler olarak değerlendirilmiştir. Nedenler dört kategoride ve bu kategorilerde kümelenen alt başlıklarda ele alınmıştır. Sonuçlar ise iki kategoride ve alt başlıklarıyla değerlendirilmiştir. Kategoriler belirlenirken 8 katılımcılı pilot grupla mülakat yapılmış ve uzman görüşüne başvurulmuştur. Daha önce yapılmış benzer çalışmalarda kullanılan ölçekler incelenmiş ve tasarım öğrencilerinin farklı ihtiyaçları göz önünde bulundurularak araştırma ihtiyaçlarına uygun, var olanlardan farklı bir ölçek geliştirilmiştir. İde ve Gündüz' ün üniversite öğrencileri üzerinde uyguladığı Cornell'in kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları anketi mülakatlarda belirtilen görme, işitme, solunum, boşaltım ve sindirim sistemi rahatsızlıklarını ölçmediği için bu rahatsızlıkların da ankete eklenmesine karar verilmiştir (İde & Gündüz, 2021). Ölçeği oluşturan ergonomik etkenler: Kişisel özelliklere bağlı etkenler, Çevresel özelliklere bağlı etkenler, Araç-gereç ve donatıya bağlı etkenler ve Eğitimin özelliklerine bağlı etkenler olarak kategorilere ayrılmıştır. Sonuçlar ise: Sağlığa bağlı sonuçlar ve Psikolojik sonuçlar şeklinde kategoriler altında değerlendirilmiştir. Belirtilen kategoriler Şekil 1'de detaylandırılmıştır. Sağlığa bağlı sonuçlar kategorisinde ele alınan alt başlıklar vücudun farklı bölgelerindeki ağrı ve rahatsızlık artışıyla ilişkilendirilmiştir. Ağrı ve rahatsızlık artışının gözlemlenebilmesi için 11 dereceli tek boyutlu ağrı ölçeği kullanılmıştır (Yeşilyurt ve Faydalı, 2020). Etkenler bağımsız, sonuçlar ise bağımlı değişkenler olarak değerlendirilmiş ve sebep- sonuç ilişkisi çözülmeye çalışılmıştır.

Katılımcı görüşleri yapılandırılmış anket sorularıyla değerlendirilmiş, katılımcı görüşlerini sayısallaştırmakta geçerli olan 5 dereceli Likert ölçeği kullanılmıştır. Çalışma, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu tarafından, 02.07.2021 tarihli 12/1 sayılı kararlar ile etik açıdan uygun bulunmuştur. Anketler, iç mimarlık lisans programına kayıtlı 147 katılımcıya 2020-2021 yarıyılı'nın güz döneminde elektronik ortamda uygulanmıştır. İstatistiksel analizler IBM SPSS V24 'te yapılmıştır.

Neden- sonuç ilişkisini ortaya çıkarmak üzere aşağıdaki araştırma soruları üretilmiştir:

- Kişisel özelliklere bağlı etkenler ve sonuçlar ilişkisi
  - Uzaktan eğitim döneminde öğrencilerin kişisel özellikleri ile oluşan ergonomik sorunlar arasındaki ilişki nasıldır?
- Çevresel özelliklere bağlı etkenler ve sonuçlar ilişkisi
  - Öğrencilerin eğitime katıldıkları ortam ile oluşan ergonomik sorunlar arasındaki ilişki nasıldır?
- Araç-gereç ve donatıya bağlı etkenler ve sonuçlar ilişkisi
  - Öğrencilerin uzaktan eğitime katıldıkları cihazlarla oluşan ergonomik sorunlar arasındaki ilişki nasıldır?
  - Öğrencilerin uzaktan eğitime katıldıkları donatı (mobilya) ile oluşan ergonomik sorunlar arasındaki ilişki nasıldır?
  - Öğrencilerin ödevlerini yaptıkları cihazla oluşan ergonomik sorunlar arasındaki ilişki nasıldır?
  - Öğrencilerin ödevlerini yaparken kullandıkları donatı(mobilya) ile oluşan ergonomik sorunlar arasındaki ilişki nasıldır?
- Eğitimin ihtiyaçlarına bağlı etkenler ve sonuçlar ilişkisi
  - Öğrencilerin aldıkları ders türü ile oluşan ergonomik sorunları arasındaki ilişki nasıldır?
  - Öğrencilerin aldıkları ders sayısı ile oluşan ergonomik sorunları arasındaki ilişki nasıldır?
  - Öğrencilerin haftalık ders saati sayıları ile oluşan ergonomik sorunlar arasındaki ilişki nasıldır?
  - Öğrencilerin çalışma biçimi ile oluşan ergonomik sorunlar arasındaki ilişki nasıldır?

Araştırma soruları gruplanarak anket soruları haline getirilmiş ve her bir başlık farklı bir ölçek olarak ele alınmıştır. Değişkenler normallik analizi ile kontrol edilmiş ve  $n > 30$  olduğu için Shapiro-Wilk değeri üzerinden değerlendirilmiştir. Değişkenler arası ilişki analizi için parametrik (t-testi) ve parametrik olmayan (Mann-Whitney U) testler uygulanmıştır.



Şekil 1. Neden-sonuç diyagramı

### 3. Bulgular ve Yorum

Araştırmaya katılan 147 öğrencinin 32'si erkek, 115'i kadındır. Katılımcıların yaş ortalaması 21,27 (std=2,276), boy ortalaması 167,97 cm (std=8,249) ve ağırlık ortalaması 60,830 kg (std=12,8959)'dır. 8 dönemlik eğitimdeki ortalama süre 4,44 (std=2,245) dönemdir. Katılımcıların %67,3 'ü öğrencilik dışında bir faaliyetle uğraşmadığını %32,7 'si öğrencilik dışında da bir faaliyetle uğraştığını belirtmiştir. Katılımcıların %75'i gözlük, %26,7'si kontakt lens ve %2,5 'i de uzuvsal protez kullandıklarını belirtmiştir. Rahatsızlık artışı değerleri Tablo 1 'de gösterilmektedir.

Psikolojiye bağlı sonuçlar incelendiğinde, 5 puan üzerinden yapılan Likert puanlamasına göre motivasyon ortalama 3,84, dikkat eksikliği sorunu ise 3,69 puan almıştır. Uzaktan eğitimden memnuniyet 2,62 ve salgın sonrasında da uzaktan eğitimi tercih edeceklerini söyleyenler 2,29 puan ortalamasını vermiştir.

**Tablo 1. Rahatsızlık puanı ortalamaları**

<b>Rahatsızlık</b>	<b>Ortalama</b>	<b>Std. Sapma</b>
Baş ağrısı	6,20	2,791
Solunum sıkıntısı	2,16	2,505
Alerji (kaşıntı, aksırma, öksürük vs. etkilerle)	2,71	3,099
Sırt ağrısı	7,91	2,136
Karın ağrısı	3,37	2,862
Mide bulantısı	3,21	3,010
Tuvalete çıkma zorluğu	2,34	2,861
Boyun ağrısı	7,71	2,279
Bel ağrısı	7,89	2,174
El bileği ağrısı	6,27	3,272
Diz ağrısı	4,83	3,566
Kalçada ağrı	5,39	3,467
Ayak bileği ağrısı	2,73	3,154
Gözde ağrı- batma- yanma- bulanık görme	7,11	2,758
Kulakta ağrı- batma- kaşıntı- çınlama	3,27	3,387
Burun tıkanıklığı	2,17	2,800
Ellerde uyuşukluk ya da karıncalanma	4,93	3,571
Ayaklarda uyuşukluk ya da karıncalanma	5,18	3,355

*Kişisel özelliklere bağlı etkenler*

Cinsiyete bağlı olarak yapılan değerlendirmede kadınların erkeklere göre daha fazla rahatsızlık artışı yaşadığı görülmüştür. Bu rahatsızlıklar en belirgin şekilde sırt ağrısı, mide bulantısı, boyun, el bileği, kalça ağrısı, gözde ve kulakta sorun, el ve ayaklarda uyuşukluk başlıklarında görülmektedir. Yaşa bağlı olarak yapılan değerlendirmede yaşı fazla olanların dikkat eksikliği ve uyku bozukluğu başlıklarında rahatsızlık artışı gözlemlenmiştir. Boya bağlı olarak yapılan değerlendirmede ise boy artışıyla birlikte alerji ( $p=.044$ ), el ( $p=.013$ ) ve ayakta ( $p=.003$ ) uyuşma rahatsızlıkları daha az artış sergilemiştir. (Anlamlı ilişki:  $p<.05$ )

*Çevresel özelliklere bağlı etkenler*

Öğrencilerin salgın öncesinde kaldıkları ev ve içinde yaşadıkları odanın durumu da ergonomik özellikleri pek çok açıdan etkilemektedir. Özellikle mekânın hava, aydınlatma ve akustik kalitesi uzun vadede oluşan sağlık sorunlarının da kaynağı olmaktadır. Tüm bunların yanında kişinin derse katıldığı ya da ödevlerini yaptığı mekânın boyutlarından, renginden, mekânın yalnız ya da paylaşımlı olarak kullanımından etkilenen psikolojik sonuçlar da bulunmaktadır. Çevresel özelliklere bağlı etkenler ile sonuçlar arasındaki ilişki bu kavramlar üzerinden değerlendirmeye alınmıştır.

Öğrencilerin uzaktan eğitime geçişten önce yaşadıkları yer incelendiğinde %47'si kendi evinde, %27,9'u ailesinin yanında %10,9'u devlet yurdunda, %14,3'ü ise özel yurttaki kalmış olduğunu belirtmiştir. Uzaktan eğitime geçiş sonrasında ise %80,8'i aile yanında, %19,2'si kendi evinde kaldığını belirtmiştir. Uzaktan eğitime geçiş sonrasında pek çok öğrencinin aile yanına dönmek zorunda kaldığı gözlemlenmektedir. Bunun yanında özellikle ilk sınıftaki öğrenciler okula uzaktan eğitimle başladıkları için yaşadıkları yerden hiç ayrılmamış ve aile yanında kalmaya devam etmişlerdir ( $ort=\%26,7$ ). Kendi evinde kalmaya devam eden öğrencilerin ( $ort=15,8$ ) ortalama 6. dönemde oluşu, büyük dönemlerde daha az öğrencinin aile yanına döndüğü şeklinde yorumlanabilir. Uzaktan eğitime

geçişle birlikte içinde yaşanan evde beraber kalınan kişi sayısı sorulduğunda ortalama 3,29 (std=1,592), aynı evde beraber uzaktan eğitime katılan kişi sayısı sorulduğunda ortalama 0,82 kişi sonuçları elde edilmiştir.

Öğrencilere yaşadıkları evde uzaktan eğitim derslerine hangi odalarda ne sıklıkta (5 dereceli Likert) katıldıkları sorulmuştur. Tablo 2 (a)'da detaylarıyla gösterildiği üzere en sıklıkla yatak odasından ve salondan katılım sağlanmaktadır. Bunun yanında, aynı soru ödev yaparken oda kullanım sıklığını ölçmek üzere de sorulmuş. Sonuçlar benzer şekilde çıkmıştır. Uzaktan eğitime mutfaktan katılan öğrencilerin vücut ağırlıklarının ( $p=,015$ ) artışı dikkat çekicidir.

**Tablo 2. (a) Mekânın uzaktan eğitim için kullanım sıklığı (b) Mekânın ödev yapmak için kullanım sıklığı**

Oda (a)	Ortalama	Std. Sapma	Oda (b)	Ortalama	Std. Sapma
Yatak odam	3,83	1,491	Yatak odam	3,87	1,545
Salon	2,60	1,474	Salon	2,68	1,557
Oturma odası	2,03	1,365	Oturma odası	2,01	1,409
Mutfak	1,60	,984	Mutfak	1,66	1,101
Bir başkasının odası	1,45	,966	Balkon	1,59	1,096
Balkon	1,41	,866	Bir başkasının odası	1,44	,929
Yatak odamdan bağımsız bir çalışma odası	1,39	1,031	Yatak odamdan bağımsız bir çalışma odası	1,41	1,065

Öğrencilerin uzaktan eğitime katıldıkları ortam ile ergonomik sorunların ilişkisini değerlendirmek üzere mekânsal konforu değerlendiren sorular sorulmuştur. Aydınlatma (3,87), havalandırma (3,81), sıcaklık (3,71), işitsel konfor (3,41) ve oturma konforunu (2,99) 5 puan üzerinden değerlendirilmesi istenilen öğrenciler en az puanı oturma konforuna vermişlerdir. Mekânsal konfor yeterliliği artışıyla sonuç ilişkisi incelendiğinde memnuniyetin arttığı, dikkat eksikliği ve motivasyon bozukluğu yakınmalarının azaldığı gözlemlenmiştir. Özellikle işitsel konfor artışı ile motivasyon bozukluğu ve dikkat dağınıklığı arasındaki ters yönlü ilişki ( $p=,000$ ) dikkat çekicidir. Oturma konforunun artışıyla rahatsızlıkların hemen hepsinde anlamlı bir azalma görülmekle birlikte sırt ağrısı ( $p=,002$ ), el bileği ağrısı ( $p=,001$ ) ters yönlü ilişkisi dikkat çekicidir. Ayrıca, sıcaklık konforunun artışıyla solunum sıkıntısının azalışı ( $p=,003$ ), havalandırma konforunun artışıyla ise burun tıkanıklığı sorununun azalışı ( $p=,004$ ) beklenen sonuçları desteklemektedir. İşitsel konforun artışıyla motivasyon bozukluğu ve dikkat dağınıklığı sorunlarının azalışında güçlü bir ilişkinin ( $p=,000$ ) bulunmuş olması da oldukça dikkat çekicidir.

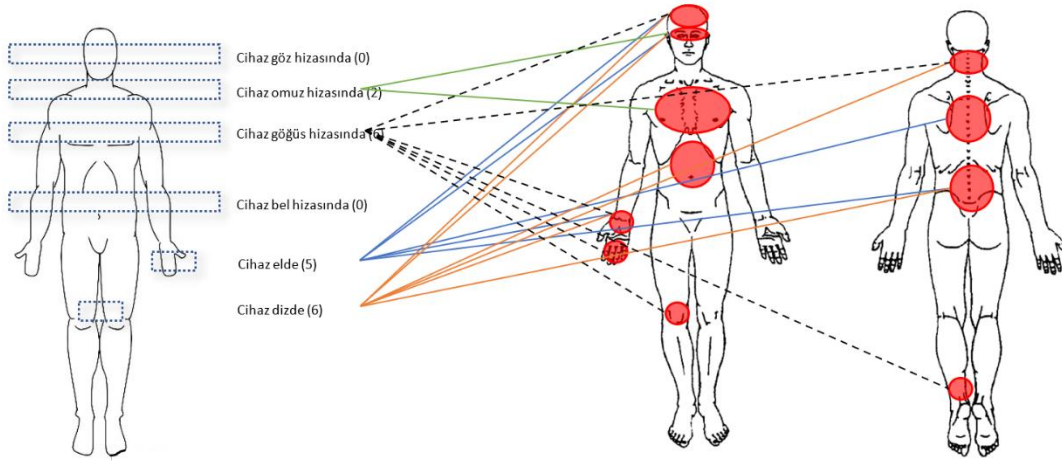
Öğrencilerin uzaktan eğitime girdikleri mekânı psikolojik olarak nasıl yorumladıklarını anlamak üzere olumlu ve olumsuz olarak iki gruba ayrılmış sıfatlarla derecelendirmeleri istenilmiştir. Bun göre 5 üzerinden yapılan puanlamaya göre buldukları mekânı olumlu sıfatlarla tanımlayanlar ortalama 2,9, olumsuz sıfatlarla tanımlayanlar ise 1,98 ile puanlamışlardır. Sıfat puanlarıyla sonuç ilişkisi incelendiğinde olumlu sıfatlarda bedensel rahatsızlıkların azaldığı, olumsuz sıfatlarda ise artış gösterdiği kaydedilmiştir. İçinde bulunulan mekânı olumlu sıfatlardan 'güzel' olarak tanımlayanların rahatsızlık artışlarının en az, olumsuz sıfatlardan 'sert' olarak tanımlayanların ise rahatsızlık artışının en çok olduğu gözlemlenmiştir. Olumlu sıfatlarla genel memnuniyet, günlük uyku süresi artarken, olumsuz sıfatlarda motivasyon düşüşü, dikkat dağınıklığı, uyku bozukluğu artışı izlenmiştir. Sıfatlarla uzaktan eğitime katılırken kullanılan odaların ilişkisi incelendiğinde 'yatak odasından bağımsız bir çalışma odası' en çok olumlu sıfatla, 'bir başkasının odası' ise en çok olumsuz sıfatla nitelenmiştir.

#### *Araç-gereç ve donatıya bağlı özellikler*

İç mimarlık öğrencilerinin eğitimi, eğitim için kullanılan araç gereçle doğrudan ilgilidir. İletişim çizim yoluyla yapıldığı için günümüzde tasarım görselleştirmeleri için bir norm haline gelmiş olan bilgisayar programları öğrencilerin ödev yaparken vaktinin çoğunu bilgisayar başında geçirmesini gerekli kılmaktadır. Uzaktan eğitimle birlikte görselleştirmede el çiziminin kullanımı giderek azalmıştır zira bu türden bir yolu takip etmek çizimin tekrar dijitalleştirilerek bilgisayar ortamına oradan da ilgili ders yürütücüsüne aktarımını gerektirdiği için daha zordur. Eğitimin ihtiyaçları ve uzaktan eğitimin zorunlulukları bir araya geldiğinde öğrencilerin ekran karşısında geçirdikleri süre katlanarak artmıştır. Bu durum eğitimde kullanılan cihazların özelliklerini ve kullanım biçimlerini ergonomik açıdan oluşacak sorunlar anlamında önemli bir hale getirmiştir. Sokağa çıkma yasakları ve ders saatlerinde ekran başında olma zorunluluğunun hareketsizliği arttırdığı bilinmektedir. Hareketsizlikle beraber eğitim için kullanılan cihazla birlikte oturmak ya da çalışmak için kullanılan donatı (oturma elemanı, masa, vs.) da ergonomik açıdan önemli hale gelmektedir. Bu anlamda, bu başlık altında bahsedilen etkenlerle sonuçların ilişkisi ele alınmaktadır.

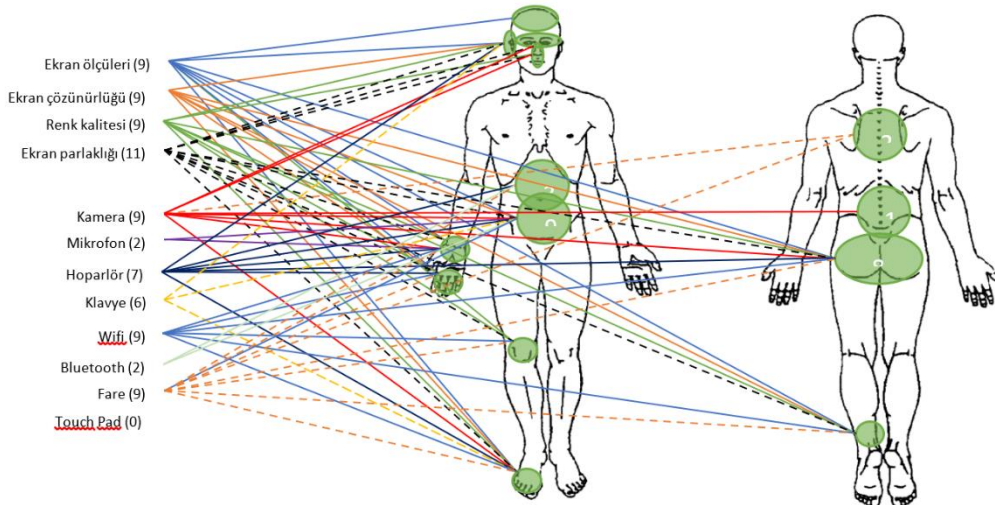
Öğrencilerin %52,1'i masaüstü bilgisayara, %92,1'i dizüstü bilgisayar, %17'si tablete, %87,8'i akıllı telefona ve %24,5'i akıllı TV'ye erişimlerinin olduğunu belirtmiştir. Öğrencilere Uzaktan eğitime katılırken kullandıkları cihaz sıklıkları sorulduğunda %92'si dizüstü bilgisayarı, %26'sı masaüstü bilgisayarı, %26'sı tableti %70,8'i akıllı telefonu %21,8'i ise akıllı TV'yi kullandıklarını belirtmiştir. Öğrencilerin erişimleri olmasına rağmen sabit cihazlara göre mobil cihazları daha çok tercih ettikleri görülmektedir. Cihaz kullanım sıklığı ve sonuçlar ilişkisi incelendiğinde, masaüstü bilgisayar kullanımı arttıkça motivasyon ( $p=,013$ ) ve dikkat dağınıklığı ( $p=,035$ ) sorunlarında azalma eğilimi görülmektedir. Ayrıca masaüstü kullanımı arttıkça göz sorunlarının azalışı dikkat çekicidir zira masaüstü bilgisayar kullanımında ekran büyüklükleri ve ekran göz mesafesinin mobil cihazlardan farklı olduğu bilinmektedir. Tablet ( $p=,032$ ) ve dizüstü bilgisayar ( $p=,044$ ) kullananların uyku düzeni bozukluğunda artış gözlemlenmektedir. Akıllı telefon kullananların bel ağrısı ( $p=,008$ ) ve kalçada ağrı ( $p=,017$ ) gibi kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarında artış olduğu gözlemlenmiştir.

En sık kullanılan cihazın kullanılırken vücutla ilişkisi incelendiğinde cihazı elinde tutanlar %58, diz hizasında %50, omuz hizasında %40, göğüs hizasında %64, bel hizasında %39,9, göz hizasında tutanlar %68,8 oranları ortaya çıkmıştır. Cihaz konumu ve sonuç ilişkisi incelendiğinde cihazın elde ( $p=,003$ ), dizde ( $p=,007$ ) ve omuz hizasında ( $p=,000$ ) olması durumları için göz sorunları ilişkisi anlamlıdır.



Şekil 2. Cihaz pozisyonu rahatsızlık ilişkisi

Öğrencilerin uzaktan eğitime girerken en sık kullandıkları cihazları cihaz özellikleri ekran ölçüleri (ort=4,05), ekran çözünürlüğü (ort=4,11), ekran renk kalitesi (ort=4,1), ekran parlaklığı (ort=4,15), kamera (ort=3,58), mikrofon (ort=3,64), hoparlör (ort=3,83), klavye (ort=4,31), wi-fi (ort=3,26), bluetooth (ort=3,88), fare (ort=4,15), ve touchpad (ort=3,9) için yeterlilik açısından değerlendirmeleri istenildiğinde özelliklerin pek çoğu açısından olumlu değerlendirmede buldukları görülmüştür. Cihaz yeterliliği ile sonuç ilişkisi birlikte değerlendirilmiştir. Ekran ölçülerinin yeterliliği arttıkça motivasyon ( $p=,026$ ) ve uyku bozukluğu ( $p=,037$ ), sorunlarının azaldığı ve genel memnuniyetin ( $p=,037$ ) arttığı gözlemlenmiştir. Wi-fi yeterliliği internet kalitesiyle bağdaştırılmış ve yapılan ön mülakatta da pek çok kez dile getirildiği gibi öğrencilerin derslerdeki kopma, kesilme, yavaşlama gibi sorunlarının kaynağı olarak görülmüş ve wi-fi yeterlilik düzeyinin artışıyla psikolojik sorunların azaldığı dikkat çekici bir şekilde anlamlıdır. Şekil 3'te cihaz yeterlilik artışıyla azalan



Şekil 3. Cihaz özellik yeterliliği rahatsızlık ilişkisi

rahatsızlıklar ilişkilendirilmiş olarak verilmiştir. Uzaktan eğitim sırasında ya da bilgisayar karşısında ödev yapıldığı sırada en çok ilişkiye girilen cihaz parçasının ekran olduğu düşünülerek öğrencilerin kullandıkları cihazların ekran ölçüleri sorulmuştur. Kategorik olarak sorulan ekran ölçülerinin ortalama değerinin 13" ile 17" aralığında olduğu ortaya çıkmıştır. Elde edilen değerler ile sonuç ilişkisine bakıldığında ise ekran ölçüsünün artışıyla göz sorunları ( $p=,007$ ), kulak sorunlarının ( $p=,000$ ) azaldığı gözlemlenmiştir. Ekran ölçüsünün artışı aynı zamanda mide bulantısının ( $p=,002$ ), diz ağrısının ( $p=,001$ ) ve ellerde uyuşukluğun ( $p=,002$ ) azalışını anlamlı biçimde desteklemektedir.

En çok kullanılan cihaz başında geçirilen süre ortalama 6,79 saat ( $std.=2,104$ ) olarak aynı cihaz başından hiç kalkmadan geçirilen süre ise 5,02 saat ( $std.=1,702$ ) olarak hesaplanmıştır. Hafta içi ekran süresi 5,08 saat ( $std.=1,269$ ) ve hafta sonu ortalaması 4,71 saat ( $std.=1,558$ ) olarak hesaplanmıştır. Derslerin aralıksız işleme süresi ile sonuç ilişkisi incelendiğinde süre artışıyla birlikte baş ağrısı ( $p=,048$ ), alerji ( $p=,035$ ), tuvalete çıkma zorluğu ( $p=,044$ ), el bileği ağrısı ( $p=,001$ ), göz sorunu ( $p=,006$ ), ellerde uyuşukluk ( $p=,002$ ), ayaklarda uyuşukluk ( $p=,005$ ) başlıklarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Cihaz başında geçirilen süre ile sonuç ilişkisi incelendiğinde süre artışıyla baş ağrısı ( $p=,005$ ), diz ağrısı ( $p=,001$ ), kalçada ağrı ( $p=,019$ ), kulak sorunu ( $p=,003$ ), ellerde uyuşma ( $p=,046$ ), ayaklarda uyuşma ( $p=,004$ ) başlıklarında artış gözlemlenmiştir. Dersler sırasında öğrencilerin cihaz başında uzun süre ayrılmadan vakit geçirmek zorunda kalması tuvalete çıkma zorluğundaki artış desteklemektedir.

Tasarım öğrencilerinin derslerde ve ödevlerini yaparken oturmak ya da çalışmak için kullandıkları donatılarda da farklılıklar oluşmuştur. Çevresel etkenler başlığı altında gözlemlendiği üzere öğrencilerin büyük çoğunluğu mekânsal değişiklikler yapmış ve alışık oldukları donatıları geride bırakarak çalışma ortamı olarak kullandıkları yerlerde var olan donatıları kullanmak zorunda kalmışlardır. Bu durum öğrencilerin uzaktan eğitime katılırken en sıklıkla kullandıkları oturma elemanı sorulduğunda elde edilen puanlardan da belli olmaktadır. Seçenekler arasında yer alan tekerlekli ofis sandalyesi (%32) en rahat donatılardan birisi olsa da öğrencilerin büyük çoğunluğu metal ya da ahşap mutfak sandalyesini (%42,5) en sık kullandıkları oturma elemanı olarak belirtmişlerdir. Öğrencilerin geçici olarak ikamet ettikleri mekanlarda kullanabildikleri donatılarla sınırlandıkları görülmektedir. Ayrıca öğrencilerin derslere katılırken kullanılan donatı sıklığı sorulduğunda en çok kullanılan donatının çalışma masası olduğu onu da yemek masasının takip ettiği gözlemlenmiştir. Tablo 3 (a)'da detaylarıyla gösterilen donatı kullanım sıklığı dersler dışında kalan zamanlarda ödevlerin yapılmasında kullanılan donatılar için de incelenmiştir.

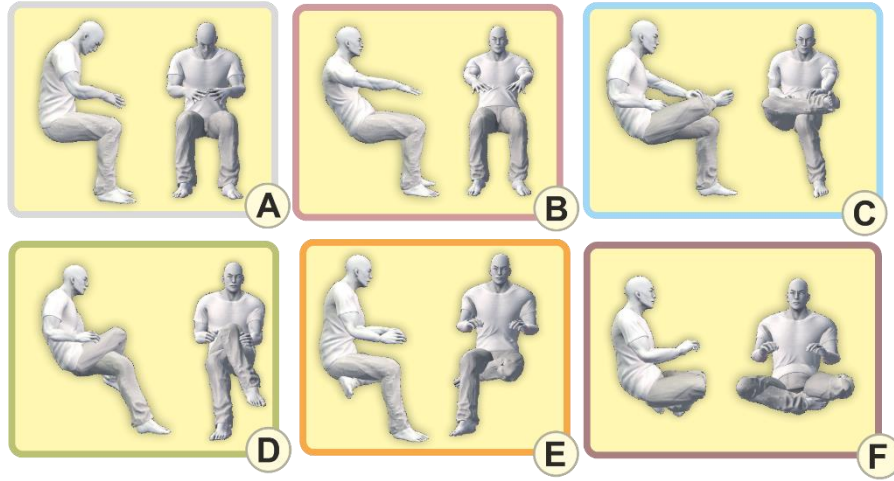
**Tablo 3 (a) Derse katılımda en sık kullanılan donatı (b) Ödev yaparken en sık kullanılan donatı**

Donatı (a)	Ortalama	Std. Sapma	Donatı (b)	Ortalama	Std. Sapma
Çalışma masası	4,12	1,306	Çalışma masası	4,20	1,271
Yemek masası	2,51	1,501	Yemek masası	2,77	1,485
Koltuk	2,29	1,476	Koltuk	2,59	1,503
Sehpa	1,90	1,262	Sehpa	2,08	1,306
Yatak	1,90	1,224	Yatak	1,99	1,301
Çizim masası	1,62	1,167	Çizim masası	1,82	1,163
Yer (zemin)	1,59	1,052	Yer (zemin)	1,71	1,294

Çalışma masasından derse katılma sıklığı artışıyla motivasyon düşüklüğü ve dikkat dağınıklığı ters yönde ilişki sergilerken, yemek masasından derse katılanların motivasyon düşüklüğü aynı yönlü ilişki göstermiştir. Derse koltuktan katılanlar diğer tüm donatılara göre çok daha fazla çeşitte rahatsızlık artışı belirtmiştir. Derse katılım ve ödev yapmak için benzer donatıların benzer sıklıkta kullanılmış olması, öğrencilerin çoğunlukla derse katıldıkları yerde ödev de yaptıkları şeklinde yorumlanabilir.

Öğrencilerin uzaktan eğitim derslerine katılırken en sıklıkla hangi oturma pozisyonunu kullandıkları sorulmuştur. Bu soruyu netleştirmek üzere Şekil 3'teki diyagram verilmiştir. Öğrenciler, 5 üzerinden puanladıkları oturuş biçimlerinden a. dik oturuş için 3,29, b. Arkaya dayanmış eğik oturuş için 3,38, c. bacak dik olarak bacak üstünde oturuş için 2,24, d. bacak eğik olarak bacak üzerinde oturuş için 2,83, e. bir bacak kalça altında oturuş için 3,33 ve bağdaş kurmuş oturuş için 2,87 ortalama puanlarını vermişlerdir. Oturuş biçimi sonuç ilişkisi incelendiğinde en avantajlı oturuş biçiminin hem psikolojik hem de sağlık sonuçları açısından dik oturuş olduğu gözlemlenmiştir. Bir bacak eğik biçimde bacak üstünde oturuş ise en sıkıntılı oturuş biçimi olarak ortaya çıkmıştır. Bunların yanında sıklığı yüksek olan oturuş biçimlerinden birisi olan bir bacak kalça altında oturuş mide bulantısı ( $p=,026$ ) ve diz ağrısında ( $p=,001$ ) artışa neden olmuştur. Bağdaş kurmuş oturma biçimi de kalçada ağrı ( $p=,004$ ), ayak bileğinde ağrı ( $p=,009$ ) ve ayaklarda uyuşukluk ( $p=,021$ ) sonuçlarında artış göstermiştir.





Şekil 2. Oturuş biçimleri diyagramı

### Eğitimin özelliklerine bağlı etkenler

Tasarım eğitiminin diğer eğitim türlerinden farklılıklarının sonuçlar üzerindeki etkisi bu başlık altında incelenmiştir. Tasarım eğitimi daha önce de belirtildiği üzere çizimle iletişimi kullanan bu bağlamda uygulamalı derslerin yoğun olduğu bir eğitim türüdür. Eğitim araçları da bu bağlamda farklılaşmaktadır. Öğrencilerin aldıkları haftalık teorik ders sayısı ortalaması 4,97 (std=1,942), uygulamalı ders sayısı 2,99 (std=1,365)'dir. Alınan haftalık teorik ders saati ortalaması 11,35 saat (std=6,279) ve uygulamalı ders saati ise 12,57 saat (std=4,461)'tir. Görülebileceği gibi uygulamalı ders sayısı teorik ders sayısından az olsa da haftalık ders saati ortalaması uygulamalı derslerde çok daha fazladır. Uygulamalı dersler, ders yükleriyle orantılı olarak haftalık ders saati açısından daha fazla saate sahiptir.

Ders sayısı ve saatlerinin uygulamalı ve teorik dersler açısından sonuçlarla ilişkisi incelendiğinde uygulamalı ders saati fazla olanların uyku sürelerinin ( $p=,043$ ) daha düşük olduğu, ders sayısı ile yapılan analizde uyku sürelerinin düşüşünün daha da anlamlı bir ilişki sergilediği görülmektedir. Teorik derslerin ise rahatsızlıklarla ilişkisi saptanamamıştır. Bu durum öğrencilerin uygulamalı dersler için uykularından fedakârlık ettikleri şeklinde yorumlanabilir. Uygulamalı ders saatleri arttıkça ekran başında geçen süre ( $p=,007$ ) de artmaktadır. Uygulamalı derslerin sayısı arttıkça aralıksız ders işleme süresi ( $p=,004$ ) ise azalmaktadır. Tasarım öğrencilerinin dersler dışındaki zamanlarının çoğunluğunun ödev yapmakla geçtiği bilinmektedir. Bu sebeple ödev yaparken kullandıkları yöntemler incelenmiştir. Öğrencilere en sıklıkla hangi ödev hazırlama yöntemini kullandıkları sorulmuştur. Öğrencilerin sıklığı 5 üzerinden değerlendirdikleri cevaplarında öğrencilerin en sıklıkla internette araştırma yaptıkları ve bilgisayarda sunum hazırlamanın ikinci sırada geldiği görülmektedir. Tablo 4'te ayrıntılarıyla gösterildiği üzere elde çizim ve kesme yapıştırma gibi manuel aktivitelerin bilgisayar başında yapılanlara göre çok daha az olduğu anlaşılmaktadır. Bu tür aktivitelerin büyük dönemdeki öğrencilerden daha çok küçük dönemdeki öğrenciler tarafından tercih edildiği gözlemlenmektedir. Özellikle bilgisayarda sunum hazırlamanın ikinci sırada en yüksek sıklıkla kullanılması uzaktan eğitim döneminin etkisini göstermektedir. Ödev yapma yöntemi sonuç ilişkisi incelendiğinde elde çizim yöntemini sıklığı arttıkça bel ağrısı ( $p=,014$ ) ve ayak bileği ağrısında ( $p=,002$ ) artış olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında bilgisayarda çizimin sıklığı arttığında baş ağrısı ( $p=,008$ ), kalçada ağrı ( $p=,034$ ), ayak bileği ağrısı ( $p=,014$ ), göz sorunları ( $p=,028$ ), kulak sorunları ( $p=,002$ ), ellerde uyuşukluk ( $p=,028$ ), ayaklarda uyuşukluk ( $p=,014$ ) rahatsızlıklarında artış gözlemlenmiştir. Sesli-görüntülü sohbet sıklığının artışı ile tuvalete çıkma zorluğu ( $p=,010$ ), el bileği ağrısı ( $p=,046$ ), diz ağrısı ( $p=,039$ ), ellerde uyuşukluk ( $p=,015$ ), ayaklarda uyuşukluk ( $p=,007$ ) rahatsızlıklarında artış görülmüştür. Bilgisayarlı çalışma yöntemlerini sıklıkla kullananlarının rahatsızlık artış çeşitlerinin manuel yöntemlere göre daha fazla oluşu dikkat çekicidir. Bilgisayarlı yöntemleri sıklıkla kullananlarda özellikle tuvalet çıkma rahatsızlığında belirgin bir benzerlik bulunmaktadır.

Tablo 4 Ödev yaparken kullanılan yöntem

Yöntem	Ortalama	Std. Sapma	Yöntem	Ortalama	Std. Sapma
İnternette araştırma	4,39	,831	Bilgisayarda çizim	3,67	1,279
Bilgisayarda sunum hazırlama	3,96	1,164	Sesli görüntülü sohbet	3,58	1,334
Elde çizim	3,81	1,149	Okuma	3,48	1,201
Bilgisayarda yazı (word vs.)	3,69	1,146	Kesme- Yapıştırma (maket vs.)	2,53	1,087

Yukarıda tasarım eğitiminde uzaktan eğitimin yarattığı sağlığa ve psikolojiye bağlı sorunlar iç mimarlık öğrencileri üzerinden örneklendirilerek analiz edilmeye çalışılmıştır. Uzaktan eğitimde dizüstü bilgisayarların kullanımındaki baskınlık diğer çalışmalarını destekler niteliktedir (İde ve Gündüz, 2021). Rahatsızlığa dair bulgular daha önce yapılan çalışmaları destekler niteliktedir ve boyun, sırt ve bel bölgesinin en çok rahatsızlık bildirilen bölgeler olduğu görülmektedir (Vallespin ve Prasetyo, 2020) (Choudhary, Choudary, Jemal, Kumar ve Jamal, 2020). Bu durumun bilgisayar kullanımındaki artışa bağlı olduğu düşünülmektedir. Yakınmaların masaüstü bilgisayarlardansa dizüstü bilgisayar kullanımında artışı da dizüstü bilgisayarların kompakt yapıda üretilmesi nedeniyle ekran klavye ve fare dağılımının masaüstü bilgisayarlara göre daha az ergonomik oluşuyla bağdaştırılabilir. Bedensel rahatsızlıklar üzerinden yürütülen çalışmaların çoğunluğu kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına odaklanmıştır, bu çalışmada rahatsızlıklar ağrı ile ilişkilendirilerek vücudun görme, işitme, sindirim ve boşaltım sistemi rahatsızlıklarını da kapsayacak şekilde genişletilmesi sağlanmıştır. Bu bağlamda özellikle görme ve işitmede uzaktan eğitim döneminde artan rahatsızlıklar dikkat çekicidir. Genel ortalamada rahatsızlık artışı anlamında yüksek bir rakamda olmayan tuvalete çıkma sorunu ise ilişki analizlerinde ilginç sonuçların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Uzayan ders süreleri ya da uzun süre oturur vaziyette olmayla tuvalete çıkma zorlukları arasında mantıklı ilişkiler ortaya çıkmıştır. Motivasyon düşüklüğü ve dikkat dağınıklığı gibi psikolojik sonuçları etkileyen faktörlerin çoğunlukla görme ve işitme gibi duyuşsal rahatsızlıklarla ilişki kurmaktadır.

#### 4. Sonuç

Yapmış olduğumuz çalışmada, toplam 147 adet gönüllü öğrenciye internet ortamında anket uygulanmış, uzaktan eğitim sürecinde ev içindeki çalışma alanları ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları incelenmiştir.

Neden-sonuç ilişkisiyle değerlendirildiğinde kişisel, çevresel, araç gereç ve donatıya bağlı etkenler girift biçimde ve uzun vadede gündelik hayatı etkilerken, karın ağrısının akşam fazla kaçırılan yemeğe bağlanması, bel ağrısının üşütmeyle, boyun ağrısının yanlış yapılmış bir hareketle yani hatırlatılan en yeni olaylarla ilişkilendirilmesi çok doğaldır. Uzaktan eğitim döneminin ve öğrencilerin bu dönemde yaşadıklarının ne çok kısa ne de çok uzun olması, etkenlerin sonuçlarla ilişkisinin gözlemlenebilmesi için elverişli bir örnek oluşturmuştur. Araştırma bulgularının çoğu, sonuçlar olarak ele alınan psikolojik ve sağlığa bağlı sorunların ergonomik yanlışların kısa olmayan bir vadede vücut üzerindeki etkisini göstermesi bakımından kıymetlidir.

Uzaktan eğitim sürecinde katılımcıların kas ve iskelet rahatsızlıkları incelendiğinde, katılımcıların uzaktan eğitim döneminde daha önceye göre artış gösteren rahatsızlıklarını puanlamaları (0-10 aralığında) istenildiğinde bel ağrısı (ort=7,89), boyun ağrısı (ort=7,71), sırt ağrısı (ort=7,91) ve göz sorunları (ort=7,11) diğer rahatsızlıklara göre daha çok artış göstermiştir. Katılımcıların %43'ü uzaktan eğitim döneminde vücut ağırlıklarının arttığını, %33,3'ü azaldığını ve %23,7'si değişmediğini belirtmiştir. Katılımcıların günlük uyku sürelerinin ortalamaları 6,14 saattir. Katılımcıların %81,2'si uzaktan eğitim döneminde uyku düzenlerinin bozulduğunu belirtmiştir. Katılımcıların, ağırlığa bağlı olarak yapılan değerlendirmede, kilosu daha fazla olanların solunum sıkıntısı, sırt, karın, bel, diz ve kalça ağrısı, mide bulantısı el ve ayaklarda uyuşmalarında daha fazla artış olduğu tespit edilmiştir.

Ara vermeden devam edilen bir ders motivasyon eksikliği ve dikkat dağınıklığı yapabildiği kadar uzun vadede tuvalete çıkma sorunları da oluşturmaktadır. Uzun saatler boyunca çok parlak bir ekrana bakmanın uyku bozukluklarıyla ilişkisi uykuya dalamayan öğrencinin geç saatte içtiği kahveyi belki de boşuna suçladığının da göstergesi olacaktır.

Uzaktan eğitim döneminde yapılan bu çalışma belki tekrar yakalanması çok zor olan çok özel şartları kullanarak ergonominin rahatsızlıklarla olan ilişkisini ortaya koymaya çalışmıştır. Buradan hareketle ergonomik sorunların anlık değişimlerle çözülemeyeceği, yaşam kalitesinin muhafaza edilmesi için uzun vadeli planlar yapılması gerektiği üzerinde durulmalıdır.

Gelecek çalışmalarda, öğrencilerin OWAS, BAUA, RULA ve REBA yöntemleri kullanılarak uzaktan eğitim sürecinde tasarım öğrencilerinin ev içindeki hareketleri incelenip, kas iskelet sistemindeki zorlanmaların tespit edilmesi ve elde edilen sorunların çözümlerinin tartışılması hedeflenmektedir.

#### Referanslar

- Arslan, A., & Çınar, H. (2015). Ergonomik Açıdan Proje Tasarım Atölyelerinin İncelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi*, 3(3), 347-354.
- Aytar, A., Altıntaş, A., & Aytar, A. (2020). Effects of posture and ergonomics training for studentsreceiving distance education during the covid-19pandemic on musculoskeletal pain, exercise behaviordecision-making balance, and physical activity level. *Journal of Exercise Therapy And Rehabilitation*, 7(2), 137-144.

- Ayyıldız, E., & Gümüş, A. (2021). A novel distance learning ergonomics checklist and risk evaluation methodology: A case of Covid-19 pandemic. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 31(4), 397-411.
- Brinson, J. (2015, Eylül). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education*, 218-237.
- Buomprisco, G., Ricci, S., Perri, R., & de Sio, S. (2021). Health and Telework: New Challenges after COVID-19 Pandemic. *European Journal of Environment and Public Health*, 5(2), em0073. <https://doi.org/10.21601/ejeph/9705>
- Choudhary, M., Choudary, A., Jemal, S., Kumar, R., & Jamal, S. (2020). The Impact of Ergonomics on Children Studying Online During COVID-19 Lockdown. *Journal of Advances in Sports and Physical Education*, 3(8), 117-120.
- Dillon, K., Hiemstra, M., Mitchell, M., Bartmann, N., Rollo, S., Gardiner, P. A., & Prapavessis, H. (2021). Validity of the occupational sitting and physical activity questionnaire (OSPAQ) for home-based office workers during the COVID-19 global pandemic: A secondary analysis. *Applied Ergonomics*, 97, 103551. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103551>
- Ford, D., Storey, M.-A., Zimmermann, T., Bird, C., Jaffe, S., Maddila, C., Butler, J. L., Houck, B., & Nagappan, N. (2020). *A Tale of Two Cities: Software Developers Working from Home During the COVID-19 Pandemic*.
- Fukushima, N., Machida, M., Kikuchi, H., Amagasa, S., Hayashi, T., Odagiri, Y., Takamiya, T., & Inoue, S. (2021). Associations of working from home with occupational physical activity and sedentary behavior under the COVID-19 pandemic. *Journal of Occupational Health*, 63(1). <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12212>
- İde, D., & Gündüz, T. (2021). Korona Virüs Kapanma (Kısıtlama) Döneminde Üniversite Öğrencilerinin Yorgunluk Düzeyi Ve Kas-İskelet Sistemi ları Arasındaki İlişkinin Bazı Değişkenler Açısından İncelenmesi. *Ergonomi*, 4(2), 107-118.
- Jain, R., Rana, K. B., & Meena, M. L. (2021). Association of individual and device usage factors with musculoskeletal disorders amongst handheld devices users during homestay due to pandemic. *International Journal of Workplace Health Management*. <https://doi.org/10.1108/IJWHM-06-2020-0104>
- Kahya, E., Ünlüer, G., Güzeldal, Z., & Demirci, Z. (2018). Bir Yüksek Öğretim Kurumunda Öğrenci Sıralarının Uygunluğunun Analizi. *Ergonomi*, 1(2), 59-76.
- Mary V. Mawn, P. C. (2011). Hands-on and online: scientific explorations through distance learning, Open Learning. *The Journal of Open, Distance and e-Learning*, 26(2), 135-146. doi:10.1080/02680513.2011.567464
- McGann, K., Melnyk, R., Saba, P., Joseph, J., Glocker, R., & Ghazi, A. (2021). Implementation of an E-Learning Academic Elective for Hands-On Basic Surgical Skills to Supplement Medical School Surgical Education. *Journal of Surgical Education*, 78(4), 1164-1174.
- Okuyan, C., & Beğen, M. (2021). Working from home during the COVID-19 pandemic, its effects on health, and recommendations: The pandemic and beyond. *Perspectives in Psychiatric Care*, 1-7.
- Soltaninejad, M., Babaei-Pouya, A., & Poursadeqiyani, M. (2021). Ergonomics factors influencing schooleducation during the COVID-19 pandemic :A literature review. *Work*, 68(1), 69-75.
- Türk Tabipleri Birliği Covid-19 Danışma ve İzleme Kurulu. (2020). *COVID-19 Pandemisi İki Aylık Değerlendirme Raporu*. Türk Tabipleri Birliği. 11 7, 2021 tarihinde [https://www.ttb.org.tr/kollar/COVID19/yayin\\_goster.php?Guid=00ce3418-96a3-11ea-baf3-777c09b98775](https://www.ttb.org.tr/kollar/COVID19/yayin_goster.php?Guid=00ce3418-96a3-11ea-baf3-777c09b98775) adresinden alındı
- Vallespin, B., & Prasetyo, Y. (2020). Posture Analysis of Students doing Online Class at Home during COVID-19 Pandemic. *2020 IEEE 7th International Conference on Engineering And Applied Sciences (ICETAS)*, (s. 1-6). Kuala Lumpur.
- Who Corona Virus Dash Board. (2021, 10 7). covid19.who.int: <http://covid19.who.int> adresinden alındı
- Widianawati, E., Khorioni, A., Nugroho, B. Y. S., & Wulan, W. R. (2020). The ergonomics design of Work-From-Home Facility during COVID-19 Outbreak inIndonesia and Its Implications for Musculoskeletal. *Pakistan Journal of Medical and Health Sciences*, 14(4), 1619–1622.
- Yeşilyurt, M., & Faydalı, S. (2020). Ağrı değerlendirmesinde tek boyutlu ölçeklerin kullanımı. *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 23(3), 444-451.

Yıldırım, K., & Kasal, Ö. (2005). Çizim Mekanlarında İnsan – Eylem – Donatı Elemanı. *Politeknik Dergisi*, 8(3), 289-299.

YÖK Basın ve Halkla İlişkiler Müşavirliği. (2020, 3 13). Yök Açıklamalar: <https://basin.yok.gov.tr/AciklamaBelgeleri/2020/02-coronavirus-bilgilendirme-notu-1.pdf> adresinden alındı



## Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibi İçin Değiştir – Gözle, Artan İletkenlik ve Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmalarının Karşılaştırılması

### Comparison of The Perturb & Observe, Increased Conductivity and Particle Swarm Optimization Algorithms for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems

Murat Lüy<sup>1</sup>, Fuat Türk<sup>2</sup>, Nuri Alper Metin<sup>\*3</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği, Kırıkkale, Türkiye

<sup>2</sup>Pursaklar Borsa İstanbul Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Ankara, Türkiye

<sup>3</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadırlı Meslek Yüksekokulu, Osmaniye, Türkiye

Başvuru/Received: 20/09/2021

Kabul / Accepted: 20/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

#### Öz

Artan dünya nüfusuyla birlikte enerji üretmek amacıyla kullanılan petrol ve türevleri ürünlerin azalması, bu ürünlerden atık olarak ortaya çıkan karbon monoksit, metan gazı gibi gazların çevreye verdiği zararı minimum değere indirmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları rüzgâr, yakıt hücresi ve güneş panelleri gibi örneklendirilebilir. Yapılan makale çalışmasında güneş paneli sistemlerinde, Doğru Akım (DA) dönüştürücüsü ve Değiştir- Gözle (D&G), Artan İletkenlik ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmaları ile Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) MATLAB/Simulink ortamında tasarlanmış ve değişken ışımaya değerlerinde benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmaları sonucunda PSO MGNT algoritmasının, D&G ve Artan İletkenlik algoritmasına göre maksimum güç noktasında değişken ışınım değerlerinde daha az salınım yapmakta olduğu ve maksimum güç noktasına daha hızlı ulaştığı gözlemlenmiştir.

#### Anahtar Kelimeler

“Değiştir- Gözle (D&G) Algoritması, Artan İletkenlik Algoritması, Parçacık Sürü Optimizasyon (PSO) Algoritması, Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT)”

#### Abstract

With the increasing world population, the interest in renewable energy sources has increased in order to reduce the decrease in petroleum and its derivatives products used for energy production, and to minimize the damage caused by gases such as carbon monoxide and methane gas, which are produced as waste from these products. Examples of renewable energy sources are wind, fuel cell and solar panels. In the article study, in solar panel systems, Maximum Power Point Tracking (MPPT) with Direct Current (DC) converter and The Perturb & Observe (P&O), Increasing Conductivity and Particle Swarm Optimization (PSO) algorithms were designed in MATLAB/Simulink environment and simulation studies at variable radiation values has been carried out. As a result of the simulation studies, it has been observed that the PSO MPPT algorithm oscillates less at the variable radiation values at the maximum power point and reaches the maximum power point faster than the P&O and Increasing Conductivity algorithms.

#### Key Words

“The Perturb & Observe (P&O) algorithm, Increased Conductivity algorithm, Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm, Maximum Power Point Tracking (MPPT)”

## 1. Giriş

Günümüzde enerji üretimi artan talepler üzerine hızlı bir gelişim göstermiştir. Enerjinin tanımı gereği yapılması gerekli işin sürecini devam ettirme gücüdür. Enerji, ülkelerin endüstriyel alanda üretim, teknolojinin sürdürülebilirliği ve ülkelerin ekonomilerine katkısı açısından önemli bir yere sahiptir. Günümüzde enerji üretiminde yandığında açığa karbondioksit, karbon monoksit ve metan gibi zararlı gazlar çıkaran ve yaygın olarak petrol ve türevlerinin kullanıldığı yakıt türleri kullanılmaktadır. Bu zararlı gazlar hava kirliliği, iklim değişikliği, asit yağmurları, toprak ve su kirliliğine sebep olmaktadır. Enerji üretiminde kullanılan bu ürünler dünyada bulunan petrol rezervlerinin azalmasına, ülkeler arasında ekonomik açıdan rekabetlerin artmasıyla birlikte petrol ve türevlerinin fiyatlarının yükselmesine sebep olmaktadır (Nazir et al. (2020); Darwesh et al. (2021); Sharif et al. (2021)).

İnsan sağlığı ve çevre kirliliğinin artması, enerji üretim sektöründe temiz, verimli ve daha çevreci bir yapıya sahip enerji üretim sistemleri olan yenilenebilir enerji kaynaklarına eğilimi arttırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile belirli bir merkeze bağlı olmadan dağıtılmış şekilde enerji üretimi yapılmaktadır. Geleneksel enerji kaynaklarının iletim sağlayamadığı bölgelere de enerji iletimi sağlamaktadır (Nazir et al. (2020); Darwesh et al. (2021); Sharif et al. (2021); Toylan et. al. (2017)).

Yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek olarak güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, yakıt hücreleri vb verilebilir. Güneş enerjisi sistemlerinde yüke güç akışı sağlanabilmesi için güneş panellerinden oluşan güç üretim sistemlerinin tasarlanması gerekmektedir. Güneş paneli sistemleri temel olarak güneş ışığındaki foton enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesine yarayan, geliştirilmiş, yarı iletken teknolojisidir (Sharif et al. (2021); Toylan et al. (2017); Yıldızay et al. (2014)).

Güneş panelleri yüke doğru akım (DA) gerilim ve akım şeklinde enerji iletimi sağlarlar. Ancak güneş panellerinden üretilen DA gerilim değeri yükün durumuna göre yüksek veya düşükse güç elektroniği devreleri yardımıyla istenen seviyeye getirilmektedir. Güneş enerjisinin gölgelenme, paneldeki kirlenme ve yerleştirilen panellerin güneş ile arasındaki açısı, üretilen gerilim ve akım değerini etkilemektedir. Bu durumların etkisiyle güneş panelinin verimliliği %20 civarındadır (Toylan et al (2017); Yıldızay et. al. (2014); Turgay et. al. (2016)).

Güneş panellerinin en verimli şekilde kullanılması için geleneksel olarak Değiştir-Gözle (D&G), Artan İletkenlik, Açık ve Kısa Devre gibi MGNT algoritmaları kullanılmaktadır. Sezgisel algoritmaların MGNT algoritmalarına entegre edilmesiyle alternatif MGNT algoritmaları elde edilebilir (Yıldızay et al. (2014); Turgay et al. (2016)).

## 2. Literatür Taraması

Divyasharon R. ve arkadaşları, güneş paneli, CUK DA dönüştürücü ve yapay sinir ağlarıyla tasarlanmış MGNT algoritmasını içeren bir sistem oluşturmuşlardır. Güneş enerji sistemlerinin verimli kullanılabilmesi ve güneş panellerinin en verimli maksimum güç noktasında çalıştığı için yapay sinir ağları temelli MGNT algoritması geliştirmişlerdir. Benzetim çalışmalarında, değişken hava koşulları göz önüne alınmış olup elde edilen sonuçlara göre yapay sinir ağları geleneksel MGNT algoritmalarından daha yüksek verimli çalıştığı gözlemlenmiştir (Divyasharon et al. (2019)).

Dobabi H. ve arkadaşları, son zamanlarda enerji verimliliği ve güneş enerjinin maksimum verimlilikte kullanılabilmesi için birçok MGNT algoritması geliştirmişlerdir. Verimlilik performanslarını etkileyen hava durumları, gölgelenme süreleri ve panel kirliliği, güneş panellerinin enerji üretiminde büyük zorluklarla neden olmaktadır. Yayınlanan makalede sistem tasarımı olarak güneş paneli, arttıran dönüştürücü ve batarya kullanılmıştır. Arttıran dönüştürüncüye anahtarlama sinyali iletimi için Takagi-Sugeno-Bulanık İntegral Hibrit MGNT algoritması tasarlanmıştır. Deney ve benzetim sonuçları elde edilmiş, D&G, Artan İletkenlik ve D&G-fractional-order proportional-integral (FOPI) MGNT algoritmalarının sonuçları birbiriyle karşılaştırılmış, tasarlanan MGNT algoritmasının sistemde düşük anahtarlama kayıplarına ve yüksek verimliliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir (Dobabi et al. (2021)).

Laxman B. ve arkadaşları, güneş paneli enerji üretim sistemlerinin değişken hava koşullarında maksimum güç noktasında çalışmasını zorluğunu ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmada adaptif bulanık mantık denetleyiciyle MGNT tekniği önerilmiştir. Önerilen algoritmada üyelik fonksiyonları Gri Kurt Optimizasyonu ile belirlenmiş ve algoritmanın performansı dört farklı değişken gölgelenme süreleriyle incelenmiştir. Algoritmanın sonuçları klasik D&G ve bulanık mantık denetleyici algoritmalarının dezavantajlarının üstesinden geldiğini göstermektedir (Laxman et al. (2021)).

Güngör O. Güneş panellerinden alınan verimi arttırmak ve maksimum güç noktasında çalıştırmak için sistem tasarımı olarak CUK doğru akım dönüştürücü, güneş paneli ve üç farklı MGNT algoritması kullanmıştır. Çalışmalarında bulanık mantık denetleyici, yapay sinir ağları ve D&G MGNT algoritmaları incelenmiş ve performansları benzetim sonuçlarında karşılaştırılmıştır. Klasik D&G MGNT algoritması, hava koşullarından diğer MGNT algoritmalarından daha az etkilenerek maksimum güç noktasını takip etmiştir (Güngör et al. (2019)).

Keskin Y. ve arkadaşları, güneş paneli, arttıran dönüştürücü D&G ve Artan İletkenlik MGNT algoritmalarıyla benzetim çalışmasını gerçekleştirmiştir. Sistem, benzetim ve deneysel çalışmaları sonucunda Artan İletkenlik MGNT algoritması, değişken ısıma

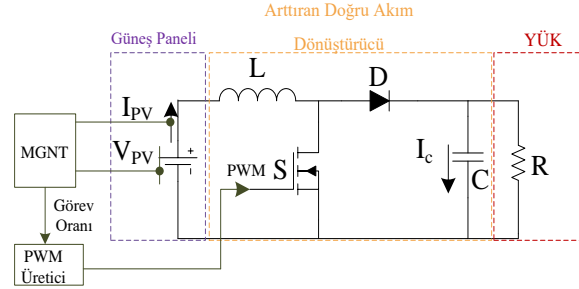
değerlerinde D&G algoritmasına göre yük üzerinde gerilim ve akım değerlerinin daha az salınımı gözlemlenmiştir (Keskin et. al. (2014)).

Fathi M. ve arkadaşları, MGNT algoritmalarının güneş panelli enerji üretim sistemlerinin en önemli parçalarından biri olduğunu vurgulayarak, çalışmalarında dört akıllı MGNT algoritması kullanmışlardır Algoritmalar, Bulanık Mantık Denetleyici, Yapay Sinir Ağları tabanlı Genetik Algoritma, Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Emperyalist Rekabetçi algoritmalarıdır. Sistemdeki hatalar, ortalama kare hatası ve mutlak hata kullanılarak optimize edilmiştir. Benzetim çalışmaları sonucunda bulanık mantıkla tasarlanan MGNT algoritmasının diğer algoritmalarından daha kararlı ve istikrarlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Yapay sinir ağlarıyla tasarlanan MGNT algoritmasının daha hızlı tepki verdiği, ancak PSO ve genetik algoritmaya göre uygulamada daha karışık olduğu gözlemlenmiştir (Fathi et al. (2021)).

Kumar V. ve arkadaşları, uyarlanabilir yük tabanlı bir MGNT algoritması geliştirmiştir. Çalışmalarında güneş panelinin akım ve gerilim değerini değil de yük gerilimini ölçmeye yarayan tek bir sensör kullanılmıştır. Sistem tasarımında sepic DA dönüştürücüsü güneş panelinin gerilim seviyesini maksimum güç noktası algoritması yardımıyla çıkışa iletmektedir. Tasarlanan MGNT algoritması, D&G ve Artan İletkenlik algoritmasıyla karşılaştırılmıştır. Tasarlanan sistem deneysel olarak uygulanmıştır (Kumar et al. (2021)).

### 3. Sistem Tasarımı

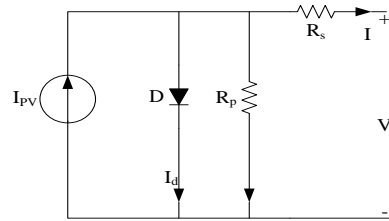
Sistem, genel olarak güneş paneli, arttıran dönüştürücü, MGNT algoritması ve ohmik yükten oluşan 4 kısımdan oluşmaktadır. Güneş panelinden üretilen doğru gerilim ve akım, arttıran dönüştürücü girişine uygulanır. Arttıran dönüştürücüye MGNT algoritmasından elde edilen görev oranı, üçgen dalga ile karşılaştırılarak S anahtarına PWM dalgası üretilir ve istenen seviyede ohmik yük üzerinden gerilim ve akım değeri elde edilir. Sistemin genel şeması Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sistem Şeması

### 4. Güneş Paneli Matematiksel Modeli

Güneş paneli modülleri temel olarak P-N eklemlemelerinin birbirleriyle olan bağlantısını içermektedir. Şekil-2’de güneş panelinin basit elektriksel eş değer devresi gösterilmiştir. Şekil güneş paneli modülü akımı ( $I_{PV}$ ), ters paralel diyot akımı ( $I_d$ ), yarı iletken malzemelerin direncini temsil eden seri direnci ( $R_s$ ) ve P-N ekleminden akan kaçak akımın neden olduğu kayıpları temsil eden şönt ( $R_p$ ) direncini içermektedir (Zafar et al. (2021); Dobabi et al. (2021)).



Şekil 2. Güneş paneli modülünün elektriksel eş değer devresi

Şekil-2’de gösterilen güneş paneli modülünün elektriksel eşdeğer devresinin akım ve gerilim eşitlikleri Denklem 1’de verilmiştir.

$$I = I_{PV} - I_0 \exp \left( \frac{q(V + R_s I)}{n_s V_t} \right) - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (1)$$

Burada  $V$  güneş paneli modülü çıkış gerilimi ve  $I$  güneş paneli modülü çıkış akımıdır.  $I_{PV}$  ve  $I_0$ , sırasıyla güneş paneli modülü akımı ve doyma akımıdır.  $V_t = kT/q$  olarak tanımlanır ve güneş paneli modülünün termal gerilimidir. Burada  $q$  bir elektron yükü,  $k$  boltzman

sabiti, T kelvin cinsinden bağlantı sıcaklık derecesidir. A diyotun ideallik sabitidir. Güneş paneli modülünün ürettiği enerji sadece matematiksel denkleme bağlı olmayıp sıcaklık, güneş ışığının geliş derecesi ve ışıma gibi faktörlere de bağlıdır. Işıma ve sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişim Eşitlik (2), Eşitlik (3) ve Eşitlik (4)'te verilmiştir (Zafar et al. (2021); Dobabi et al. (2021)).

$$I_{PV} = I_{PV,n} + K_I(T - T_n) \frac{G}{G_n} \quad (2)$$

$$V_{oc} = V_{oc,n} + K_V(T - T_n) \quad (3)$$

$$I_0 = \frac{I_{sc,n} + K_I(T - T_n)}{\exp\left(\frac{qV + R_s I}{N_s V_a} - 1\right)} \quad (4)$$

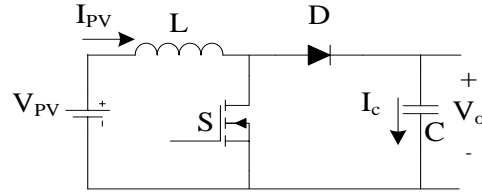
## 5. Arttıran DA-DA Dönüştürücü

Dönüştürücüler giriş ile çıkış arasında istenen eşitliği sağlamak amacıyla tasarlanan devre elemanlarıdır. Dönüştürücülerde temel kural giriş gücüyle çıkış gücünün aynı değerde olmasıdır. İstenen çıkış gerilimi, giriş geriliminden yüksekse, giriş gerilimi yükseltılarak çıkışa iletilir. Bu durumda giriş akımı değeri azalarak çıkışa iletilir. Bu tip dönüştürücülere Arttıran Dönüştürücü adı verilmektedir (Dobabi et al. (2021); Pradhan et al. (2018)).

Dönüştürücü tasarımı yapılırken tasarım önemli bir yere sahiptir. Bobinin değerine göre sistem sürekli ve süreksiz modda çalışmaktadır. Bobin değeri hesaplanan tasarım değerinden düşük seçilirse sistem süreksiz modda çalışır ve bobin üzerindeki akım belirli zaman aralıklarında sıfıra düşer. Bobin değeri tasarım değerinden yüksek seçilirse sistem sürekli modda çalışır. Bobin üzerindeki akım sıfıra düşmez. Süreksiz mod, çalışmak istenen bir çalışma modu değildir. Çünkü yarı iletken malzemelerde ani sıcaklık yükselmesi ve kayıplarda artış meydana gelmektedir (Dobabi et al. (2021); Pradhan et al. (2018)).

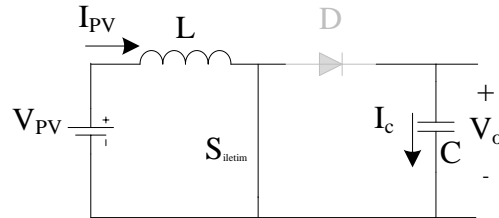
Devre tasarımında istenen, yolların kesitinin büyük olmamasıdır. Sürekli çalışma modunda süreksiz çalışma moduna nazaran yarı iletken malzemelerin ısınması azdır ve devre tasarımında yolların kesitleri küçüktür. Dönüştürücülerin giriş ve çıkış arasındaki ilişki anahtarlama elemanının açık ve kapalı konumuna göre belirlenir. (Dobabi et al. (2021); Pradhan et al. (2018)).

Sistemde arttıran dönüştürücü incelenecektir. Arttıran dönüştürücü devre yapısı olarak anahtar(S), güç aktarım diyotu (D), enerji depolama elemanlarından (L, C) oluşmaktadır. Burada bobin (L) enerji depolayarak giriş ve çıkış arasındaki ilişkiyi düzenlerken, kondansatör (C) çıkıştaki gerilim dalgalanma oranını düzenlemektedir. Arttıran dönüştürücü devre yapısı Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Arttıran DA dönüştürücü devre yapısı

Dönüştürücülerde giriş ve çıkış arasındaki iletim, anahtarın (S) iletim ve kesimde olma durumlarının incelenmesiyle belirlenir. Anahtar iletimdeyken, bobin batarya akımıyla üzerinde enerji depolar. Üzerindeki gerilim değeri batarya gerilimine eşittir. Diyot doğru yönde kutuplanmadığı için iletime geçmez. Bu durum Şekil 4'te gösterilmiştir (Pradhan et al. (2018)).



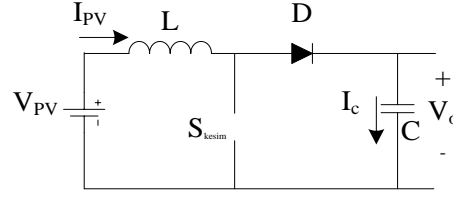
Şekil 4 Anahtarın iletim durumu

Bobin gerilim eşitliğinde D ile gösterilen görev oranı olup 0 ile 1 arasında değişim göstermektedir. Denklem 5'te verilmiştir.

$$\frac{di_L}{dt} = (V_{bat}) \times D \quad (5)$$



Anahtar kesimdeyken, bobin üzerindeki gerilim değeri batarya gerilimiyle, çıkış geriliminin farkına eşittir. Diyot doğru yönde kutuplanır ve iletme geçer. Bu durum Şekil 5'te gösterilmiştir [16].



Şekil 5. Anahtarın kesim durumu

Bobin gerilim eşitliği Eşitlik (6)'da verilmiştir.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{(V_{bat} - V_c)}{L} \times (1 - D) \quad (6)$$

Eşitlik (5) ve (6)'dan giriş ve çıkış arasındaki ilişki Eşitlik (7) elde edilmiştir.

$$V_c = \frac{V_{bat}}{(1 - D)} \quad (7)$$

Görev oranı (D) 0 ile 1 arasında olduğundan DA dönüştürücüde çıkış gerilim değeri giriş gerilim değerinden yüksek olmaktadır.

## 6. Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmaları

Güneş panelleri ışımaya ve sıcaklık faktörlerine bağlı olarak DA gerilim ve akım üretirler. Güneş panelinin güç, gerilim eğrisinde maksimum güç noktası adı verilen tek bir nokta vardır. Sistemin çalışmasında MGNT algoritmaları DA dönüştürücünün güneş paneli ile yük arasındaki güç akışını sağlar. MGNT algoritmaları, güneş panelini maksimum güç noktasında çalıştırmak için tasarlanır. DA dönüştürücülerin anahtarlama elemanlarına maksimum güç noktası için görev oranını belirler ve PWM sinyali belirlenen görev oranına göre üretilir (Sher et al. (2015); Harrag et al. (2019)).

### 6.1. D&G (Değiştir ve Gözle) MGNT Algoritması

D&G algoritması anahtarlama süresince uygulanır. D&G algoritmasındaki amaç çıkış gücünü optimum değerde tutmaktır. Bu durumda ilk olarak güneş panelinden anlık olarak gerilim ve akım değerleri okunur. İkincil olarak okunan akım ve gerilim değerlerinden güç hesaplanır. Güç hesaplaması sonucunda hesaplanan güç değeri bir önceki güç değeriyle karşılaştırılır. Gerilim azaldığında güçte azalır, bu durumda çalışma noktası maksimum güç noktasının solunda bulunurken, tam tersi durumda sağında bulunmaktadır. D&G MGNT algoritması, güneş panelinin çıkışının maksimum güç noktasına ulaşıncaya kadar tekrarlanır. Sistem maksimum güç noktasına ulaştığında salınım yapmaya başlar. D&G MGNT akış şeması Şekil-6' da verilmiştir (Selmi et. al. 2014; Hamidon et al. (2012); Kollimalla et al. (2013)).

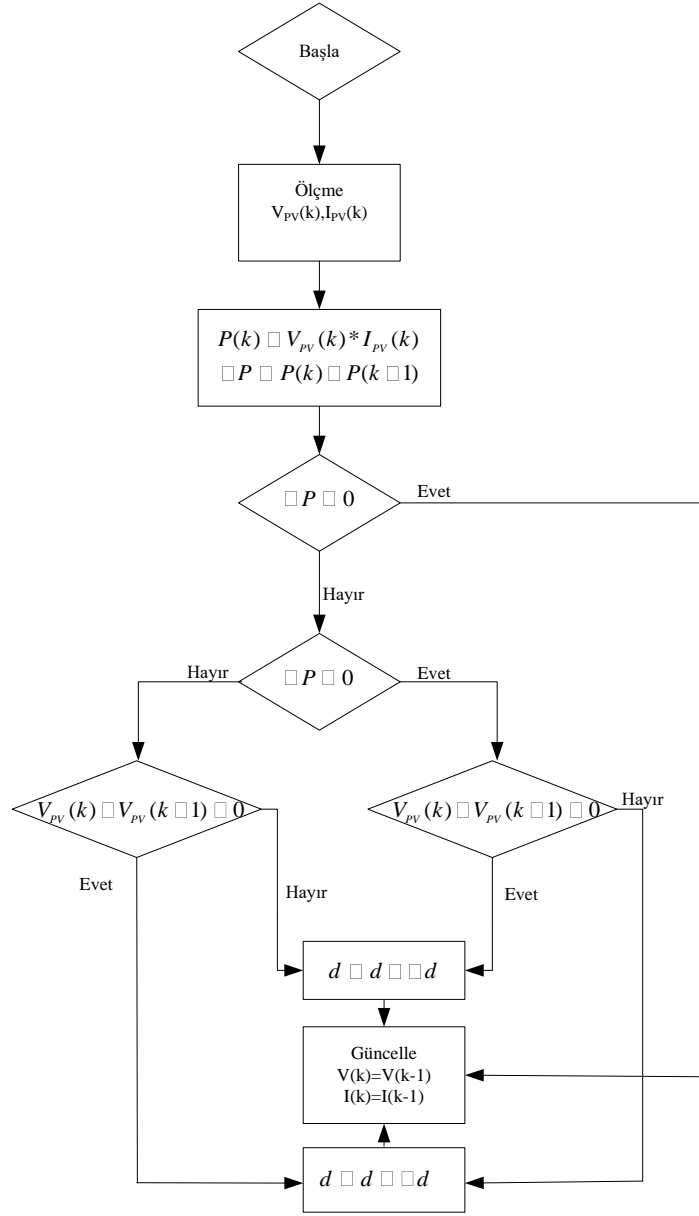
### 6.2. Artan İletkenlik MGNT Algoritması

Güneş enerjisi sistemi için güneş paneli gücünün güneş paneli gerilimine göre türevi Eşitlik (8)'de verilmiştir (Patel et. al. 2017; Keskin et al. (2012)).

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (8)$$

Artan İletkenlik MGNT algoritmasında temel olarak güneş panelinin güç gerilim eğrisinin eğimine bakılır. Eğer eğim pozitifse maksimum güç noktasının solunu, negatifse sağını eğim sıfıra eşitse maksimum güç noktasını göstermektedir. Eşitlik (8) verilen bilgilere göre çözümlerse; maksimum güç noktasında bulunduğu durum Eşitlik (9)'da verilmiştir (Patel et al. (2017); Keskin et al. (2012)).

$$\frac{dI}{dV} = \frac{-I}{V} \quad (9)$$



Şekil 6. D&G MGNT algoritması akış şeması

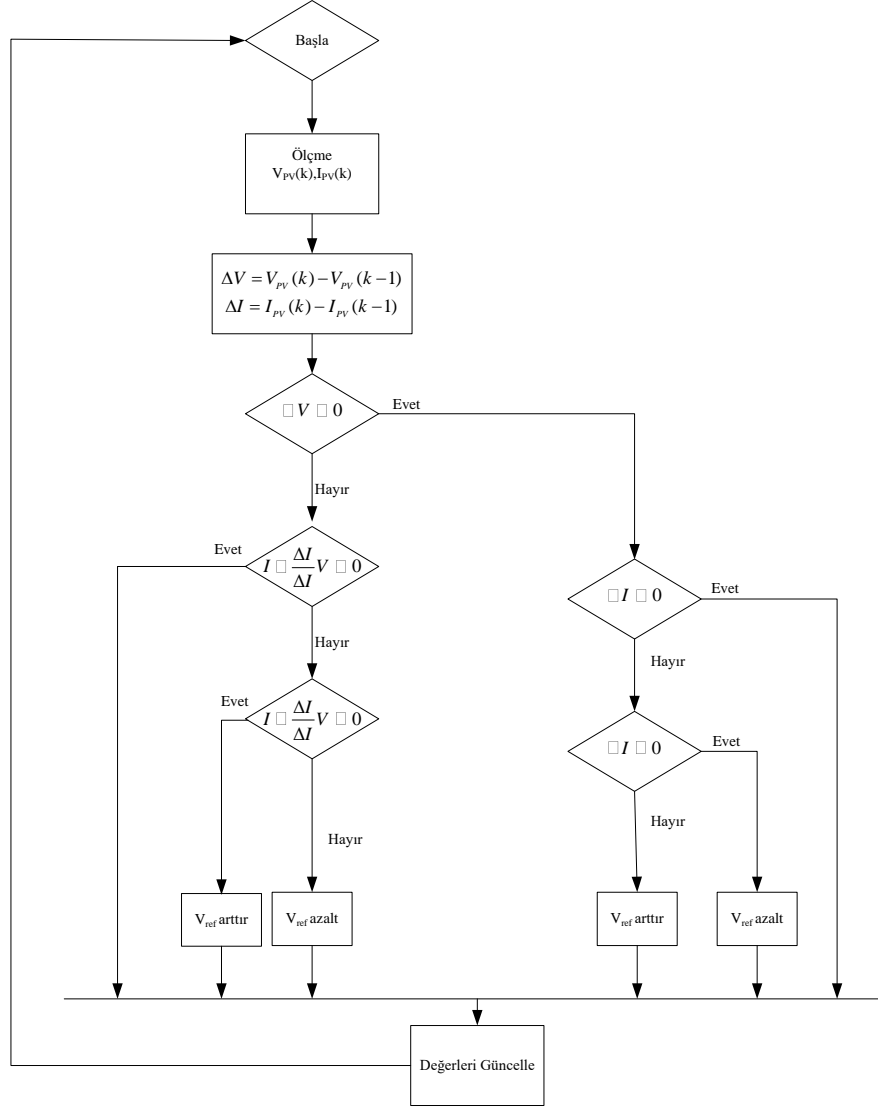
Maksimum güç noktasının solunda bulunduğu durum Eşitlik (10)'da verilmiştir.

$$\frac{dI}{dV} > \frac{-I}{V} \quad (10)$$

Maksimum güç noktasının solunda bulunduğu durum Eşitlik (11)'de verilmiştir.

$$\frac{dI}{dV} < \frac{-I}{V} \quad (11)$$

Artan İletkenlik MGNT algoritması akış şeması Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Artan İletkenlik MGNT algoritması akış şeması

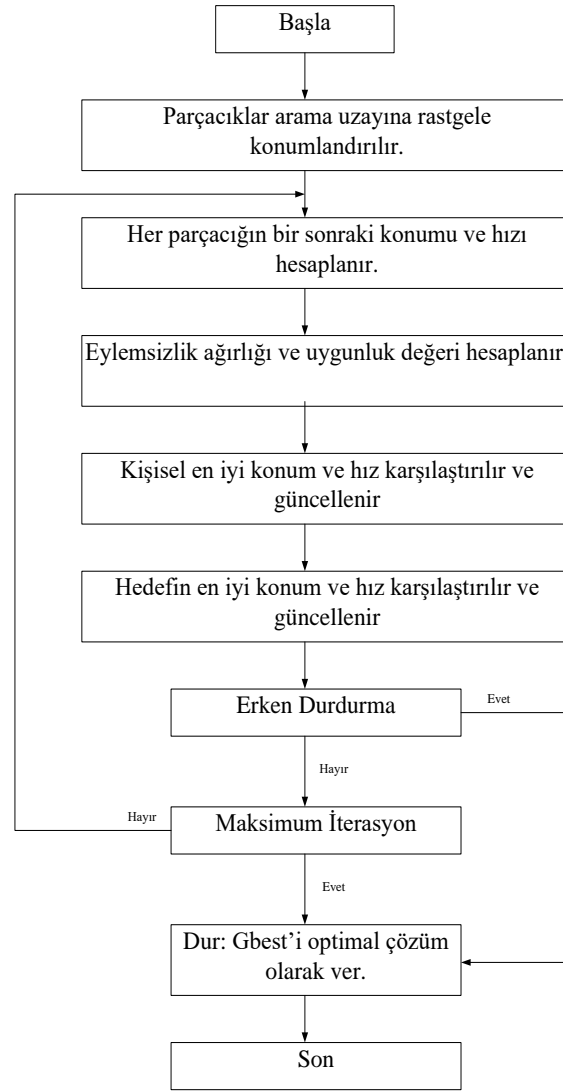
### 6.3. PSO MGNT Algoritması

PSO, 1995 yılında Eberhart ve Kennedy tarafından teorik olarak akıllı optimizasyon tekniği olarak geliştirilmiştir. Algoritmanın temelinde sürü şeklinde gezen kuş, balık gibi hayvanların doğal davranışlarından esinlenilmiştir. PSO algoritmasında uçan kuşların gideceği yerin haritalanması ve ağırlık değişkenlerinden yararlanılmıştır. Grup üyelerinin her bir üyesinden sırasıyla bilgiler alınarak en optimize değere ulaşılır. PSO parçacık olarak adlandırılan bireyler arasında sosyal davranışları kullanarak arama uzayında bireyleri adaptif olarak en anlamlı kısma yönlendirmektedir. PSO algoritması, ilk olarak tanımlanan problemin çözümü için rastgele cevaplar ile başlatılır. Bu rastgele değerler güncellenerek en uygun çözüm aranır. Her iterasyon işlemi sonucunda parçacık lokasyonları en iyi iki parçacığa göre güncellenir. PSO algoritmasının akış şeması Şekil-8'de gösterilmiştir (Mahapatra et al. (2019); Shi et al. (2015); Gümüş et al. (2021)).

PSO algoritmasında parçacıklar çok boyutlu arama uzayına dağıtılır. Dağıtım esnasında her parçacık rastgele konumlarını kendi deneyim sonuçlarına göre ayarlar, ayarlanan bu değere parçacıkların şimdiye kadar ulaştığı en iyi çözüm denir. Komşu parçacığın deneyimine göre kendisinin ve komşusunun güncel değerlerinin karşılaştırılmasıyla elde edilen değer, iterasyon sırasında elde edilen en iyi değer olarak isimlendirilir. Parçacıkların hızı Eşitlik (12) ve konumu Eşitlik (13)'e göre güncellenir (Mahapatra et al. (2019); Shi et al. (2015); Gümüş et al. (2021)).

$$V_i^k = w_i \cdot V_i^k + c_1 \cdot \text{rand}() \cdot (P_{\text{best } i}^k - X_i^k) + c_2 \cdot \text{rand}() \cdot (G_{\text{best } i}^k - X_i^k) \quad (12)$$

$$X_i^k = X_i^k + V_i^k \quad (13)$$

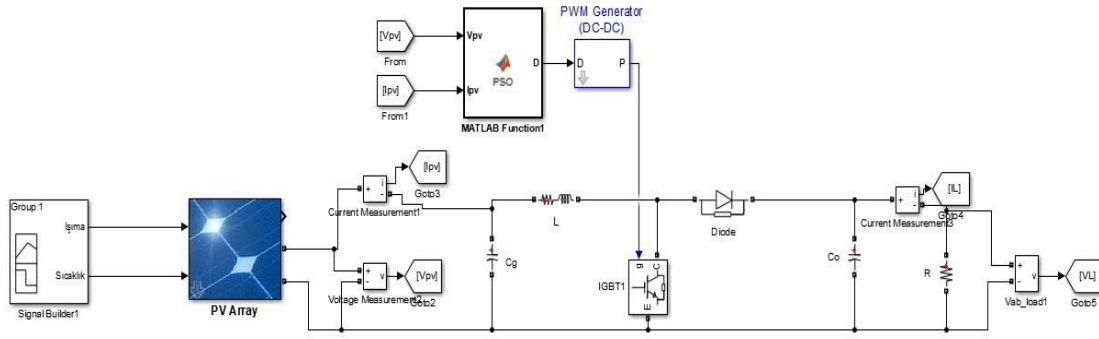


Şekil 8. PSO akış şeması

Genel olarak MGNT algoritmalarındaki asıl amaç maksimum güç noktasını bulmaktır. PSO algoritmasında giriş olarak güneş panelinin akım ve değerleri alınır. Alınan bu değerlerin çarpımıyla panelin gücü elde edilir. Elde edilen güç değeri ile bir önceki güç değeri arasındaki farka göre PSO MGNT algoritmasında belirlenen referansa göre görev oranı değeri, iterasyon sayısına göre tekrar güncellenir. Sistem içerisinde parçacıkların global ve yerel büyüklerinde elde edilen en yüksek güç, sistemin maksimum güç noktasının o parçacığın yeri olduğunu göstermektedir. Arttırıcı dönüştürücü için PSO MGNT algoritmasından görev oranı çıkışı alınır ve yük üzerine istenen gerilim ve akım değeri alınır (Mahapatra et al. (2019); Shi et al. (2015); Gümüş et al. (2021)).

## 7. Benzetim Sonuçları

Bu çalışmada değişken ışımaya değerlerine göre D&G, Artan İletkenlik ve PSO MGNT algoritmalarıyla maksimum güç noktası takibi yapılmıştır. Sistemde panel gücü ve yük üzerinden alınan güç değerleri, değişken ışımaya değerlerinde incelenmiştir. Panel ve çıkış gücünden yararlanarak D&G, Artan İletkenlik ve PSO MGNT algoritmaları, maksimum güç ulaşım süresi ve maksimum güç noktasını takibi açısından karşılaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sistem tasarımı MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Sistemin MATLAB/Simulink devre şeması Şekil 9' da verilmiştir.



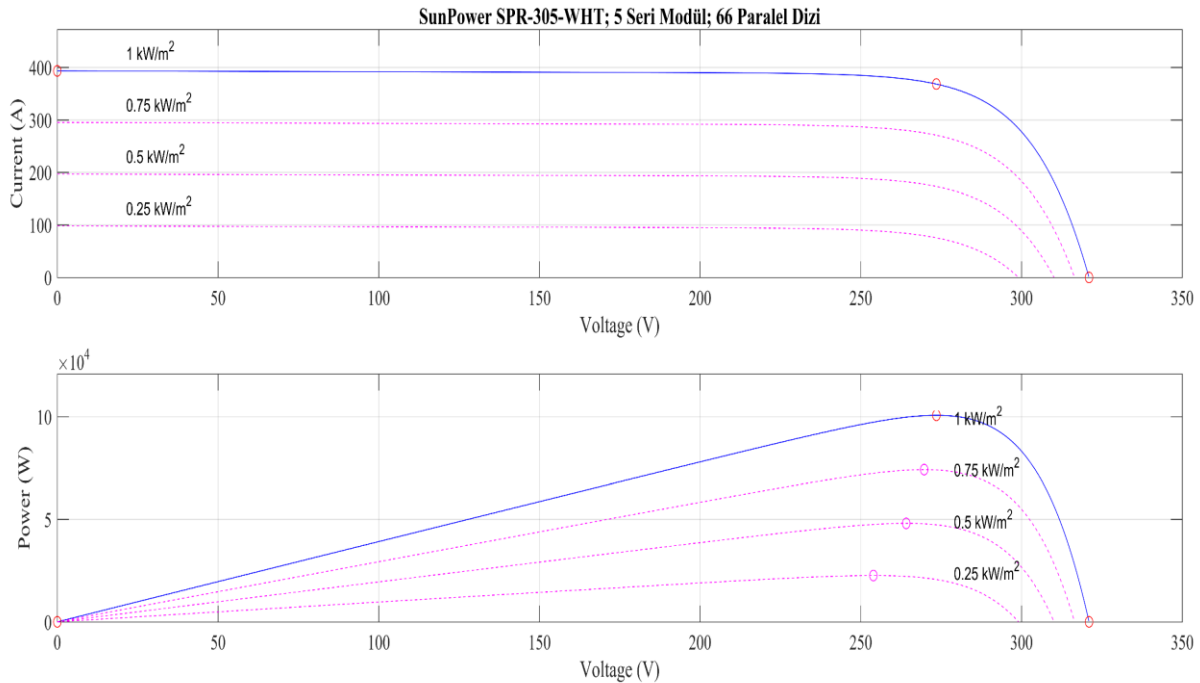
Şekil 9. Sistemin MATLAB/Simulink Devre Şeması

Güneş paneli tasarımı 5 adet seri ve 66 adet paralel modülün birbirine bağlantısı ile gerçekleştirilerek elde edilmiştir. Panel parametreleri 1 modül için Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Sun Power SPR-205-WHT Güneş Panelinin Modül Başına Parametreleri

Parametre Adı	Sembol Adı	Değeri	Birimi
Maksimum Güç	$P_{maks}$	96	Watt (W)
Açık Devre Gerilimi	$V_{oc}$	64.2	Volt (V)
Maksimum Güçteki Gerilim	$V_{mp}$	54.7	Volt (V)
Kısa Devre Akımı	$I_{sc}$	5.96	Amper (A)
Maksimum Güçteki Akım	$I_{mp}$	5.58	Amper (A)

Güneş panelinin sabit sıcaklıkta, değişken ışınım değerlerine maksimum güç noktası, akım ve gerilim eğrisi Şekil 10’da gösterilmiştir.



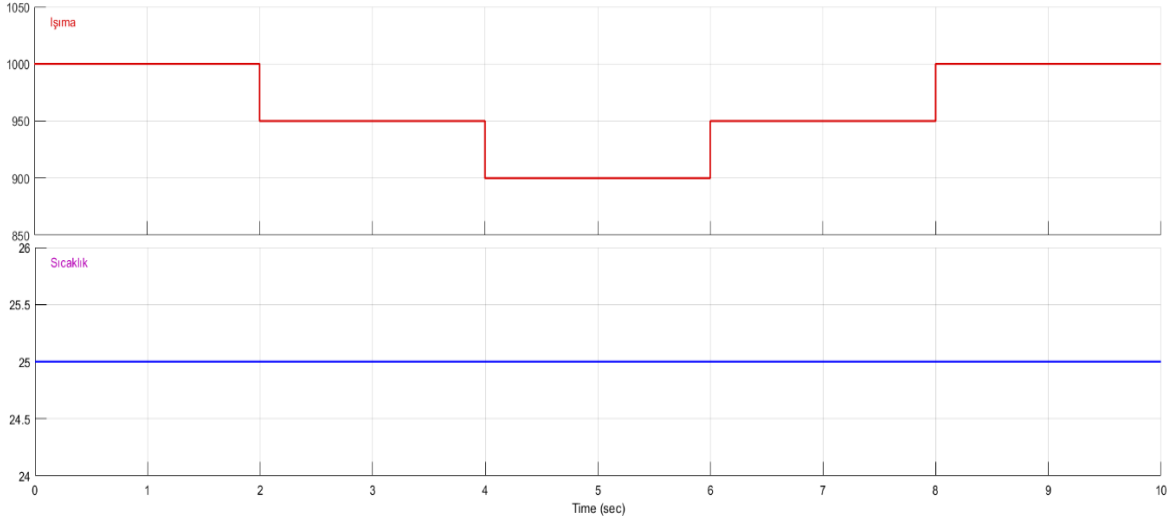
Şekil 10. Güneş panelinin sabit sıcaklıkta, değişken ışınım değerlerine maksimum güç noktası, akım ve gerilim eğrisi

Sistem içerisindeki kısmi gölgelendirmelerin test edilebilmesi ve çıkıştaki yük üzerinde kararlı güç değeri elde edilmesi açısından güneş paneli ile yük arasında arttıran DA dönüştürücü güç elektroniği devre yapısı kullanılmıştır. Arttıran dönüştürücünün devre parametreleri ve anahtarlama frekansı Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2** Arttıran Dönüştürücü Devre Parametreleri

Parametre Adı	Sembol Adı	Değeri	Birimi
Bobin	L	5	Milihenry (mH)
Giriş Kondansatörü	C <sub>in</sub>	100	Mikrofarad (uF)
Çıkış Kondansatörü	C <sub>o</sub>	12	Milifarad (mF)
Yük	R	3	Ohm
Anahtarlama Frekansı	f <sub>s</sub>	5000	Hz

Güneş paneline 2 saniye aralıklarla değişken olarak uygulanan ışıma ve sabit 25 oC sıcaklık değerleri Şekil 11’de gösterilmiştir.

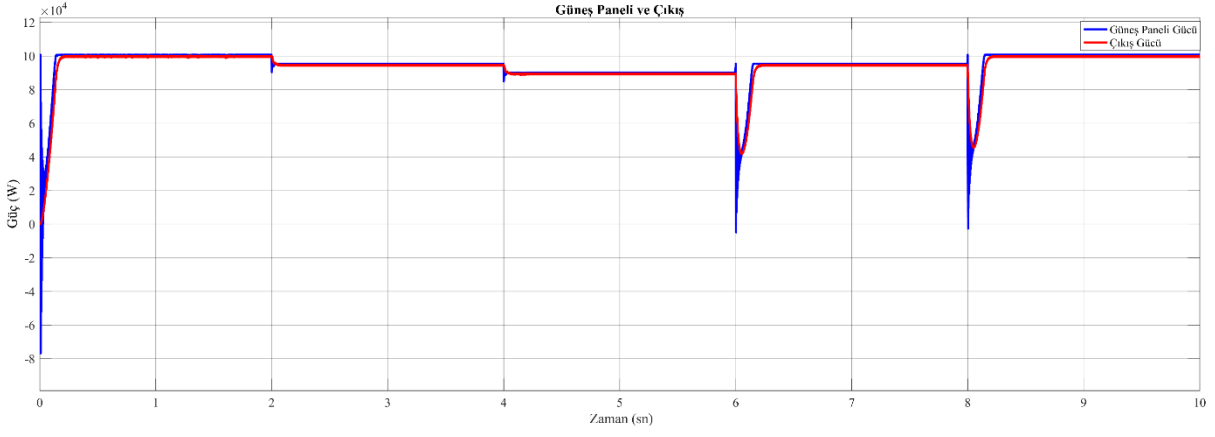
**Şekil 11.** Güneş paneline uygulanan ışıma ve sıcaklık değerleri

Bu çalışmada kullanılan D&G , Artan İletkenlik ve PSO MGNT algoritmaları tasarımında değişken ışıma değerlerinde çıkış güçleri elde edilmiştir. PSO parametreleri Tablo 3’te verilmiştir.

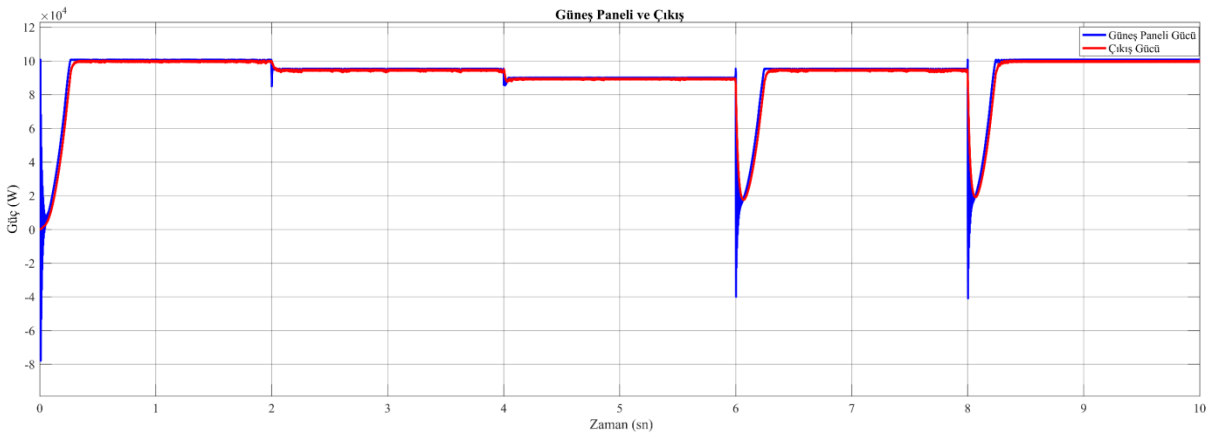
**Tablo 3.** PSO MGNT algoritması parametreleri

Ağırlık (w)	<b>0.11</b>
c1=c2	0.9

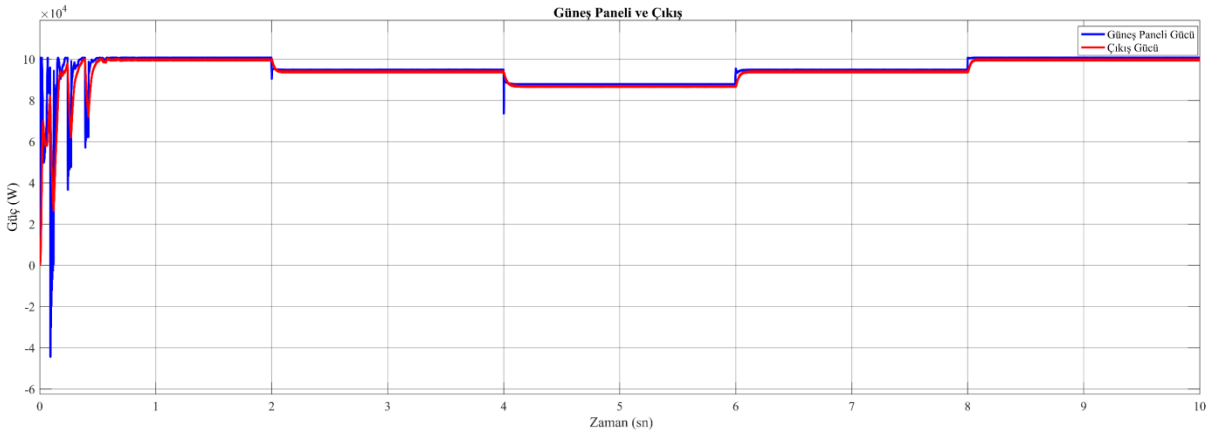
Gözle ve değiştir, Artan İletkenlik ve PSO MGNT algoritmalarının panel ve yük üzerindeki güç Şekil 12’de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

**Şekil 12. a) Değişir ve Gözle b) Artan İletkenlik c) PSO MGNT Algoritmaları Güneş Paneli ve Çıkış Gücü**

## 8. Sonuç ve Tartışma

Yapılan makale çalışmasında güneş panellerinde değişken ışımaya değerlerinde maksimum güç noktası değerlerine en yakın değerde sonuç elde etmek için MATLAB/Simulink ortamında D&G, artan iletkenlik, PSO ile MGNT algoritmaları ile benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmaları sonucunda D&G MGNT algoritması Artan İletkenlik ve PSO MGNT algoritmalarına göre

maksimum güç noktasında salınım değerlerinin fazla olduğu gözlemlenmiştir. Artan İletkenlik MGNT algoritmasında değişken ışınım değerlerinde maksimum güç noktası değerine ulaşım süresi ve güçteki genlik değişiminin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Parçacık sürü optimizasyonu, sistemin ilk çalışma anında maksimum güç noktasına ulaşmasında diğer algoritmalara göre yavaş takip süresi gerçekleştirmiş olsa bile, maksimum güç noktasında salınım değerleri ve ışınım değişimlerine daha stabil ve kararlı tepki verdiği gözlemlenmiştir.

## Referanslar

Darwesh, M. R., & Ghoname, M. S. (2021). Experimental studies on the contribution of solar energy as a source for heating biogas digestion units. *Energy Reports*, 7, 1657-1671.

Divyasharon, R., Banu, R. N., & Devaraj, D. (2019). Artificial neural network based MPPT with CUK converter topology for PV systems under varying climatic conditions. In 2019 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS) (pp. 1-6). IEEE.

Doubabi, H., Salhi, I., Chennani, M., & Essounbouli, N. (2021). High Performance MPPT based on TS Fuzzy–integral backstepping control for PV system under rapid varying irradiance—Experimental validation. *ISA transactions*.

Fathi, M., & Parian, J. A. (2021). Intelligent MPPT for photovoltaic panels using a novel fuzzy logic and artificial neural networks based on evolutionary algorithms. *Energy Reports*, 7, 1338-1348.

Gümüş, Z., & Demirtaş, M. (2021). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibinde Kullanılan Algoritmaların Kısmi Gözleme Koşulları Altında Karşılaştırılması. *Politeknik Dergisi*, 1-1.

Güngör, O. (2019). Güneş Panellerinde Cuk Dönüştürücü Tabanlı Değişken Şartlar Altında PNO, BM ve YSA Algoritmalarının Karşılaştırmalı Performans Analizi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 66-76.

Hamidon, F. Z., Aziz, P. A., & Yunus, N. M. (2012). Photovoltaic array modelling with P&O MPPT algorithm in MATLAB. In 2012 International Conference on Statistics in Science, Business and Engineering (ICSSBE) (pp. 1-5). IEEE.

Harrag, A., Messalti, S., & Daili, Y. (2019). Innovative single sensor neural network PV MPPT. In 2019 6th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT) (pp. 1895-1899). IEEE.

Keskin, Y. E., Başoğlu, M. E., Tekdemir, İ. G., & Çakır, B. (2014). Fotovoltaik Sistemlerde D&G ve Artan İletkenlik Algoritmalarının Karşılaştırılması Comparison of P&O and Incremental Conductance Algorithms for Photovoltaic Systems.

Kollimalla, S. K., & Mishra, M. K. (2013). Novel adaptive P&O MPPT algorithm for photovoltaic system considering sudden changes in weather condition. In 2013 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP) (pp. 653-658). IEEE.

Kumar, V., Ghosh, S., Naidu, N. S., Kamal, S., Saket, R. K., & Nagar, S. K. (2021). Load voltage-based MPPT technique for standalone PV systems using adaptive step. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 128, 106732.

Laxman, B., Annamraju, A., & Srikanth, N. V. (2021). A grey wolf optimized fuzzy logic based MPPT for shaded solar photovoltaic systems in microgrids. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(18), 10653-10665.

Mahapatra, S., Badi, M., & Raj, S. (2019). Implementation of PSO, it's variants and Hybrid GWO-PSO for improving Reactive Power Planning. In 2019 Global Conference for Advancement in Technology (GCAT) (pp. 1-6). IEEE.

Nazir, M. S., Abdalla, A. N., Wang, Y., Chu, Z., Jie, J., Tian, P., ... & Tang, Y. (2020). Optimization configuration of energy storage capacity based on the microgrid reliable output power. *Journal of Energy Storage*, 32, 101866.

Patel, A., & Tiwari, H. (2017). Implementation of INC-PIMPPT and its comparison with INC MPPT by direct duty cycle control for solar photovoltaics employing zeta converter. In 2017 International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control (ICICIC) (pp. 1-6). IEEE.

Pradhan, A., & Panda, B. (2018). A simplified design and modeling of boost converter for photovoltaic sytem. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 8(1), 141.

Selmi, T., Abdul-Niby, M., Devis, L., & Davis, A. (2014). P&O mppt implementation using matlab/simulink. In 2014 Ninth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER) (pp. 1-4). IEEE.



- Sharif, A., Meo, M. S., Chowdhury, M. A. F., & Sohag, K. (2021). Role of solar energy in reducing ecological footprints: An empirical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126028.
- Sher, H. A., Murtaza, A. F., Noman, A., Addoweesh, K. E., Al-Haddad, K., & Chiaberge, M. (2015). A new sensorless hybrid MPPT algorithm based on fractional short-circuit current measurement and P&O MPPT. *IEEE Transactions on sustainable energy*, 6(4), 1426-1434.
- Shi, J., Zhang, W., Zhang, Y., Xue, F., & Yang, T. (2015). MPPT for PV systems based on a dormant PSO algorithm. *Electric Power Systems Research*, 123, 100-107.
- Toylan, H., & HÜNER, E. (2017). Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım (ANFIS) Tabanlı Güneş Takip Sistemi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 546-554.
- Turgay, K. A. Y. A., & GÜLER, H. (2016) Güneş Takip Sistemlerinde Maksimum Çıkış Gerilimi için Bulanık-Genetik Algoritma Tabanlı Sistem Tasarımı. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(2), 99-108.
- Yıldızay, H. D., Haydar, A. R. A. S., & YILMAZ, V. (2014). Eskişehir’de rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 5(1), 49-58.
- Zafar, M. H., Khan, N. M., Mirza, A. F., Mansoor, M., Akhtar, N., Qadir, M. U., ... & Moosavi, S. K. R. (2021). A novel meta-heuristic optimization algorithm based MPPT control technique for PV systems under complex partial shading condition. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101367.



## Akıllı Şebekelerde Müdahaleci Olmayan Cihaz Yükü İzleme Yöntemi Ve Talep Tarafı Yönetimi İçin Veri Toplama Cihazı Oluşturma

### Creating Data Collection Device For Non-Intrusive Device Load Monitoring Method And Demand Side Management In Smart Grids

Ramazan Güngüneş<sup>1</sup> , Ertuğrul Çam<sup>1</sup> , Volkan Ateş<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale MYO, Elektrik Programı, Kırıkkale, Türkiye

<sup>2</sup>Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye

<sup>3</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale, Türkiye

Başvuru/Received: 04/10/2021

Kabul / Accepted: 20/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

#### Öz

Elektrik enerjisine olan talebin sürekli artması, elektrik enerjisi kullanımının haneden haneye ve kullanılan cihaz türüne göre farklılık göstermesi tüketim miktarının izlenmesi gerekliliğini daha da arttırmıştır. Son kullanıcının kullanım alışkanlıklarının değiştirilmeden, tüketim konusunda maddi faydalar sağlayacak düzenlemelerin yapılması ve tüketiciyi bilinçli kullanıma sevk edecek alternatif çözümler sunulması önemli bir konudur. Bu alternatif çözümler içerisinde tüketim miktarlarının ayrıntılı olarak raporlanması ve farklı tarife geçişlerine yönlendirmesi gibi önermeler bulunabilir. Yapılan çalışmada üretilen optik portlu bir veri toplama cihazı ile mevcut elektronik elektrik sayacı üzerine bağlanan bir cihaz yardımı ile konut ve endüstri tüketicilerinin anlık elektrik tüketim verileri merkezi haberleşme cihazı adı verilen bir cihaz üzerinde toplanmaktadır. Toplanan veriler hem cihaz üzerinde bulunan bir hafıza kartında hem de web server ile ilişkilendirilerek bir uzak sunucuda depolanmaktadır. Bu sayede müdahalesiz cihaz yükü izleme tekniği ile gerçekleştirilecek yapay zeka temelli ayrıştırma yöntemleri için bir veri seti cihazı oluşturulmuştur. Aynı zamanda yapılan çalışmada geliştirilen bir HMI ekran ile son tüketicinin de enerji tüketim miktarını anlık olarak takip etmesi sağlanmış bu şekilde tüketim kontrolü ve tüketici katılımlı talep tarafı yönetimli sistemlere temel oluşturacak bir yapıya da zemin hazırlanmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

“Müdahalesiz Cihaz Yükü İzleme, Talep Tarafı Yönetimi, Akıllı Sayaçlar, Akıllı Şebeke, IOT Cihazlar”

#### Abstract

The continuous increase in the demand for electrical energy, the fact that the use of electrical energy differs from household to household and the type of device used has increased the necessity of monitoring the amount of consumption. It is an important issue to make arrangements that will provide financial benefits in consumption without changing the usage habits of the end user and to offer alternative solutions that will lead the consumer to conscious use. Among these alternative solutions, there may be suggestions such as detailed reporting of consumption amounts and directing them to different tariff transitions. With the help of a data collection device with an optical port and a device connected to the existing electronic electricity meter, the instantaneous electricity consumption data of residential and industrial consumers are collected on a device called a central communication device. The collected data is stored both on a memory card on the device and on a remote server by being associated with the web server. In this way, a data set device was created for artificial intelligence-based decomposition methods to be performed with the non-invasive device load monitoring technique. At the same time, with an HMI screen developed in the study, it is ensured that the end consumer can monitor the amount of energy consumption instantly, and in this way, the ground has been prepared for a structure that will form the basis for consumption control and demand-side management systems with consumer participation.

#### Key Words

“Non-Intrusive Load Monitoring, Demand Side Management, Smart Meter, Smart Grid, IOT Devices”

## 1. Giriş

Küresel ısınma, hava ve su kirliliği, asit yağmurları gibi doğal çevreyi etkileyen olayların en büyük etkileri enerji ile ilgilidir. Geçtiğimiz on yıl içerisinde enerji fiyatlarının makul düzeyde olması, ülkelerin ekonomisindeki büyümede negatif bir etki yaratmamıştır. Nüfus artışı ve teknolojik gelişmelerle birlikte, yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarındaki fiyat artışı enerji arz ve talebi konusunu önemli bir duruma gelmesine sebep olmuştur (Kamat, 2007).

20. yüzyılda nüfus dört katına çıkmış, bu artışa paralel olarak enerjiye olan talep ise on altı kat artmıştır (Bartlett, 1986; Weisz, 2004). Enerjiye olan talebin sürekli artması ile birlikte 21. Yüzyılda dağıtım sistemleri ihtiyaçlara tam anlamıyla cevap verememektedir (Yenilmez, 2016). Dağıtım sistemlerinin bu eksikliklerinin başında tek yönlü iletişimden dolayı tüketici yükünün tam anlamıyla izlenememesi de yer almaktadır (Yenilmez, 2016).

Elektrik enerji sistemlerinin planlanmasında da gerekli olan yük tahmini işlemlerinin yapılabilmesi, üretim ve dağıtım işlemlerinin ekonomik bir şekilde gerçekleştirilmesi, işletme durumlarının iyileştirilmesi, enerji sisteminin tam anlamıyla kontrol edilmesi ve enerji fiyatlandırmasının daha sağlıklı yapılabilmesi için yükün daha hassas analiz edilmesi de oldukça önemlidir (Edebal et al., 2012). Aynı zamanda enerji tasarrufu için ev enerji yönetimi ve tüketiminin izlenmesi gerekliliği de önem kazanmıştır.

Akıllı şebekelerde karşılaşılan birçok sorunun çözümünde çeşitli hesaplama yöntemleri kullanılmakla birlikte Talep Tarafı Yönetimi (DSM, Demand Side Management) en fazla uygulanan çalışma yöntemlerinden biridir (Baloğlu, 2017). Talep Tarafı Yönetimi, tepe yükünün olduğu zamanı diğer zamanlara kaydırma işlemi olan yük kaydırma, en düşük yük ile en yüksek yük değerleri arasındaki farkı minimize etmeyi amaçlayan yük traşlama ve vadi doldurma gibi birtakım teknikler kullanarak tepe yük değerinin düşürmeyi hedeflemektedir (Baloğlu, 2017; Kothari & Nagrath, 2003).

Müdahaleli cihaz yükü izleme yaklaşımında bir elektrik dağıtım şirketinin müşterilerinin evlerindeki bireysel cihazların enerji kullanım dökümünü her bir cihaz kapsamında ayrıştırması için ya şirket bazında cihaz başı sensör monte etmesi ya da abonelerin bu sensörleri satın alarak cihazlara adapte etmesi gerekecektir. Bu şekilde cihaz başı sensör ilavesi hem ekonomik bakımdan hem de işletme bakımından pratik olmayacaktır (Mueller et al., 2014).

Tüm bu yaklaşımlarda da görüldüğü üzere tüketici yükünün izlenmesinin büyük bir önemi bulunmaktadır. Bu izleme yönteminde her bir cihaza bağlanan ayrı ayrı sensörler ile müdahaleci yük izleme yapmak yerine, müdahalesiz cihaz yükü izleme ile daha az sensör kullanarak daha düşük maliyetlerle yük verileri ayrıştırılabilmektedir (Esa et al., 2016).

Müdahalesiz cihaz yükü izleme yöntemleri tümleşik bir elektrik sisteminde bireysel olarak her bir cihazın enerji kullanımına olan etkisini belirlemek için kullanılmaktadır (Mueller et al., 2014). Tam olarak yapılmış bir NIALM yöntemi tümleşik bir yük eğrisi profili üzerinden anlık olarak aktif olan her bir cihazın için doğru bir şekilde tahmin edilmesini sağlar (Mueller et al., 2014).

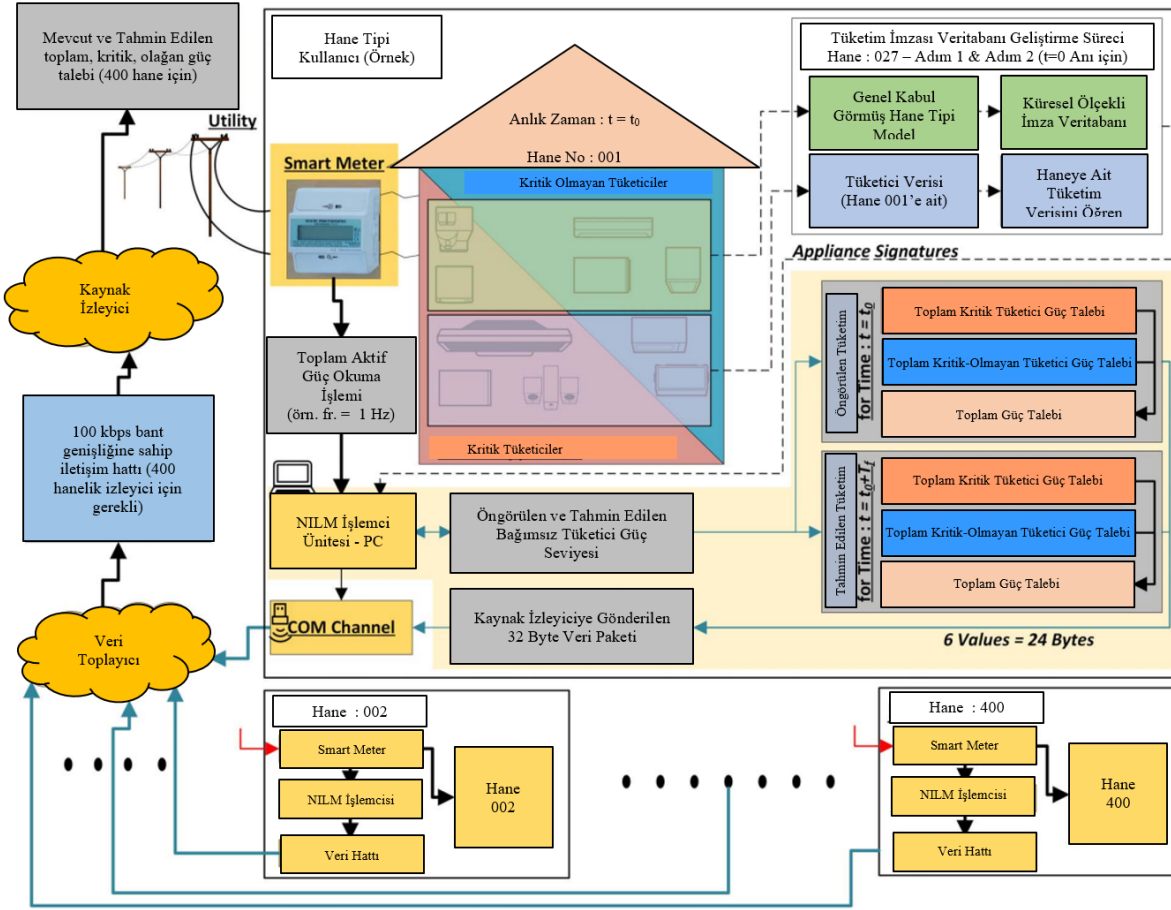
## 2. Müdahalesiz Cihaz Yükü İzleme (NIALM) Yöntemi

### 2.1. NIALM Yönteminin Tanımı Ve Güç Ayrıştırması

NIALM çözümlerinin ilk uygulamaları 1980'li yıllar da başlamıştır (Mueller et al., 2014). Yapılan ilk çalışmalarda kullanılan yöntemde cihazların mevcut yük özelliklerine göre bir sınıflandırma yapılmıştır (Sultanem, 1991). Cihaz tespiti, yüklerin saf omik özellik göstermesi, endüktif özellik gösteren güç elektroniği elemanlarından oluşması ve floresan ışıklar için yapılan özel bir sınıflandırma içerisinde olması durumları varsayımı göz önünde bulundurularak tahmin edilmeye çalışılmıştır (Sultanem, 1991). Bu yöntem ile yapılan ayrıştırma cihazların geçici başlangıç gücünün bilinmesi ve cihaz içerisinde kullanılan elektronik devrelere ait matematiksel fonksiyonlar ile belirlenen harmonik akımlar üzerinde yapılan analizler ile gerçekleştirilmektedir (Mueller et al., 2014).

NIALM için yapılan bir başka çalışmada (Hart, 1992) cihaz modelleme üzerine farklı bir yaklaşım getirilmiştir. Bu yaklaşımda, sadece açma ve kapama karakteristiğine sahip olan cihazlar, değişken durum özelliğine sahip olan cihazlar (Finite State Machine, FSM), sürekli aktif cihazlar ve sürekli değişken yük özelliğine sahip cihazlardan oluşan (Hart, 1992) dört temel yük üzerinde durulmaktadır. Ampüller veya mikrodalga fırınların yalnızca açma ve kapama durumlarında buldukları, değişken durumlu cihazların birden fazla durumu ve geçişinin olduğu, sürekli aktif cihazların her zaman çalışır durumda oldukları ve nominal düzeyde sabit bir güç kullandıkları ve sürekli değişken güç kullanan cihazların ise maksimum güç aralığında değişen zaman üzerinde herhangi bir güç değerinde olabileceği bilinmektedir (Mueller et al., 2014).

NIALM genel olarak bir bilinmeyen kaynak ayırma (Blind Source Separation-BSS) problemi olarak sınıflandırılabilir (Nalmpantis & Vrakas, 2019). Özel sensörlerle veya akıllı sayaçlarla toplam güç tüketimi üzerinden tek kanallı aşırı tamamlanmış bilinmeyen kaynak ayırma olarak ta belirtilebilmektedir (Nalmpantis & Vrakas, 2019). Aktif güç tüketiminin analiz edilmesinde, akıllı sayaç hattan geçen toplam akım ile sabit gerilim değerini çarparak toplam güç tüketimi hesaplar (Nalmpantis & Vrakas, 2019). Reaktif güç tüketiminin hesaplanması için ise akım ve gerilim arasındaki faz farkının bulunabilmesi için örnekler alınır (Nalmpantis & Vrakas, 2019). Örnekleme, akım, gerilim ve faz açısının hesaplanması sebebi ile daha doğru sonuçlar vermektedir (Nalmpantis & Vrakas, 2019). Şekil 1'de akıllı sayaçlar üzerinden alınan toplam güç verilerinin toplanması, ayrıştırılması işleminde kullanılacak verilerin veri tabanına gönderilmesi ve NIALM işleme ve analizinin yapıldığı sistem modeli gösterilmiştir.



Şekil 1. NIALM Sistem Modeli (Welikala et al. 2019)

Şekil 1’ de gösterilen NIALM modellemesi için tanımlanmış bir yük profili genel olarak Müdahalesiz Cihaz Yükü İzleme probleminin çözümü için toplam güç ölçümü denklem (1) deki gibi tanımlanabilir (Harell et al., 2019).

Denklemden  $s(t)$ ,  $t$  zamanında ölçülen toplam güç sinyali,  $s_k(t)$   $k$ ’inci cihazın güç seviyesi ve  $n(t)$  ise gürültüdür. Burada amaç  $s(t)$ ’den  $s_k(t)$ ,  $k=1,2,3,\dots,K$  ‘yi tahmin etmektir.

$$s(t) = \sum_{k=1}^K s_k(t) + n(t) \quad (1)$$

NILM problemlerinin çözümünde ya aktif güç-gerçek güç veya akım ölçümleri göz önüne alınarak bir sınıflandırma yapılır ya da tüketilen toplam güç üzerinden bir regrasyona tabi tutulur (Harell et al., 2019). Dağıtım şirketleri genellikle aktif güç (P) ve reaktif güç (Q) ile ilgilenirler. Aktif güç ve reaktif güç denklem (2)’ de olduğu gibi gösterilebilir (Harell et al., 2019). Denklemden “V” gerilim, “I” akım, “ $\theta$ ” ise akım ile gerilim arasındaki faz açısıdır.

$$S = V \cdot I, \quad P = S \cdot \cos(\theta), \quad Q = S \cdot \sin(\theta) \quad (2)$$

Ayrıştırılmış verilerin gerçek zamanlı olarak kullanıcılara sunulmasına izin verdiği için NIALM’de nedenselliğin korunması önemlidir. Bu, özellikle, kullanıcının gücün pahalı olduğu bir zamanda yüksek enerjili bir cihazı açabileceği dinamik olarak fiyatlandırılmış bir güç şebekesinde geçerlidir. Gerçek zamanlı bir bildirim verilirse, kullanıcı görevi daha sonra ertelemeyi seçebilir, paradan tasarruf edebilir ve yoğun saatte ağ üzerindeki yükü azaltabilir (Harell et al., 2019).

## 2.2. NIALM Yönteminin Kapsamı

1992 yılında Hart (Hart, 1992) tarafından önerilen müdahaleci olmayan yükü izleme (NILM), elektrik sayaçlarında bulunan toplam güç üzerinden yük profilinin izlenmesi ve kullanılan cihazların tüketim eğrilerinin analiz edilerek toplam yük profilinin her bir elektrikli cihaz için ayrıştırılması esasına dayanmaktadır (Nalmpantis & Vrakas, 2019). C. Nalmpantis ve D. Vrakas yaptıkları çalışmada müdahaleci olmayan yük izleme yöntemini modern yaklaşımlar kullanarak karşılaştırmışlardır (Nalmpantis & Vrakas, 2019). M. Zeifman, S. Member ve K. Roth yaptıkları çalışmada ev tüketicilerinin enerji yönetimi ile birlikte büyük ölçüde enerji tasarrufu sağladığını ortaya koymuştur (Zeifman et al., 2011).

A. Zoha ve arkadaşları enerji tasarrufu için evdeki split bir klima ünitesi ve buzdolabının güç tüketimini ölçmek için ana güç dağıtım panosuna kurulu bir cihazdan 3 noktalı ve 1 Hz'lik örneklemelerle güç sinyalindeki değişimleri tespit ettikleri verileri kullanarak güç tüketim verilerini ayırtırmayı esas alan bir algoritma önerisinde bulunmuşlardır (Zoha et al., 2012). Y. F. Wong ve arkadaşları konutlarda NILM teknikleri üzerine genel bir derleme çalışması ile son kullanıcının elde ettiği enerji bilgisi ile enerji tasarrufuna sağladığı katkıyı incelemiştir (Wong et al., 2013).

S. M. Tabatabaei ve arkadaşları talep tarafı yönetiminin önemini anlatarak üretim kaynaklarının daha verimli kullanılabilmesine dikkat çekerek, geleneksel tek etiketli sınıflandırma algoritmalarının aksine daha karmaşık olan çok etiketli sınıflandırma algoritmalarının kullanılması ile hem zaman hem de dalgacık etkilerinin ele alındığı özellik kümelerinin kullanılmasına dayalı çok etiketli meta sınıflandırma sistemi (RANdom k-labELsets, RAKEL) ve ayrılmış çok etiketli sınıflandırma algoritmasını (Multi-Label k-Nearest Neighbor, MLkNN) incelemiştir (Tabatabaei et al., 2016).

R. S. Butner ve arkadaşları NILM üzerine yaptığı çalışmada, Pasifik Kuzeybatı Ulusal Laboratuvarı (Pacific Northwest National Laboratory, PNNL) ve Kuzeybatı Enerji Verimliliği İttifakı (Northwest Energy Efficiency Alliance, NEEA) ortaklığı tarafından yük ayrıştırılmasında kullanılan ölçüm cihazlarının laboratuvar ortamında test edilmesi ile ilgili yaptığı test protokollerinin uygulamadaki doğruluğunu değerlendirmiştir (Butner et al., 2013).

S. Biansoongnorn ve B. Plungklang yaptıkları çalışmada herhangi bir aleti doğrudan monte etmeden split klima enerjisini %90.71 ve buzdolabının güç tüketimini de %89.95 oranında Müdahalesiz Yük İzleme Yöntemleri ile ayırtmışlardır (Biansoongnorn & Plungklang, 2016). S. Djordjevic ve M. Simic yaptıkları çalışmada doğrusal olmayan elektrikli cihazların kararlı durum akımının harmonik analizine dayanarak elektrikli cihazların yük durumlarının belirlenmesini araştırmışlardır. S. Djordjevic ve M. Simic yaptıkları bu çalışmada mevcut harmonik tabanlı NILM yöntemlerinin karmaşıklıklarının cihaz sayısına bağlı olarak artması nedeni ile sınırlı uygulamada kullanılabilmesine karşın mevcut harmonik fazörlerin basamak değişikliklerinin cihaz tespitinde ayırt edici bir özellik olarak kullanılabilmesini önermişlerdir. Önerilen yöntem, tüm cihazlar için toplam yük üzerinden bir kombinasyon yerine her bir cihazın yük karakteristikleri üzerinden ayrıştırma yapılması prensibine dayanmaktadır (Djordjevic & Simic, 2018).

N. F. Esa ve arkadaşları yaptıkları ayrıştırma yöntemi ile toplam güç yükünden tek bir cihaz için yük verilerine ulaşmışlardır (Esa et al., 2016). A. Harell, S. Makonin, ve I. V. Bajic derin sinir ağlarının NILM problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılmasına rağmen çoğu problemin nedensel olmaması ve bu durumun da gerçek zamanlı uygulamalar için önemli olduğunu vurgulayarak NIALM veri kümesinde bulunan karmaşık güç sinyalinin akım, aktif güç, reaktif güç ve görünür güç bileşenlerinin tamamının kullanılmasından ziyade düşük frekanslı yükler için tek boyutlu konvolüsyonel sinir ağlarını kullanarak daha hızlı ve daha tutarlı sonuçlar bulduklarını belirtmişlerdir (Harell et al., 2019).

J. Kelly ve W. Knottenbelt ilk olarak NIALM üzerinde derin öğrenme tabanlı yaklaşımı sunmuştur (Kelly & Knottenbelt, 2015). Bu çalışmada uzun-kısa süreli bellek tekrarına dayalı bir sinir ağı modeli (LSTM), gürültü giderici otoenkoder (dAE) ve her cihaz aktivasyonunun başlangıç zamanını, bitiş zamanını ve ortalama güç talebini azaltan bir ağ yapısını enerjinin ayrıştırılmasında kullanmıştır (Kelly & Knottenbelt, 2015). En çok kullanılan enerji ayrıştırma algoritmaları derin sinir ağlarına dayanan Gizli Markov Modeli (HMM) tabanlı çözümlerlerdir (Nalmpantis & Vrakas, 2019).

Son zamanlarda kullanım olarak artan cihaz sayısı ve benzer güç tüketim modeline sahip cihazların çoğalması güç ayrıştırılmasında problemlere sebep olmaktadır (J. Kim et al., 2017). J. Kim, T.-T.-H. Le, ve H. Kim bu problemlere çözüm aramak için uzun-kısa süreli bellek tekrarlayan sinir ağı (LSTM-RNN) ve ek gelişmiş derin öğrenmeye dayanan enerji ayrıştırma yöntemi önermiştir (J. Kim et al., 2017). M. Valenti ve arkadaşları yaptığı çalışmada NIALM problemini bir gürültü giderici problem olarak formüle etmiş ve her bir cihazın aktif gücünü tahmin etmek için gürültü giderici otoenkoder (dAE) sinir mimarisini kullanmıştır (Valenti et al., 2018).

H. Rafiq ve arkadaşları LSTM ve geçit tekrarlayan durum (GRU) sinir ağını NIALM üzerinde uygulamış ve performans değerlendirmesi yapmışlardır (Rafiq et al., 2018). Çalışmada düzenli LSTM modelinin daha iyi sonuç verdiğini test etmişlerdir (Rafiq et al., 2018). S. Makonin ve arkadaşları süper durum gizli Markov modeli ve yeni Viterbi algoritma varyansı kullanarak, seyrek Viterbi algoritması olarak çok sayıda süper durumla seyrek matrisleri hesaplayıp yükleri ayrıştırabilen yeni bir algoritma önermişlerdir (Makonin et al., 2015).

R. Machlev ve arkadaşları Modifiye Cross-Entropy yöntemi ismini verdikleri bir yöntemle aktif gücün düşük oranlı örneklemesini kullanarak gerçek zamanlı karar vermeye dayalı bir algoritma sunmuşlardır (Machlev et al., 2018). M. Z. A. Bhotto ve arkadaşları doğrusal destekli tamsayı programlamaya dayalı yük ayrıştırma önerisi ile IP tabanlı ayrıştırmanın performansı önemli ölçüde arttırdığını önermiştir (Bhotto et al., 2016). F. M. Wittmann ve arkadaşları, doğrusal programlamaya dayalı yaptığı müdahaleye gerek olmayan yük ayrıştırma üzerine yaptığı çalışmada her bir cihazın tüketimlerini toplam güç ölçümünden ayırırken ortaya çıkan çoklu anahtarlama sorunuyla ilgilenmiştir (Wittmann et al., 2018).

Akıllı sayaçların birçok ülkede kullanılması ile birlikte NIALM üzerine yapılan araştırmalar sürekli artmaktadır (Batra et al., 2014). Fakat kullanılan veri kümelerinin ve doğruluk metriklerinin çeşitliliği ile birlikte kullanılan algoritmaların referans uygulamalarının

olmamasından dolayı N.Batra ve arkadaşları (Batra et al., 2014) müdahaleci olmayan yük izleme araç setini (NILMTK) önermiştir (Batra et al., 2014). C. Beckel ve arkadaşları NIALM algoritmaları için standart bir değerlendirme prosedürünün ve kapsamlı bir elektrik tüketimi veri setinin yeterli olmaması sebebi ile NIALM algoritmalarının tasarım alanının temel boyutlarını ana hatlarıyla belirleyen, NIALM algoritmalarının performansını değerlendiren ve farklı veri kümeleri ve parametre konfigürasyonlarını kullanan bir veri seti üzerinde çalışmıştır (Beckel et al., 2014).

Kim, ve arkadaşları faktöriyel gizli markov modelinin varyantlarını düşürerek oluşturdukları koşullu faktöriyel gizli yarı Markov modelinin diğer müdahalesiz yük ayrıştırma yöntemlerinden daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir (H. Kim et al., 2011). O. Parson ve arkadaşları mevcut bir cihaz verilerinin bulunduğu denetimli öğrenme sürecinde elde edilen veri kümesini kullanarak toplam güç üzerinde denetimsiz yüklerin ayrıştırılmasını incelemiştir (Parson et al., 2014). J. Z. Kolter ve T. Jaakkola yaptığı araştırmada katkılı faktöriyel gizli Markov modelinin çok güçlü sonuçlar vermesine rağmen doğru çıkarım yapmadaki güçlüklerinden bahsederek cihaz özellikleri bilinen bir denetimli izleme temelinde fark sinyalleri, toplam güç sinyali ve cihazların toplam güç üzerindeki etkilerini ele almıştır (Kolter & Jaakkola, 2012).

M. J. Johnson ve A. S. Willsky bayes olmayan bir ortamda geliştirilen açık süreli yarı Markov modellemesini kullanarak Hiyerarşik Dirichlet Süreci Gizli Yarı Markov Modeli (HDP-HSMM) ile doğru çıkarımlar için örnekleme algoritmaları üzerinde araştırmalar yapmıştır (Johnson & Willsky, 2013). J. Z. Kolter ve M. J. Johnson birkaç evden alınan ayrıntılı enerji kullanım bilgilerini içeren verileri önerdikleri Referans Enerji Veri Ayrıştırma Seti (REDD) ile analiz etmişlerdir (Kolter & Johnson, 2011).

S. Makonin ve arkadaşları, NIALM araştırmalarında kullanılan veri kümelerinin genellikle gerçek güç verilerinin olması ve bu verilerin karmaşık analiz algoritmaları ile analizinin kısa süreli veriler kullanılarak gerçekleştirilmesinin yeterli gelmediğini savunarak yük ayrıştırmalarında 21 sensör ile yaptıkları 11 ölçüm içeren bir yıllık toplam veri üzerinden dakikalık güç veri kümesinin yıllık toplamının ( Almanac of Minutely Power dataset-AMPDs) kullanılması ile geliştirdikleri bir algoritma önermişlerdir (Makonin et al., 2013).

M. Aiad ve P. H. Lee karşılıklı cihaz etkileşimlerini dikkate alan ve cihaz etkileşimleri hakkındaki alınan verileri Faktöriyel Gizli Markov Modelinde (FHMM) kullanan yeni bir yaklaşım sunmuşlardır (Aiad & Lee, 2016). Valera bazı durumlarda faktöriyel gizli Markov modelinin sebep ve durum sayısının önceden bilinmemesi ve sınırlandırılmamasından dolayı her gizli Markov modeli için birbirine paralel olarak işleyen durum sayısı sınırsız sonsuz faktöriyel gizli Markov modeli önermişlerdir (Valera et al., 2015).

Y. Li ve arkadaşları son yaptıkları çalışmada, cihazların tek başına çalışma durumu varsayımının üstesinden gelmek amacı ile hiyerarşik faktöriyel gizli Markov modelini önermişlerdir (Li et al., 2014). Önerilen algoritmada süper cihaz olarak gösterilen her bir cihaz özellikleri kümelenecek, tanımlanan kümelere HMM modellerinin bu kümelerle eğitilmesi ve kararlı aktif güç sinyallerinin ayrıştırılması yapılmaktadır. Ayrıştırma aşamasında süper cihazlar için AFAMAP ile çıkarım yapılmakta ve eğitim aşamasında öğrenilen durum ilişkisi tablosu kullanılarak asıl cihaza ulaşılmaktadır. Bu çalışma REDD ve PECAN veri kümelerindeki AFAMAP algoritması ile karşılaştırıldığında daha iyi performans sağladığı görülmektedir (Li et al., 2014).

M. Zhong ve arkadaşları sinyal kümeleme kısıtlaması (Signal aggregate constraints-SACs) olarak adlandırılan bilinmeyen kaynakların ayrıştırılmasındaki zorluğu ele almışlardır (Zhong et al., 2014b). Sinyal kümeleme kısıtlaması bilinmeyen kaynakların toplam sinyal içerisindeki değişimlerini hedef alır. Çalışma bu ayrıştırma problemlerini açıklayabilmek için katkılı faktöriyel gizli Markov Modelini (additive factorial hidden Markov model-AFHMM) temel almaktadır. Bu önerme ile gerçek veri setlerinde SACs kullanımının orijinal AFHMM' yi önemli ölçüde iyileştirildiği görülmüştür.

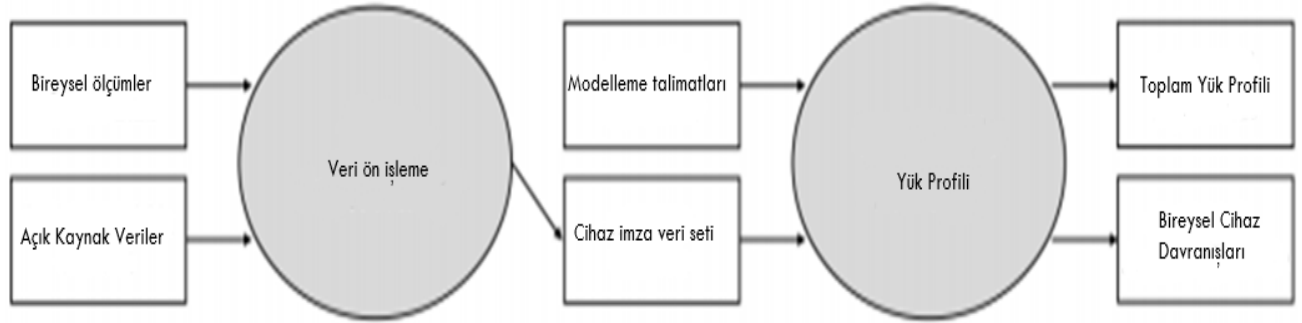
M. Zhong ve arkadaşlarının çalışmasında toplam güç üzerinden her bir cihaz verilerini ayrıştırmasında ara durumlu faktöriyel homojen olmayan gizli Markov modelini (interleaved factorial non-homogeneous hidden Markov model -IFNHMM) önermiştir (Zhong et al., 2014a). Bu modelle İngilterede 251 hane üzerinden daha düşük frekanslarda çalışan bir veri seti ile ayrıştırma durumlarını incelemiştir. Bu inceleme neticesinde yapılan ayrıştırmanın faktöriyel gizli Markov modeline göre daha iyi performans gösterdiğini vurgulamışlar ve ayrıştırmanın yapılmasında büyük ölçekli verilerin kullanılmasının daha iyi sonuçlar vereceğini ortaya koymuşlardır. Müdahaleci olmayan yük izleme (NIALM) teknikleri her ne kadar müdahale gerektirmeyen olarak tanımlansa da yük ayrıştırmasının yapılabilmesi için genellikle bireysel olarak her bir cihaz verilerinin eğitim amacı ile müdahaleci bir veri örnekleme gerektirir (Cominola et al., 2017). Bu yöntem büyük ölçekli cihaz kullanımında sınırlı doğruluk ve aynı anda birden fazla cihazın çalışması gibi durumlarla birlikte sorunları da beraberinde getirmektedir.

(Cominola et al., 2017)'de toplam güç üzerinden her bir cihaz verisine yaklaşımda bulunan ve yinelemeli gizli Markov modeli kombinasyonlarına dayanan Hibrit özellik tabanlı yinelemeli ayrıştırma (Hybrid Signature-based Iterative Disaggregation -HSID) önerilmiştir. Çalışmada müdahaleci eğitimin zorluklarını aşmak ve kalibrasyon yapmak için cihaz düzeyinde ölçümler gerektiren yarı denetimli bir algoritma ile toplam güç üzerinden her bir cihazın gücünü ayrıştırılabilmeye olanak tanıyan tam sürüm algoritma sunulmuştur. Her iki algoritmada 5 cihaz içeren bir veri seti üzerinde çalıştırılarak tek noktadan ölçülen güç sinyallerinin bu algoritmalar ile doğru bir biçimde ayrıştırılarak güç tüketim davranışlarının ayrıntılı bir karakteristiğinin çıkarılabildiği kanıtlanmıştır (Cominola et al., 2017).

A. Zoha ve arkadaşları geliştirdikleri tek bir sistem ile aktif ve reaktif güç ve güç faktörü bilgilerini kullanarak laptop, masa lambası ve led ekran gibi düşük güçlü cihazların toplam güç üzerinden ayrıştırılmasını sağlamışlardır (Zoha et al., 2013). Bu çalışmada faktöriyel gizli Markov modelini bir varyantını kullanarak gerçekleştirdikleri algoritmada ikilli kullanıma sahip cihazlarda %90, çok amaçlı kullanılan cihazlarda %80 doğruluğa ulaşmışlardır (Zoha et al., 2013).

F. Paradiso ve arkadaşları fazla maliyet gerektiren yüksek frekanslı örnekleme yerine 1 Hz gibi düşük frekans örneklemeyle alınan toplam güç sinyallerini kullanarak, ev kullanıcılarının evde olup olmama durumları ve cihazların saatlik kullanım verilerinin işlendiği durumların birlikte kullanıldığı faktöriyel gizli Markov modeli üzerindeki etkisini incelemiştir (Paradiso et al., 2016).

Bir binanın elektrik yük profilini tanımlamak için literatürde geliştirilen farklı yük ayrıştırma algoritmaları bulunmaktadır. Genel kullanım üzerine verilen metotlar açık veri kümeleri şeklinde değerlendirme ve karşılaştırma olanağı sunmaktadır. Farklı uygulama alanlarının olması sebebi ile oluşturulan veri kümelerinde çoğu zaman tutarsızlıklar ortaya çıkmaktadır. M. Maier, ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ölçülen cihaz özelliklerindeki değişiklikleri minimum tutan ve yük profili modellemesi için yüksek frekanslı cihaz ölçümlerini kullanan bir metodoloji üzerinde durmuşlardır (Maier et al., 2020). Çalışmada şebeke geriliminin her bir periyodu için kullanıcı bazlı cihaz özelliklerinin ayrıştırıldığı gerilim ölçümleri yapılarak cihaz durumlarının tespit edildiği bir yöntem kullanılmıştır (Maier et al., 2020). Önerilen çalışmanın genel kapsamı, araştırmalarda NIALM algoritmalarını geliştirmek, değerlendirmek ve karşılaştırmak için belirli bir tüketici için bireysel ve yüksek frekanslı yük profillerinin varyasyonlarının üretilmesi sağlamaktır (Maier et al., 2020). Bu kapsamda şekil-2 teki metodoloji uygulanmaktadır (Maier et al., 2020).



Şekil 2. Yük Profili Modelleme Metodolojisi (Maier et al., 2020)

E. Nefzi ve arkadaşları NIALM çözümlerine yönelik bir veritabanı oluşturmak için LabVIEW yazılım ortamı altında tasarlanmış HAESD adında kapsamlı bir çözüm önerilmiştir (Nefzi et al., 2020). Bu çözümde bir hanedeki elektrikli ev aletleri ile ilgili akım ve gerilim ölçümlerinin depolanması ve bunların elektriksel özelliklerinin çıkarılması için ölçeklenebilir bir merkezi mimariyi sunar (Nefzi et al., 2020). LabVIEW ve elektrikli ev aletlerinin gerilim ölçümlerinin tutulması ve yönetilmesi için kullanılan veritabanı olan MySQL arasında bir bağlantı kurularak elektriksel imzalar tespit edilir (Nefzi et al., 2020). Bu elektriksel imzalar elektriksel ev aletlerinin gerilim ve akım ölçümlerinden başlayarak LabVIEW ortamında hesaplanır (Nefzi et al., 2020).

G. C. De Lello ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Ağırlıksız Nöral Ağ Modeli WiSARD kullanılarak elektrik yüklerinin ayrıştırıldığı NIALM'e yeni bir yaklaşım getirmişlerdir (De Lello et al., 2020). Bu yaklaşımda Brezilyalı Cihaz Veri Seti (BRAD) kullanılarak elde edilen deneysel sonuçlar, WiSARD tabanlı NIALM algoritmalarını düşük maliyetli IoT akıllı enerji sayaçlarına yerleştirmenin mümkün olduğunu göstermektedir (De Lello et al., 2020).

### 2.3. NIALM için Veri Toplama Seti Tasarımı

Literatürde yapılan araştırmalar belirli elektrikli cihazların tüketimi hakkında bilgi sahibi olmanın enerji tasarrufu yapılmasında, müşterilerin enerji tüketimi ve tüketim zamanı yönünden bilinçlendirilmesi ve verimli tüketime teşvik edilmesinde ve aynı zamanda da enerji dağıtım şirketleri açısından da abone türü bazında daha etkili ve ayrıntılı tüketim verilerinin (big data) elde edilmesinde faydalı olduğu görülmüştür. Bu katkılarla birlikte NIALM üzerine yapılan çalışmalarda farklı modelleme teknikleri uygulanarak müdahaleli ve müdahalesiz cihaz yükü izleme tekniklerinin uygulandığı anlaşılmıştır.

Müdahalesiz yük izleme (NIALM) sistemin, geleneksel yük izleme sistemi gibi her bir cihaza ayrı ayrı sensör kurulumuna ihtiyaç duymadığı için işletme ve ekonomik bakımdan daha avantajlı durumdadır (Chang et al., 2013). Bu avantajlarla birlikte NIALM kullanılan daha geniş bir yük izleme sistemi için ayrıştırma doğruluğu ve hesaplama yöntemi bakımından sürekli olarak iyileştirmeler yapılmaktadır. Eğitim süresinin en aza indirilmesi ve ayrıştırma doğruluğunun artırılması amacı ile yapay sinir ağlarındaki çoklu çalışma koşullarında eğitim algoritmalarının parametrelerini optimize ederek ayrıştırma doğruluğu ve hesaplama verimliliği için (Chang et al., 2013) farklı optimizasyon algoritmaları da kullanılmaktadır.

Enerji verimliliği açısından değerlendirildiğinde üretim verileri ile birlikte tüketim verilerinin de eş zamanlı olarak incelenmesi ve arz talep bakımında kesintilerin minimize edilmesi, projelendirme süreçlerinde proaktif değerlendirme ve buna uygun yatırımların yapılması ile birlikte tüketimin de optimize edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

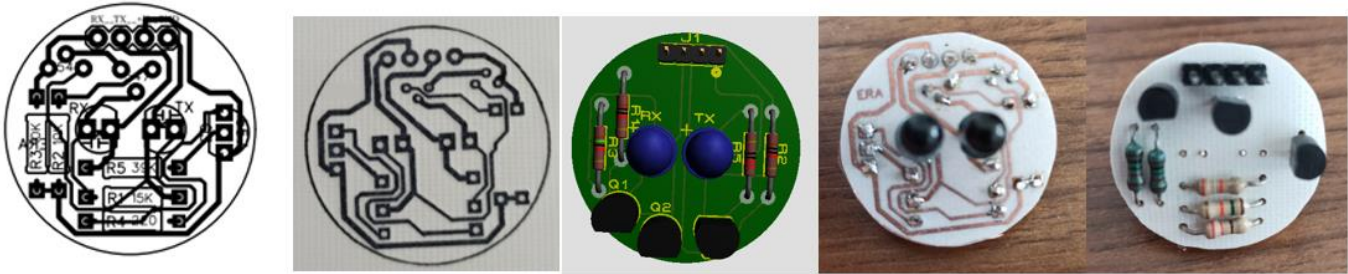
Çalışma genel anlamda bir donanım ve bu donanım ile ilgili bir yazılımdan oluşmaktadır. Donanım kısmı elektronik elektrik sayaçlarından enerji tüketim verilerini alan, depolayan, görüntüleyen ve başka bir uç noktaya ileten bir elektronik cihaz iken, yazılım ise koordineli bir şekilde verilerin alınması, saklanması, görüntülenmesi ve iletilmesi için gerekli algoritmalarla oluşmaktadır. Çalışmada donanım kısmı birden fazla bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler optik okuyucu modül, merkezi haberleşme modülü ve görüntüleme modülüdür. Yazılım bölümü ise merkezi haberleşme cihazı içerisinde bulunan ve optik okuyucunun elektronik elektrik sayaçtan veri okumasını sağlayan algoritmalar ile birlikte görüntüleme cihazında okunan verilerin son tüketicinin anlayabileceği değerlere dönüştüren bir ara yüz yazılımı ve web server üzerinde bulunan bir veri tabanı yazılımından oluşmaktadır. Genel anlamda çalışmada gerçekleştirilen donanım ve yazılım ile ilgili yapılan tasarım ve üretim aşamaları şu şekilde sunulmuştur.

### 2.3.1. Elektronik Kart Tasarımlarının Yapılması ve Üretilmesi

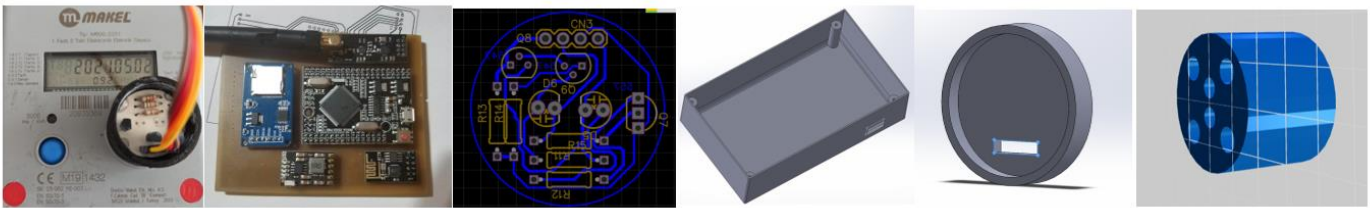
Bu aşamada kart tasarımları yapılmış ve üretilmiştir. Tasarlanan kartlar optik okuyucu kartı, merkezi haberleşme cihazı kartı ve görüntüleme cihazı kartıdır. Tasarım aşamasında çalışma içeriğine uygun olarak kullanılacak Mikroişlemci, Wifi Haberleşme, SD kart ve RF haberleşme modüllerinin birbiri ile entegre bir şekilde çalışması ve geliştirilecek yazılıma uygun olmasına dikkat edilmiş ve buna uygun tasarımlar yapılmıştır. Tasarım aşaması modüllerin doğru bir şekilde çalışması ve verilerin doğru bir şekilde alınması açısından büyük önem taşımaktadır. Tasarım aşamasında Proteus Baskı Devre ve Simülasyon programı ile birlikte EASY EDA isimli online çalışan bir tasarım programından faydalanılmıştır. Tasarımı gerçekleştirilen kartlar baskı devre oluşturma yöntemleri kullanılarak PCB haline dönüştürülmüştür. Tasarım aşamasında geliştirilen kartlara ait devre şemaları, kutu tasarımları ve PCB'ler Şekil-3, Şekil-4 ve Şekil-5' te verilmiştir.



Şekil 3. Merkezi Haberleşme Cihazı-Görüntüleme Cihazı PCB Kartı



Şekil 4. Optik Okuyucu PCB Kartı ve Optik Okuyucu 3D Görsel



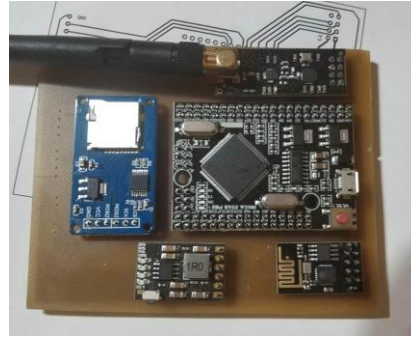
Şekil 5. Optik Okuyucu, Devre Kartları ve Kutu Tasarımları



### 2.3.2. Elektronik Kartların ve Modüllerin Birleştirilmesi

Bu aşamada PCB devreleri oluşturulan kartlar üzerinde kullanılacak Mikroişlemci, Wifi haberleşme, RF haberleşme, Şarj, Batarya ve SD Kart gibi modüllerin yerleştirilmesi ile birlikte kullanılan 7 inch Nextion Dokunmatik HMI ekranının montajı ve gerekli yerleşim tasarımının yapılması işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Yerleşim planı Şekil-6' da gösterilmiştir.



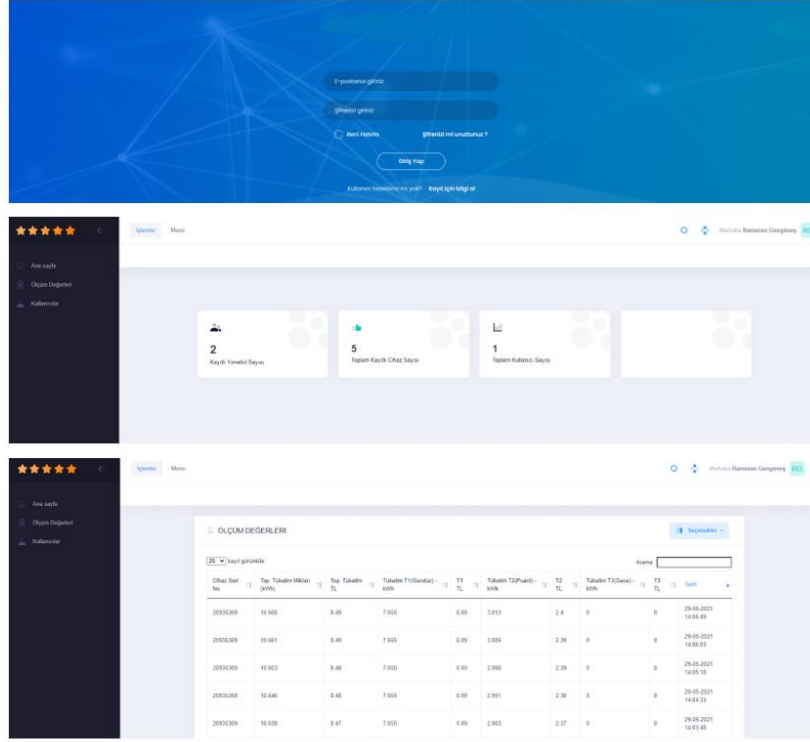
Şekil 6. Merkezi Haberleşme Cihazı ve Görüntüleme Cihazı Devre Kartı Yerleşim Planı

### 2.3.3. Çalışmada Kullanılacak Yazılımın Oluşturulması

Bu aşamada birden fazla yazılım gerçekleştirilmiştir. İlk yazılım geliştirilen optik okuyucunun elektronik elektrik sayacından veri alması için yapılmıştır. Bu yazılım elektrik sayaçlarına özgüdür. Çünkü elektrik sayaçları kaydettikleri verileri dış ortama bir kodlama sistemi ile aktarmaktadır. Bu kodlama sistemi olmadan herhangi bir okuma işlemi gerçekleştirilememektedir. Bu yazılımda “C/C++” ve “Arduino İDE Genuino” açık kaynak kodlama yazılımı kullanılmıştır. Geliştirilen özel bir kodlama sayesinde optik okuyucu yardımı ile elektrik sayacından veriler okunarak merkezi haberleşme cihazında saklanması sağlanmıştır. Merkezi haberleşme cihazı üzerinde geliştirilen yazılım optik okuyucu yardımı ile elektrik sayacından verilerin analiz edilerek alınmasını gerçekleştirirken aynı zamanda alınan ve analiz edilen ve faturalandırması yapılan bu veriler bir sd kart üzerinde kaydedilmekte, IP ve port yapılandırılması yapılan sunucuya ve görüntüleme cihazına da gönderilmektedir. Sunucu üzerinde de merkezi haberleşme cihazı üzerinden gönderilen verilerin saklanması ve bir web ortamında görüntülenmesi için gerekli yazılım altyapısı hazırlanarak web üzerinden de enerji tüketim verilerinin görüntülenmesi sağlanmıştır. Bir başka yazılım kısmı da görüntüleme cihazı üzerinde yapılmıştır. Burada da Nextion Editör, C ve Arduino İDE Genuino açık kaynak yazılımları kodları ile bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım merkezi cihaz tarafından gönderilen verileri almakta ve gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra 7 inch HMI dokunmatik ekran üzerinde göstermektedir. Bu kısımda üretilen ikinci yazılım 7 inch Nextion HMI dokunmatik ekran üzerinde yapılmıştır. Ekran üzerinde InkSpace vektörel çizim programı ile çeşitli grafik tasarımları yapılmış cihazın açılması, ekran koruyucu özelliğinin devreye girmesi, Toplam Tüketim, T1 (Gündüz), T2 (Puant) ve T3 (Gece) tüketim verileri ile birlikte bu tüketim verilerine ait fatura bilgilerinin rakamsal ve grafiksel olarak görüntülenmesi sağlanmıştır. Birim Fiyat ve Bütçe Girilmesi gibi görsel bilgilendirme kısımlarının aktifleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Yine aynı zamanda ekran üzerinde güncel tarih ve saat bilgisi de görüntülenerek cihazın işlevsel olması sağlanmıştır. Bu kapsamda görüntüleme cihazı tasarım aşamalarına ait görseller Şekil-7’de, web ara yüzüne ait görseller Şekil-8’de verilmiştir.



## Şekil 7. Görüntüleme Cihazı Tasarım Aşamaları



Şekil 8. Görüntüleme Cihazı WEB Arayüzü

## 2.3.4. Cihazların Test Edilmesi

Bu aşamada geliştirilen donanımlar ve yazılımlar ile birlikte test sayacı üzerinden optik okuyucu ile verilerin alınması, merkezi haberleşme cihazına gönderilmesi, merkezi haberleşme cihazından alınan verilerin analiz edilmesi, ayrıştırılması, faturalandırılması ve merkezi haberleşme cihazında oluşturulan verilerin kaydedilmesi, görüntüleme cihazına ve sunucuya gönderilmesi, sunucuda ve görüntüleme cihazında verilerin gösterilmesi test edilmiş ve işlemler başarılı olmuştur.

08:56:51.162 -> IR SEND : /?!<CR><LF>

08:56:51.162 ->

08:56:53.085 -> 447IR SEND : <ACK>000<CR><LF>

08:56:53.085 ->

08:56:53.131 -> RECEIVE : /MSY5<1>M600.2251

08:56:54.914 -> RECEIVE : 96.89.1(2880350262)

08:56:55.471 -> RECEIVE : 0.0.0(20935369)

08:56:55.988 -> RECEIVE : 0.8.0(15\*min)

08:56:56.551 -> RECEIVE : 0.9.1(08:57:07)

08:56:57.110 -> RECEIVE : 0.9.2(21-01-21)

08:56:57.435 -> RECEIVE : 0.9.5(4)

08:56:58.232 -> RECEIVE : 1.8.0(000000.000\*kWh)





Donanım kısmı elektrik sayaçlarından geliştirilen optik bir okuyucu cihaz ile elektrik sayacında saklanan temelde Toplam, T1(Gündüz), T2(Puant) ve T3(Gece) tüketim güç verilerini ve bununla birlikte sayaç türüne göre farklı verileri okuyan bir elektronik cihaz, Optik okuyucu tarafından alınan verilerin alındığı, analiz edildiği, saklandığı ve farklı noktalara veri iletimi yapıldığı merkezi haberleşme cihazı ve verilerin görselleştirildiği ve kullanıcıya anlamlı veriler sunan bir görüntüleme cihazından oluşmaktadır.

### 3. Sonuç ve Tartışma

Yapılan çalışma ile birlikte müdahalesiz cihaz yükü izleme ve cihaz ayrıştırma algoritmalarının ve yapay zeka temelli makine öğrenimi algoritmalarının çalıştırılmasında eğitim ve test için gerekli veri toplama işlemine zemin teşkil edebilecek bir veri cihazı oluşturulmuştur. Cihaz ile yapılan çalışmalarda her bir okuma döngüsünde elektronik elektrik sayaçta kaydedilen veriler yaklaşık 35 saniyelik bir süre sonunda işlenmek üzere alınabilmektedir. Bu veriler elektronik elektrik sayaçta bulunan tüm verileri kapsamaktadır. Farklı OBİS sorgulama aşamaları ile müdahalesiz yük ayrıştırma için kullanılacak akım, gerilim, aktif güç, reaktif güç gibi veriler ayrı ayrı da sorgulanabilmektedir. Son tüketici açısından okunan bu değerler anlamlı olabilirken cihaz ayrıştırma aşamasında özellikle harmonik analiz aşamasında elektronik elektrik sayaç üzerinden gerçekleştirilen bu okuma süresi yetersiz olsa da özellikle durum değişkenli tespit aşamasında ayrı ayrı OBİS kodu sorgulaması yapılarak okuma süresi düşürülebilmektedir. Bu çalışma ile birlikte Smart Meter olarak bilinen ve son kullanıcının tüketim durumunu görüntüleyen ve yapılacak ileriki çalışmalarla tüketiciye farklı tarife önerileri sunabilecek, gerektiğinde tüketiciyi uyarabilecek farklı çalışmalara zemin oluşturacağını düşünmekteyiz. Yine bu çalışma ile ortaya çıkarılan cihaz, ev otomasyon sistemlerine rahatlıkla adapte olacak yönlendirici bir cihaz mimarisi olarak ta kullanılabilir. Kullanılacak optik alıcı modül ve elektronik elektrik sayacın örnekleme frekansı üzerinde yapılacak çalışmalar ile birlikte sistemin daha da geliştirilmesi için çalışmalarımız devam etmektedir. Bu sistemin yeterli örnekleme oranlarında veri alması ve müdahalesiz cihaz yükü ayrıştırma algoritmaları ile doğru sonuçlar vermesi açısından geliştirmeye açık bir çalışma olarak sunulmuştur. Bu aşamada talep tarafı yönetimi açısından son kullanıcıya doğru tüketim verileri sunması ve yük kaydırma ya da abone bazlı faturalandırma ile tüketici katkılı talep tarafı yönetimi açısından faydalı olacağı görülmektedir.

### Referanslar

- Aiad, M., & Lee, P. H. (2016). Unsupervised approach for load disaggregation with devices interactions. *Energy and Buildings*, 116, 96–103.
- Baloğlu, U. B. (2017). Akıllı Şebekelerde Hesapsal Yöntem Uygulamaları. 131.
- Bartlett, A. A. (1986). Sustained availability: A management program for nonrenewable resources. *American Journal of Physics*, 54(5), 398–402.
- Batra, N., Kelly, J., Parson, O., Dutta, H., Knottenbelt, W., Rogers, A., Singh, A., & Srivastava, M. (2014). NILMTK: an open source toolkit for non-intrusive load monitoring. *Proceedings of the 5th International Conference on Future Energy Systems*, 265–276.
- Beckel, C., Kleiminger, W., Cicchetti, R., Staake, T., & Santini, S. (2014). The ECO data set and the performance of non-intrusive load monitoring algorithms. *Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Buildings*, 80–89.
- Bhotto, M. Z. A., Makonin, S., & Bajić, I. V. (2016). Load disaggregation based on aided linear integer programming. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 64(7), 792–796.
- Biansongnem, S., & Plungklang, B. (2016). Non-Intrusive Appliances Load Monitoring (NILM) for Energy Conservation in Household with Low Sampling Rate. *Procedia Computer Science*, 86(March), 172–175. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.049>
- Butner, R. S., Reid, D. J., Hoffman, M. G., Sullivan, G., & Blanchard, J. (2013). Non-intrusive load monitoring assessment: literature review and laboratory protocol. Pacific Northwest National Lab.(PNNL), Richland, WA (United States).
- Chang, H. H., Lin, L. S., Chen, N., & Lee, W. J. (2013). Particle-swarm-optimization-based nonintrusive demand monitoring and load identification in smart meters. *IEEE Transactions on Industry Applications*. <https://doi.org/10.1109/TIA.2013.2258875>
- Cominola, A., Giuliani, M., Piga, D., Castelletti, A., & Rizzoli, A. E. (2017). A hybrid signature-based iterative disaggregation algorithm for non-intrusive load monitoring. *Applied Energy*, 185, 331–344.
- De Lello, G. C., Caldeira, J. F., Aredes, M., Franca, F. M. G., & Lima, P. M. V. (2020). Weightless neural networks

- applied to nonintrusive load monitoring. Proceedings - 2020 IEEE 34th International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops, IPDPSW 2020. <https://doi.org/10.1109/IPDPSW50202.2020.00143>
- Djordjevic, S., & Simic, M. (2018). Nonintrusive identification of residential appliances using harmonic analysis. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 26(2), 780–791. <https://doi.org/10.3906/elk-1705-262>
- Edebal, E. Y. H., Enstit, F. B., Dal, A., Esener, I., Tezi, L., Dan, T., & Tez, M. K. (2012). Akilli sistemler kullanılarak güç sistemlerinde yük tahmini analizi ve uygulaması.
- Esa, N. F., Abdullah, M. P., & Hassan, M. Y. (2016). A review disaggregation method in Non-intrusive Appliance Load Monitoring. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 163–173. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.009>
- Harell, A., Makonin, S., & Bajic, I. V. (2019). Wavenilm: A Causal Neural Network for Power Disaggregation from the Complex Power Signal. ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing - Proceedings, 2019-May, 8335–8339. <https://doi.org/10.1109/ICASSP.2019.8682543>
- Hart, G. W. (1992). Nonintrusive Appliance Load Monitoring. *Proceedings of the IEEE*, 80(12), 1870–1891. <https://doi.org/10.1109/5.192069>
- Johnson, M. J., & Willsky, A. S. (2013). Bayesian nonparametric hidden semi-Markov models. *Journal of Machine Learning Research*, 14(Feb), 673–701.
- Kamat, P. V. (2007). Meeting the clean energy demand: Nanostructure architectures for solar energy conversion. *Journal of Physical Chemistry C*, 111(7), 2834–2860. <https://doi.org/10.1021/jp066952u>
- Kelly, J., & Knottenbelt, W. (2015). Neural nilm: Deep neural networks applied to energy disaggregation. *Proceedings of the 2nd ACM International Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Built Environments*, 55–64.
- Kim, H., Marwah, M., Arlitt, M., Lyon, G., & Han, J. (2011). Unsupervised disaggregation of low frequency power measurements. *Proceedings of the 2011 SIAM International Conference on Data Mining*, 747–758.
- Kim, J., Le, T.-T.-H., & Kim, H. (2017). Nonintrusive load monitoring based on advanced deep learning and novel signature. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2017.
- Kolter, J. Z., & Jaakkola, T. (2012). Approximate inference in additive factorial hmms with application to energy disaggregation. *Artificial Intelligence and Statistics*, 1472–1482.
- Kolter, J. Z., & Johnson, M. J. (2011). REDD: A public data set for energy disaggregation research. *Workshop on Data Mining Applications in Sustainability (SIGKDD)*, San Diego, CA, 25(Citeseer), 59–62.
- Kothari, D. P., & Nagrath, I. J. (2003). *Modern power system analysis* Tata McGraw. Hill Publishing Company Limited.
- Li, Y., Peng, Z., Huang, J., Zhang, Z., & Son, J. H. (2014). Energy disaggregation via hierarchical factorial hmm. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Non-Intrusive Load Monitoring*, Austin, TX, USA, 3.
- Machlev, R., Levron, Y., & Beck, Y. (2018). Modified cross-entropy method for classification of events in NILM systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 10(5), 4962–4973.
- Maier, M., Bremer, M., & Schramm, S. (2020). Load Profile Modeling Using High-Frequency Appliance Measurements for Nonintrusive Load Monitoring. 2020 8th International Conference on Smart Energy Grid Engineering, SEGE 2020. <https://doi.org/10.1109/SEGE49949.2020.9181962>
- Makonin, S., Popowich, F., Bajić, I. V., Gill, B., & Bartram, L. (2015). Exploiting HMM sparsity to perform online real-time nonintrusive load monitoring. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(6), 2575–2585.
- Makonin, S., Popowich, F., Bartram, L., Gill, B., & Bajić, I. V. (2013). AMPds: A public dataset for load disaggregation and eco-feedback research. 2013 IEEE Electrical Power & Energy Conference, 1–6.
- Mueller, J. A., Sankara, A., Kimball, J. W., & McMillin, B. (2014). Hidden Markov models for nonintrusive appliance load monitoring. 2014 North American Power Symposium, NAPS 2014. <https://doi.org/10.1109/NAPS.2014.6965464>
- Nalmpantis, C., & Vrakas, D. (2019). Machine learning approaches for non-intrusive load monitoring: from qualitative to quantitative comparison. *Artificial Intelligence Review*, 52(1), 217–243. <https://doi.org/10.1007/s10462-018-9613-7>

- Nefzi, E., Houidi, S., & Attia Sethom, H. Ben. (2020). A Novel and Scalable Home Appliances Electrical Signature Database for Smart Home Energy Management. 2020 15th International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies, EVER 2020. <https://doi.org/10.1109/EVER48776.2020.9242957>
- Paradiso, F., Paganelli, F., Giuli, D., & Capobianco, S. (2016). Context-based energy disaggregation in smart homes. *Future Internet*, 8(1), 4.
- Parson, O., Ghosh, S., Weal, M., & Rogers, A. (2014). An unsupervised training method for non-intrusive appliance load monitoring. *Artificial Intelligence*, 217, 1–19.
- Rafiq, H., Zhang, H., Li, H., & Ochani, M. K. (2018). Regularized LSTM Based Deep Learning Model: First Step towards Real-Time Non-Intrusive Load Monitoring. 2018 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), 234–239.
- Sultanem, F. (1991). Using appliance signatures for monitoring residential loads at meter panel level. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 6(4), 1380–1385.
- Tabatabaei, S. M., Dick, S., & Xu, W. (2016). Toward non-intrusive load monitoring via multi-label classification. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(1), 26–40.
- Valenti, M., Bonfigli, R., Principi, E., & Squartini, S. (2018). Exploiting the Reactive Power in Deep Neural Models for Non-Intrusive Load Monitoring. 2018 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 1–8.
- Valera, I., Ruiz, F. J. R., & Perez-Cruz, F. (2015). Infinite factorial unbounded-state hidden markov model. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 38(9), 1816–1828.
- Weisz, P. B. (2004). Basic choices and constraints on long-term energy supplies. *Physics Today*, 57(7), 47–52. <https://doi.org/10.1063/1.1784302>
- Welikala, S., Dinesh, C., Ekanayake, M. P. B., Godaliyadda, R. I., & Ekanayake, J. (2019). Incorporating Appliance Usage Patterns for Non-Intrusive Load Monitoring and Load Forecasting. *IEEE Transactions on Smart Grid*. <https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2743760>
- Wittmann, F. M., López, J. C., & Rider, M. J. (2018). Nonintrusive load monitoring algorithm using mixed-integer linear programming. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 64(2), 180–187.
- Wong, Y. F., Şekercioğlu, Y. A., Drummond, T., & Wong, V. S. (2013). Recent approaches to non-intrusive load monitoring techniques in residential settings. 2013 IEEE Computational Intelligence Applications in Smart Grid (CIASG), 73–79.
- Yenilmez, M. (2016). AKILLI ŞEBEKELRDE ( Smart Grid ) DAĞITIM S İSTEM O TOMASYONDAKİ G ELİŞMELER LİSANS TEZİ MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ.
- Zeifman, M., Member, S., & Roth, K. (2011). Nonintrusive Appliance Load Monitoring : Review and Outlook. 57(1), 76–84.
- Zhong, M., Goddard, N., & Sutton, C. (2014a). Interleaved factorial non-homogeneous hidden Markov models for energy disaggregation. *ArXiv Preprint ArXiv:1406.7665*.
- Zhong, M., Goddard, N., & Sutton, C. (2014b). Signal aggregate constraints in additive factorial HMMs, with application to energy disaggregation. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 3590–3598.
- Zoha, A., Gluhak, A., Imran, M. A., & Rajasegarar, S. (2012). Non-intrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: A survey. *Sensors*, 12(12), 16838–16866.
- Zoha, A., Gluhak, A., Nati, M., & Imran, M. A. (2013). Low-power appliance monitoring using factorial hidden markov models. 2013 IEEE Eighth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing, 527–532.



## Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Genetik Algoritma Kullanılarak Birleşik Isı ve Güç Ekonomik Dağıtım Probleminin Çözümü

### Solution of the Economic Dispatch of Combined Heat and Power Problem Using Particle Swarm Optimization and Genetic Algorithm

Tarık Koç<sup>1,2</sup> , İbrahim Eke<sup>2</sup> , Süleyman Sungur Tezcan<sup>\*3</sup> 

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 13100 Bitlis, Türkiye

<sup>2</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, Türkiye

<sup>3</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06560 Ankara, Türkiye

**Başvuru/Received:** 23/08/2021

**Kabul / Accepted:** 18/10/2021

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 31/12/2021

**Son Versiyon/Final Version:** 31/12/2021

#### Öz

Enerji kaynaklarının artan maliyeti ve çevre sorunları nedeniyle birleşik ısı ve güç birimleri gibi daha yüksek verimlilikte çalışan sistemler daha popüler hale gelmektedir. Birleşik ısı ve güç ünitelerinin doğrusal ve dışbükey olmayan özelliklere sahip olmaları nedeniyle optimum çalışması giderek karmaşıklaşmaktadır. Bahsi geçen bu problemin zorlukları bizi sezgisel ve evrimsel yöntemleri kullanmaya yöneltmektedir. Bu çalışmada, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması ve genetik algoritma (GA), birleşik ısı ve güç birimlerinin ekonomik dağıtımına (ED) uygulanmaktadır. ED probleminin temel amacı, toplam üretim maliyeti en aza indirilirken ve sistem operasyonel kısıtlamaları yerine getirilirken her bir ünitenin optimum çıkış gücü ve ısını elde etmektir. Sonuçlar bu algoritmaların birleşik ısı ve güç sistemlerinin ekonomik dağıtım problemini çözmedeki yeteneklerinin gösterilmesi ve karşılaştırılmasıdır.

#### Anahtar Kelimeler

*“Birleşik Isı ve Güç, Parçacık Sürü Optimizasyon, Genetik Algoritma, Ekonomik Dağıtım”*

#### Abstract

Due to the increasing cost of energy resources and environmental problems, higher efficiency systems such as combined heat and power units are becoming more popular. Due to the linear and non-convex properties of combined heat and power units, their optimum operation is becoming increasingly complex. The difficulties of this problem lead us to use intuitive and evolutionary methods. In this study, particle swarm optimization (PSO) algorithm and genetic algorithm (GA) are applied to the economic dispatch (ED) of combined heat and power units. The main purpose of the ED problem is to obtain the optimum output power and temperature of each unit while minimizing the total cost of production and fulfilling system operational constraints. The results are to demonstrate and compare the capabilities of these algorithms in solving the problem of economic dispatch of combined heat and power systems.

#### Key Words

*“Combined Heat and Power, Particle Swarm Optimization, Genetic Algorithm, Economic Dispatch”*



## 1. Giriş

Geleneksel enerji kaynaklarının eksikliği ve enerji üretiminin yüksek maliyeti, güç sistemini optimize bir şekilde kullanmamıza neden olmaktadır. Sistem kısıtlamaları dikkate alınarak üretim maliyeti en aza indirildiğinde optimum koşul elde edilir. ED'nin amacı, ünite çıktılarının optimum durumunu belirlemektir. Bu nedenle, birçok çalışma ED problemini çözmek için farklı yöntemler araştırmaktadır. En zorlu optimizasyon problemlerinden biri, bu birimlerin doğrusal ve dışbükey olmayan özellikleri ve güç ve ısı üretimi arasındaki ikili bağımlılık nedeniyle birleşik ısı ve güç birimlerinin ED problemidir. Son zamanlarda, birleşik ısı ve güç üniteleri, daha yüksek verimlilikleri nedeniyle enerji üretiminde önemli bir rol oynamaktadır. Birleşik ısı ve güç birimlerinin verimliliği en iyi ihtimalle % 90 civarındayken, bu miktar diğer kombine çevrim tesisleri için %60'ın altındadır (Shi, Yan, ve Wu 2013; Sohrabi vd. 2020). ED, işletim maliyetini en aza indirmek ve ünitelerin güç ve ısı çıkışını belirlemek için uygulanmaktadır. Yalnızca ısı, yalnızca güç ve birleşik ısı ve güç birimleri, bir kojenerasyon sistemindeki üç tür üretim birimidir. Birleşik ısı ve enerji ekonomik dağıtım probleminde, güç ve ısı taleplerini içeren iki tür talep karşılanmaktadır. Birleşik ısı ve güç birimlerinde üretilen güç, üretilen ısıya bağlıdır ve bunun tersi de birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım sorununu daha karmaşık hale getirir (Mohammadi-Ivatloo, Moradi-Dalvand, ve Rabiee 2013). Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemi önceki çalışmalarda farklı matematiksel ve sezgisel yöntemler kullanılarak çözülmüştür. Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemi, ısı-güç operasyon bölgesi kısıtlamaları kullanılarak birbirine bağlanan iki alt probleme ayrıştırılmıştır (Henwood 1996). Bir diğer çalışmada, Ateşböceklerinin parlaklıklarını kullanarak birbirlerini çekme davranışlarından esinlenen Ateşböceği algoritması uygulanmıştır (Yazdani vd. 2013). Hayvanların arama davranışına dayanan bir başka sezgisel optimizasyon yöntemi olan grup arama optimizasyonu Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtımına uygulanmıştır (Basu 2016). Ayrıca arı kolonisi optimizasyon, karınca kolonisi arama ve harmoni arama algoritması gibi bir çok algoritma Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtımına uygulanmıştır (Basu 2011; Song, Chou, ve Stonham 1999; Vasebi, Fesanghary, ve Bathaee 2007).

Bu çalışmada Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemi çözmek için PSO ve GA uygulanmaktadır. Sonuçlar, uygulanan yöntemlerle sorunun optimum çözümünü bulabildiğini göstermektedir.

## 2. Problem Formülasyonu

Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemi; birleşik ısı ve güç, yalnızca güç ve yalnızca ısı birimlerinden oluşan, üç tür birim vardır. Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtımının amaç fonksiyonu, kısıtları karşılarken sistemin işletme maliyetini en aza indirmektir.

### 2.1. Amaç Fonksiyonu

Birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemi ile ilgili amaç fonksiyonu Eşitlik (1)'de gösterilmiştir [1, 10].

$$OF = \sum_{i=1}^{N_p} C_i(P_i^p) + \sum_{j=1}^{N_c} C_j(P_j^c, H_j^c) + \sum_{k=1}^{N_h} C_k(H_k^h) \quad (1)$$

Burada, OF amaç fonksiyonudur,  $C_i(P_i^p)$ , üretilen  $P_i^p$  (MW) gücün i. ünitenin işletme maliyetidir.  $P_j^c$  (MW) elektrik gücü ve  $H_j^c$  MWth ısı gücü üretmek için j. kojenerasyon biriminin işletme maliyeti  $C_j(P_j^c, H_j^c)$  ile ifade edilir.  $C_k(H_k^h)$ ,  $H_k^h$  MWth ısı gücü üretilen yalnızca ısı kullanan bir birimin işletme maliyeti olarak tanımlanır.  $N_p, N_h, N_c$ , sırasıyla yalnızca güç, yalnızca ısı ve birleştirilmiş ısı ve güç birimlerinin toplam sayısıdır.  $i, j$  ve  $k$  sırasıyla yukarıda belirtilen birimler için indekslerdir. Birim maliyet fonksiyonları şu şekilde ifade edilebilir;

$$C_i(P_i^p) = \alpha_i(P_i^p)^2 + \beta_i(P_i^p) + \gamma_i \quad (\$/h) \quad (2)$$

$$C_j(P_j^c, H_j^c) = a_j(P_j^c) + b_i P_j^c + c_j + d_j(H_j^c)^2 + e_j H_j^c + f_j P_j^c H_j^c \quad (\$/h) \quad (3)$$

$$C_k(H_k^h) = a_k(H_k^h)^2 + b_k H_k^h + c_k \quad (\$/h) \quad (4)$$

Eşitlik (2)'deki  $\alpha_i, \beta_i$  ve  $\gamma_i$  i. yalnızca güç biriminin maliyet katsayılarıdır. Eşitlik (3)'teki  $a_j, b_i, c_j, d_j, e_j$  ve  $f_j$  j. birleştirilmiş ısı ve güç biriminin maliyet katsayılarıdır. Eşitlik (4)'deki  $a_k, b_k$  ve  $c_k$  k. yalnızca ısı biriminin maliyet katsayılarıdır.

### 2.2. Kısıtlamalar

Eşitlik (5)'de gösterildiği gibi, üretilen toplam güç, talep edilen güç ile güç kaybının toplamına eşittir. Eşitlik (6)'da, üretilen ısı miktarının, talep edilen ısı miktarına eşit olması gerektiği ifade edilmiştir.

$$\sum_{i=1}^{N_p} (P_i^p) + \sum_{j=1}^{N_c} (P_j^c) = P_d + P_{loss} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{N_p} (H_j^c) + \sum_{j=1}^{N_c} (H_k^h) = H_d \quad (6)$$

$P_d$  ve  $H_d$  sırasıyla güç ve ısı talepleridir.  $P_{loss}$  ise güç sistemi iletim kaybıdır. Üretilen elektrik ve ısı güçleri her birim için kabul edilebilir aralıkta olmalıdır:

$$P_i^{pmin} \leq P_i^p \leq P_i^{pmax} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_p \quad (7)$$

$$P_j^{cmin}(H_j^c) \leq P_j^c \leq P_j^{cmax}(H_j^c) \quad j = 1, 2, 3, \dots, N_c \quad (8)$$

$$H_j^{cmin}(P_j^c) \leq H_j^c \leq H_j^{cmax}(P_j^c) \quad j = 1, 2, 3, \dots, N_c \quad (9)$$

$$H_k^{hmin} \leq H_k^h \leq H_k^{hmax} \quad k = 1, 2, 3, \dots, N_h \quad (10)$$

Sadece güç olan birimleri için jeneratörün aktif gücü  $P_i^p$ , jeneratörün minimum aktif güç değeri  $P_i^{pmin}$  ile jeneratörün maksimum aktif güç değeri  $P_i^{pmax}$  arasında olmalıdır. Birleştirilmiş ısı ve güç birimleri için jeneratör aktif gücü  $P_j^c$ , jeneratörün minimum aktif güç değeri  $P_j^{cmin}$  ile jeneratörün maksimum aktif güç değeri  $P_j^{cmax}$  arasında olmalıdır. Birleştirilmiş ısı ve güç birimleri için üretilen ısı miktarı  $H_j^c$ , minimum üretilen ısı miktarı  $H_j^{cmin}$  ile maksimum üretilen ısı miktarı  $H_j^{cmax}$  arasında olmalıdır. Sadece ısı birimi için de üretilen ısı miktarı  $H_k^h$ , minimum üretilen ısı miktarı  $H_k^{hmin}$  ile maksimum üretilen ısı miktarı  $H_k^{hmax}$  olmalıdır.

### 2.2.1. Sistem güç dengesi kısıtlaması

Yük dağıtımında güç dengesi denklem (5)'e göre sağlanmaktadır. Burada  $P_d$  toplam yük talebidir ve  $P_{loss}$ , denklem (11)'de gösterildiği gibi birimlerin çıkış gücünün ve B-kayıp katsayılarının bir fonksiyonu olarak ifade edilebilen toplam güç iletim kayıplarıdır.

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^n B_{0i} P_i + B_{00} \quad (11)$$

Burada  $B_{ij}$ , kayıp katsayıları matrisinin  $ij$ . elemanı,  $B_{0i}$ , kayıp katsayıları vektörünün  $i$ . elemanı ve  $B_{00}$ , kayıp katsayısı sabitidir.

### 2.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu

İlk kez Kennedy ve Eberhart tarafından 1995 yılında tanıtılan PSO (Kennedy ve Eberhart 1995) kuşlar gibi hayvanların sürü davranışlarından esinlenen sürü zekasına dayalı bir optimizasyon algoritmasıdır. PSO ve PSO tabanlı algoritmalar, literatürde güç sistemleri ile ilgili farklı problemleri çözmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Abido 2002, 2009; Gaing 2003; Park vd. 2005; Yoshida vd. 2000). Tüm evrimsel algoritmaların süreci; rastgele sayılar üretmeye ve sayıları, problemin hedeflerine uygun hale getirmeye dayanır. PSO'da, parçacıkların pozisyonları karar değişkenleri olarak kabul edilir. Her bir  $i$  parçacığının bir konum vektörü  $X$  ve bir hız vektörü  $V$  vardır:

$$X_i^{iter} = [x_{i,1}^{iter}, x_{i,2}^{iter}, x_{i,3}^{iter}, \dots, x_{i,N}^{iter}] \quad (12)$$

$$V_i^{iter} = [v_{i,1}^{iter}, v_{i,2}^{iter}, v_{i,3}^{iter}, \dots, v_{i,N}^{iter}] \quad (13)$$

$N$ , problemdeki karar değişkenlerinin toplam sayısıdır. Konum vektörünün ve hız vektörünün yinelenmesi sırasıyla, Eşitlik (14) ve Eşitlik (15)'te verilmiştir.

$$V_{i,n}^{iter} = \omega V_{i,n}^{iter-1} + C_1 r_1^n (p_{best_{i,n}}^{iter-1} - x_{i,n}^{iter-1}) + C_2 r_2^n (g_{best_{i,n}}^{iter-1} - x_{i,n}^{iter-1}) \quad (14)$$

$$x_{i,n}^{iter} = x_{i,n}^{iter-1} + v_{i,n}^{iter} \quad (15)$$

$\omega$  atalet ağırlığıdır.  $r_1^n$  ve  $r_2^n$  [0, 1] arasında rastgele sayılardır.  $p_{best_{i,n}}^{iter-1}$  ve  $g_{best_{i,n}}^{iter-1}$  sırasıyla, önceki iterasyondaki  $i$ . parçacığın en iyi konumları ve tüm sürünün en iyi konumudur.  $C_1$  ve  $C_2$ , genellikle eşit olan öğrenme faktörleridir. Eşitlik (16)'da, konumun maksimum

değeri  $x_n^{max}$ , minimum değeri  $x_n^{min}$  ve r hızdaki değişim miktarını kontrol eden parametre ile hızın maksimum değeri  $v_n^{max}$  bulunur ve güncellenen hızın  $v_{i,n}$  uygun limitler arasında olması Eşitlik (17)'de verilmiştir.

$$v_n^{max} = (x_n^{max} - x_n^{min})/r \quad (16)$$

$$-v_n^{max} \leq v_{i,n} \leq v_n^{max} \quad (17)$$

#### 2.4. Genetik Algoritma

Genetik algoritmalar, kalıtım, mutasyon, seçim ve çaprazlama gibi evrimsel biyolojiden esinlenen teknikleri kullanan belirli bir Evrimsel Algoritmalar sınıfıdır (Kaur, Singh, ve Bhardwaj 2014). Geleneksel olarak, çözümler ikili olarak 0'lar ve 1'lerin dizeleri olarak temsil edilir, ancak başka kodlamalar da mümkündür. Evrim genellikle rastgele oluşturulmuş bireylerden oluşan bir popülasyondan başlar ve nesiller içinde gerçekleşir. Her nesilde, popülasyondaki her bireyin uygunluğu değerlendirilir, birden fazla birey stokastik olarak mevcut popülasyondan seçilir (uygunluklarına göre) ve yeni bir popülasyon oluşturmak için değiştirilir (yeniden birleştirilir ve muhtemelen rastgele mutasyona uğrar). Yeni popülasyon daha sonra algoritmanın bir sonraki yinelemesinde kullanılır. Genellikle, maksimum sayıda nesil üretildiğinde veya popülasyon için tatmin edici bir uygunluk düzeyine ulaşıldığında algoritma sona erer. Algoritma, maksimum nesil sayısı nedeniyle sona erdiyse, tatmin edici bir çözüme ulaşılmış olabilir veya olmayabilir. Genetik temsili ve uygunluk işlevini tanımladıktan sonra, GA, rastgele bir çözüm popülasyonunu başlatmaya devam eder ve ardından mutasyon, çaprazlama, ters çevirme ve seçim operatörlerinin tekrarlayan uygulamasıyla bunu iyileştirir (Kaur, Singh, ve Bhardwaj 2014).

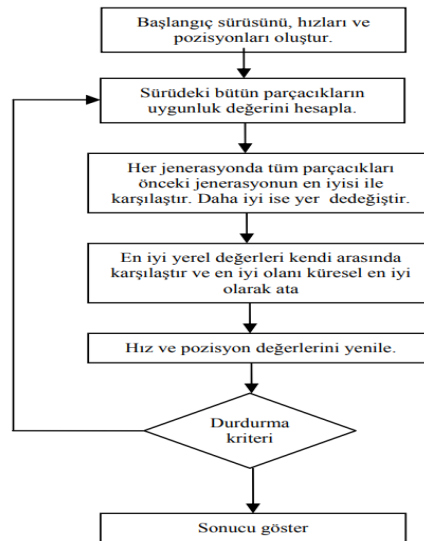
Tipik olarak genetik algoritmalar başlatma, değerlendirme ve genetik operasyon olmak üzere üç aşamaya sahiptir. Başlangıçta, bir ilk popülasyonu oluşturmak için birçok bireysel çözüm rastgele oluşturulur. Nüfus büyüklüğü, sorunun niteliğine bağlıdır, ancak tipik olarak yüzlerce veya binlerce olası çözüm içerir. Çözümlerin uygunluğu, ilk çözüm kümesinden problem çözümüne kadar belirlenir. Bu uygunluk tespiti için, uygunluk fonksiyonu adı verilen bir fonksiyon kullanılmaktadır. Bu fonksiyon, amaç fonksiyonundan türetilir ve ardışık genetik işlemlerde kullanılır. Değerlendirme fonksiyonu, popülasyondaki her bir kromozomun uygunluğunu belirlemek için bir prosedürdür ve büyük ölçüde uygulamaya yöneliktir. Maksimizasyon problemi için uygunluk fonksiyonu denklem (18) gibidir.

$$f(x) = F(x) \quad (18)$$

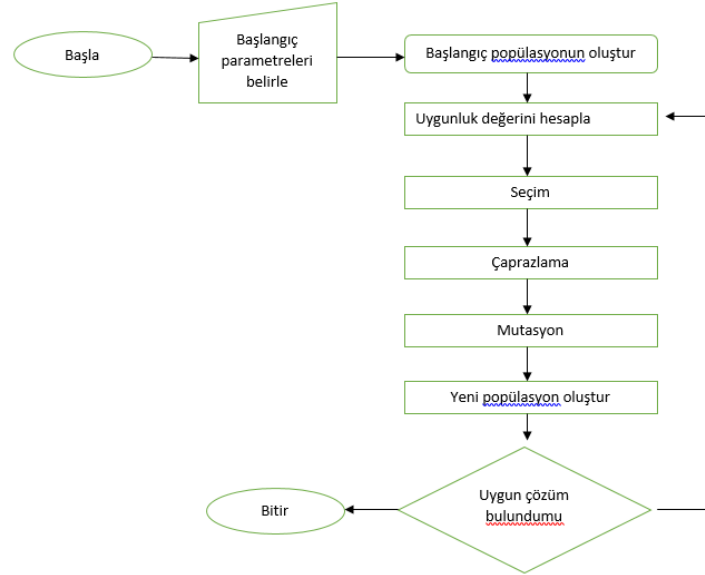
minimizasyon problemleri için, uygunluk fonksiyonu ise denklem (19) gibidir.

$$F(x) = 1/(1 + f(x)) \quad (19)$$

Burada  $f(x)$  uygunluk fonksiyonu ve  $F(x)$  amaç fonksiyonudur.



Şekil 1. PSO akış şeması(Yasin ÖZSAĞLAM ve Çunkaş 2008)



Şekil 2. Genetik algoritma akış şeması

### 3. Simülasyon, Sonuçlar ve Tartışma

Ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümü için PSO ve Genetik algoritma yöntemleri kullanılarak 2 ayrı test sistemine uygulanmış, sonuçlar tartışılmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Algoritmalar ekonomik yük dağıtım problemlerinin çözümü için MATLAB programında uygulanmaktadır. Temel amaç, PSO ve GA kullanılarak termik santrallerin üretim maliyetlerinin minimize edilmesi ve bu iki algoritma arasındaki performans karşılaştırılması yapmaktır. Performans problem 1 ve problem 2 olarak adlandırılan iki test sistemi üzerinden değerlendirilmiştir. Problem 1, yalnızca güç birimi, birleşik ısı ve güç birimi ve yalnızca ısı birimi olmak üzere üç birimden meydana gelmektedir. Süreci basitleştirmek için güç sistemi iletim kayıpları göz ardı edilmiştir. Güç ve ısı talepleri sırasıyla 200 MW ve 115 MWth'dır. Yalnızca güç için ve yalnızca ısı için maliyet fonksiyonları doğrusal olarak sırasıyla, Eşitlik (20) ve Eşitlik (21)'de verilmiştir.

$$C_1(P_1) = 50P_1 ; 0 \leq P_1 \leq 150 \quad (20)$$

$$C_4(H_4) = 23.4H_4 ; 0 \leq H_4 \leq 2695.2 \quad (21)$$

Yalnızca güç ünitesinin özellikleri Tablo 1'de, yalnızca ısı ünitesinin özellikleri Tablo 2'de, birleşik ısı ve güç birimlerinin özellikleri Tablo 3'de ve yükün güç ve ısı talebi Tablo 4'te verilmiştir. Birleşik ısı ve güç birimlerinin uygun işletim bölgesi, ünite 1 ve ünite 2 için sırasıyla, Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmektedir. Güç ve ısı değerleri belirli değerler arasında olmalıdır. Şekil 3'deki ünite 1 için güç ve ısı değerleri, ABCD noktaları içinde olmalıdır. Şekil 4'deki ünite 2 için de güç ve ısı değerleri, ABCDEF noktaları içerisinde olmalıdır.

Problem 2, 13 termik santralden oluşmaktadır. Toplam yük talebi 2500 MW'tır ve güç iletim kayıpları da dikkate alınmıştır. Tablo 5'te güç talepleri ve güç birimlerinin özellikleri verilmiştir. İletim kaybı matrisleri verilmiştir.

Evrimsel algoritmaların rastgele doğasını araştırmak için, önerilen yöntem 100 kez gerçekleştirilir ve çözümlerin varyasyonları, tüm çözümlerin en iyi çözümü ayrıca, en iyi çözüm için yöntemin yakınsaması sonuçlar bölümünde gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Problem 1 için yalnızca güç ünitesinin özellikleri

Konvansiyonel termal Ünite (i)	İşletme maliyeti katsayıları					$p_i^{pmin}$ (MW)	$p_i^{pmax}$ (MW)
	$a_i^p$ (\$/MW <sup>2</sup> )	$b_i^p$ (\$/MW)	$c_i^p$ (\$)	$d_i^p$ (\$)	$e_i^p$ (1/MW)		
1	0	50	0	0	0	0	150

**Tablo 2.** Problem 1 için yalnızca ısı ünitesinin özellikleri

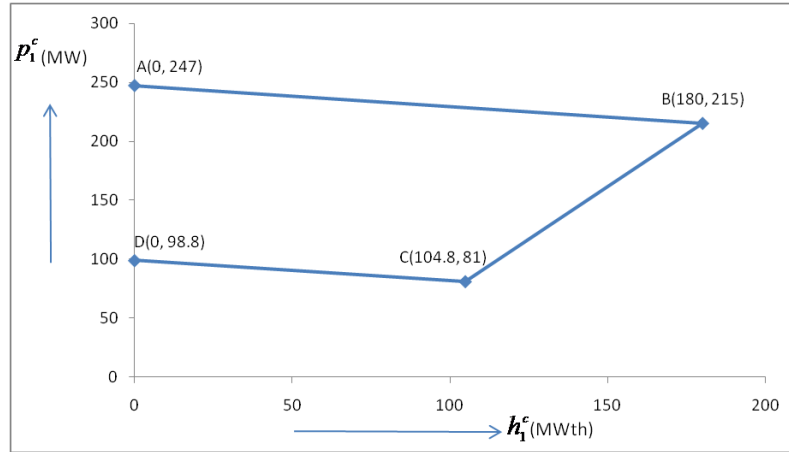
Yalnızca ısı ünitesi ( $k$ )	İşletme maliyeti katsayıları			$h_k^{hmin}$ (MWth)	$h_k^{hmax}$ (MWth)
	$a_k^h$ (\$/(MWth) <sup>2</sup> )	$b_k^h$ (\$/MWth)	$c_k^h$ (\$)		
1	0	23.4	0	0	2695.2

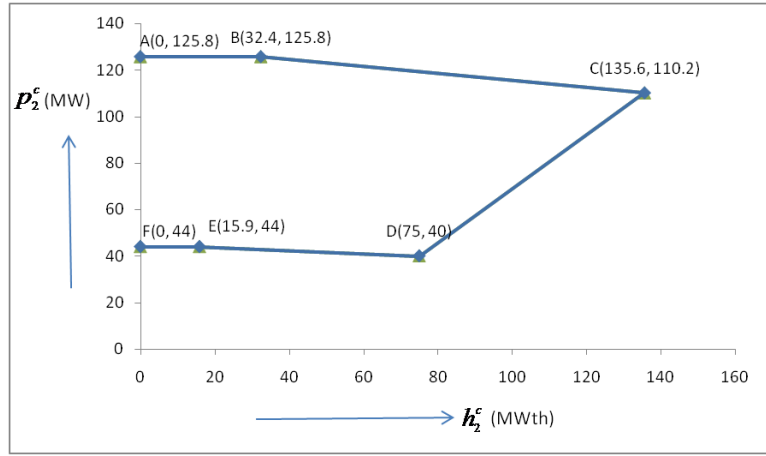
**Tablo 3.** Problem 1 için birleşik ısı ve güç birimlerinin özellikleri

Kojenerasyon ünitesi ( $j$ )	İşletme maliyeti katsayıları					
	$a_j^c$ (\$/MW <sup>2</sup> )	$b_j^c$ (\$/MW)	$c_j^c$ (\$)	$d_j^c$ (\$/(MWth) <sup>2</sup> )	$e_j^c$ (\$/MWth)	$f_j^c$ (\$/MW-MWth)
1	0.0345	14.5	2650	0.03	4.2	0.031
2	0.0435	36	1250	0.027	0.6	0.011

**Tablo 4.** Problem 1 için yükün güç ve ısı talebi

Güç Talebi $p_D$ (MW)	Isı Talebi $h_D$ (MWth)
200	115

**Şekil 3.** Problem 1 için kojenerasyon ünite 1 için uygun işletim bölgesi



Şekil 4. Problem 1 için kojenerasyon ünite 2 için uygun işletim bölgesi

Tablo 5. Problem 2 için güç ünitesi özellikleri (Rezaie vd. 2019)

Ünite	$P_{min}$	$P_{max}$	a	b	c	e	f	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\xi$	$\lambda$
1	0	680	0.00028	8.10	550	300	0.035	0.06320	-2.434	40	0.855	0.0087
2	0	360	0.00056	8.10	309	200	0.042	0.03480	-3.630	50	0.623	0.0068
3	0	360	0.00056	8.10	307	150	0.042	0.04376	-3.630	50	0.623	0.0085
4	60	180	0.00324	7.74	240	150	0.063	0.04376	-5.271	40	0.312	0.0085
5	60	180	0.00324	7.74	240	150	0.063	0.04376	-5.271	40	0.312	0.0085
6	60	180	0.00324	7.74	240	150	0.063	0.04376	-5.271	40	0.312	0.0085
7	60	180	0.00324	7.74	240	150	0.063	0.04376	-5.271	40	0.312	0.0085
8	60	180	0.00324	7.74	240	150	0.063	0.04376	-5.271	40	0.312	0.0085
9	60	180	0.00324	7.74	240	150	0.063	0.04376	-5.271	40	0.312	0.0085
10	40	120	0.00284	8.60	126	100	0.084	0.05710	-4.852	100	0.424	0.0052
11	40	120	0.00284	8.60	126	100	0.084	0.05710	-4.852	100	0.424	0.0052
12	55	120	0.00284	8.60	126	100	0.084	0.05710	-4.343	100	1.130	0.0055
13	55	120	0.00284	8.60	126	100	0.084	0.05710	-4.343	100	1.130	0.0055

Problem 2 için İletim kaybı matrisleri aşağıdaki gibidir.

$$B_{ij} = 10^{-2} \times \begin{bmatrix} +0.14 & +0.12 & +0.07 & -0.01 & -0.03 & -0.01 & -0.01 & -0.01 & -0.03 & +0.05 & -0.03 & -0.02 & +0.04 \\ +0.12 & +0.15 & +0.13 & 0.000 & -0.05 & -0.02 & 0.000 & +0.01 & -0.02 & -0.04 & -0.04 & 0.000 & +0.04 \\ +0.07 & +0.13 & +0.76 & -0.01 & -0.13 & -0.09 & -0.01 & 0.000 & -0.08 & -0.12 & -0.17 & 0.000 & -0.26 \\ -0.01 & 0.000 & -0.01 & +0.34 & -0.07 & -0.04 & +0.11 & +0.50 & +0.29 & +0.32 & -0.11 & 0.000 & +0.01 \\ -0.03 & -0.05 & -0.13 & -0.07 & +0.90 & +0.14 & -0.03 & -0.12 & -0.10 & -0.13 & +0.07 & -0.02 & -0.02 \\ -0.01 & -0.02 & -0.09 & -0.04 & +0.14 & +0.16 & 0.000 & -0.06 & -0.05 & -0.08 & +0.11 & -0.01 & -0.02 \\ -0.01 & 0.000 & -0.01 & +0.11 & -0.03 & 0.000 & +0.15 & +0.17 & +0.15 & +0.09 & -0.05 & +0.07 & 0.000 \\ -0.01 & +0.01 & 0.000 & +0.50 & -0.12 & -0.06 & +0.17 & +1.68 & +0.82 & +0.79 & -0.23 & -0.36 & +0.01 \\ -0.03 & -0.02 & -0.08 & +0.29 & -0.10 & -0.05 & +0.15 & +0.82 & +1.29 & +1.16 & -0.21 & -0.25 & +0.07 \\ -0.05 & -0.04 & -0.12 & +0.32 & -0.13 & -0.08 & +0.09 & +0.79 & +1.16 & +2.00 & -0.27 & -0.34 & +0.09 \\ -0.03 & -0.04 & -0.17 & -0.11 & +0.07 & +0.11 & -0.05 & -0.23 & -0.21 & -0.27 & +1.40 & +0.01 & +0.04 \\ -0.02 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & -0.02 & -0.01 & +0.07 & -0.36 & -0.25 & -0.34 & +0.01 & +0.54 & -0.01 \\ +0.04 & +0.04 & -0.26 & +0.01 & -0.02 & -0.02 & 0.000 & +0.01 & +0.07 & +0.09 & +0.04 & -0.01 & 1.03 \end{bmatrix}$$

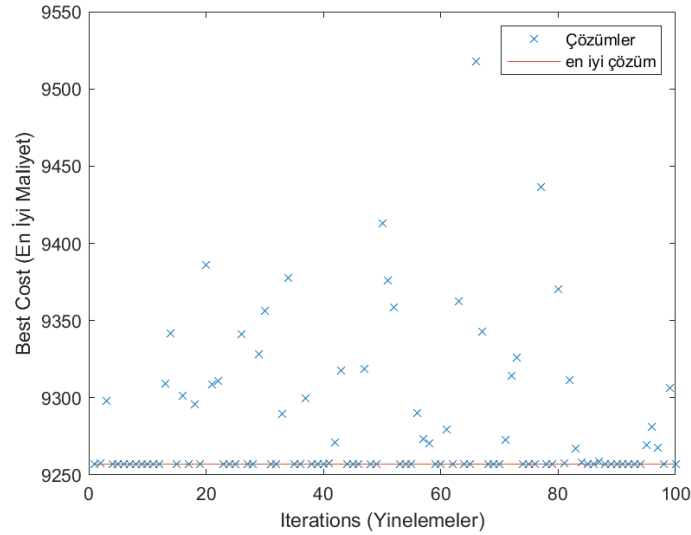
$$B_{0i} = [-0.0001 \quad -0.0002 \quad -0.0028 \quad -0.0001 \quad +0.0001 \quad -0.0003 \quad -0.0002 \quad -0.0002 \quad +0.0006 \quad +0.0039 \quad -0.0017 \quad 0.0000 \quad +0.0032]$$

$$B_{00} = +0.0055$$

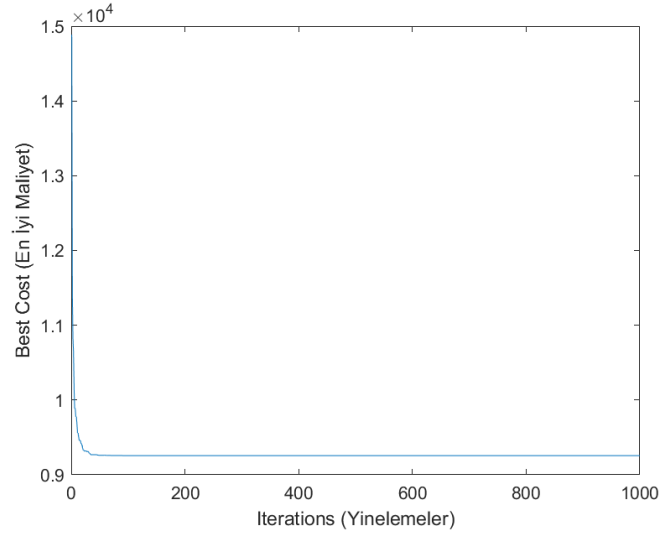
#### 4. Sonuçlar

Güç sistemlerinde mikro şebeke konseptinin genişlemesi ve güç şebekelerindeki günlük enerji kaynaklarının sayısının artırması ile hesaplamalar daha karmaşık hale gelmektedir. Güç sistemlerinde evrimsel algoritmaların uygulaması olarak, birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım problemi ve 13 üniteli hat kayıplı iki ayrı test sistemi PSO ve GA kullanılarak çözülmüştür. Doğrusal olmayan birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım probleminin çözümünde, PSO ve GA algoritmalarının sonuçları incelendiğinde, PSO çalışmanın ana problemi için daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Tablo 6'da birleşik ısı ve güç ekonomik dağıtım probleminin maliyet çıktıları karşılaştırılmıştır; PSO maliyet çıktısı 9263.4\$ ve GA'nın maliyet çıktısının 9620.3\$ olduğu görülmektedir. Bu verilere göre, PSO'nun GA'dan daha iyi bir minimizasyonla sonuç bulduğu görülmektedir. PSO'nun global minimum değerini 0-50 iterasyonda yakalarken GA'a bu değere daha yüksek iterasyonlarda ulaşmıştır (Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8).

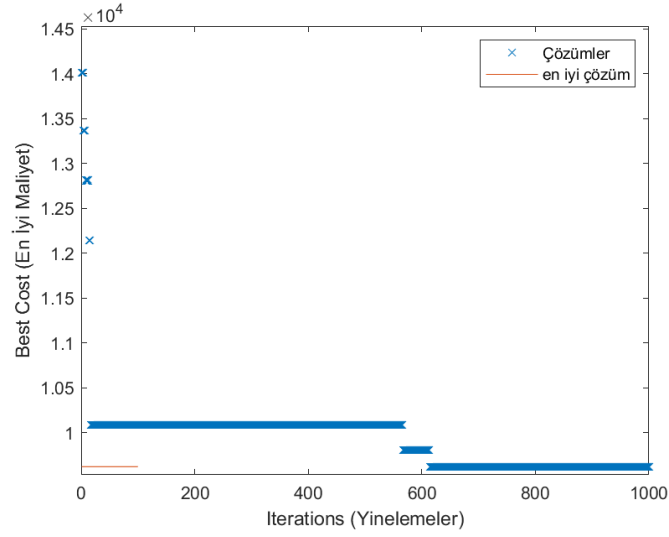
13 üniteli ikinci test sistemi çözümünde sonuçlar incelendiğinde, PSO'nun 13 üniteli hat kayıplı test sistemi için de daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Tablo 7'de verilen ikinci test sisteminin maliyet çıktıları karşılaştırıldığında ise PSO maliyet çıktısı 24736.9881\$ olurken, GA için maliyet çıktısı 24784.5397\$'dir. Sonuç olarak her iki sistem için PSO algoritması daha başarılı sonuçlar vermiştir.



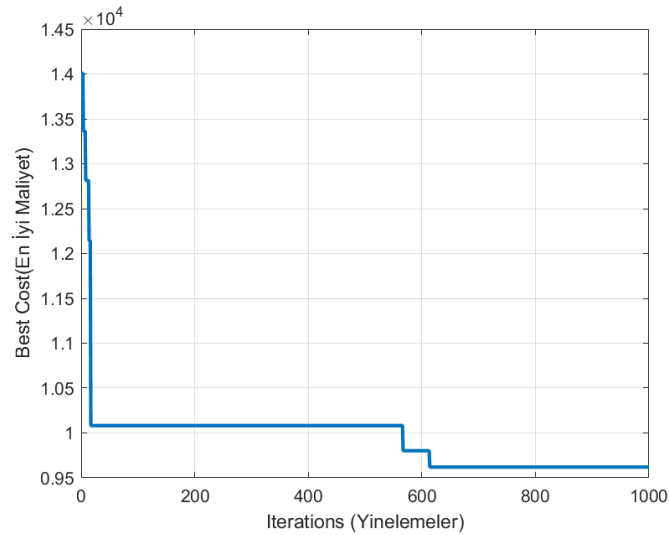
Şekil 5. Problem 1 için PSO için çözümler ve en iyi çözüm varyasyonları



Şekil 6. Problem 1 için PSO için en iyi çözüm yakınsaması



Şekil 7. Problem 1 için GA için çözümler ve en iyi çözüm varyasyonları

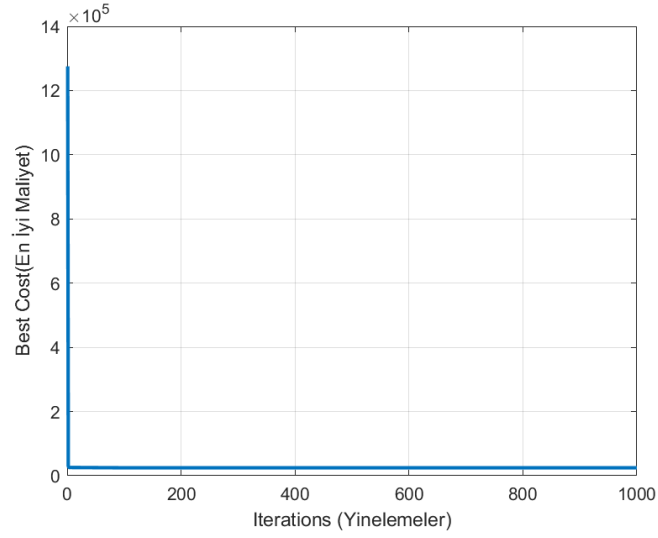
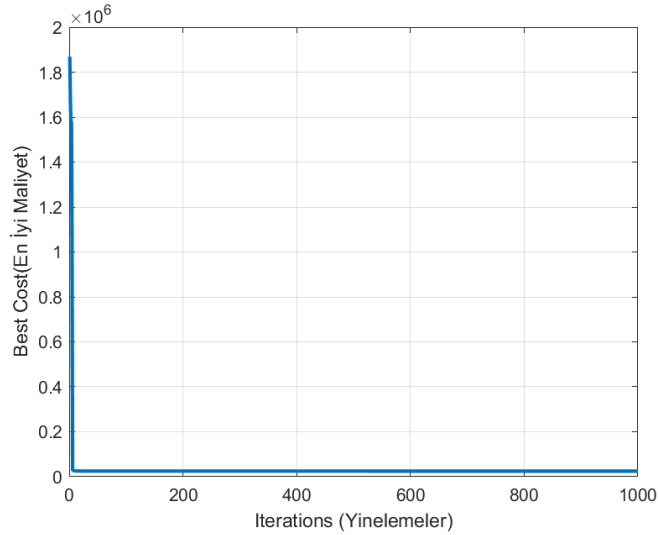


Şekil 8. Problem 1 için GA için en iyi çözüm yakınsaması



**Tablo 6.** Problem 1 için PSO ve GA sonuç çıktıları

	PSO Sonuçları	GA Sonuçları
P1	0	0
P2	160	160
P3	40	40
H1	40	40
H2	75	75
H3	0	0
Toplam maliyet (\$)	9263.4	9620.3

**Şekil 9.** Problem 2 için PSO en iyi çözüm yakınsaması**Şekil 10.** Problem 2 için GA en iyi çözüm yakınsaması

**Tablo 7.** Problem 2 için PSO ve GA sonuç çıktıları

	PSO Sonuçları	GA Sonuçları
Toplam maliyet (\$)	24736.9881	24784.5397

## Referanslar

- Abido, M. A. 2002. "Optimal power flow using particle swarm optimization". *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 24(7): 563–71.
- Abido, M. A. 2009. "Multiobjective particle swarm optimization for environmental/economic dispatch problem". *Electric Power Systems Research* 79(7): 1105–13.
- Basu, M. 2011. "Bee colony optimization for combined heat and power economic dispatch". *Expert Systems with Applications* 38(11): 13527–31.
- Basu, M. 2016. "Group search optimization for combined heat and power economic dispatch". *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 78: 138–47.
- Gaing, Zve Lee. 2003. "Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints". *IEEE Transactions on Power Systems* 18(3): 1187–95.
- Henwood, Tao Guo Mark I. 1996. "An algorithm for combined heat and power economic dispatch". *IEEE Transactions on Power Systems* 11(4): 1778–84.
- Kaur, Arunpreet, Harinder Pal Singh, ve Abhishek Bhardwaj. 2014. "Analysis of Economic Load Dispatch Using Genetic Algorithm". *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)* 3(3): 240–46.
- Kennedy, James, ve Russell Eberhart. 1995. "Particle swarm optimization". *International Conference on Neural Networks* 4: 1942–48. <http://ieeexplore.ieee.org/document/488968/> (02 Ocak 2021).
- Mohammadi-Ivatloo, Behnam, Mohammad Moradi-Dalvand, ve Abbas Rabiee. 2013. "Combined heat and power economic dispatch problem solution using particle swarm optimization with time varying acceleration coefficients". *Electric Power Systems Research* 95: 9–18.
- Park, Jong Bae, Ki Song Lee, Joong Rin Shin, ve Kwang Y. Lee. 2005. "A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions". *IEEE Transactions on Power Systems* 20(1): 34–42.
- Rezaie, Hamid, M.H. Kazemi-Rahbar, Behrooz Vahidi, ve Hasan Rastegar. 2019. "Solution of combined economic and emission dispatch problem using a novel chaotic improved harmony search algorithm". *Journal of Computational Design and Engineering* 6(3): 447–67. <https://academic.oup.com/jcde/article/6/3/447/5732314>.
- Shi, Bin, Lie Xiang Yan, ve Wei Wu. 2013. "Multi-objective optimization for combined heat and power economic dispatch with power transmission loss and emission reduction". *Energy* 56: 135–43.
- Sohrabi, Farnaz, Farkhondeh Jabari, Pouya Pourghasem, ve Behnam Mohammadi-Ivatloo. 2020. "Combined Heat and Power Economic Dispatch Using Particle Swarm Optimization". *Çinde Studies in Systems, Decision and Control*, Springer, 127–41. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-34050-6\\_6](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-34050-6_6) (03 Aralık 2020).
- Song, Y. H., C. S. Chou, ve T. J. Stonham. 1999. "Combined heat and power economic dispatch by improved ant colony search algorithm". *Electric Power Systems Research* 52(2): 115–21.
- Vasebi, A., M. Fesanghary, ve S. M.T. Bathaee. 2007. "Combined heat and power economic dispatch by harmony search algorithm". *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 29(10): 713–19.

- Yasin ÖZSAĞLAM, M, ve Mehmet Çunkaş. 2008. “Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması”. Politeknik Dergisi Journal of Polytechnic Cilt 11(4): 299–305.
- Yazdani, Afshin, T. Jayabarathi, V. Ramesh, ve T. Raghunathan. 2013. “Combined heat and power economic dispatch problem using firefly algorithm”. *Frontiers in Energy* 7(2): 133–39. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11708-013-0248-8> (03 Aralık 2020).
- Yoshida, Hirotaka vd. 2000. “A Particle swarm optimization for reactive power and voltage control considering voltage security assessment”. *IEEE Transactions on Power Systems* 15(4): 1232–39.



# Kablosuz Sensör Ağlarında Parçacık Sürü Optimizasyonu, Sürekli Zaman Karınca Koloni Algoritması, Girdap Arama Algoritması, Yabani Ot Optimizasyon Algoritmaları ile Konum Belirleme ve K- Bağlılık İnceleme

## Localization with Particle Swarm Optimization, Continuous Time Ant Colony Algorithm, Vortex Search Algorithm, Invasive Weed Optimization Algorithms with Wireless Sensor Networks and K-Connectivity Analysis

Feyza Nur Çakıcı\*<sup>1</sup> , Tolga Eren<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektirik-Elektornik Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, Türkiye

Başvuru/Received: 06/12/2021

Kabul / Accepted: 27/12/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 31/12/2021

Son Versiyon/Final Version: 31/12/2021

### Öz

Kablosuz sensör ağları (KSA) birçok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Uygulanan alanlarda bilginin anlamlı hale gelmesi için alınan bilginin konumu tespit edilmesi önemlidir. KSA'ların konum belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmıştır. KSA'daki düğümlerden herhangi biri devre dışı kalsa bile ağdaki iletişim bozulmamalıdır. Bu durumda k-bağlılık ağ için önemli bir noktadır. Makalede Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization-PSO), Sürekli Zaman Karınca Koloni Algoritması (Ant Colony Optimization for Continuous Domains-ACO<sub>R</sub>), Girdap Arama Algoritması (Vortex Search Algorithm-VSA) ve Yabani Ot Optimizasyon (Invasive Weed Optimization-IWO) algoritması kullanılarak sensör düğümlerin konumu tespit edilmiştir. İletim aralığına (R) bağlı olarak k-bağlılık hesaplanmıştır. Matlab ortamında algoritmalara k-bağlılık uygulanarak konumlandırma meydana gelen ortalama hata incelenmiş ve simülasyon sonuçları tablolar ve şekiller halinde gösterilmiştir.

### Anahtar Kelimeler

“Kablosuz sensör ağlarında konumlandırma, PSO, ACO<sub>R</sub>, VSA, IWO, K-bağlılık”

### Abstract

Wireless sensor networks (WSN) are used in many different fields. It is important to determine the location of the information received so that the information becomes meaningful in the applied areas. Different methods have been used to determine the location of WSN's. Even if any of the nodes in the WSN are disabled, communication in the network should not be disrupted. In this case, k-connectivity is an important point for the network. In the article, Particle Swarm Optimization (PSO), Ant Colony Optimization for Continuous Domains (ACO<sub>R</sub>), Vortex Search Algorithm (VSA), and Invasive Weed Optimization (IWO) the location of the sensor nodes are determined using. The k-connectivity is calculated based on the transmission distance (R). The average error in the localization is examined by applying k-connectivity to the algorithms in the Matlab environment, and the simulation results are shown in tables and figures.

### Key Words

“Localization in wireless sensor networks, PSO, ACO<sub>R</sub>, VSA, IWO, K-connectivity”

## 1. Giriş

Kablosuz sensör ağları (KSA) teknolojinin ilerlemesi ile birlikte boyutlar küçülmüş ve enerji tüketimi azalmıştır. Böylelikle birçok farklı alanda kullanılması sağlanmıştır. KSA'lar başlangıçta askeri amaçlar için kullanılmış ve daha sonra eğitim, tarım, sağlık uygulamaları, deprem tespiti ve hayvanların takibi gibi birçok önemli alanlarda uygulanmıştır.

KSA'daki düğümler dört ana bölümden meydana gelmektedir. Bunlar sensör birimi, işlemci birimi, alıcı-gönderici birimi ve güç birimidir. KSA'da yer alan sensör düğümleri coğrafik alanlara rastgele dağıtılmaktadır. Coğrafik alanda tespit edilecek veriler sensörler aracılığı ile algılanmakta ve ayrı ayrı işlenmektedir. Daha sonra işlenen veriler komşu sensörlere iletilmekte ve son olarak baz istasyonuna gönderilmektedir. Rastgele dağıtılan sensör düğümlerinde konumu bilinen ve konumu bilinmeyen düğümler bulunmaktadır. GPS veya manuel yöntemleri aracılığı ile önceden konumu bilinen düğümlere referans (çapa) düğümü olarak adlandırılmaktadır. Konumu bilinmeyen düğümler ise hedef düğüm olarak isimlendirilmektedir. Hedef düğümlerin konumu GPS tekniği ile tespit etmek maliyetli ayrıca enerji tüketimi fazladır. Hareketli yapıya sahip olan sensör düğümlerin manuel ile konumunun tespiti yapmak mümkün değildir. Bu durumda hedef düğümlerin konumunun tespiti için farklı metotlar kullanılmaktadır. Bu metotlardan biri çapa düğümü ile hedef sensörleri arasındaki mesafe hesaplanarak bulunmakta ve bu yöntemle network lozalization (ağ konumu belirleme) denilmektedir (Eren, vd. 2004).

Sensör düğümlerin herhangi bir bakıma gereksinim duymamakta ve oluşabilecek hatalara karşı toleranslı olmaktadır. Bundan dolayı ulaşılması zor alanlarda da kullanılmaktadır. Sensör düğümlerin sahip olduğu avantajları sayesinde birçok alanda kullanıldığı için düğümlerin konumu belirlenmesi önemli bir çalışma alanı oluşturmaktadır. Hedef düğümlerin konumunun tespit edilmesinde literatürde farklı algoritmalar kullanılmakta olup, optimizasyon problemi olarak yer almaktadır. Gerçekleştirilen çalışmaların bazıları açıklamaları ile birlikte yer verilmektedir.

Makalede hedef sensörlerin konum belirlenmesinde PSO, ACO<sub>R</sub>, VSA ve IWO algoritmaları kullanılmıştır. Algoritmalarda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Makalenin 2. Bölümünde KSA'larda konumlandırma problemi ve hata fonksiyonun elde edilmesi hakkında bilgi verilmiştir. 3. Bölümünde konum belirlemede kullanılan algoritmalar hakkında detaylı bir şekilde açıklanmıştır. 4. Bölümde ise KSA'larda k-bağıllık hakkında bilgi verilmiş ve şekiller verilerek konu incelenmiştir. 5. Bölümde ise elde edilen simülasyon sonuçları tablolar ve şekiller halinde gösterilmiş ve son olarak 6. Bölümde algoritmalarda elde edilen sonuçlar grafikte gösterilmiştir.

## 2. KSA'larda Konumlandırma ve Hata Fonksiyonu

KSA'lar birçok alanda kullanımı artmaktadır. Bu nedenle sensör düğümlerinin konumlarının belirlenmesi önemlidir. Hedef sensör düğümlerin konumu için GPS'den farklı olarak dağıtılmış konumlandırma ve merkezi konumlandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Dağıtılmış konumlandırma metodu mesafeden bağımsız ve mesafeye bağlı konumlandırma olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kullanılan bu iki yöntem çapaya bağlı veya çapadan bağımsız olarak iki farklı şekilde hesaplanmaktadır. Mesafeye bağımlı konum bulma yönteminde, sensör düğümlerin birbirlerine olan uzaklığı hesaplanmaktadır. Mesafeye bağımlı ve mesafeden bağımsız konum belirleme yöntemleri karşılaştırıldığında mesafeden bağımsız konum belirleme yöntemi daha basittir ve maliyeti daha azdır ancak elde edilen hata oranı yüksektir. Mesafeye bağımlı konum belirleme yöntemi, Varış Zamanı (Time of Arrival-ToA), Varış Zamanı Fark (Time Difference of Arrival-TDoA), Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (Received Signal Strength Indication-RSSI), Varış Açısı (Angle of Arrival-AoA) gibi yöntemler kullanılarak hesaplanmaktadır. Mesafeden bağımsız konum belirleme yönteminde ise Dv-Hop, Amorphus, Üçgende Yaklaşık Nokta (Approximate Point in Triangle-Apıt) ve Centroid yöntemler kullanılmaktadır. Konumu bilinmeyen sensör düğümlerinin konumunu belirlemek için konumu bilinen referans (çapa) düğümlerinin 2-boyutlu uzayda en az üç tane veya 3-boyutlu uzayda en az 4 tane olması gereklidir.

KSA'larında konum belirleme probleminde N adet çapa düğümü ve M adet hedef düğümü olduğunu varsayarsak çapa düğümlerin koordinatları  $(x_j, y_j)$  hedef düğümlerinin koordinatları  $(x_i, y_i)$  şeklinde ifade edilmektedir. Gerçek uzaklık, hedef düğümleri ile çapa düğümleri arasındaki mesafe hesaplanarak bulunaktadır. Gerçek uzaklık denklem (1) kullanılarak hesaplanmaktadır.  $d_i$  gerçek uzaklığı ifade etmektedir.

$$d_i = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (1)$$

Gerçek uzaklığa, gaussian gürültü ( $n_i$ ) eklenerek tahmini uzaklık ( $d_{in}$ ) elde edilmektedir. Tahmini uzaklık denklem (2) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$d_{in} = d_i + n_i \quad (2)$$

KSA'larda konumu bilinmeyen sensör düğümlerinin konumunun belirlenmesi optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. Yapılan çalışmada farklı optimizasyon algoritmaları ile gerçek mesafe ile tahmini mesafe arasındaki farkı en az indirerek hata oranını düşürmektir. Optimizasyon probleminde belirlenen amaç fonksiyonu denklem (3) ile hesaplanmaktadır.

$$f(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (d_i - d_{in})^2 \quad (3)$$

Konumu bilinmeyen hedef düğümlerinin konumları optimizasyon algoritmalar kullanılarak en az hata ile tespit edilmektedir. Hata fonksiyonu denklem (4) kullanılarak elde edilmektedir.

$$E = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \sqrt{(x_i - X_i)^2 + (y_i - Y_i)^2} \quad (4)$$

Denklem (4)'te  $(x_i, y_i)$  gerçek sensör düğümlerin koordinatlarını,  $(X_i, Y_i)$  ise sezgisel optimizasyon algoritması ile tahmin edilen sensör düğümlerinin koordinatlarını ifade etmektedir.

### 3. Konumlandırmada Kullanılan Optimizasyon Algoritmaları

Konumu bilinmeyen hedef sensör düğümlerinin konumunu belirlemek için PSO, ACO<sub>R</sub>, VSA ve IWO algoritmaları kullanılmıştır. Bu bölümde PSO, ACO<sub>R</sub>, VSA ve IWO algoritmaları hakkında detaylı bir şekilde bilgi verilmiştir.

#### 3.1. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması (PSO)

Kennedy ve Eberhart (1995) tarafından geliştirilen algoritma, balık ve kuş sürülerinin yiyecek arama sırasında sergiledikleri davranışlardan esinlenerek tasarlanmıştır. PSO algoritmasında her bir bireye parçacık, parçacıkların oluşturduğu topluluğa da sürü adı verilmektedir. Parçacıklar çözüm uzayına rastgele dağıtılır ve yiyecek arama davranışlar önceki deneyimlerinden ve yakın olan parçacıkların deneyimlerinden faydalanmaktadır. Böylece parçacıkların en iyi konumu bulunmaktadır. Aşağıda verilen denklem (5) kullanılarak parçacıkların başlangıç konumları bulunmaktadır.

$$X_{i,d} = X_{min,d} + r_{i,d} \times (X_{max,d} - X_{min,d}) \quad (5)$$

Burada d-boyutlu uzayda, i tane parçacığın başlangıç konumunu  $X_{min,d}$  ve  $X_{max,d}$  alt ve üst limitleri,  $r_{i,d}$  0 ile 1 aralığında değer alan rastgele sayıyı ifade etmektedir. Her bir iterasyonda i. parçacığın hızı denklem (6) ile konumu ise denklem (7) ile güncellenmektedir.

$$V_{i,d}^{t+1} = (w^{t+1} \times V_{i,d}^t) + c_1 r_1 \times (Pbest_{i,d}^t - X_{i,d}^t) + c_2 r_2 \times (Gbest_{i,d}^t - X_{i,d}^t) \quad (6)$$

$$X_{i,d}^{t+1} = X_{i,d}^t + V_{i,d}^{t+1} \quad (7)$$

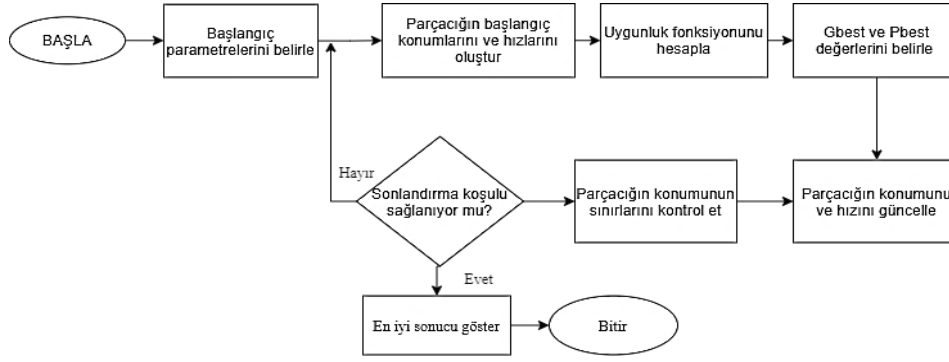
Denklem (6)'da  $c_1$  ve  $c_2$  öğrenme faktörlerini,  $r_1$  ve  $r_2$  0 ile 1 aralığında rastgele değer alan katsayıları ifade etmektedir.  $Gbest$ , global en iyi konum olarak isimlendirilir ve sürüdeki herhangi bir parçacığın en iyi konumunu göstermektedir.  $Pbest$ , lokal en iyi konum olarak isimlendirilir ve parçacığın o zamana kadarki en iyi konumunu belirtmektedir (Berber, vd. 2016). Lokal en iyi konum denklem (8) ile güncellenmektedir.

$$Pbest_{i,d}^{t+1} = \begin{cases} Pbest_{i,d}^{t+1} & , f(X_{i,d}^{t+1}) \geq f(Pbest_{i,d}^t) \\ X_{i,d}^{t+1} & , f(X_{i,d}^{t+1}) < f(Pbest_{i,d}^t) \end{cases} \quad (8)$$

Denklem (8)'de amaç fonksiyonu  $f$  ile gösterilmektedir. PSO'da hız vektörünün sınırlandırılması denklem (9)'da gösterilmiştir.

$$V_{i,d}^{t+1} = \begin{cases} V_{i,d}^{t+1} & , V_{i,d}^{t+1} < V_{max} \\ V_{max} & , V_{i,d}^{t+1} \geq V_{max} \end{cases} \quad (9)$$

Şekil 1’de PSO’nun akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 1. PSO Algoritmasının Akış Diyagramı

### 3.2. Sürekli Zaman Karınca Koloni Optimizasyon Algoritması (ACO<sub>R</sub>)

Karınca Koloni Algoritması (ACO) Dorigo ve arkadaşları (1991) tarafından oluşturulmuştur. ACO karıncanın yemek kaynağına ulaşabilecek en kısa yolu bulmasından esinlenerek geliştirilmiştir. Karıncalar vücutlarında feromon adı verilen kimyasal madde salgılamaktadır. Feromon maddenin miktarının daha yoğun olan yönü karıncalar tarafından seçilerek en kısa yolu seçmiş olmaktadır. ACO algoritması ayrık optimizasyon problemleri için Socha ve Dorigo (2008) tarafından ACO algoritması geliştirilerek Sürekli Zaman Karınca Optimizasyon algoritması oluşturulmuştur. ACO<sub>R</sub> algoritmasında sürekli bir dağılım olasılık fonksiyonu kullanılmıştır.

Yeni çözüm değişkeni, çözüm uzayından seçilen bir değişkeninin Gaussian örnekleme kullanılarak seçilmektedir. Örnekleme için seçilen değişkenin benzer olmaması için Rulet Çarkı stratejisi kullanılmaktadır. Rulet Çarkı daha geniş çözüm sağlamaktadır (Ojha, Abraham ve Snasel, 2017). Gaussian tabanlı birden fazla olasılık yoğunluk fonksiyonunun toplamından gaussian çekirdek fonksiyonu meydana gelmektedir. Gaussian çekirdek fonksiyonu denklem (10) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$G^i(x) = \sum_{l=1}^k w_l g_l^i(x) = \sum_{l=1}^k w_l \frac{1}{\sigma_l^i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_l^i)^2}{2\sigma_l^{i2}}} \quad (10)$$

Denklem (10)'da  $i=1,2,3\dots n$  problemin boyutunu,  $w$  her bir Gaussian fonksiyonun ağırlık vektörünü,  $\mu_l^i$  ortalama vektörünü ve  $\sigma_l^i$  standart sapma vektörünü ifade etmektedir. Denklem (11)'de ise  $\mu^i$  Gaussian çekirdek fonksiyonunun ortalama vektörü gösterilmiştir.  $S_k^i$ , aday çözümlerini ifade etmektedir.

$$\mu^i = \{\mu_1^i, \dots, \dots, \mu_k^i\} = \{S_1^i, \dots, \dots, S_k^i\} \quad (11)$$

Ağırlık vektörü  $w$ , denklem (12) kullanılarak bulunmaktadır. Ağırlık vektörü amaç fonksiyonunda elde edilen değerlere göre sıralanmaktadır.

$$w_l = \frac{1}{q_k \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l-1)^2}{2q^2 k^2}} \quad (12)$$

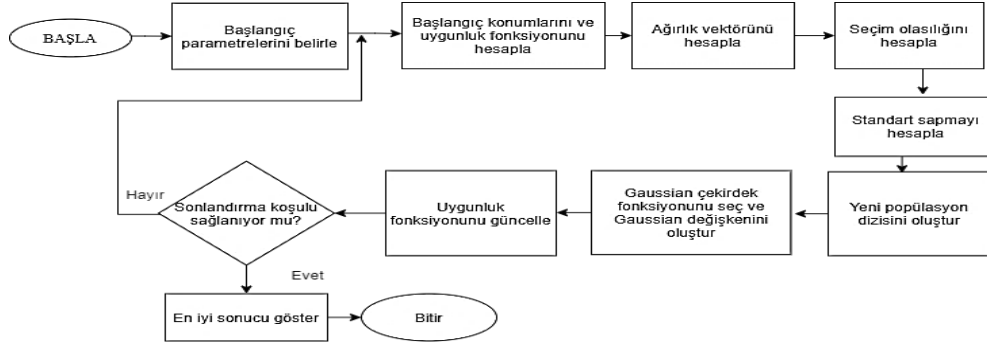
Denklem (12)'de  $q_k$  standart sapmayı ifade etmektedir. Ağırlık vektörü,  $l$  argümanlı ve ortalama değeri 1 almaktadır. En iyi çözümlerin seçilme olasılıkları  $q$ 'nın değeri küçüldükçe artmaktadır. ACO<sub>R</sub>'da Gaussian fonksiyonlarının seçilebilme olasılığı formülü denklem (13)'te verilmiştir.

$$P_l = \frac{w_l}{\sum_{r=1}^k w_r} \quad (13)$$

$$\sigma_l^i = \xi \sum_{e=1}^k \frac{|S_e^i - S_l^i|}{k-1} \quad (14)$$

Denklem (14)'te verilen standart sapma  $\sigma_l^i$  kullanılarak seçilen çözümün parametreleri hesaplanmaktadır. Standart sapma ile elde edilen diğer çözümler arasındaki ortalama mesafe elde edilmektedir.  $\xi$  parametresinin değeri, en iyi çözüme yakınsama hızını belirtmektedir.  $\xi$  değeri arttıkça yakınsama hızı azalmaktadır.

ACO<sub>R</sub> algoritmasının akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2. ACO<sub>R</sub> Algoritmasının Akış Diyagramı

### 3.3. Girdap Arama Algoritması (VSA)

Girdap Arama Algoritması (VSA) girdap modelinden esinlenerek Doğan ve Ölmez (2015) tarafından modellenmiştir. Sürekli optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılır ve oldukça basittir. VSA çemberlerin yarıçapları azaltılarak iç içe geçmiş iki çemberden meydana gelmektedir. Birinci çemberin yani en dıştaki çemberin başlangıç merkezi denklem (15) ile hesaplanmaktadır.

$$\mu_0 = \frac{\text{üstlimit} + \text{altlimit}}{2} \quad (15)$$

Denklem (15)'te üst limit ve alt limit problemin boyutunu belirlemektedir. Başlangıç yarıçapı  $\sigma_0$  denklem (16) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\sigma_0 = \frac{\max(\text{üstlimit}) - \min(\text{altlimit})}{2} \quad (16)$$

$a$  şekil parametresini ifade etmektedir. Her iterasyonda güncellenir ve denklem (17) ile bulunmaktadır.

$$a_t = a_0 - \frac{t}{\text{MaxItr}} \quad (17)$$

İlk iterasyonda arama alanının tamamının kapsaması için  $a_0 = 1$  seçilmektedir. Denklem (17)'de  $t$  iterasyon indeksini ve  $\text{MaxItr}$  ise maksimum iterasyon sayısını temsil etmektedir. Çemberin yarıçapı ise denklem (18) kullanılarak hesaplanmaktadır. Ters tamamlanmamış gama fonksiyonu her iterasyonda yarıçapın değerini azaltmaktadır.

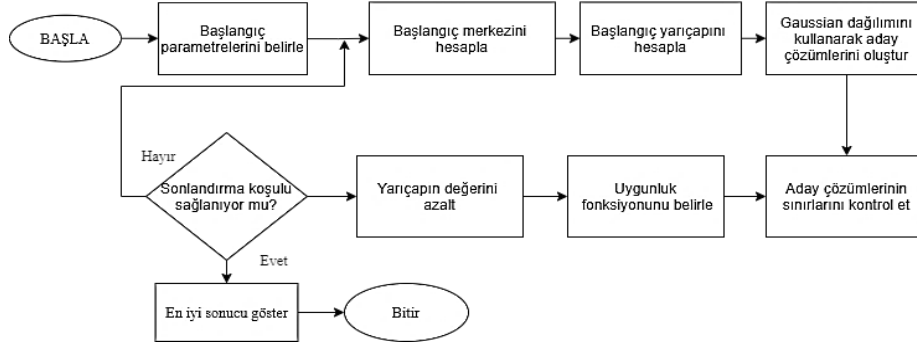
$$r_t = \sigma_0 \times (1/x) \times \Gamma(x, a_t) \quad (18)$$

Denklem (18)'de  $x$ 'in değeri 0.1 alınarak daha iyi performans elde edilmektedir.  $\Gamma$  ters gamma fonksiyonunu ifade etmektedir ve Matlab programında `gammaincinv` fonksiyonu kullanılmaktadır. VSA'da gaussian dağılımı kullanılarak aday çözümler elde edilmektedir. Aday çözümler arama sınırları içinde yer almalıdır. Arama sınırları içinde yer almayan aday çözümler içinde yer almalıdır. Arama sınırları içinde yer almayan aday çözümler denklem (19) kullanılarak sınırlara kaydırılmaktadır. Denklem (19)'da  $C(s)_k^i$  k. komşu çözümün i. boyutunu ve düzgün dağıtılmış (uniform) rastgele sayıyı ifade etmektedir.

$$C(s)_k^i = \begin{cases} \text{rand.}(\text{üstlimit}^i - \text{altlimit}^i) + \text{altlimit}^i & , C(s)_k^i < \text{altlimit}^i \\ C(s)_k^i & , \text{altlimit}^i \leq C(s)_k^i \leq \text{üstlimit}^i \\ \text{rand.}(\text{üstlimit}^i - \text{altlimit}^i) + \text{altlimit}^i & , C(s)_k^i > \text{üstlimit}^i \end{cases} \quad (19)$$



VSA'nın akış diyagramı Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. VSA Algoritmasının Akış Diyagramı

### 3.4. Yabani Ot Optimizasyon Algoritması (IWO)

Yabani ot optimizasyon (IWO) algoritması Mehrabian ve Lucas (2006) tarafından önerilmiştir. Yabani otlar, sağlamdır ve çevreye adapte olan bitkilerdir. Yabani otlar tarlaya rastgele dağılarak istila etmektedir. Tarlada ekili olan bitkilere zarar vermekte ve istenilmeyen alanlarda büyümektedir.

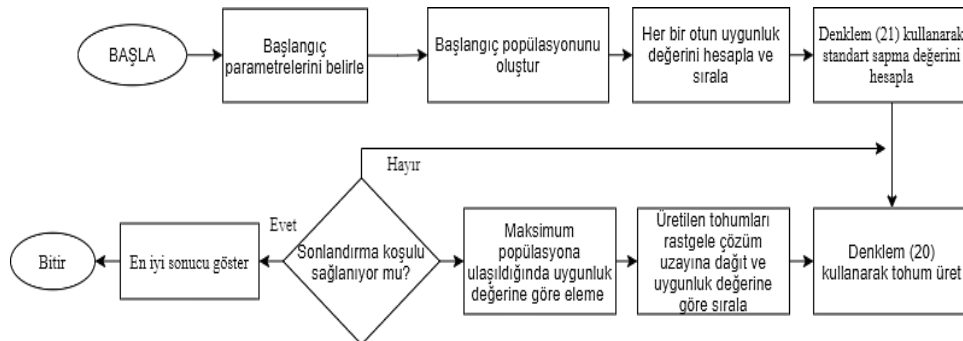
IWO algoritmasında popülasyon d-boyutlu arama uzayına rastgele dağıtmakta, her bireye tohum denilmekte ve optimizasyon değişkenini temsil etmektedir. Popülasyonda her üyenin kendisinin ve kolonideki diğer bireylerin sahip olduğu en düşük ve en yüksek amaç fonksiyonunun aldığı değere göre tohum üretilmektedir. Yani yeni tohumlar üretilmeden önce uygunluk değerine bağlı olarak yabani otlar sıralanır ve kolonideki sıralamasına göre tohumlar üretilmesine izin verilmektedir. Popülasyondaki otların ürettiği tohum sayısı, mümkün olan en az tohum üretiminden maksimum tohum üretimine doğru artmaktadır. Böylece tüm otların üretimine izin verilmektedir.

$$S = \left[ S_{min} + (S_{max} - S_{min}) \left( \frac{U_i - U_{en\ kötü}}{U_{en\ iyi} - U_{en\ kötü}} \right) \right] \quad (20)$$

Denklem (20)'de  $S_{max}$  ve  $S_{min}$  maksimum sayıda ve minimum sayıda üretilecek tohum sayısını,  $U_{en\ kötü}$  amaç fonksiyonunun aldığı en kötü değeri,  $U_{en\ iyi}$  amaç fonksiyonunun aldığı en iyi değeri,  $U_i$  popülasyondaki bireyin sahip olduğu uygunluk değerini ifade etmektedir. Ayrıca ana bitkiden üretilen tohumlar d-boyutlu arama uzayına rastgele dağıtılmaktadır. Denklem (21) kullanılarak standart sapma hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{iter} = \frac{(iter_{max} - iter)^n}{(iter_{max})^n} (\sigma_{ilk} - \sigma_{son}) + \sigma_{son} \quad (21)$$

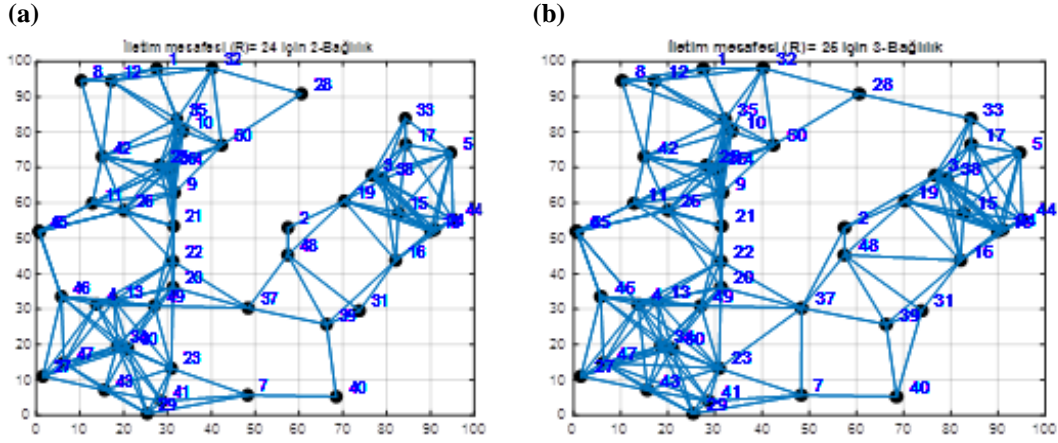
Denklem (21)'de  $\sigma_{iter}$  iterasyona ait standart sapmayı,  $iter_{max}$  maksimum iterasyon sayısını,  $\sigma_{ilk}$  ilk standart sapma değerini,  $n$  doğrusal olmayan modülasyon indeksini belirtmektedir. Sonraki aşamada kolonideki maksimum bitki sayısını sınırlamak için bitkiler arasında rekabetçi eleme yapılmaktadır. Tüm tohumlar arama alanında konumlarını belirledikten sonra ebeveynleri ile sahip oldukları uygunluk değerine göre sıralanır. Daha sonra maksimum popülasyona erişmek için kolonideki sıralamalarında en düşük uygunluk değerine sahip olan otlar elenmektedir. Böylece elenmeyen otlar yeni tohumlar üretebilmektedir. Bu şekilde en iyi uygunluk değerine sahip olanlar hayatta kalmakta ve üremelerine izin verilmektedir. Şekil 4'te IWO'nun akış diyagramı gösterilmektedir.



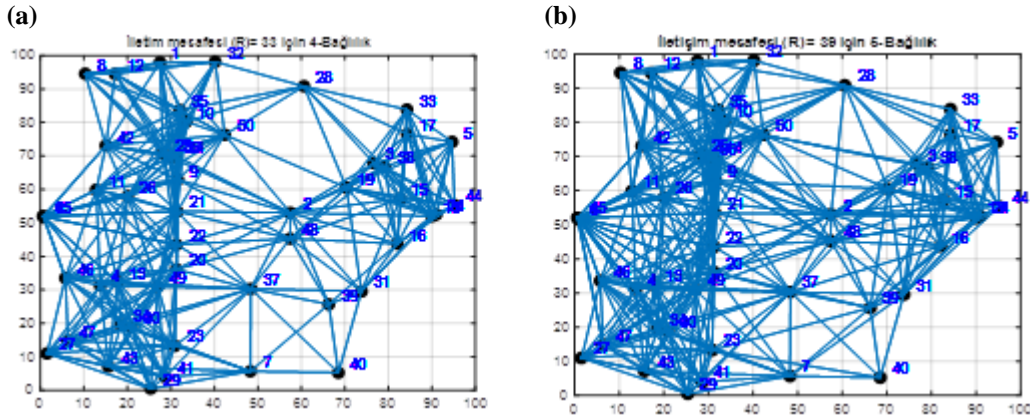
Şekil 4. IWO Algoritmasının Akış Diyagramı

#### 4. KSA'larda K-Bağlılık Özelliği

KSA'da izlenilecek ve takip edilecek ortamdan veriler toplandıktan sonra sensörler aracılığı ile baz istasyonuna gönderilmektedir. Verinin baz istasyonuna gönderilirken ortamda bulunan herhangi bir sensör düğüm üzerinden farklı yollarla iletilmesi gerekmektedir. Bu nedenle KSA'daki tüm sensör düğümlerinin iletişimi kesilmemesi önemlidir. KSA'lar tam bağlantılı olması durumunda gönderilen veri baz istasyonuna her zaman ulaşmaktadır.



Şekil 5. (a) R=24'te 2-Bağlılık; (b) R=25'te 3-Bağlılık



Şekil 6. (a) R=33'te 4-Bağlılık; (b) R=39'da 5-Bağlılık

KSA'da herhangi bir sensör düğümünde meydana gelebilecek arızada, bazı sensör düğümlerin ağa ile iletişimi kesilebilmekte veya KSA'daki yapıyı ikiye bölerek ağın bozulmasına sebep olmaktadır. Bu durumda KSA'da her bir sensör düğümü arasında birden fazla bağlantı olursa herhangi bir sensör düğümünün devre dışı kalsa bile alternatif bağlantılar kullanılarak sensör düğümü arasındaki iletişim kesilmemektedir. KSA'da herhangi iki sensör düğümleri arasında en az k adet bağlantı mevcut ise KSA k-bağlılık (k-connectivity) denilmektedir. K-bağlı KSA'da, k-1 sensör düğümün çalışmaması durumunda ağda bulunan diğer sensör düğümlerinin iletişimini etkilememektedir.

Şekil 5(a)'da iletim aralığı R=24'te 50 düğümden oluşan 2-bağlı KSA örneği gösterilmiştir. KSA'da 37 ve 7 numaralı düğümlerin devre dışı kalması ile KSA'daki 2, 3, 7, 15, 16, 17, 18, 24, 31, 33, 38, 39, 40, 44 ve 48 numaralı düğümlerin ağdaki diğer düğümler arasındaki bağlantı kesilmektedir. Şekil 5(b)'de R=25'te 3-bağlı, Şekil 6(a)'da R=33'te 4-bağlı ve Şekil 6(b)'de R=39'da 5-bağlı KSA örnekleri gösterilmiştir.

#### 5. Simülasyonlar

KSA'larda konumu bilinmeyen hedef sensörlerin konumlarını belirlemek için kullanılan PSO, ACO<sub>R</sub>, VSA ve IWO algoritmalarının simülasyon sonuçları Şekil 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14'te gösterilmektedir. Algoritmaların k-bağlılığa bağlı olarak hesaplanan ortalama hata değeri Şekil 15'te gösterilmektedir.

### 5.1. Parametreler ve Değerleri

PSO, ACO<sub>R</sub>, VSA ve IWO algoritmalarında kullanılan parametre değerleri Tablo 1, 2, 3 ve 4'te gösterilmektedir. Kullanılan algoritmalarda problemin boyutu 2, popülasyon sayısı 20, iterasyon sayısı 100, alt limit 0 ve üst limit 100 alınmaktadır.

**Tablo 1.** PSO Algoritmasında Kullanılan Parametreler ve Değerleri

PARAMETRELER	DEĞERLERİ
Ağırlık Katsayısı ( $w$ )	1
Ağırlık Katsayısı Sönümlenme Oranı ( $w_{damp}$ )	0.99
Bilişsel Öğrenme Faktörü ( $c_1$ )	1.5
Sosyal Öğrenme Faktörü ( $c_2$ )	2.0

**Tablo 2.** ACO<sub>R</sub> Algoritmasında Kullanılan Parametreler ve Değerleri

PARAMETRELER	DEĞERLERİ
Standart Sapma ( $q$ )	0.5
Sapma-Mesafe Oranı ( $\xi$ )	1

**Tablo 3.** VSA Algoritmasında Kullanılan Parametreler ve Değerleri

PARAMETRELER	DEĞERLERİ
$x$	0.1
Şekil parametresi ( $a_0$ )	1

**Tablo 4.** IWO Algoritmasında Kullanılan Parametreler ve Değerleri

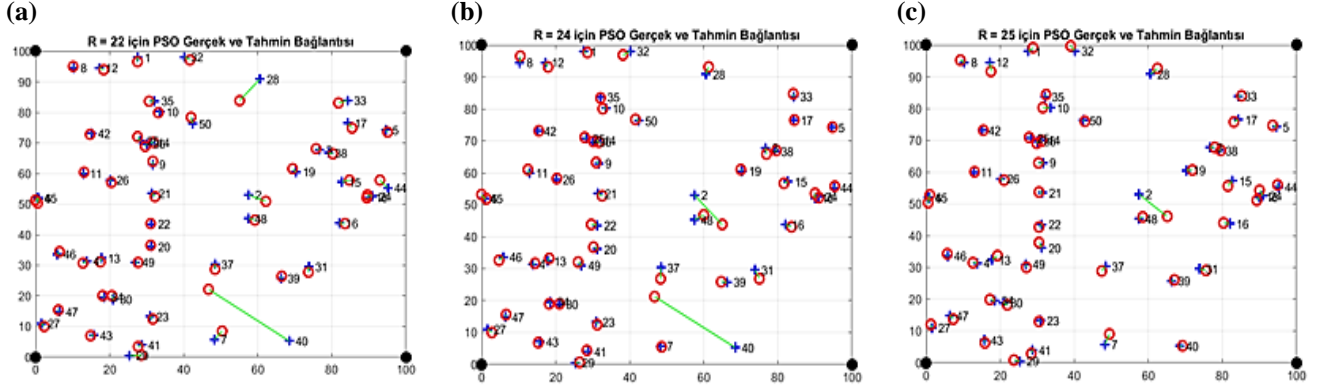
PARAMETRELER	DEĞERLERİ
Başlangıç popülasyon boyutu	20
Maksimum popülasyon boyutu	20
Minimum tohum sayısı ( $S_{min}$ )	1
Maksimum tohum sayısı ( $S_{max}$ )	5
Varyans azaltma üssü	3
Standart sapmanın başlangıç değeri	20
Standart sapmanın son değeri	0.2

### 5.2. Bulgular

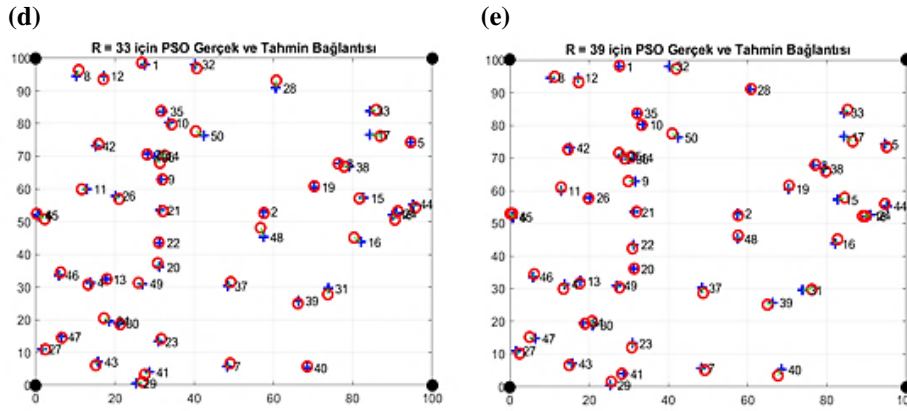
Matlab programında 4 adet referans düğümü (çapa) 100x100' lük bir alanda köşelere yerleştirilmiştir. 50 adet hedef sensör düğümü rastgele dağıtılmıştır. 50 adet hedef sensör düğümünün konum tespiti için PSO, ACO<sub>R</sub>, VSA ve IWO kullanılmıştır. Her bir sensörün iletim aralığı R=22, R=24(2-Bağlılık), R=25(3-Bağlılık), R=33(4-Bağlılık) ve R=39(5-Bağlılık) birim alınarak aynı düğüm koordinatları üzerinde PSO, ACO<sub>R</sub>, VSA ve IWO algoritmaları için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tüm algoritmaların iletim aralığına bağlı 2-bağlılık, 3-bağlılık, 4-bağlılık ve 5-bağlılık elde edilmiş ve Şekil 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14'te gösterilmiştir. Şekillerde yer alan mavi renkli + işaretler düğümün gerçek konumunu, kırmızı renkli yuvarlak işaretler algoritmalar kullanılarak elde edilen tahmini konumu ve siyah renkli yuvarlak işaretler GPS ile konumu tespit edilen referans düğümü ifade etmektedir. Ayrıca yeşil renkli çizgiler sensör düğümlerin gerçek konumu ile algoritmalar kullanılarak bulunan tahmini konum arasındaki mesafe ifade edilmiştir. Gerçek konum ile tahmin edilen konum arasındaki mesafeler PSO için Şekil 7(a), 7(b), 7(c), 8(d) ve 8(e), ACO<sub>R</sub> için 9(a), 9(b), 9(c), 10(d) ve 10(e), VSA için 11(a), 11(b), 11(c), 12(d) ve 12(e) ve IWO için 13(a), 13(b), 13(c), 14(d) ve 14(e)'te simülasyon sonuçları gösterilmiştir. Tablo 5'te iletim aralığı ile k-bağlılık arasındaki ilişki gösterilmiştir. Tablo 6'da ise PSO, ACO<sub>R</sub>, VSA ve IWO algoritmalarının simülasyon sonuçları 30 defa tekrarlanarak elde edilen ortalama hata değerleri gösterilmiş ve Şekil 15'te ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Tablo 5. İletim Aralığı ve K-Bağlılık

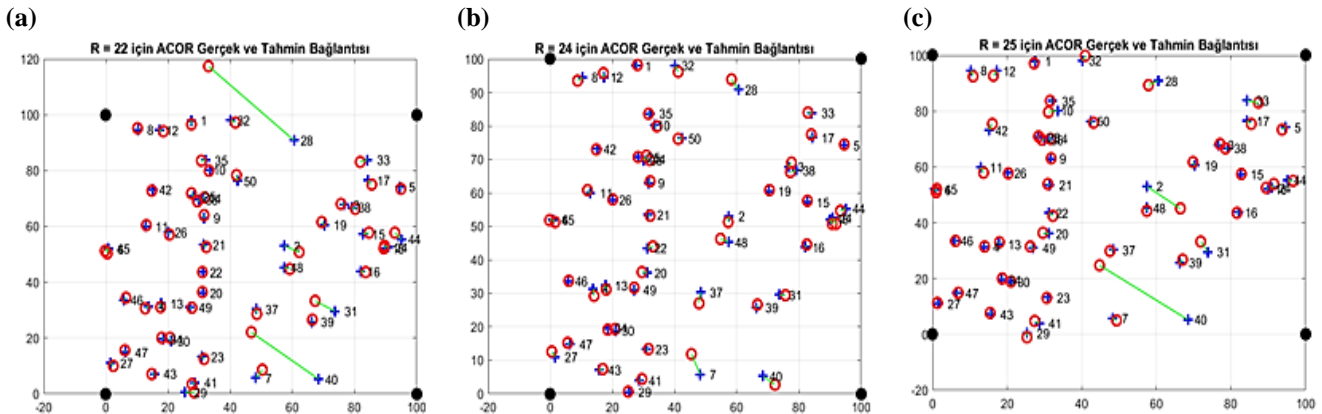
İletim Aralığı (R)	K-bağlılık
R=24	2-Bağlılık
R=25	3-Bağlılık
R=33	4-Bağlılık
R=39	5-Bağlılık

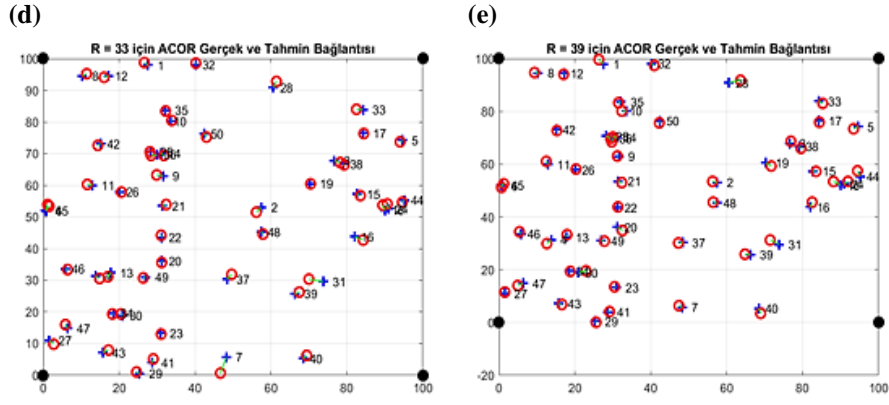


Şekil 7. (a) PSO'nun R=22'de gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe; (b) PSO'nun R=24'te gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe; (c) PSO'nun R=25'te gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe

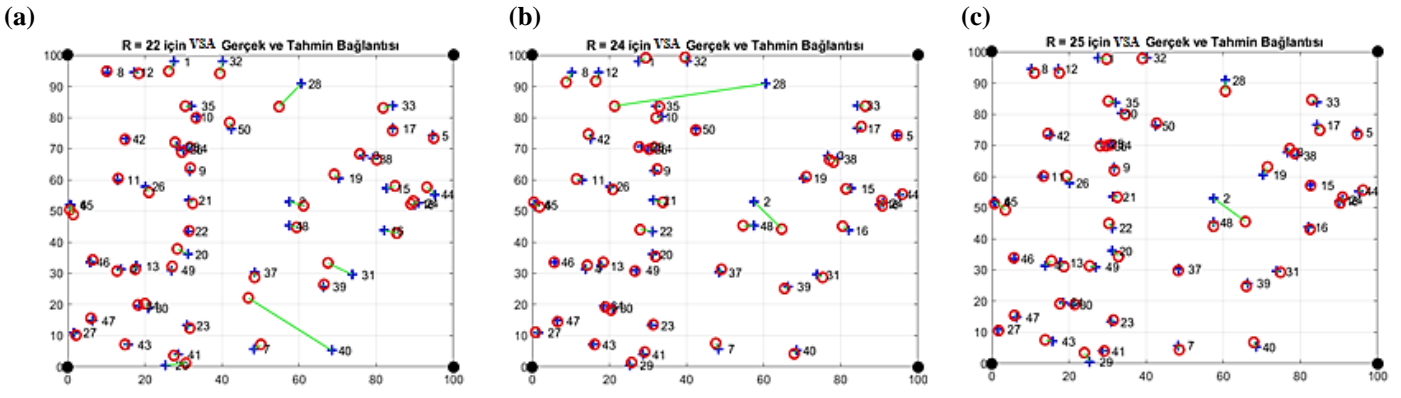


Şekil 8. (d) PSO'nun R=33'te gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe; (e) PSO'nun R=39'da gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe

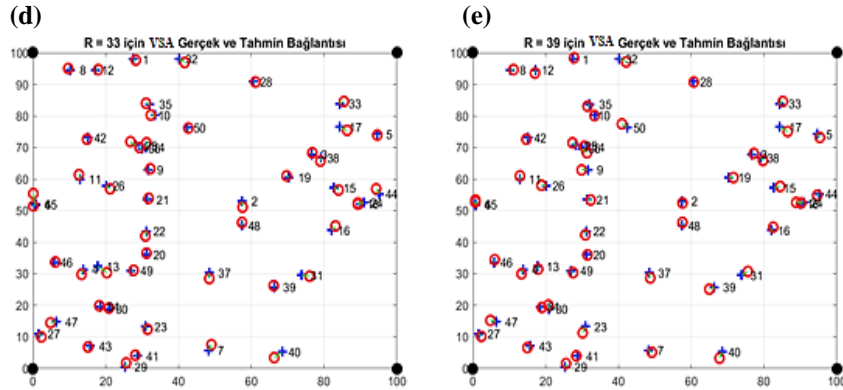
Şekil 9. (a) ACO<sub>R</sub>'nin R=22'de gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe; (b) ACO<sub>R</sub>'nin R=24'te gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe; (c) ACO<sub>R</sub>'nin R=25'te gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe



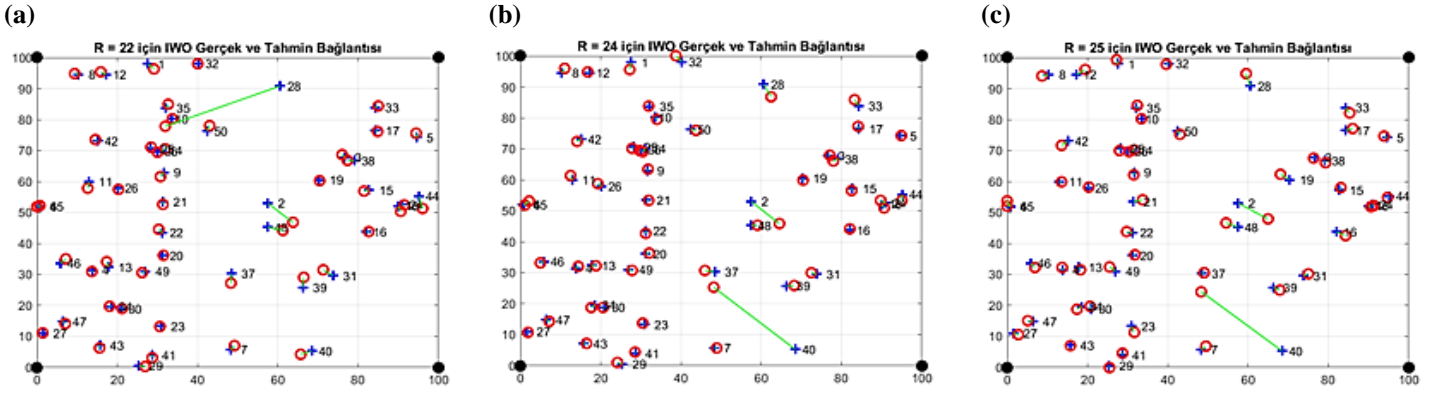
Şekil 10. (d) ACOR'nun R=33'te gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe; (e) ACOR'nun R=39'da gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe



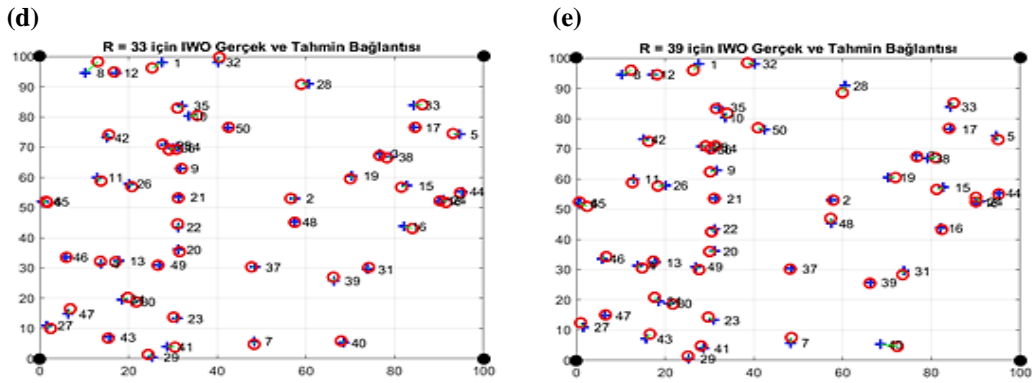
Şekil 11. (a) VSA'nın R=22'de gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe; (b) VSA'nın R=24'te gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe; (c) VSA'nın R=25'te gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe



Şekil 12. (d) VSA'nın R=33'te gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe; (e) VSA'nın R=39'da gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe



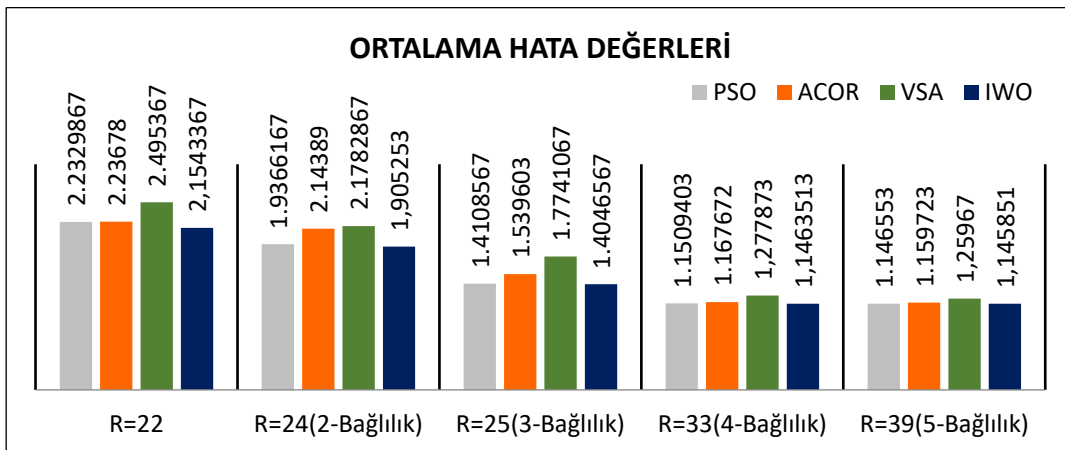
Şekil 13. (a) IWO'nun R=22'de gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe; (b) IWO'nun R=24'te gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe; (c) IWO'nun R=25'te gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe



Şekil 14. (d) IWO'nun R=33'te gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe; (e) IWO'nun R=39'da gerçek ve tahmin konumu arasındaki mesafe

Tablo 6. 30 İterasyonun Ortalama Hatası

Algoritmalar	R=22	R=24	R=25	R=33	R=39
PSO	2,2329867	1,9366167	1,4108567	1,1509403	1,146553
ACOR	2,23678	2,14389	1,539603	1,167672	1,159723
VSA	2,495367	2,1782867	1,7741067	1,253583	1,214003
IWO	<b>2,1543367</b>	<b>1,905253</b>	<b>1,4046567</b>	<b>1,1463513</b>	<b>1,145851</b>



Şekil 15. Algoritmaların Ortalama Hatası

## 6. Sonuçlar

Makale rastgele dağıtılan hedef sensör düğümlerin konumlarını tespit etmek için PSO, ACO<sub>R</sub>, VSA ve IWO algoritmaları kullanılmıştır. İletim aralığına bağlı olarak k-bağlılık özelliği algoritmalar üzerinden incelenmiş ve her bir algoritmanın 30 iterasyonun ortalama hatası hesaplanmıştır. Tablo 6'daki verilere göre IWO diğer algoritmalara göre R=22, R=24(2-bağlılık), R=25(3-bağlılık), R=33(4-bağlılık) ve R=39(35-bağlılık) için en iyi ortalama hatası elde edilmiştir. ACO<sub>R</sub>, IWO ve PSO algoritmaların ortalama hatası birbirine yakın olmasına rağmen VSA algoritması en yüksek değere sahiptir. Şekil 15 incelendiğinde IWO, ACO<sub>R</sub>, VSA ve PSO algoritmalarının R=22 birimden R=39 birime kadar hesaplanan ortalama hata önemli derecede düşmüştür. Tüm algoritmalarda R=33(4-bağlılık) birim ile R=39 (5-bağlılık) biriminden elde edilen ortalama hatanın çok az seviyede düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca iletim aralığı arttıkça k-bağlılık değerinin arttığı gözlemlenmiştir. K-bağlılık arttıkça harcanan enerji miktarı da artmaktadır. Bu sebepten dolayı R=33 kullanılması hem enerji hem de ortalama hata açısından daha verimlidir.

## Referanslar

- Akram, V. K., Yiğit, Y. & Dağdeviren, O. (2018). Telsiz Duyurga Ağlarında K-Bağlılık Denetleme Algoritmalarının Performans Değerlendirilmesi. 20.Akademik Bilişim Konferansı, Adana, Turkey, 15 Ağustos.
- Aspnes, J., Eren, T., Goldenberg, D. K., Morse, A. S., Whiteley, W., Yang, R., Anderson, B. D. O. & Belhumeur, P. N. (2006). A theory of network localization. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 5(12), 1663–1677.
- Almasaeid, H. M. & Kamal, A. E. (2009). On the Minimum k-Connectivity Repair in Wireless Sensor Networks. 2009 IEEE International Conference on Communications, 1-5.
- Bacanin, N., Tuba, E., Zivkovic, M., Strumberger, I. & Tuba, M. (2019). Whale Optimization Algorithm with Exploratory Move for Wireless Sensor Networks Localization. *International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, 328-338.
- Bekçibaşı, U., Tenruh, M. (2012). Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Konum Saptama Teknikleri ve Mesafe Bağımlı Tekniklerde Dördüncü Çapa Yaklaşımı. *Akademik Bilişim'12 - XIV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri*.
- Cui, H., Liang, Y., Zhou, C. & Cao, N. (2018). Localization of Large-Scale Wireless Sensor Networks Using Niching Particle Swarm Optimization and Reliable Anchor Selection. *Hindawi Wireless Communications and Mobile Computing*, 1-18.
- Çakıcı, F. N. & Eren, T. (2021). Kablosuz Sensör Ağlarında Parçacık Sürü Optimizasyonu, Sürekli Zaman Karınca Koloni Algoritması ve Girdap Arama Algoritması ile Konum Belirleme. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(2), 719-732.
- Dağdeviren, O. & Akram, V. K. (2017). TinyOS tabanlı telsiz duyurga ağları için bir konumlandırma ve k-bağlılık denetleme sistemi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 139–139.
- Dalkılıç, G. & Türkmen, F. (2002). Karınca kolonisi optimizasyonu. *YPBS2002–Yüksek Performanslı Bilişim Sempozyumu*, Kocaeli, Ekim.
- Dariane, A.B. & Moradi, A.M. (2009). Reservoir Operating by Ant Colony Optimization for Continuous Domains (ACO<sub>R</sub>) Case Study: Dez Reservoir. *International Journal of Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 3(2), 125-129.
- Doğan, B. & Korürek, M. (2010). EKG Vurularının Sürekli Zaman Karınca Koloni Optimizasyonu Yardımıyla Sınıflandırılması ECG Beat Classification Using Ant Colony Optimization for Continuous Domains. *National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering*, Bursa, 497-501.
- Doğan B. & Ölmez, T. (2015). A new metaheuristic for numerical function optimization: Vortex Search Algorithm. *Information Sciences*, 293, 125-145.
- Doğan, R. (2018). Kablosuz Sensör Ağları İçin RSSI Değeri İle Yapay Sinir Ağı Yaklaşımli Konum Bulma. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.
- Doğru, A.S., Temel, B. & Eren, T. (2019). Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Yarasa Algoritması Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Uluslararası Mühendislik Araştırma Ve Geliştirme Dergisi*, 11(3), 793-801.
- Dorigo M., Maniezzo, V. & Colorni, A. (1991). Positive feedback as a search strategy. Dipartimento di Elettronica-Politecnico di Milano, Milan, Italy, Technical Report NO. 91-016

- Eberhart, R. & Kennedy, J. (1995). A New Optimizer Using Particle Swarm Theory. Sixth International Symposium On Micro Machine and Human Science, Nagoya, Japan, 39-43.
- Eren, T. (2016). Graph Invariants for Unique Localizability in Cooperative Localization of Wireless Sensor Networks: Rigidity Index and Redundancy Index, *Ad Hoc Networks*, 44, 32-45, 2016.
- Eren, T., (2017). The effects of random geometric graph structure and clustering on localizability of sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 13(12), 1-15.
- Eren, T., (2019). Conditions for Unique Localizability in Cooperative Localization of Wireless ad hoc and Sensor Networks. *Cooperative Localization and Navigation: Theory, Research and Practice*, 31-48, Gao, C.(Ed.), Zhao, G. (Ed.), Fourati, H. (Ed.). Boca Raton: CRC Press (2019).
- Eren, T. Goldenberg, D. & Whiteley, W. (2004). Rigidity, Computation and Randomization in Network Localization. In *Proceedings of the 2004 International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2004)*, Hong Kong, pp. 2673–2684.
- Freris, N. M., Kowshik, H. & Kumar, P.R. (2010). Fundamentals of Large Sensor Networks: Connectivity, Capacity, Clocks and Computation. *Proceedings of the IEEE*, 98(11), 1828-1846.
- Gangal, V. (2015). Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Karınca Koloni Algoritmaları ile Enerji Etkin Rotalamanın İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Goyal, S. & Patterh, M.S. (2015). Flower Pollination Algorithm based Localization of Wireless Sensor Network. 2nd International Conference on Recent Advances in Engineering & Computational Sciences (RAECS), 1-5, doi:[10.1109/RAECS.2015.7453299](https://doi.org/10.1109/RAECS.2015.7453299).
- Güngüneş, R., Ateş, V., Lüy, M. & Eke, İ. (2019). Doğrusal Olmayan Yüklere Sürekli Zaman Karınca Kolonisi Algoritması İle Optimal Değerli Kondansatör Seçimi ve Güç Kontrolü. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(3), 780-792, doi:[10.291374/umagd.636390](https://doi.org/10.291374/umagd.636390).
- Kannan, A.A., Mao, G. & Vucetic, B. (2006). Simulated annealing based localization in wireless sensor network. *Journal of Computers*, doi:[10.4304/jcp.1.2.15-22](https://doi.org/10.4304/jcp.1.2.15-22).
- Karaboğa, D. (2004). Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları. Nobel Yayın Dağıtım, 2004.
- Kennedy, J. & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. *IEEE Int. Conf. Neural Networks*, Perth, Australia, 1942-1948.
- Keskintürk, T. & Söyler, H. (2006). Global Karınca Kolonisi Optimizasyonu. *Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(4), 689-698.
- Kızılkaplan, E., Eren, T. & Yalçınkaya, F. (2020). Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Sezgisel Algoritmaların Kuantum Davranışları ile Karşılaştırılması. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12(2), 587-602, doi:[10.29137/umagd.746589](https://doi.org/10.29137/umagd.746589).
- Kumar, A., Khosla, A., Saini, J.S. & Singh, S. (2012). Meta-Heuristic Range Based Node Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks. *International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS)*, IEEE, Munich, Germany, 1-7, doi:[10.1109/ICL-GNSS.2012.6253135](https://doi.org/10.1109/ICL-GNSS.2012.6253135).
- Li, J., Andrew, L.L.H., Foh, C.H., Zukerman, M. & Chen, H. H. (2009). Connectivity, coverage and placement in wireless sensor networks. *Sensors*, 9(10), 7664–7693.
- Mácha, T., Stančík, P. & Novotný, V. (2008). Connectivity in a wireless sensor network. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 8(12), 382-387.
- Mehrabian, A.R. & Lucas, C. (2006). A novel numerical optimization algorithm inspired from weed colonization. *Ecological Informatics*, 1(4), 355-366.
- Okkan, U., Köse, O., Özsoy, M. & Uysal, H. (2017). Yabani Ot Ve Diferansiyel Evrim Algoritmalarının Aylık Kavramsal Bir Yağış-Akış Modeli Kalibrasyonu Üzerinden Performanslarının İrdelenmesi. *DSİ Teknik Bülteni*, 124, pp. 20-33.



Ojha, V.K., Abraham, A. & Snasel, V. (2017). ACO for Continuous Function Optimization: A Performance Analysis. 14th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, Okinawa, Japan, 28–30 November, 145–150, [doi:10.1109/ISDA.2014.7066253](https://doi.org/10.1109/ISDA.2014.7066253).

Özsağlam, M.Y. & Çunkaş, M. (2008). Optimizasyon Problemlerinin Çözümü için Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması. Politeknik Dergisi, 11(4), 299-305.

Öztürk, C. (2016). Yapay Arı Koloni Algoritması ile Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Lokalizasyon. Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi, Proje No:FBA-12-4029.

Poli, R., Kennedy, J. & Blackwell, T. (2007). Particle swarm optimization. Swarm Intell, 33-57, [doi:10.1007/s11721-007-0002-0](https://doi.org/10.1007/s11721-007-0002-0).

Ramson, S.R.J. & Moni, D.J. (2017). Applications of Wireless Sensor Networks-A Survey. Proceedings of IEEE International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology, 325-329, [doi:10.1109/ICIEEIMT.2017.8116858](https://doi.org/10.1109/ICIEEIMT.2017.8116858)

Rashid, H. & Turuk, A.K. (2013). Localization of Wireless Sensor Networks Using a Single Anchor Node. Wireless Personal Communications, 72(2), 975-986, [doi:10.1007/s11277-013-1050-y](https://doi.org/10.1007/s11277-013-1050-y).

Reyes-Sierra, M. & Coello Coello, C.A. (2006). Multi-Objective Particle Swarm Optimizers: A Survey of the State-of-the-Art. International Journal of Computational Intelligence Research, 2(3), 287-308, [doi:10.5019/j.ijcir.2006.68](https://doi.org/10.5019/j.ijcir.2006.68)

Sağ, T. (2020). Çok Merkezli Girdap Arama Algoritması. Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 8, 1279-1294, [doi:10.29130/dubited.644881](https://doi.org/10.29130/dubited.644881).

Shrivastava, A. & Bharti, P. (2015). Localization Techniques for Wireless Sensor Networks. International Journal of Computer Applications. 16(12), 13-18.

Singh, S.P. & Sharma, S.C. (2015). Range Free Localization Techniques in Wireless Sensor Networks: A Review. Procedia Computer Science, 57, 7-16, [doi:10.1016/j.procs.2015.07.357](https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.357)

Socha, K. & Blum, C. (2007). An ant colony optimization algorithm for continuous optimization: application to feed-forward neural network training. Neural Computing & Applications, 16, 235-247, [doi:10.1007/s00521-007-0084-z](https://doi.org/10.1007/s00521-007-0084-z).

Socha, K. & Dorigo, M. (2008). Ant colony optimization for continuous domains. European Journal of Operational Research, 185(3), 1155-1173, [doi:10.1016/j.ejor.2006.06.046](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.046).

Tripathi, R.N., Gaurav, K. & Singh, Y.N. (2019). On Partial Coverage and Connectivity Relationship in Deterministic WSN Topologies, 1-4.

Wang, C., Chen, J., Sun, Y. & Shen, X.S. (2009). Wireless Sensor Networks Localization With Isomap. IEEE International Conference On Communications, [doi:10.1109/ICC.2009.5199576](https://doi.org/10.1109/ICC.2009.5199576).

Xiao, J. & Li, L.P. (2011). A hybrid ant colony optimization for continuous domains”, Expert Systems with Applications. 38, 11072-11077.

Yıldırım, G. (2012). Kablosuz Sensör Ağı İle Konum Belirleme ve İzleme. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye.



## Gömülü Sistemler ve Mühendislikte Uygulama Alanları

### Embedded Systems and Application Areas in Engineering

Fuat Türk<sup>1</sup> , Murat Lüy<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Pursaklar Borsa İstanbul Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Kırıkkale Üniversitesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği, Kırıkkale, Türkiye

*Başyuru/Received:* 20/11/2021

*Kabul / Accepted:* 30/12/2021

*Çevrimiçi Basım / Published Online:* 31/12/2021

*Son Versiyon/Final Version:* 31/12/2021

#### Öz

Günümüzde gömülü sistemler, elektrik-elektronik mühendisliğinin alt kollarından biri olmanın yanı sıra birçok hizmet alanında da kullanılmaktadır. Günümüzde neredeyse Elektronik ve yazılım alanının ortak noktası olan gömülü sistemler bu alanlardaki birçok kişi tarafından öncelikli olarak tercih edilmektedir. Gömülü sistemlerinin programlanması için değişik özellikteki elektronik kartlar ve bilgisayarların desteğine ihtiyaç vardır. Gerek donanımsal bileşenlerin gerekse yazılımsal programlama dillerinin gelişmesi ile birlikte neredeyse tüm mühendislik dallarında gömülü sistemler kullanılmaya başlamıştır. Bu araştırma çalışmasında da gömülü sistemlerin robotik sistemleri, yapay zekâ, tarımsal alanlar gibi birçok mühendislik dallarında tercih edilmesinin nedenlerini örneklerle ele alan kapsamlı bir inceleme yapılmıştır.

#### Anahtar Kelimeler

*“Gömülü sistemler, Robotik ve yapay zekâ uygulamaları, Mühendislik ve Gömülü Sistemler”*

#### Abstract

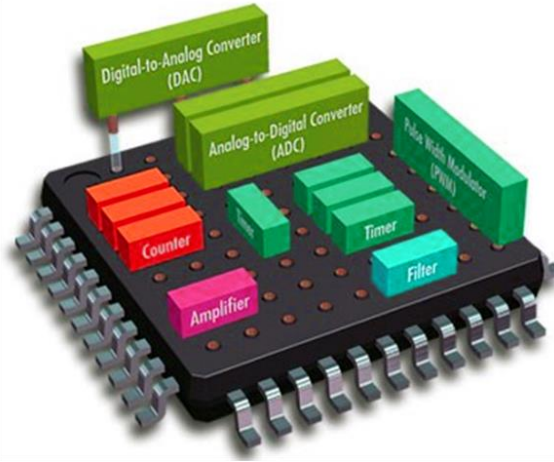
Today, embedded systems are used in many service areas as well as being one of the sub-branches of electrical-electronic engineering. Embedded systems, which are almost the common point of Electronics and software fields, are preferred primarily by many people in these fields. For the programming of embedded systems, the support of different electronic cards and computers is needed. With the development of both hardware components and software programming languages, embedded systems have begun to be used in almost all engineering branches. In this research study, a comprehensive examination has been made those deals with the reasons why embedded systems are preferred in many engineering branches such as robotic systems, artificial intelligence and agricultural fields.

#### Key Words

*“Embedded systems, Robotics and artificial intelligence applications, Engineering and Embedded Systems”*

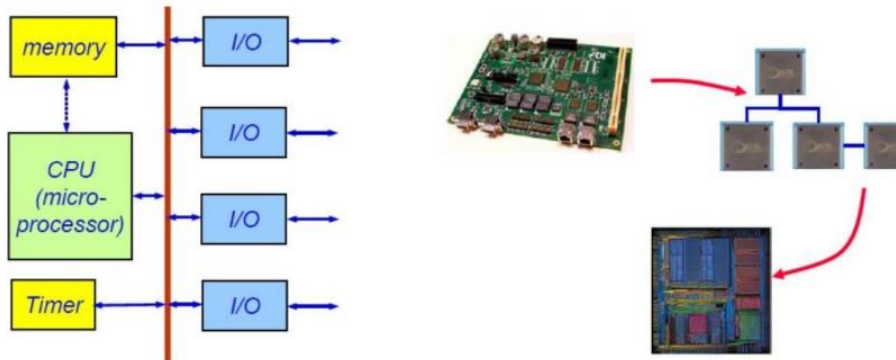
## 1. Giriş

Gömülü sistemler, bağımsız bir sistem olarak ya da büyük bir sistemin parçası olarak belirli bir görevi icra eden ve kendine özel yazılıma sahip mikroişlemci tabanlı bilgisayar donanım sistemleridir. Gömülü sistemleri insan vücudu gibi düşünebiliriz. İnsan beyni vücutta nasıl birtakım işlemleri yerine getiriyorsa gömülü sistemlerde aynı işlemi mikroişlemci/mikrodenetleyici vasıta ile gerçekleştirmektedirler. Gömülü sistemler, mikro denetleyiciler veya dijital sinyal işlemcileri, uygulamaya özel bütünleşmiş devreler, GPU teknolojisi gibi sistemler üzerinde sıklıkla kullanılır. Bu sistemlerde işletim sistemleri, elektriksel ve mekanik arabirimi işlemeye ayrılmış bileşenler de bütünleşmiş edilerek sistem tasarlanmaktadır. Bu bağlamda ele alındığında gömülü bir sistemin temel yapısı birkaç farklı birimden oluşur. İlk olarak sensor siteminden bahsedilebilir. Sensor, fiziksel büyüklüğü ölçerek elektrik sinyaline dönüştürür. Sonrasında ise gömülü sistem mühendisi veya herhangi bir elektronik cihaz tarafından değerlerin okunması sağlanır. İkinci olarak dönüştürücü sistemi devreye girer. Burada genellikle algılayıcı tarafından gönderilen analog sinyali bir dijital sinyale dönüştürür. Sonrasında ise işlemciler devreye girmektedir. İşlemciler, elde edilen çıktı değerini ölçmek ve bellekte saklamak için kullanılır. Sistemin tasarımına göre tekrardan uygulanmak üzere dijital sinyaller analog sinyallere dönüştürülür. Bu şekilde gömülü bir sistemin kabaca donanımsal ara yüzü oluşturulmuş olur. Şekil1. de gömülü bir sistemin donanımsal yapısı örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Gömülü sistemin donanımsal yapısı

Gömülü sistemde kullanılan program dizeleri sistemin yazılım mimarisini oluşturmaktadır. Sıradan bir endüstriyel mikrodenetleyici, diğer cihazlara oranla sadedir ve bellek kullanımı bir program ortamı ile ilişkilidir. Ayrıca bu sistemler belirli görevleri yerine getirmek üzere tasarlandığı için boyut, güç tüketimi, güvenilirlik ve performansı ayarlamak son derece önemlidir. Bu temel cihazlar CPU'nın makine kodu vasıtasıyla programlanır. Yazılımlar C/C++ benzeri programlama ortamı ile oluşturulur. Ayrıca, gömülü sistemler çoğu zaman, gerçek zamanlı işletim ortamları ile beraber, gömülü kullanıma uygun ara yüz veya dil platformlarını kullanmaktadır. Örnek olarak Linux, Embedded Java ve Windows IoT gösterilebilir. Yazılım ve donanımın bir araya getirilmesi ile arzu edilen gömülü sistem tasarlanmaktadır. Şekil 2' de bu yapıya örnek bir tasarım mimarisi gösterilmektedir.



Şekil 2. Gömülü sistemde yazılım ve donanım sistemlerinin birlikte gösterimi

Şekil 3 'te ise gömülü sistemlerin uygulama alanları ile ilgili bazı görsellere yer verilmiştir.



Şekil 3. Gömülü sistemlerin uygulama alanları

Büyük işlem kapasitesine sahip bilgisayarların işletim sistemleri üzerinde nasıl hata ayıklama işlemi yapılması bekleniyorsa gömülü sistemlerde de aynı durum söz konusudur. Bilgisayar ortamında çalıştırılacak kodun hata denetimi ve güncellemesi yapılabilecek iken gömülü sistemler üzerinde bu şekilde bir hata ayıklama işlemi söz konusu değildir. Çeşitli programlama dilleri sayesinde, mikrodenetleyiciler üzerinde, temel hata ayıklamanın doğrudan çip üzerinde yapılması için gerekli nitelikler vardır. İlaveten, işlemciler genellikle bir hata ayıklama portu vasıtasıyla kontrol işlemi gerçekleştirilecek ve bu sayede program icra edilmesini kontrol eden CPU hata ayıklayıcılarına sahip olabileceklerdir.

Gömülü sistemlerin genel özelliklerini şöyle sıralayabiliriz:

- Genel olarak kısıtlı bir ara yüze sahiptirler veya da ara yüz bulunmamaktadır.
- Güç tüketimi, işlemci gücü, kod boyutu, maliyet, ömür gibi kriterlerin sisteme göre optimize edilmesi zordur.
- Gerçek zamanlı çalışabilme,
- Güvenilirlik,
- Beklenen yaşam süresi,
- Gerekli yazılımın geliştirilmesi, şeklinde sıralanabilir.

## 2. Mühendislikte Gömülü Sistemlerin Uygulama Alanları

İlk modern, gerçek zamanlı gömülü bilgi işlem sistemi, 1960'larda Apollo Programı için Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden Dr. Charles Stark Draper tarafından geliştirilen Apollo Rehberlik Bilgisayarı olarak bilinmektedir. Apollo Kılavuz Bilgisayarı, verileri otomatik olarak toplamak görev açısından kritik hesaplamalar sağlamak üzere tasarlanmıştır (Çotuk (2008)).

1971'de Intel, piyasada bulunan ilk mikroişlemci birimi olan Intel 4004'ü piyasaya sürmüştür. Fakat bu işlemci destek yongaları ve harici bellek gerektiren erken bir mikroişlemci olarak karşımıza çıkmaktadır, 1978'de Ulusal Mühendislik İmalatçıları Derneği, programlanabilir mikro denetleyiciler için bir standart yayınlamış ve gömülü sistem tasarımını geliştirmiştir. Daha sonra 1980'lerin başında, bellek, giriş ve çıkış sistemi bileşenleri işlemciyle aynı yongaya entegre edilerek bir mikro denetleyici oluşturulmuştur. Mikrodenetleyici tabanlı gömülü sistemler, kredi kartı okuyucularından cep telefonlarına, trafik kontrol sistemlerinden birçok elektronik küçük ara birime kadar tüketicilerin günlük yaşamlarının her yönüne müdahil olacak şekilde gelişmeye devam etmiştir (Kaya (2008)).

Mikro işlemci tarihindeki bu gelişmeler gömülü sistemler üzerine olumlu yansımıştır. İşlemci teknolojisinin ilerlemesi sayesinde gömülü sistemler üretici firmalar için son derece önemi olan maliyet, karmaşıklık boyutunda oldukça olumlu ilerleme kaydetmiştir. Çünkü gömülü sistemler belli bir amaç için tasarlanıp çok fazla sayıda üretilmektedirler. Bu sebeple gömülü sistemler mühendislik alanında işlemcilerin olduğu her yerde kullanılmaktadır. Bu da gömülü sistemlerin robotik kodlama, yapay zekâ, yazılım mühendisliği gibi birçok alanda tercih edilmesine olanak tanımaktadır.

Gömül sistemler tasarlanırken belli başlı özellikler dikkate alınmalıdır. Bunlar;

- Maliyet hesabı
- Sitemin bellek kapasitesi ve özelliği
- Stabilite
- Güvenlik kaynakları
- Yapılacak işlem karmaşıklığı

şeklinde sıralayabiliriz.

Ayrıca gömülü sistemler yazılımsal tasarım açısından ele alındığında kişisel bilgisayarlardan farklı olarak;

- Gömülü sistemler daha fazla donanım kaynaklarına ihtiyaç duyarlar.
- Kodun hızlı çalışması ve hafızada kapladığı yer önemlidir. Minimum alan ve zaman, maksimum fayda olması gerekir.
- Makine kodu, assembly dili , yüksek seviyeli diller (c, c++, java, ), uygulama düzeyi diller (python, C#) sırasıyla kullanılabilir.

Bir diğer taraftan Yapay Zekâ, robotik sistemler, Sanal Gerçeklik ve Artırılmış Gerçeklik, makine öğrenimi, derin öğrenme ve Nesnelerin İnterneti'nin (IoT) gibi alanların sürekli gelişimi ile gömülü sistemler endüstrisinin hızla büyümeye devam etmesi beklenmektedir.

### 3. İlgili Çalışmalar

Derin sinir ağları ile görüntü sınıflandırma üzerine yapılan bir çalışmada gömülü sistemler kullanılmıştır. Görüntüde algılanan nesnelerin teşhis edilmesi genellikle büyük bir sorun olabilmektedir. Derin öğrenme yöntemlerinin gömülü sistemler üzerinde kullanılması büyük boyutlu fazla hafıza ve gelişmiş işlemci teknolojileri ile mümkün olmaktadır. Bu çalışmada gömülü sistemler vasıtasıyla görüntü sınıflandırma işleminin doğru bir yöntem ile yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmada çok az miktarda hafıza kullanarak geliştirilen mimari ile %85,9 oranında doğruluk değerine ulaşmıştır. Ayrıca mimari 4 saat gibi bir süre zarfında eğitimini tamamlamış, 0.7 ms içerisinde sınıflandırma sonucuna ulaşabilmiştir (Çalık (2018)).

Çok katmanlı algılayıcı ile yapay sinir ağı kullanılarak plaka tespiti üzerine yapılan bir gömülü sistem çalışmasında yoğun işlem yükü düşürülerek sistem başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Bu çalışmada plaka yerinin tespit sorunu gömülü sistem alt birimlerinin paralel bir şekilde işlem özelliğini kullanan Alan Programlanabilir Kapı Dizisi (FPGA) üzerinde çalışacak şekilde inşa edilmiştir. Geliştirilen altbirimler görüntü işlem ve görüntü tanıma problemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmakta olan görüntü işlem ve sınıflandırıcı birimleridir. Bu altbirimler kenar özellik çıkarma, bit-tabanlı öznitelik elde etme ve yapay sinir ağı sayesinde bir resim aracılığı ile plaka yerinin bulunması işlevlerini başarı ile tamamlanmıştır. Başarı oranı %97 seviyesinde olup, YSA'nın donanıma eşleştirilebilmesi için mevcut olan sınırlı bit uzunluğu ve sigmoid fonksiyon yaklaşımları göz önüne alınırsa son derece yüksek başarılı bir sistem olarak düşünülebilir (Çavuşlu et. al (2008)).

“Gömülü Derin Öğrenme ile Tehdit İçeren Nesnelerin Gerçek Zamanda Tespiti” isimli çalışmada X-ray ünitelerinden elde edilen görüntülerde tehdit unsuru olabilecek durumları sınıflandırmak için transfer öğrenme metodu ile gömülü bir sistem olarak çalışabilen bir yapı oluşturulmuştur. Sistem Nvidia TX2 kartı sayesinde bir derin sinir ağı olan Alexnet modeli ile beraber çalışmaktadır. Bu model ile X-ray cihazındaki güvenlik görüntüleri içerisindeki silah, jilet, bıçak gibi tehdit unsuru olabilecek nesnelere sınıflandırılmıştır. Mevcut deney ortamında Alexnet 12.000 görüntü ile eğitim işlemini yerine getirmiş ve gerçek ortamda test edilmiştir. Bu metodun performansı aynı veri seti üzerinde önceden yapılan bilgisayarlı görüntü işleme teknikleri ile mukayese edilmiş ve daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Aydın et. al (2019)).

“İnternet Bağlantılı Gömülü Sistemlerde Güvenlik Açıkları” çalışmasında gömülü sistemlere uzaktan bağlantılı ve güvenlik zafiyetlerinin araştırılması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada gelişen teknoloji sayesinde mobil aygıtlar ve küçük cihazların elektronik ortamlar ve akıllı şehir platformlarında daha fazla yerde ve daha çok tercih edilmeye başlandığı ifade edilmiştir. Cihazların kullanım süresi arttıkça hatanın ve güvenlik açıklarının zararlarının daha fazla olacağı vurgulanmıştır. Bu tür ürünler, bilgisayarların maruz kaldığı tehditler ile karşılaşılırsa, bilinen güvenlik standartlarına sahip olmadıkları göz ardı edilmemelidir. Bu yüzden gömülü sistemlerde güvenlik açığını yakalamak oldukça güçtür, ne tür bir açık olduğunu görmek oldukça düşük ihtimallidir. Ayrıca gömülü sistemlere uzaktan değerlendirme ve analiz yapmanın zor olduğu ifade edilmiştir (Efe et. al.(2019)).

“Görüntü İşleme Teknikleri ve Robot Kol ile Nesnelere Kategorilerine Ayırma” isimli yapılan çalışmada gömülü sistem devresi başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Bu çalışmada endüstriyel teknolojilerdeki ilerlemeler ile en kısa sürede en fazla verimli ürünler üretilebildiğinden bahsetmişlerdir. Ayrıca son zamanlarda robot ekipmanlarının ve gömülü sistemlerin beraber kullanımının teknolojinin oldukça ilerlemesine önemli katkı sağladığı ifade edilmiştir. Bu çalışmada bant sistemi üzerinden gelen cisimler bir kamera tarafından taranır ve algılanır. Daha sonra bu nesnelere, geliştirilen gömülü sistem yazılımı ile, robot ekipmanı ve görüntü işleyen bilgisayar yazılımı aracılığı ile renklerine göre ayrılarak değişik koordinatlarda bulunan kutulara aktarılarak sınıflandırılmıştır. Geliştirilen bu sistem değişik renklerdeki cisimlerin renk kodlarına göre ilgili kutulara aktarılması işlemini %100 başarı ile tamamlamıştır (Sarıyıldız ve Demirhan (2015)).

“Görüntü İşleme ve Beş Eksenli Robot Kol ile Üretim Bandında Nesne Denetimi” çalışmada teknolojik bakımdan gelişmekte olan dünya ülkelerinin, endüstriyel sanayi ile birlikte ürünler için; yüksek kalite, düşük maliyet ve zaman tasarrufu gibi parametreleri daha çok ön planda tuttuklarını ifade etmişlerdir. Bu sebeple pek çok sanayi uygulaması için insan gücünde ziyade makine gücü tercih edilerek yapıldığını ifade etmişlerdir. Günümüz sanayisi şartlarında; fazla yük miktarı, devamlı çalışma ve daha az hata gibi

özelliklerinden dolayı robotlar ve robot ekipmanları daha çok tercih edilmektedirler. Bu çalışmada, bir üretim bandından geçen ürünler, geliştirilen gömülü sistem yazılımı ve robot ekipmanlarının desteğiyle sınıflandırılmıştır. Bahsi geçen bu çalışmada, 15 adet üretim hatası olan ve 45 adet üretim hatası olmayan 60 ürün, % 100 başarı oranı ile ayrıştırılabilmektedir (Şenel ve Çetişli (2015)).

“Nesnelere İnterneti için Güvenli Ağ Geçidi” isimli gömülü sistem üzerine gerçekleştirilen çalışmada, nesnelere interneti cihazlarının, endüstriyel gömülü sistemler, akıllı ev aygıtları, sensörler ve daha birçok elektronik cihazların birbirine bağlanması ile oluşturulduğu ifade edilmiştir. İnternet ortamında saldırganlar eğer şifresiz bir iletişim ortamı varsa kullanıcı adı ve parola bilgilerini ağ üzerinden yakalayabilmekte ya da mesaj bilgilerini görüp değiştirebilmektedirler. Bu yapının güvenli hale gelebilmesi için yetkilendirme ve şifreli iletişim şartlarının saplanması gerekir. Ancak, gömülü sistemler simetrik olmayan şifreleme yöntemlerini icra edebilmekte yetersiz kalmaktadırlar. Bu makalede nesnelere internet ağ geçitleri için güvenli anahtar depolama, 128 bit AES şifreleme ve şifre çözme becerilerine sahip chipi esas alan yeni bir sistem tasarımı önermektedirler. Önerilen çalışma broker ile cihaz arasında kimlik doğrulama ve şifreli iletişim gerçekleştirmesini sağlamaktadır. Ayrıca bu çalışmada ARM Cortex-M3’ün sahip olduğu fiziksel I2C özelliğini kullanan bir yöntem sayesinde iletişim ve şifrelemenin eş zamanda yapılması sağlanmıştır. Bu çalışma için ARM Cortex-M0 işlemcisini kullanan yeni bir gömülü sistem cihazı tasarlanmış ve demo kart kullanılarak önerilen yaklaşım becerileri performans bilgileri ölçülmüştür. Son olarak, mesajların bütünlüğü korunabilsin diye kriptografik hash (MD5, SHA-1 ve SHA-2) ve çevrimsel fazlalık sınaması algoritmaları kullanılmıştır (Togay et. al. (2019)).

“Energy-saving design of civil engineering buildings based on FPGA and embedded system” çalışmasında İnşaat mühendisleri, özel sektörler de dahil olmak üzere kamuya açık yollar, binalar, havaalanları, tüneller, barajlar, köprüler, su temini ve kanalizasyon arıtma sistemleri mühendislik inşaatı ve bakımını tasarlanması ve inşa edilmesi üzerine gömülü bir sistem üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada enerjinin inşaat mühendisliği bina tasarımı alanında, zenginlik yaratmak için en katalizörlerden biri olduğundan bahsetmişlerdir. Binaların dünya genelinde toplam enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olduğunu; bu nedenle çevreyi derinden etkilediklerinden bahsetmişlerdir. Güç binasının yaşam döngüsü, Alan Programlanabilir Kapı Dizisi (FPGA) ve Gömülü sistem bazında tüm aşamalarda kullanılmıştır. Gömülü sistem genellikle bir inşaat tasarım mühendisliğidir. Ayrıca maksimum bilgi işlem çıktısı, zaman çizelgesi veya iş sürücülerini için ideal bir uygulama şeklidir. Son olarak gömülü sistemlerin binanın yaşam döngüsü, enerji tasarrufu hakkında bilgiler verdiğini ve inşaat mühendisliği alanında binalarının yaşam döngüsü tasarımında yol gösterici ilkeleri açıkladıklarını söylemişlerdir ( Zhang (2021)).

“Design of a Blended e-Learning Curriculum for Embedded System Engineering” çalışmasında gömülü sistemlerin çeşitli ürünlerde uygulanmakta ve bunlara olan talebin oldukça fazla olduğunu dile getirmişlerdir. Ancak, Japonya’da çok ciddi bir gömülü sistem mühendisi sıkıntısı olduğunu, bu nedenle gömülü sistem mühendisliği eğitiminin yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulmakta olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmalarında gömülü sistem mühendisliği eğitimi için bir e-öğrenme sistemi geliştirmişler ve bunun e-öğrenme sistemine dayalı bir müfredat olacak şekilde tasarlamışlardır. Bu eğitim sistemi, uzaktan uygulama sistemi ve çevrimiçi donanım tanımlama dili (HDL) tasarım kontrol sistemi de dahil olmak üzere evde kendi kendine öğrenmeyi teşvik etmek için bazı etkili materyallere sahiptir. Bu eğitim sistemini kullanarak bazı eğitim kursları gerçekleştirip devamında sonuçlarını değerlendirmişlerdir (Chiba et. al (2010)). “Software Engineering for Embedded and Real-Time Systems ” çalışmasında özellikle son yıllarda, bilgi işlem dünyasının büyük, statik, masa üstü makinelerden küçük, mobil ve gömülü cihazlara geçtiğini belirtmişlerdir. Bu zamanda önceki senaryoda başarıyla uygulanmış olan yazılım sistemlerini geliştirmeye yönelik yöntemler, teknikler ve araçlar, ikinci senaryoda o kadar kolay uygulanabilir değildir. Mobil, gömülü cihazların ağlarında çalışan yazılım sistemleri, daha geleneksel sistemlerde her zaman gerekli olmayan özellikler sergileme zorunluluğu olduğundan bahsetmişlerdir (Oshana (2019)).

“Basic human–robot interaction system running on an embedded platform” çalışmasında Robotik uygulamaların gelecek nesiller boyunca toplumda baskın bir alan olacağı ifade edilmiştir. Çeşitli görevlerin yerine getirilmesini kolaylaştıran cihazlar ve mekanizmalar ile günlük yaşam ortamlarının çoğunda ve makinelerin giderek daha fazla iş gerçekleştirdiği çalışma senaryolarında varlığı şu anda artmaktadır. Toplumda otonom robotik sistemlerin varlığındaki bu artış, esas olarak sensör ve aktüatör sistemlerinin muazzam hassasiyeti sayesinde insan kapasitesine kıyasla büyük verimlilik ve güvenliklerinden kaynaklanmaktadır. Bunlar arasında görüntü sensörleri son derece önemlidir. İnsanlar ve birçok hayvan doğal olarak güçlü algı sistemlerinden hoşlanır, ancak robotikte bu, sürekli bir araştırma hattı oluşturur. Akıl yürütme ve karar verme için yüksek bir kapasiteye sahip olmanın yanı sıra, bu robotlar, bu yeni sanayi devriminin çalışma ortamlarında etkin bir şekilde etkileşime girmelerine izin vererek, algı sistemlerinde önemli gelişmeler içermektedir. Yüze bakarak insanlar arasındaki en temel etkileşimden yola çıkarak, otonom ve kendin yap robotu için geliştirilen bu makalede yenilikçi bir sistem sunulmaktadır. Bu sistem üç modülden oluşmaktadır.

İlk olarak, mevcut görüntüdeki insan yüzlerini algılayan yüz algılama bileşeni. İkincisi, kullanılan tek kameradan daha geniş bir görüş alanı sunan sahne temsil algoritması, bir servo-pan ünitesine monte edilmiştir. Üçüncüsü, iki rakip dinamiğe göre tasarlanan ve uygulanan aktif bellek bileşeni: yaşam ve belirginlik. Algoritma, yeni yüzler bulmak, mevcut yüzleri takip etmek ve artık sahnede görünmeyenleri unutmak amacıyla servo-pan ünitesini akıllıca hareket ettirir. Sistem, Raspberry Pi3 kartına dayalı düşük maliyetli bir platform kullanılarak geliştirilmiş ve doğrulanmıştır (Vega (2021)).

“Research on Arm Embedded System for Football Robot” çalışmasında hediye çarpışma masa oyunu oynamak için iki dereceden oluşan robot tasarımı, üretimi ve gerçek zamanlı çalışan birincil kontrollü gömülü sistemi gerçekleştirilmiştir. Bilgi işlem ve iletişim birimi yüksek çözünürlüklü dijital kameralardan biridir. Robot, iki servo motor ve bir darbe mekanizmasından oluşmaktadır. Sisteme üç önemli unsur dahil edilecektir. Platformda kamera görüntüyü alır ve merkez ofise gönderir. Fotoğraf işleme ve önemli verileri yakalamak için uyarlanabilir harita teknolojisini kullanmaktadır. Dosya satın alınan ürünü entegre edecektir; Seri bir arayüz üzerinden mikrodenetleyiciye bu bilgiler iletilecektir. Negatifi daha iyi koordine etmek için orta mesafe ve açılar için motor sürücü kontrol algoritması ve ortogonal sıkıştırma kodeği kullanılmıştır. Disk veya kale direği ile aynı hızda olduğunda, etkileyici bir birim ve atış yaptığında, ateşleme pimi kuvveti kontrol edecektir. Oyuncular, ayağından üretilen maksimum gücü kale direğine atacaklardır. Bu sistemde ki nihai amaç, akıllı eğlence teknolojisi konseptini karşılayan, uygun maliyetli, kullanıcı dostu bir sistem geliştirmektir (Zhou ve Li (2021)).

“DeWaLoP In-pipe Robot Embedded System” çalışması DewaLoP (Geliştirme Su Kaybını Önleme) robot sisteminde uygulanan bir boru içi robot gömülü sistemin geliştirilmesini anlatmaktadır. Gömülü bir sistemi, tanımlanmış bir görevi bir mikroçip içine alınmış gibi yerine getirmek için CPU kartlarının, çevre birimlerinin ve iletişim protokollerinin yapılandırılması olarak tanımlanmaktadır. DeWaLoP boru içi robotunun görevi, Viyana ve Bratislava'nın tatlı su sistemlerinin boru bağlantı boşluklarını yeniden geliştirmektir, robot borunun içinde hareket edebilmeli, bu boru bağlantılarını kapatmak için bir restorasyon malzemesi temizleyebilmeli ve uygulayabilmelidir. Önerilen gömülü sistem, boru içi robotun işlevselliği ve sistem çalışması üzerine tasarlanmıştır, sonlu durum makinesini (FSM) taklit eder, burada robot modülleri her durumda bağımsız olarak veya başka modüller ile birlikte çalışacak şekilde yapılandırılır (Mateos ve Vincze (2012)).

“Design of a 4 DOF parallel robot arm and the firmware implementation on embedded system to transplant pot seedlings” çalışmasında 4 DOF paralel robot kolunu sürmek için gerçek zamanlı gömülü bir sistem üzerinde bir ürün yazılımı tasarımı ve uygulamasını sunulmaktadır. Yazılım, robot kolunun hareketini üretmek için temel olarak iki bileşenden oluşmaktadır: a) sürekli konum koordinatlarının oluşturulması ve b) harekete geçirme sinyallerinin oluşturulması. Bu iki bileşen, ortak bir iletişim veriyoluna sahip iki farklı mikro denetleyicide işlenmiştir. Konum oluşturma algoritması, kullanıcı tarafından mikrodenetleyicinin EEPROM belleğinde daha önce saklanan giriş konumlarını okuyarak sürekli konum verilerini G-kod dizileri şeklinde hareket üretme algoritmasına iletir ve iletir. Bir el sıkışma sinyalinin alınması, bir iletişim veriyolu aracılığıyla bu bileşenler arasındaki veri iletimini senkronize etmiştir. Robot hedef koordinatlarını ayarlamak için kullanıcı ile iletişim kurmak için insan-makine arayüzü (HMI) olarak bir LCD ekran ve tuş takımı kullanılmıştır. Robot kolunun mekanik yapısı, kademeli motorlar tarafından harekete geçirilen çoklu bağlantılardan oluşmaktadır. Çalışma alanı sınırı, limit anahtarları tarafından algılanmıştır. Kinematik denklemler, karşılıklı gelen giriş eklem açıları için kavrayıcı konumunu temsil etmektedir. Robot eklemlerinin eşzamanlı hareketi için harekete geçirme sinyalleri üretmek için hareket üretme algoritması yardımıyla robot kolunun kinematik denklemlerini hesaplamak için bir mikro denetleyici kullanılmıştır. Kinematik denklemler, gerçek zamanlı işletim sistemi (RTOS) kullanılarak mikrodenetleyicinin çift çekirdekli özelliği ile çözülmüş, bu da hesaplamayı adım başına ortalama 198 µs'lik bir hesaplama süresi ile daha hızlı hale getirmiştir. Geliştirilen ürün yazılımı, saksı fidelerinin ölçümünü otomatikleştirmek için kâğıt kap fidelerinin sürekli olarak alınması ve yerleştirilmesi için gömülü mikro denetleyiciler kullanılarak 4 DOF paralel manipülatör üzerinde uygulanmış ve test edilmiştir. Her bir fidenin toplanıp bırakılması için geçen çevrim süresi 3.5 s olup başarı oranı %93,3'tür (Rahul 2020).

“Autonomous Tour Guide Robot using Embedded System Control” çalışmasında ziyaretçilere Asya Pasifik Üniversitesi Mühendislik Laboratuvarlarında rehberlik etmek için tasarlanmış etkileşimli bir otonom tur rehberi robotunu açıklamaktadır. Haritalama gibi çeşitli kendi kendine yerleştirme yeteneklerine sahip tur rehberi robotları geçmişte tanıtılmış olsa da, bu teknolojilerin performansı hala iç mekan navigasyon engelleri tarafından sorgulanmaya devam etmektedir. Mevcut yaklaşım, Raspberry pi 2 olan gömülü bir sistem üzerinde çalışan düşük maliyetli, otonom bir iç mekân tur rehberi robotunun uygulanmasından oluşmaktadır. Otonom navigasyon, ultrasonik sensörler ve basit bir web kamerası kullanılarak görüntü işleme kullanılarak duvar izleme yoluyla gerçekleştirilir. Tanıtılan bit düzeyinde görüntü işleme karşılaştırma yöntemi OpenCV'de yazılmaktadır ve Raspberry pi'de çalışır. Görüntüleri alır ve her bir laboratuvarı tanımlamak için etiketleri arar. Laboratuvarlarda yapılan navigasyon testleri sırasında %98 tanıma doğruluğu elde edilmiştir. Kullanıcı etkileşimi, robotun üzerine yerleştirilen bir android tablet üzerinde ses tanıma ile sağlanmıştır. Robot ve ziyaretçiler arasındaki iletişim için Google konuşma tanıma API'leri kullanılmıştır (Diallo et. al. (2015)).



“A calibration method of 2D LIDAR-Visual sensors embedded on an agricultural robot” çalışmasında Robotik alanında, mobil platformlar tipik olarak birden fazla sensörden gelen verileri birleştirmiş ve kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Sensörler arasındaki homojen dönüşümü tahmin etmenin, ölçüm verilerini ilişkilendirmede kritik bir adım olduğu vurgulanmıştır. Bu yazıda, çilek serası uygulamaları için tasarlanmış bir tarım robotuna yerleştirilmiş 2D LIDAR-Visual sensörlerin kalibrasyon yöntemini sunulmuştur. Yöntem, plandan plana homografi yaklaşımına dayanır ve bir dizi nokta denkliği kullanır. Karşılık noktaları, lazer mesafe bulucu düzleminin kalibrasyon modelinin kenarlarıyla ölçülen kesişme noktalarıdır. Çıkarılan noktalar, homografi matrisini tahmin etmek için kullanılır. RANSAC algoritması, sağlam bir homografi oluşturmak için sensörler tarafından çift taramalardan/görüntülerden elde edilen daha fazla nokta ile kullanılır. Tahmini homografi matrisi, 2D LIDAR ve monoküler kamera arasındaki katı dönüşüm olarak tanımlanır. Önerilen yöntemin sonuçları, önceden içsel parametrelere veya karmaşık kalibrasyon nesnelere olan ihtiyacı ortadan kaldırarak doğru dışsal parametrelere ulaşabileceğimizi göstermektedir. Sistem, Hokuyo URG-04LX-UG01 sensöründen ve kızılötesi filtreli bir monoküler kameradan oluşur. Tüm yazılım modülleri Robot İşletim Sistemi (ROS) ve Python kullanılarak oluşturulmuştur (Abanay et. al. (2022)).

“Vision systems for harvesting robots: Produce detection and localization” çalışmasında Son birkaç yılda, yapay zekanın kullanımı ve derin öğrenme, yeni 3D özellikli sensörler ve uç bilgi işlem gömülü sistemler gibi teknolojik gelişmeler, hasat robotları için ürün algılama ve yerelleştirme performansını artırdığını ifade etmişlerdir. Ne yazık ki, bu performans artışı genellikle manuel olarak etiketlenmesi gereken büyük veri kümeleri, eğitim için uzun süreler, artan işlem süresi ve çıkarım gücü ve algılama modellerini çalıştırmak için yüksek maliyetli güçlü donanım gerektirmektedir. Bu çalışma, kullanılan yeni teknolojiye özel önem vererek, ürün tespiti ve yerelleştirme araştırmalarına odaklanarak, hasat robotlarının görüş alt sistemlerinin durumu hakkında güncel bilgiler sağlamaya odaklanmaktadır. Tespit ve yerelleştirme metodolojileri üretmek için bu teknolojiyi tanıtmının zorluklarının bir açıklaması ve analizi de bu derlemede mevcuttur. Son olarak, hasat robotlarının görüş alt sistemleri için gelecekteki eğilimler açıklanmış ve tartışılmıştır (Montoya-Cavero et. al (2022)).

“Embedded Architecture Composed of Cognitive Agents and ROS for Programming Intelligent Robots” çalışmasında, akıllı robotları programlamak için bir alternatif olarak hizmet eden Robotik İşletim Sistemi (ROS) ile iş birliği içinde bilişsel ajanların kullanımını teşvik etmeyi amaçlayan gömülü bir mimari önerilmekte ve değerlendirilmektedir. Programlama soyutlama seviyesini iki yönde destekler. İlk yön, algılarından ve ilgili eylemlerinden oluşan robot zekasını programlamak için bilişsel ajanların olanaklarını kullanmakla ilgilidir. İkinci yön, robot etkileşimini sensörleri ve aktüatörleri ile programlamak için ROS katmanlarını kullanma olanaklarından yararlanır. Makale, önerilen mimarinin faydalarını değerlendirmemize izin veren performans ölçümlerini ölçerken, simüle edilmiş İHA'ları komuta etmek için araçları kullanma deneylerini rapor etmiştir (Sliva et. al (2020)).

“Application of Face Recognition Method Under Deep Learning Algorithm in Embedded Systems” çalışmasında Derin öğrenmeye dayalı Evrişimli Sinir Ağı (CNN), iki derin yüz algılama algoritması önermek ve derin öğrenme algoritmasını yüz algılamaya uygulamak ve gömülü yüz tanıma sistemini keşfetmek için gömülü bir yüz tanıma sistemi tasarlamak için tanıtılmıştır. İlk olarak, OMTCNN olarak belirtilen yüz görüntüsünün simülasyon dönüşümü ve kırpmaya ön işlemesi için optimize edilmiş bir Çok Görevli Basamaklı Evrişimsel Ağ (MTCNN) algoritması önerilmiştir. İkinci olarak, gömülü sistemdeki LCNN olarak adlandırılan yüz tanımanın hesaplama karmaşıklığını azaltmak için CNN'ye dayalı hafif bir yüz tanıma algoritması önerilmiştir. Son olarak, OMTCNN ve LCNN, çok çekirdekli gömülü yüz tanıma sistemini oluşturmak için birleştirilir. Sonuçlar, OMTCNN'nin yüz kimliğini belirlemede iyi bir performans gösterdiğini ve eğitim doğruluğunun, geliştirilmemiş MTCNN algoritmasından önemli ölçüde daha iyi olan %95,78'e ulaşabileceğini göstermektedir. Labeled Faces in the Wild (LFW) veri setinde, LCNN %98,13'lük doğru bir oran sağlar ve modelin karmaşıklığındaki azalma, hesaplama hızını 6,4 kata kadar artırır. Test sonuçları, tasarlanan yüz tanıma sisteminin gömülü platformda iyi bir uygulanabilirliğe sahip olduğunu göstermektedir. Yüz tanıma modülünün doğruluğunun artması ve hesaplama hızlandırma modülünün kullanıma sunulması, gömülü sistemin yüz algılama ve tanıma performansını önemli ölçüde iyileştirmiştir. Derin öğrenmeye dayalı gömülü yüz tanıma sisteminin pratik uygulama değeri vardır. Bu makale, akıllı robotları programlamak için bir alternatif olarak hizmet eden Robotik İşletim Sistemi (ROS) ile iş birliği içinde bilişsel ajanların kullanımını teşvik etmeyi amaçlayan gömülü bir mimariyi önerir ve değerlendirir. Programlama soyutlama seviyesini iki yönde desteklemektedir. İlk yön, algılarından ve ilgili eylemlerinden oluşan robot zekasını programlamak için bilişsel ajanların olanaklarını kullanmakla ilgilidir. İkinci yön, robot etkileşimini sensörleri ve aktüatörleri ile programlamak için ROS katmanlarını kullanma olanaklarından yararlanır. Makale, önerilen mimarinin faydalarını değerlendirmemize izin veren performans ölçümlerini ölçerken, simüle edilmiş İHA'ları komuta etmek için araçları kullanma deneylerini rapor edilmiştir (MingxiaSu ve Wang (2021)).

“Enhancing image processing architecture using deep learning for embedded vision systems” çalışmasında son yıllarda gömülü vizyonun başarısı ve yetenekleri gömülü uygulamalarda kendini gösterdiğinden bahsedilmiştir. Gömülü tıbbi uygulamalar gibi elektronik cihazlara vizyonun yerleştirilmesi, yüksek performanslı işlemcilerin mevcudiyeti, derin öğrenme algoritmalarıyla bütünleşme ve görüntü işleme teknolojisindeki ilerlemeler tarafından yönlendirilmektedir. Ancak, gömülü görüntü sistemlerinde görüntü işleme dahil olmak üzere, bir nesneyi algılamak için tek bir görüntüyü işlemek için bile çok büyük miktarda hesaplama yeteneği gerekir ve gömülü sistemlerde uygulanması son derece zordur. Derin öğrenme algoritmalarını uygulamak ve onu göreve özel bir veri setinde test etmek, gelişmiş sonuçlar sağlayabilir. Bu yazıda, gömülü görüntü sistemleri için derin öğrenme kullanarak görüntü işleme mimarisini geliştirmeye yönelik bir yaklaşım önerilmiş ve analiz edilmiştir. Derin öğrenme algoritmalarını uygulamak ve gömülü vizyon üzerinde test etmek etkili sonuçlar vermiştir (Udendhran et. al. (2020)).

“A deep learning framework with an embedded-based feature selection approach for the early detection of the Alzheimer's disease” çalışmasında yaşlanma, ilerleyici bir bunama şekli olan Alzheimer hastalığı (AH) dahil olmak üzere çeşitli rahatsızlıklarla ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Bu hastalığın semptomları yıllar içinde gelişir ve ne yazık ki tedavisi yoktur. Mevcut tedavileri yalnızca semptomların ilerlemesini yavaşlatabilir ve bu nedenle hastalığı erken bir aşamada teşhis etmek kritik öneme sahiptir. AH'nin erken teşhisini iyileştirmeye yardımcı olmak için, AH hastalarını sınıflandırmak için gömülü bir özellik seçimi yaklaşımına sahip derin öğrenmeye dayalı bir sınıflandırma modeli kullanılmıştır. Analiz için GEO omnibus veri tabanından bir AD DNA metilasyon veri seti (34 vaka ve 34 kontrol içeren 64 kayıt) kullanılmıştır. İlgili özellikleri seçmeden önce, veriler kalite kontrol, normalizasyon ve aşağı akış analizi yapılarak ön işleme tabi tutulmuştur. İlişkili CpG sitelerinin sayısı çok fazla olduğundan, dört gömülü tabanlı özellik seçim modeli karşılaştırılmış ve önerilen sınıflandırma modeli için en iyi yöntem kullanılmıştır. Bir Gelişmiş Derin Tekrarlayan Sinir Ağı (EDRNN) uygulanmış ve bir Evrişimsel Sinir Ağı (CNN), bir Tekrarlayan Sinir Ağı (RNN) ve bir Derin Tekrarlayan Sinir Ağı (DRNN) dahil olmak üzere diğer mevcut sınıflandırma modelleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen modelin sınıflandırma doğruluğunda diğer yöntemlere kıyasla önemli bir gelişme göstermiştir (Mahendran ve Vincent (2021)).

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Yapılan araştırma makalesinde gömülü sistemlerin temel özellikleri ve çalışma prensipleri açıklanmıştır. Daha sonra mühendislik alanında ki özelliklerinden bahsedilmiştir. Literatür çalışmasında yapay zekâ başta olmak üzere derin öğrenme ile beraber kullanım alanları, robotik sistemler ile beraber kullanım alanları, turizm seyahat, inşaat, eğitim gibi birçok alanda yapılan uygulamalardan bahsedilmiştir. Bahsedilen uygulama alanlarında gömülü sistemlerin nasıl kullanıldığı ve hangi yöntemlerin tercih edildiği açıklanmıştır.

Elde edilen bilgiler ışığında gömülü sistemlerin üstün özellikleri tespit edilmekle beraber uygulamada karşılaşılan zorlukları da ifade edilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda takip edilen süreçte derin öğrenme ve robotik sistemleri kapsayan gömülü bir sistem tasarlayıp özellikle tıp alanında hastalık tanı ve teşhisi için ucuz maliyetli, düşük işlem kapasiteli ve hızlı netice veren hibrid bir yapı oluşturmayı planlıyoruz.

#### Referanslar

- Abanay, A., Mamoudi, M., Ensari, M. (2022). A calibration method of 2D LIDAR-Visual sensors embedded on an agricultural robot. *Optik*, 249, 168254.
- Adan, O.C.G. (1994). On the fungal defacement of interior finishes, PhD thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands.
- Aydın, İ., Salur, M.A., Karaköse, M. (2019). Gömülü Derin Öğrenme ile Tehdit İçeren Nesnelerin Gerçek Zamanda Tespiti, *DÜMF Mühendislik Dergisi* 10(2,) pp. 497-509.
- Chiba, S., Yonamine, T.,\*Sasaki, M., Sugawara, K.,anomata, A. Design of a Blended e-Learning Curriculum for Embedded System Engineering, *IFAC Proceedings Volumes*, 42, Issue 24, pp. 152-157.
- Çalık, R. (2018). Gömülü Sistem Üzerinde evrişimsel sinir ağları ile Nesne Sınıflandırılması, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Çavuşlu, M.A., Karakaya, F., Altun H. (2008). ÇKA ipi Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Plaka Yeri Tespitinin FPGA'da Donanımsal Gerçekleşmesi, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU).
- Çotuk, H. (2008). Pıç Mikrodenetleyiciler İçin Gerçek Zamanlı İşletim Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

- Diallo, A.D., Gobe, S., Durairajah, V. (2015). Autonomous Tour Guide Robot using Embedded System Control, *Procedia Computer Science*, 76, pp. 126-133.
- Efe, A., Sarıkaya M., Altınbaş, M. (2019). İnternet Bağlantılı Gömülü Sistemlerde Güvenlik Açıkları. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(3), 1468-1484.
- Kaya, A. (2008). Gömülü sistemler ve uygulama alanları. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Akademik Bilişim, Çanakkale*.
- Mahendran, N., Vincent, D.R. (2021). A deep learning framework with an embedded-based feature selection approach for the early detection of the Alzheimer's disease, *Computers in Biology and Medicine*, 105056.
- Mateosi L.A., Vincze, M. (2012). DeWaLoP In-pipe Robot Embedded System. *IFAC Proceedings Volumes*, 45, Issue 22, pp. 842-847.
- MingxiaSu, X., Wang, Z., (2021). Application of Face Recognition Method Under Deep Learning Algorithm in Embedded Systems, *Microprocessors and Microsystems*, 104034.
- Montoya-Cavero, L.E., León, R.C., Alfonso, T.G, Cabello, J.A. (2022). Vision systems for harvesting robots: Produce detection and localization, *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106562.
- Oshana, R. (2019). *Software Engineering for Embedded and Real-Time Systems, Methods, Practical Techniques, and Applications*, pp. 1-31.
- Rahul, K, Raheman H, Paradkar, V. (2020). Design of a 4 DOF parallel robot arm and the firmware implementation on embedded system to transplant pot seedlings, *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, pp. 172-183.
- Sarıyıldız, S.Ö., Demirhanı A. (2015). Görüntü İşleme Teknikleri ve Robot Kol ile Nesnelere Kategorilerine Ayırma, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 26, Sayı 2
- Silva, G.R., Becker, B.E., Hübner, J.F., (2020). Embedded Architecture Composed of Cognitive Agents and ROS for Programming Intelligent Robots, *IFAC-PapersOnLine*, 53, Issue 2, pp. 10000-10005.
- Şenel, F.A., Çetişli B. (2015). Görüntü İşleme ve Beş Eksenli Robot Kol ile Üretim Bandında Nesne Denetimi. *Pamukkale Univ Muh Bilim Dergisi*, 21(5), 158-161.
- Togay, C.A., Mutlu G., Kurtuluş, D., Özgür, F. (2019). Secure Gateway for the Internet of Things, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* Sayı 16, S. 414-426.
- Udendhran, R., Balamurugan, M., Suresh, A., Varatharajan, R, (2020). Enhancing image processing architecture using deep learning for embedded vision systems, *Microprocessors and Microsystems*, 76, 103094.
- Vega, J. (2021). Basic human–robot interaction system running on an embedded platform, *Microprocessors and Microsystems*, Volume 85, pp. 104316.81, pp. 103776.
- Zhang, X., (2021). Energy-saving design of civil engineering buildings based on FPGA and embedded system, *Microprocessors and Microsystems*, Volume 83, pp. 103970.
- Zhou, M., Li, D., (2021). Research on Arm Embedded System for Football Robot, *Microprocessors and Microsystems*