

Kırıkkale University International Journal of Engineering Research and Development

International Peer Reviewed Journal
e-ISSN: 1308-5514



Volume: 13
Issue: 1

JANUARY 2021

Kırıkkale Üniversitesi
Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi
Uluslararası Hakemli Dergi

Cilt: 13 Sayı:1 Ocak 2021



KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ / KIRIKKALE UNIVERSITY

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

Sahibi / Owner

Ersan ASLAN
Rektör / Rector

Editör/Editor

Ertuğrul ÇAM

Yardımcı Editörler / Associate Editors

Murat LÜY
Özer SEVİM

Alan Editörleri / Area Editors

Atila ERGÜZEN - Bilgisayar Mühendisliği / Computer Engineering
Murat İNAL - Biyomühendislik / Bioengineering
Burak BİRGÖREN - Endüstri Mühendisliği / Industrial Engineering
Tolga EREN - Elektrik-Elektronik Mühendisliği / Electrical and Electronics Engineering
Ali Payıdar AKGÜNGÖR - İnşaat Mühendisliği / Civil Engineering
Hakan ARSLAN - Makine Mühendisliği / Mechanical Engineering
Tuna AYDIN – Metalurji ve Malzeme Mühendisliği / Metallurgical and Materials Engineering

Dergi Sekreteryası / Journal Secretariat

Hüseyin AYDİLEK

Yazışma Adresi /Address

Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
71450-Kampüs- Kırıkkale- TÜRKİYE
<http://ijerad.kku.edu.tr>
ijerad@kku.edu.tr
Tel : +90-318-357-42 42 (1001)
Fax: +90-318-357-24 59

ISSN- Online: 1308-5514

Ocak 2021 / January 2021

Kapak Tasarım / Graphics Design: Hüseyin AYDİLEK

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

- A. Serdar YILMAZ Sütçü İmam Üniversitesi
Ahmet Kürşat TÜRKER Kırıkkale Üniversitesi
Ali Payıdar AKGÜNGÖR Kırıkkale Üniversitesi
Ayten ÇELEBİ KESKİN Kırıkkale 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 çalışmalarını 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

- Ahşap Bağlantı Noktalarında Mekanik Ankraj Sayısı ve Yerleşim Şeklinin Kayma Gerilmesi-Kayma Deplasmanı Davranışı Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi**
- 1 *Experimental Investigation of The Effects of Mechanical Anchor Number and Layout Shape on Bond Stress-Slip Displacement Behavior at Timber Joints* 1-12
Ayşegül Özden Acehan, Ömer Mercimek, Rahim Ghoroubi, Özgür Anıl
DOI: 10.29137/umagd.805399
- Developing a Message Broadcasting System for Natural Disasters**
- 2 *Veysel Harun Sahin, İsmail Oztel* 13-21
DOI: 10.29137/umagd.664730
- Ticari Bina LED Aydınlatma Sistemlerinde Enerji Tasarrufu İçin Bulanık Mantık Denetleyicisi**
- 3 *Fuzzy Logic Controller for Energy Saving in Commercial Building LED Lighting Systems* 22-31
Ayşe Doğru, Nazlı Koymat, Zafer Civelek
DOI: 10.29137/umagd.665376
- Sürdürülebilir Konut Satın Alımının Çok Kriterli Karar Verme Metotlarıyla Değerlendirmesi ve Bir Uygulama**
- 4 *An Assessment of Sustainable Housing Affordability using Multiple Criteria Decision Making Methods and an Application* 32-54
Deniz İrem Yertutan, Tahsin Çetinyokuş
DOI: 10.29137/umagd.677636
- Implementation of Collaborative Multi-Robot System Carrying Cargos Autonomously**
- 5 *Emrah Budak, Fecir Duran, Meral Özarlan Yatak, Raif Bayır* 55-65
DOI: 10.29137/umagd.686123
- Trafik Kazalarının Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi**
- 6 *Evaluation of Traffic Accidents Using Machine Learning Methods* 66-73
Arzu Altın Yavuz, Ebru Gündoğan Aşık, Barış Ergül
DOI: 10.29137/umagd.705156
- Esnek Robotların Tasarım, Kontrol ve İmalat Çalışmaları**
- 7 *Design, Control and Manufacturing Studies of Soft Robots* 74-86
Seda Yetkin, Gonca Ozmen Koca
DOI: 10.29137/umagd.706041
- Sezgisel Bulanık Kalite Fonksiyon Yayılımı ve Bir Uygulama**
- 8 *Intuitionistic Fuzzy Quality Function Deployment and an Application* 87-103
Müge Bulut, Ümit Sami Sakallı
DOI: 10.29137/umagd.730775
- Sıcak Presleme Yöntemi ile Üretilen AA2024 ve AA7075 Esaslı %5 SiC Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mikroyapı, Sertlik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi**
- 9 *Investigation of Microstructure, Hardness and Corrosion Properties of AA2024 and AA7075 based 5% SiC Reinforced Composite Materials Produced by Hot Pressing Method* 104-112
Hasan Karabulut, Kubilay Karacif, Mustafa Türkmen
DOI: 10.29137/umagd.733755

- Yaya Geçitlerinde Yaya-Yaya ve Yaya-Araç Etkileşimleri ile Diğer Faktörlerin Geçiş Hızına Etkisinin Mikro Düzey İncelenmesi**
10 *Micro-level Investigation of the Effects for Pedestrian-Pedestrian and Pedestrian-Vehicle Interactions and Other Factors on Crossing Speed in Pedestrian Crossings* 113-126
Ayşe Ünal, Meltem Saplıoğlu
DOI: 10.29137/umagd.736604
- The New Screw Interpolations and Their Geometric Properties in the Dual Spherical Mechanisms**
11 *Hatice Kuşak Samancı, Çetin Kuşçu* 127-139
DOI: 10.29137/umagd.756455
- Decision Trees In Large Data Sets**
12 *Zeynep Çetinkaya, Fahrettin Horasan* 140-151
DOI: 10.29137/umagd.763490
- 14 Haziran 2020 Bingöl-Karlıova Depreminin Yığma Yapılara Etkisinin Değerlendirilmesi**
13 *Evaluation of the Effect of 14 June 2020 Bingöl-Karlıova Earthquake on Masonry Structures* 152-160
İrfan Kocaman, İlker Kazaz
DOI: 10.29137/umagd.764785
- Müşteri Memnuniyetinin Süreç Odaklı Değerlendirilmesi: Bir Çağrı Merkezinde Süreç Madenciliği Uygulaması**
14 *Process-Oriented Evaluation of Customer Satisfaction: Process Mining Application in a Call Center* 161-169
Onur Doğan, Başak Ayyar, Gültekin Çağlı
DOI: 10.29137/umagd.771113
- Ti-6Al-4V Titanyum Alaşımının Delinmesinde Ön Delik Uygulamasının İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi**
15 *Investigation of the Effect of Pre-Hole Application on Machinability in Drilling of Ti-6Al-4V Titanium Alloy* 170-177
Muharrem Pul, Selçuk Yağmur
DOI: 10.29137/umagd.771235
- Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Algoritmalarını Kullanarak Hisse Senedi Fiyat Tahmini**
16 *Using Machine Learning and Deep Learning Algorithms for Stock Price Prediction* 178-192
Seher Arslankaya, Şevval Toprak
DOI: 10.29137/umagd.771671
- 1500 V DC Beslemeli Raylı Sistemlerde Dinamik Reaktif Güç Probleminin DKS ile Çözümü**
17 *Solution of Dynamic Reactive Power Problem in 1500 V DC Supply Rail Systems with DCS* 193-201
Mehmet Taciddin Akçay
DOI: 10.29137/umagd.775559
- İş Sağlığı ve Güvenliği'nde Sürdürülebilir Kişisel Koruyucu Donanım Politikalarının Uygulanması**
18 *Implementation of Sustainable Personal Protective Equipment Policies in Occupational Health and Safety* 202-211
Suna Çetin
DOI: 10.29137/umagd.777201

- Seramik Sağlık Gereci Atıklarının Geopolimer Harç Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması**
19 *Investigation of Usability of Ceramic Sanitaryware Wastes in Geopolymer Mortar Production* 212-219
İsmail İsa Atabey, Zahide Bayer Öztürk
DOI: 10.29137/umagd.782733
- Konya İlinde Bir Fabrikanın Enerji Talebinin Karşlanması için Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Analiz ve Tasarımı**
20 *Analysis and Design of a Hybrid Energy Production System to Meet the Energy Demand of a Plant in Konya* 220-230
Abdiülsamed Tabak
DOI: 10.29137/umagd.794898
- Tekstil Sektör Çalışanlarının Maruz Kaldığı Ergonomik Risklerin Analitik Ağ Süreci ile Değerlendirilmesi**
21 *Assessment of Ergonomic Risks for Textile Sector Employees with Analytical Network Process* 231-242
Güler Aksüt, Tamer Eren, Mehmet Tüfekçi
DOI: 10.29137/umagd.798215
- Rijit Bodrumlu Binaların TBDY 2018'e Göre Tasarımına Yönelik Bir Değerlendirme**
22 *A Discussion on the Design of Buildings with Rigid Basement According to TBSC 2018* 243-249
Ali Ruzi Özüygür, Abdullah Dilsiz
DOI: 10.29137/umagd.807186
- Siyanür ile Cevherden Altın Üretiminin Çevresel Etkileri**
23 *Environmental Effects of Cyanide Gold Production from Ore* 250-264
Feray Koçan
DOI: 10.29137/umagd.811352
- Usage of Antimony Trioxide, Aluminum Hydroxide and Zinc Borate in Grp Composite Production as Fire-Retardant Additives: An Experimental Research**
24 *Composite Production as Fire-Retardant Additives: An Experimental Research* 265-277
Ahmet Beycioğlu, Eda Yılmaz, Suna Çetin, Neslihan Gökçe, Hüseyin Yılmaz Aruntaş
DOI: 10.29137/umagd.821003
- İstanbul Havalimanı Yolcu Kapasitesinin Tahminine Yönelik Simülasyon Çalışması**
25 *Simulation Study for Estimating Istanbul Airport Passenger Capacity* 278-287
Vecihi Yiğit, Serdar Çelik
DOI: 10.29137/umagd.825072
- 420 ve 304L Farklı Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı Sonrası Radyografik Muayenesi**
26 *Radiographic Testing of 420 and 304L Dissimilar Stainless Steels after TIG Welding* 288-295
Mustafa Gökhan Murat, Aziz Barış Başyigit
DOI: 10.29137/umagd.837180



Ahşap Bağlantı Noktalarında Mekanik Ankraj Sayısı ve Yerleşim Şeklinin Kayma Gerilmesi-Kayma Deplasmanı Davranışı Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Experimental Investigation of The Effects of Mechanical Anchor Number and Layout Shape on Bond Stress-Slip Displacement Behavior at Timber Joints

Ayşegül Özden Acehan¹, Ömer Mercimek², Rahim Ghoroubi³, Özgür Anıl^{*4}

¹Yüksek Lisans Öğrencisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06570, Ankara, Türkiye

²Araştırma Görevlisi, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06010, Ankara, Türkiye

³Öğretim Görevlisi, Çankaya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06790, Ankara, Türkiye

⁴Prof. Dr., Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06570, Ankara, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 26/05/2020

Kabul / Accepted: 05/10/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 10/12/2020

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Ahşap yapılar ve yapı elemanlarında yapıştırıcı ve mekanik bağlantı elemanları ile bir araya getirilmiş birleşim bölgesinin genel yük-deplasman davranışı, kayma gerilmesi- kayma deplasmanı davranışları, yapısal sistemin kapasitesi ve göçme mekanizmaları üzerinde son derece etkilidir. Ahşap-ahşap bağlantı bölgelerinin davranışları, malzemenin mekanik özelliklerine, yapısına ve türüne göre çok büyük oranda değişim gösteren farklı kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışları sergileyen, incelenmesi gerekli olan önemli bir konudur. Ahşap yapı elemanlarının yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankrajlar ile birleştirilmesi durumunda genel yük-deplasman davranışlarının, bağlantı bölgesindeki gerilme dağılımları ile kayma gerilmesi - kayma deplasmanı davranışlarının incelendiği kapsamlı bir deneysel çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu nedenle deneysel bir çalışma planlanmıştır. Bu çalışma kapsamında birbirlerine yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankrajlar ile bağlanmış olan, kenetlenme uzunlukları 180, 240 ve 350 mm olarak değişim gösteren ahşap bağlantı bölgelerinin, aksenal çekme yükü etkisi altındaki genel yük deplasman davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında birleşim bölgesinde kullanılan mekanik ankraj sayısı ve yerleşiminin değişim göstermesinin, genel yük-deplasman davranışı ve kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışları üzerindeki etkileri de araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Ahşap bağlantı, Ankraj, Gerilme Dağılımı, Gerilme-kayma deplasmanı”

Abstract

The general load-displacement and shear stress-shear displacement behavior of the joining area combined with adhesive and mechanical connectivity in wooden structures and structural elements are highly effective on the capacity of the structural system and collapse mechanisms. The behavior of the wood joining area is an important subject that needs to be examined. Also, it exhibits different shear stress-shear displacement behaviors that vary greatly according to the mechanical properties, structure, and type of the material. The comprehensive experimental study examining the general load-displacement behavior, stress distributions and shear stress-shear displacement behaviors in the connection area which wood structural elements are combined with adhesive or adhesive and mechanical anchors have not been found in the literature. Therefore, an experimental study was planned. In this study, the general load-displacement behavior of the timber connection regions which are connected by adhesive and mechanical anchors together with adhesive, with varying length of 180, 240 and 350 mm are investigated experimentally. Besides, the effect of changing in the number and location of mechanic anchors used in the connection area on the general load-displacement and shear stress-shear displacement behavior was also investigated.

Key Words

“Timber to timber joint; Anchorage; Stress distribution; Bond-slip model”

1. Giriş

Son yıllarda yürütülen çalışmalarda, çeşitli yapı tiplerinin farklı teknikler kullanılarak taşıma gücü kapasiteleri arttırılmaya çalışılmaktadır (Mercimek et al. 2019; Ghoroubi et al., 2020; Dönmez et al., 2020; Mercimek et al. 2020). Bu yapı tiplerinin içerisinde betonarme ve çelik yapılarla kıyaslandığında, ahşap yapıların taşıma güçlerini arttırmaya yönelik çalışmalar oldukça azdır. Ahşap yapılarda, ahşap-ahşap bağlantı yüzeyleri çok sık kullanılan ve tüm sistemin taşıma gücü, genel yük-deplasman davranışı, deplasman yapabilme potansiyeli, rijitliği ve enerji tüketim kapasitesi gibi yapısal parametreler üzerinde önemli etkileri olan bağlantı noktalarıdır. Bu tür bağlantı noktalarının nasıl bir davranış gösterdikleri ve taşıma güçleri gibi önemli parametrelerin bağlantının türü ve bağlantı boyundan nasıl etkilendikleri incelenmesi ve araştırılması gerekli önemli bir konudur.

Birbirinden bağımsız iki ahşap taşıyıcı eleman yapıştırıcı ile herhangi bir bağlantı noktasında birbirlerine yük aktarmak için birleştirilebildikleri gibi, Glulam ahşap kirişler gibi özel olarak üretilen, ahşap taşıyıcı sistem yapısal elemanlarında da yapıştırıcı kullanılarak ahşap lamellerin birbirlerine bağlanması kullanılan bir tekniktir. Bu bağlantıların göstereceği aderans davranışı ve taşıma güçleri tüm yapı elemanının kapasitesi ve davranışı üzerinde son derece etkilidir. Literatürde yapılan incelemelerde ahşap yapışma yüzeylerinde aderansı artırarak, yapı elemanlarının dayanım ve davranışlarını iyileştirmek için farklı güçlendirme tekniklerinin kullanıldığı çalışmalara rastlanmıştır. Bu tür yapısal elemanların başında Glulam kirişler gelmektedir (Sena-Cruz et al., 2013; Tran et al., 2015; Dietsch and Tannert, 2015, Weidong et al., 2015; Fosetti et al., 2015; Raftery and Rodd, 2015; Raftery and Harte, 2013, Yang et al., 2016a, Haiman et al., 2010; Ansari et al., 2017; Ansari et al., 2012; Yang et al., 2016b). Ahşap-ahşap bağlantı noktalarında aderansı artırmak ve bağlantı noktasının taşıma gücü ile genel yük-deplasman davranışlarını iyileştirmek amacıyla çeşitli güçlendirme yöntemlerinin kullanılması haricinde, uygulanan tekniklerden biri de bağlantı bölgesinde birleşimi sağlamak için sadece yapıştırıcı kullanmak yerine ek olarak bu bölgede ankraj gibi ek bağlantı elemanlarının kullanılmasıdır. Bu bağlantı bölgesinde çivi, vida veya mekanik ankraj benzeri bağlantı elemanlarının kullanılmasının bağlantının taşıma gücü, genel yük-deplasman davranışı, bağlantı bölgesi boyunca meydana gelen gerilme dağılımı ve kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışları üzerinde ne ölçüde etkili olduğu incelenmesi gerekli olan, bu konudaki literatüre katkı sağlayacağı düşünülen önemli bir konudur. Ahşap-ahşap bağlantı noktaları ile oluşturulan genel ahşap yapı taşıyıcı sistemlerinin taşıma güçleri ve genel yük-deplasman davranışlarının gerçekçi bir şekilde hesaplanabilmesi için bu sistemlerde yer alan bağlantı noktalarının kapasitelerinin gerçekçi bir şekilde hesaplanabilmesi bir gereklilik haline gelmiştir (Schiere et al., 2018; Mehra et al., 2018; Izzi et al., 2018). Bu nedenle kapsamlı deneysel bir çalışma planlanmıştır. Deneysel çalışmada incelenen değişkenler ahşap-ahşap bağlantı noktasında sadece yapıştırıcı ile bağlantı yapılması ve bağlantı bölgesinde yapıştırıcıya ek olarak mekanik çelik dubeller ile bağlantının gerçekleştirilmesi, bağlantı bölgesi uzunluğu, bağlantıda kullanılan ankraj sayısı ve yerleşim düzenidir. Çalışma kapsamında toplam 21 adet ahşap-ahşap bağlantı noktası deney elemanı yazarlardan biri tarafından geliştirilen özel bir eksenel çekme test düzeneği kullanılarak test edilmiştir (Anıl et al., 2016; Mertoğlu et al., 2016; Sakin et al. 2019; Ghoroubi et al. 2020). Deneysel çalışma sonucunda ahşap-ahşap bağlantı noktalarının genel yük-deplasman davranışı, bağlantı bölgesi boyunca gerilme dağılımları, kayma gerilmesi-kayma deplasmanı modelleri elde edilmiş ve incelenen değişkenlerin bu sonuçlar üzerindeki etkileri yorumlanmıştır. Yapılan literatür taramasında ahşap-ahşap yapışma yüzeylerinde ve özellikle mekanik dubeller ile birlikte yapıştırılmış yüzeylerde sonlu elemanlar bilgisayar modellerinde kullanılabilir, genelleştirilmiş bir yapışma yüzeyi kayma gerilmesi-kayma deplasmanı modeline rastlanmamıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen ankrajsız ve ankrajlı kayma gerilmesi- kayma deplasman (bond-slip) modellerinin araştırmanın bu konudaki literatüre önemli katkı sağlayabilecek yenilikçi bir yönü olduğu düşünülmektedir.

2. Deneysel Çalışma

Çalışma kapsamında ahşap-ahşap yapışma bağlantı noktalarına uygulanan eksenel çekme kuvveti etkisi altında bağlantı bölgesinin genel yük-deplasman davranışı, kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışı ve kayma birim şekil değiştirmesinin yapışma bölgesi boyunca dağılımının incelenmesi amaçlanmıştır. Deneysel programda incelenen değişkenler ahşap bağlantı noktasının uzunluğu, ahşap bağlantı noktasında mekanik ankraj uygulanmış olması veya olmaması, bağlantı bölgesinde kullanılan mekanik ankraj sayısı ve ankrajların birleşim bölgesindeki yerleşim şeklidir. Deney elemanlarının özellikleri **Tablo 1'de** özetlenmiştir. Deneysel çalışmada toplam 21 adet deney elemanı üretilmiş ve monotonik olarak artırılan eksenel çekme yüklemesi etkisinde test edilmiştir. Deney elemanlarının tanımlanmasında kullanılan simgede yer alan ilk üç rakam ahşap-ahşap bağlantı bölgesinin yapışma uzunluğu olan 180, 250 veya 350 mm değerlerini göstermektedir. İsimlendirmede kullanılan tanımlama ifadesinde tire sembolünden sonra yer alan 0, 1, 2 veya 3 rakamları ankraj sayısını, tanımlamada yer alan son rakam olan 0, 1, veya 2 ise bağlantı bölgesine yerleştirilen ankrajların kaç sıra yerleştirildiğini ifade etmektedir. Örneğin Specimen 12 deney elemanının tanımlanması 350-1-2 olup, bu elemanda bağlantı bölgesinin uzunluğu 350 mm, her sırada 1 ankraj olmak üzere 2 sıra ankraj bağlantıda yer almaktadır. Deney elemanları Pinus Sylvestris sarı çam ahşap malzemesi kullanılarak üretilmiştir. Deney elemanlarının üretimi için seçilen sarı çam ahşap malzemesinde çatlak, budak ve lif kusurlarının bulunmaması için özen gösterilmiş ve kusurlu ahşap malzemeleri kullanılmamıştır. Çalışmada kullanılan sarı çam malzemesinin mekanik özellikleri **Tablo 2'de** verilmiştir. Üretilen deney elemanlarının geometrik boyutları ise **Şekil 1'de** sunulmuştur. Deney elemanları 100 mm genişliğinde ve 20 mm kalınlığında ahşap parçaların 180, 250 ve 350 mm uzunluğunda üst üste bindirilmesi ve yapıştırılması ile üretilmiştir. Ahşap-ahşap bağlantı bölgesi deney elemanları toplam 1400 mm uzunlukta olacak şekilde üretilmiştir. Çalışmada ahşap yapışma bölgesinde yapıştırıcı olarak poliüretan türü bir yapıştırıcı kullanılmıştır. Poliüretan yapıştırıcı yüksek oranda elastik, suya, kimyasallara, yağ ve mikroorganizmalara karşı dirençli bir yapıştırıcıdır. Poliüretan yapıştırıcının yangın gibi dışarıdan gelen sıcaklık kaynaklarına karşı dirençli yüksektir. Yapıştırma işleminden daha yüksek düzeyde başarı elde edilebilmesi için yapışma yüzeylerinin tozdan arındırılmış, temiz, kuru ve yağ benzeri malzemeler ile kaplı olmaması gereklidir. Yapıştırılacak ahşapların nem oranlarının %8 ile %12 arasında olması yapışmanın başarılı olabilmesi için önerilmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan poliüretan yapıştırıcının özellikleri **Tablo 3'de** verilmiştir.

Tablo 1. Deney elemanlarının özellikleri

Deney El. No	Tanımlama	Yapışma Uzunluğu (mm)	Ankraj Sayısı	Ankraj Sıra Sayısı
1	180-0-0	180	0	0
2	250-0-0	250	0	0
3	350-0-0	350	0	0
4	180-1-1	180	1	1
5	250-1-1	250	1	1
6	350-1-1	350	1	1
7	180-2-1	180	2	1
8	250-2-1	250	2	1
9	350-2-1	350	2	1
10	180-1-2	180	1	2
11	250-1-2	250	1	2
12	350-1-2	350	1	2
13	180-3-1	180	3	1
14	250-3-1	250	3	1
15	350-3-1	350	3	1
16	180-2-2	180	2	2
17	250-2-2	250	2	2
18	350-2-2	350	2	2
19	180-3-2	180	3	2
20	250-3-2	250	3	2
21	350-3-2	350	3	2

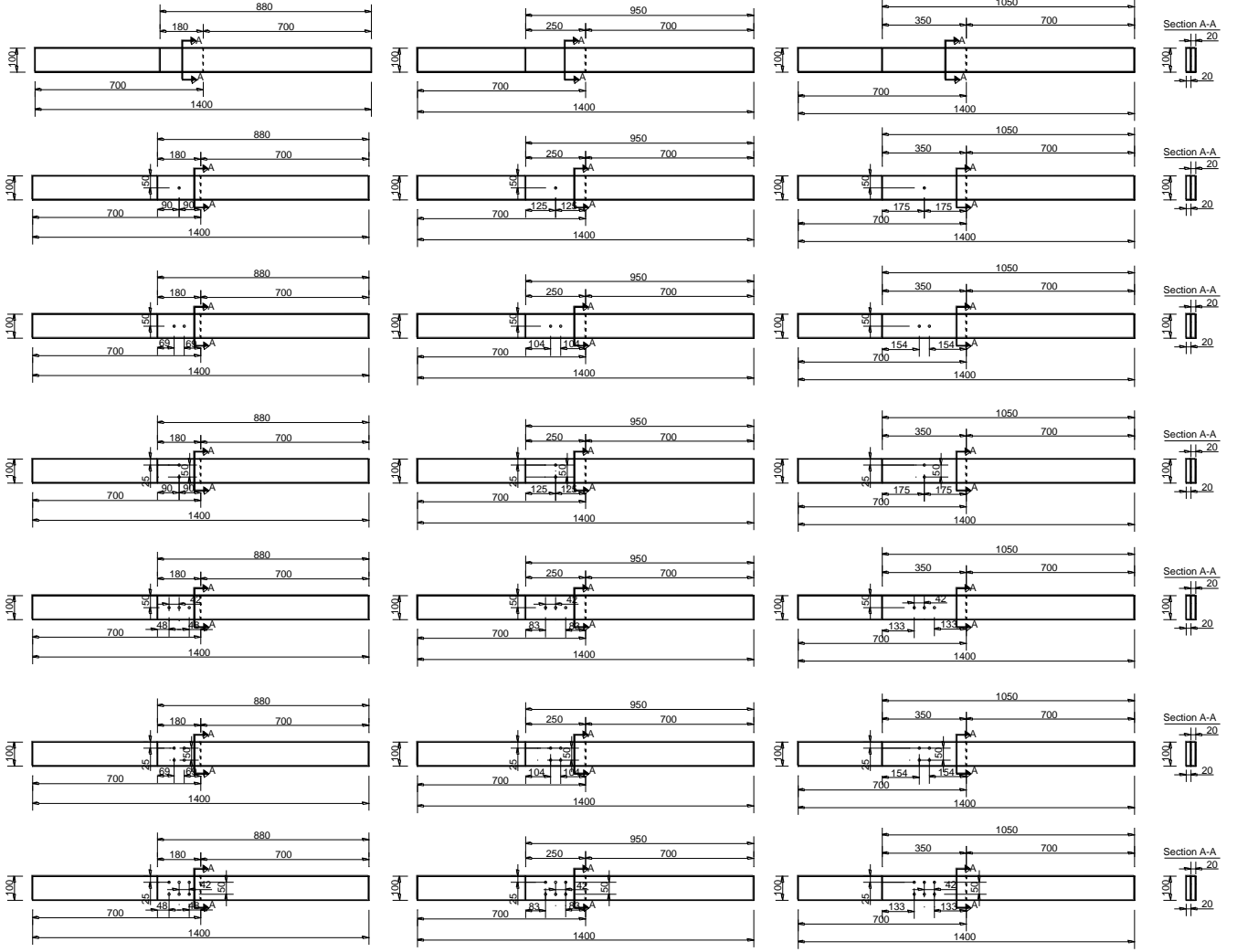
Tablo 2. Pinus Sylvestris (Sarı Çam) Ahşabının Mekanik Özellikleri

Tanımlama	Sembol	Değer	Birim
Yoğunluk	ρ_k	490	kg/m ³
	ρ_{12}	520	kg/m ³
	β_r	4.0	%
Sünme Katsayıları	β_t	7.7	%
	β_v	12.1	%
	$E_{0,mean}$	11700	MPa
Elastik Modül	G_{mean}	731.25	MPa
Kayma Modül	$f_{m,k}$	98	MPa
Eğilme Dayanımı	$f_{t,0,k}$	102	MPa
Eksenel Çekme Dayanımı	$f_{c,0,k}$	54	MPa
Basınç Dayanımı			

Tablo 3. Poliüretan Yapıştırıcının Mekanik Özellikleri

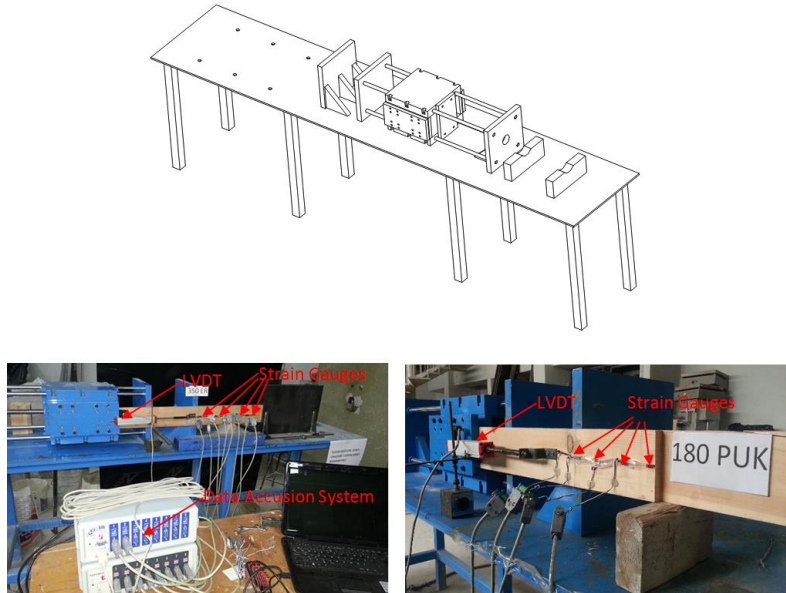
Özellik	Açıklama
Temel	Poliüretan
Özgül Ağırlık	0.0011+ 0.0002 kg/m ³
Çalışma Sıcaklığı	Optimum çalışma sıcaklığı 20 °C
	Minimum çalışma sıcaklığı 5 °C
Basınç Dayanımı	60 MPa
Eksenel Çekme Dayanımı	26.2 MPa
Elastik Modül	830 MPa
Kopma Uzaması	13%

Deney elemanlarının üretilmesinde ilk olarak bağlantıyı oluşturacak olan 20 mm kalınlığındaki ve 100 mm genişliğindeki ahşap lameller gerekli boylarda hassas bir şekilde boyutlarına göre üretilmiştir. Daha sonra tüm deney elemanları bağlantı bölgeleri özdeş bir prosedür uygulanarak aynı presleme süresi ve basıncı altında yapıştırılmıştır. Yapıştırılma işlemi tamamlanan mekanik bağlantı ankrajları kullanılacak olan deney elemanlarında ankrajların yer alacağı noktalara delikleri yerleşim detayı Şekil 1 'de verildiği şekilde açılmıştır. Deney elemanlarında standart M10 mekanik ankraj kullanılmış olup, deney elemanlarında ankrajların yerleşimi için 10 mm çapında delikler açılarak mekanik ankrajlar bu deliklere yerleştirilmiştir. Deney elemanlarına yerleştirilen mekanik ankrajların ahşap bağlantı elemanlarına hasar vermemesi için yüksek bir tork ile sıkıştırma işlemi yapılmamış, sadece ankrajlar birbirleri ile özdeş sıklıkta yerleştirilmelerinin sağlanması amacıyla çok düşük bir tork düzeyinde hepsi ayarlı bir tork anahtarları kullanılarak yerlerine yerleştirilmiştir.



Şekil 1. Deney elemanlarının geometrik boyutları (Tüm ölçüler mm'dir.)

Deneyel çalışma kapsamında ahşap-ahşap bağlantı noktalarına aksel çekme kuvveti uygulayarak yapışma bölgesinde meydana gelen kayma birim şekil değiştirmesi dağılımı ve bağlantının kayma gerilmesi- kayma deplasmanı davranışının elde edilebilmesi amacıyla yazarlardan biri tarafından geliştirilmiş özel bir deney düzeneği kullanılmıştır. Bu deney düzeneği daha önce yazarlar tarafından başka çalışmalarda kullanılmış ve literatürde yer alan benzer deney düzenekleri incelenerek tasarlanmıştır (Anıl et al., 2016; Mertoğlu et al. 2016; Sakin et al. 2019; Ghoroubi et al. 2020). Deney düzeneğinin 3 boyutlu görünüşünü ve test esnasında alınan fotoğraflar Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Deney ve ölçüm düzeneği

Deneylerde ahşap bağlantı noktasını oluşturan, iki parçanın yapıştırılması ile meydana getirilen test elemanı, deney düzeneği üzerindeki sabit bir levhaya dayanarak mesnetlenmiş ve diğer ucu ise hidrolik yükleme sistemi aracılığı ile hareket ettirilen hareketli çelik bir kafanın üzerine bağlanarak ahşap bağlantıya eksenel çekme kuvveti uygulanmıştır. Deney elemanlarına yükleme 600 kN çekme kapasiteli bir hidrolik sistem ile uygulanmış ve 400 kN kapasiteli bir yük hücresi ile uygulanan yükleme ölçülmüştür. Deney elemanlarına yükleme, motorlu ve yükleme hızı sabit olarak ayarlanabilen bir hidrolik sistem ile uygulanmış ve tüm testlerde yükleme hızı sabit tutulmuştur. Ahşap bağlantı elemanlarının eksenel kayma deplasmanı elektronik deplasman ölçer (LVDT), bağlantı noktasındaki kayma birim şekil değiştirmesi dağılımı ise birim deformasyon ölçerler ile ölçülmüştür. 180, 250 ve 350 mm yapışma boyuna sahip deney elemanlarından sırasıyla 4, 6, ve 8 adet birim deformasyon ölçer kullanılarak ölçüm alınmıştır. Deneyler esnasında bütün ölçümler bir veri toplama sistemi ile bilgisayara aktarılmış ve testler esnasında kayma gerilmesi- kayma deplasmanı grafikleri çizilerek deneyler izlenmiştir.

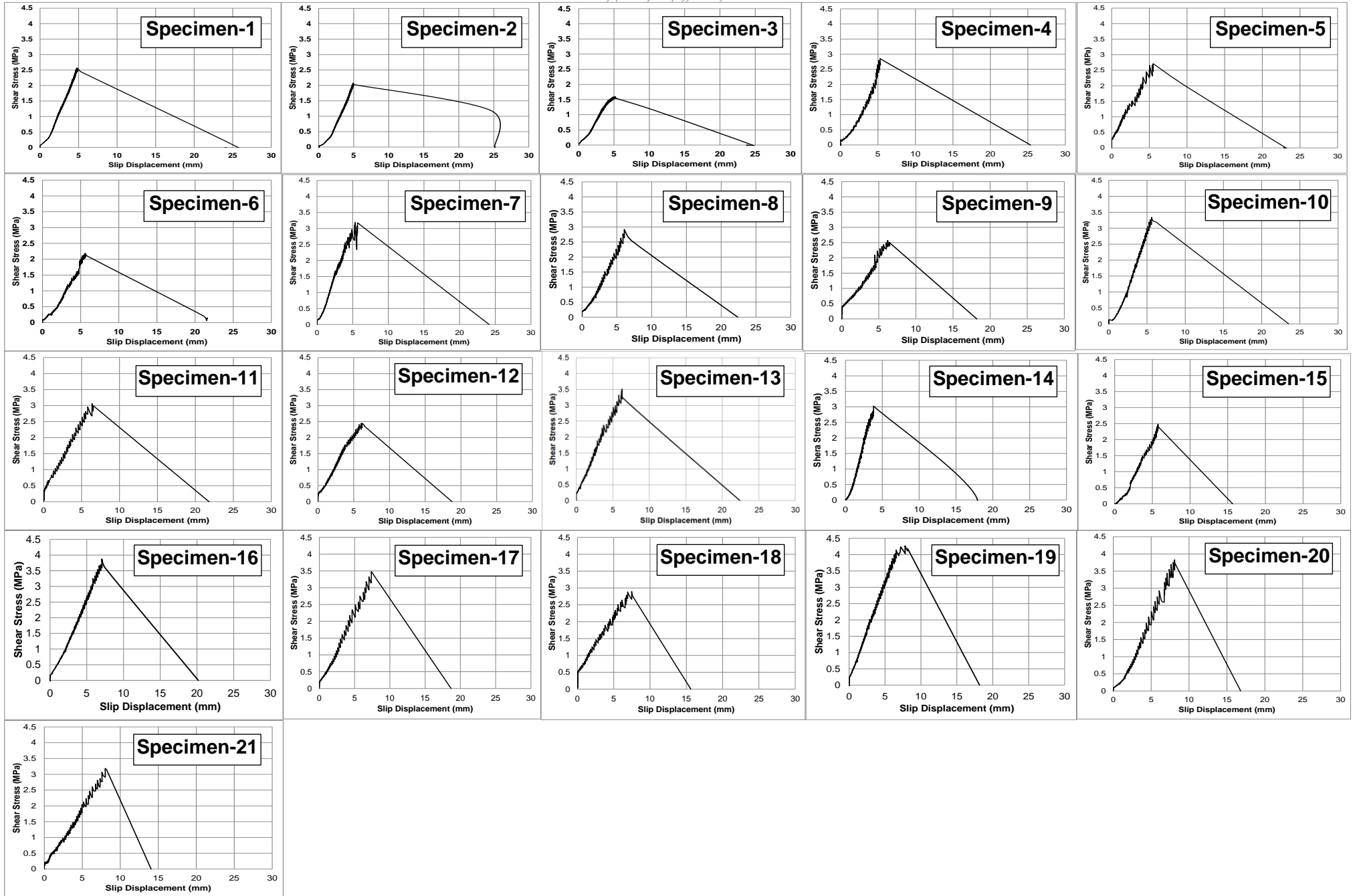
3. Deneysel Sonuçlar ve Yorumlar

Deneyel çalışma sonucunda deney elemanlarının ahşap-ahşap yapışma bölgesinde kayma gerilmesi - kayma deplasmanı grafikleri ve yapışma bölgesi uzunluğu boyunca birim deformasyon dağılımlarının değişimi elde edilmiş olup, sırasıyla **Şekil 3** ve **Şekil 4'de** verilmiştir. Ayrıca deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar ise **Tablo 4'de** sunulmuştur. Deney elemanlarının testler tamamlandıktan sonra göçme mekanizmaları ise **Şekil 5'de** verilmiştir.

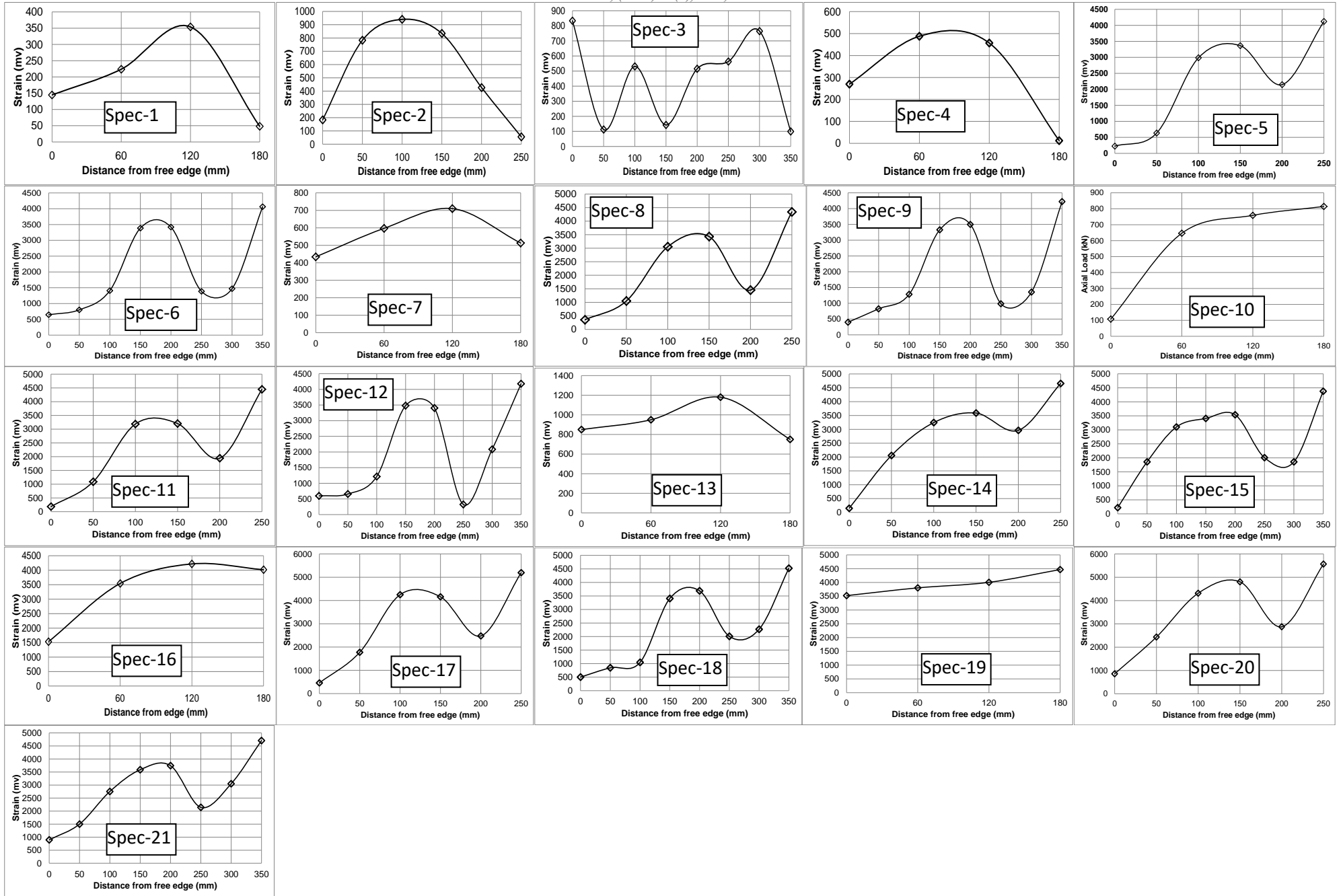
Tablo 4. Deney Sonuçları

Deney No	Tanımlama	Maksimum Taşıma Gücü (kN)	Maksimum Kesme Gerilmesi (MPa)	Maksimum Kesme Gerilmesinde Deplasman (mm)	Maksimum Kayma Deplasmanı (mm)	Maksimum Birim Şekil Değiştirme (mv)
1	180-0-0	46.23	2.57	4.79	26.72	354
2	250-0-0	51.99	2.08	5.00	25.18	940
3	350-0-0	55.99	1.60	5.15	24.82	834
4	180-1-1	51.35	2.85	5.28	25.34	488
5	250-1-1	65.12	2.60	5.51	23.50	4122
6	350-1-1	76.41	2.18	5.63	21.57	4064
7	180-2-1	57.41	3.19	5.82	24.13	710
8	250-2-1	72.88	2.92	6.08	22.38	4340
9	350-2-1	85.70	2.45	6.18	18.75	4179
10	180-1-2	60.20	3.34	6.12	23.54	814
11	250-1-2	76.51	3.06	6.39	21.80	4449
12	350-1-2	89.96	2.57	6.47	18.20	4223
13	180-3-1	63.23	3.51	6.42	22.42	1180
14	250-3-1	79.11	3.16	6.71	20.76	4657
15	350-3-1	92.12	2.63	6.79	17.35	4378
16	180-2-2	69.70	3.87	7.06	20.18	4218
17	250-2-2	87.08	3.48	7.37	18.68	5198
18	350-2-2	101.37	2.90	7.48	15.62	4524
19	180-3-2	76.82	4.27	7.80	18.16	4469
20	250-3-2	95.74	3.83	8.11	16.81	5569
21	350-3-2	111.51	3.19	8.22	14.06	4708

Deneyel çalışma kapsamında incelenen değişkenlerden biri ahşap-ahşap birleşim bölgesinin uzunluğudur. Çalışma kapsamında 180, 250 ve 350 mm olmak üzere 3 farklı birleşim bölgesi uzunluğu incelenmiştir. Deneyel sonuçlar incelendiğinde bağlantı uzunluğu arttıkça ahşap-ahşap birleşim bölümlerinin maksimum taşıma gücü değerlerinde de artış meydana geldiği belirlenmiştir. Deney elemanlarında birleşim bölgesi uzunluğu 180 mm'den 250 mm'ye çıktığında maksimum taşıma gücü değerleri ortalama 24%, 250 mm'den 350'ye artış gösterdiğinde ise maksimum taşıma gücü değerlerinde ortalama 16% oranında artış meydana geldiği görülmüştür. Mekanik ankraj kullanılmayan sadece yapıştırıcı ile oluşturulan ahşap-ahşap bağlantılarında birleşim bölgesi uzunluğu arttıkça maksimum taşıma gücü değerlerinde meydana gelen artış daha düşük oranda meydana gelirken, bağlantı bölgelerinde yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankraj kullanılması maksimum taşıma gücü değerleri üzerinde daha büyük oranda etkili olmuş ve daha fazla oranda artış meydana gelmesine neden olmuştur. Sadece yapıştırıcı kullanılan deney elemanlarında birleşim uzunluğu 180 mm'den 250 mm'ye ve 250 mm'den 350 mm'ye artış gösterdiğinde maksimum taşıma gücü değerlerinden sırasıyla ortalama 12% ve 8% oranlarında artış meydana gelirken, yapıştırıcının yanısıra mekanik ankraj kullanılan deney elemanlarında maksimum taşıma gücü değerlerindeki artış oranları sırasıyla 26% ve 17% olarak hesaplanmıştır. Birleşim bölgesinin uzunluğunun artması ise deney elemanlarından ölçülen maksimum kayma gerilmesi değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Deney elemanları için kayma gerilmesi değerleri uygulanan kesme kuvvetlerinin kesilmeye çalışılan alana oranlanması ile hesaplanmıştır. Birleşim bölgesi uzunluğunun artması deney elemanlarının taşıma gücü değerlerini artırmasının yanısıra birleşim bölgesi alanının da artmasına neden olduğu ve alandaki artış oranı daha fazla meydana geldiği için birleşim bölümü uzunluğunun artması ile maksimum kayma gerilmesi değerleri azalmıştır. Ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun 180 mm'den 250 mm'ye ve 250 mm'den 300 mm değerine uzaması sonucunda genel olarak maksimum kesme gerilmesi değerleri sırasıyla ortalama 12% ve 21% oranlarında azalmıştır.



Şekil 3. Deneysel elemanların kayma gerilmesi-kayma deplasmanı grafikleri



Şekil 4. Denei elemanlarının yapışma uzunluğu boyunca birim şekil değıştirme dağılımı grafikleri



Şekil 5. Deney elemanlarının göçme mekanizmaları

Birleşim bölgesinde sadece yapıştırıcının kullanıldığı deney elemanlarında bağlantı uzunluğunun artması sonucunda maksimum kesme gerilmesi değerlerinde meydana gelen azalım daha büyük oranda meydana gelirken, birleşim bölgesinde yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankrajların kullanıldığı deney elemanlarında bağlantı bölümünün uzaması kesme gerilmesi değerlerinin daha düşük oranda azalmasına neden olmuştur. Sadece yapıştırıcının kullanıldığı deney elemanlarında bağlantı bölümü uzunluğunun 180 mm'den 250 mm'ye ve 250 mm'den 300 mm değerine uzaması sonucunda maksimum kesme gerilmesi değerlerinde sırasıyla ortalama 24% ve 30% oranlarında azalım meydana gelmiştir. Birleşim bölgesinde yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankraj kullanılan deney elemanlarında ise bağlantı uzunluğunun 180 mm'den 250 mm'ye ve 250 mm'den 300 mm değerine uzaması sonucunda maksimum kesme gerilmesi değerleri sırasıyla ortalama 10% ve 20% oranlarında azalmıştır. Deney elemanlarında bağlantı bölgesi uzunluğunun değişim göstermesi testlerde meydana gelen kayma deplasmanı değerleri üzerinde de etkili olmuş ve değişime neden olmuştur. Ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun artması deney elemanlarında maksimum kesme gerilmesi değerinde meydana gelen kayma deplasmanı değerlerinin artmasına ve maksimum kayma deplasmanı değerlerinin ise azalmasına neden olmuştur. Ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun 180 mm'den 250 mm'ye ve 260 mm'den 350 mm değerine artış göstermesi durumunda maksimum kesme gerilmesi düzeyinde ölçülen kayma deplasmanı değerleri sırasıyla ortalama 4% ve 2% oranlarında artış göstermiştir. Deney elemanlarından ölçülen maksimum kayma deplasmanı değerleri ise birleşim bölgesinin uzaması ile azalım göstermiş, ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun 180 mm'den 250 mm'ye ve 260 mm'den 350 mm değerine artış göstermesi durumunda maksimum kayma deplasmanı değerleri sırasıyla ortalama 8% ve 15% oranlarında azalmıştır. Deneysel çalışma kapsamında ahşap-ahşap birleşim bölgesi boyunca birim deformasyon dağılımı değerleri ölçülmüştür. 180, 250 ve 350 mm birleşim bölgesi boyunca sırasıyla 4, 6 ve 8 noktadan birim deformasyon değerleri ölçülerek birleşim bölgesi boyunca gerilme dağılımının nasıl değişim gösterdiği ve maksimum değerleri incelenerek yorumlanmıştır. Deneysel çalışma kapsamında alınan birim deformasyon ölçümleri incelendiğinde en büyük birim deformasyon değerlerinin 250 mm uzunluğundaki birleşimde meydana geldiği görülmüştür. Maksimum birim deformasyon değerleri 350 mm ve 180 mm uzunluğundaki birleşim bölgelerinde azalım göstermiştir. 250 mm uzunluğundaki birleşim bölgesine sahip deney elemanlarından ölçülen maksimum birim deformasyon değerleri, 350 mm uzunluğa sahip deney elemanlarından ortalama 9% daha büyük ölçülmüştür. 350 mm uzunluğa sahip birleşim bölgesi deney elemanları ise 180 mm birleşim bölgei uzunluğu olan deney elemanlarından ortalama 316% daha büyük maksimum birim deformasyon değerlerine sahiptir. Elde edilen bu sonuç ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun çok fazla uzatılmasının etkili bir şekilde kesme gerilmesi aktarımı üzerinde faydalı bir etkisi olmadığını göstermiştir. Bağlantı bölgesi uzunluğu artırılmasına rağmen ölçülen maksimum birim deformasyon değeri 250 mm'den sonra azalım göstermiştir. Bu bulgu 350 mm uzunluğundaki birleşim bölgelerinde maksimum taşıma gücünde daha düşük oranda bir artış olması ve maksimum kesme gerilmesi değerlerinde ise daha yüksek bir oranda azalım olması bulguları ile örtüşmektedir.

Deneysel çalışma kapsamında diğer incelenen bir değişken ise ahşap-ahşap birleşim bölgelerinde yapıştırıcıya ek olan kullanılan mekanik ankraj sayısıdır. Çalışma kapsamında mekanik ankraj kullanılmayan ankrajsız deney elemanları haricinde 1, 2, 3, 4 ve 6 adet mekanik ankraj kullanılan deney elemanları üretilmiş ve test edilmiştir. Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde ahşap-ahşap birleşim bölgelerinde yapıştırıcı haricinde mekanik ankraj kullanılması durumunda birleşim bölgelerinin maksimum taşıma gücü değerleri, maksimum kesme gerilmesi değerleri, maksimum kesme gerilmesi düzeyindeki kayma deplasmanı değerleri ve maksimum birim deformasyon değerleri önemli oranlarda artış göstermiş, maksimum kayma deplasmanı değerleri ise azalım göstermiştir. Elde edilen bu sonuçlar birleşim bölgesinde yapıştırıcı haricinde mekanik ankraj kullanılmasının bağlantı bölgesinin performansını olumlu yönde etkilediğini ve iyileştirdiğini göstermektedir. Ahşap-ahşap birleşim bölgesinde mekanik ankraj kullanılması bağlantıların maksimum taşıma gücü değerlerini sadece yapıştırıcı ile birleşim sağlanan deney elemanlarına göre ortalama 52% oranında önemli miktarda artırmıştır. Maksimum taşıma gücü değerlerindeki artış oranları incelendiğinde birleşim bölgesindeki mekanik ankraj sayısındaki artış ile maksimum taşıma gücü değerlerinin çok daha fazla miktarda artış gösterdiği görülmektedir. Birleşim bölgesinde 1, 2, 3, 4 ve 6 adet mekanik ankraj kullanılan deney elemanları, birleşim bölgesinde sadece yapıştırıcı ile bağlantı sağlanan deney elemanlarından sırasıyla ortalama 24%, 43%, 51%, 66% ve 83% oranlarında daha fazla maksimum taşıma gücü değerleri sergilemişlerdir. Ayrıca birleşim bölgesinde ankraj kullanılması ile birlikte bağlantı uzunluğunun da artış göstermesi deney elemanlarının maksimum taşıma güçlerinin daha fazla oranda artmasına neden olmuştur. 180 mm, 250 mm ve 350 mm uzunluğunda birleşim bölgesi olan bağlantıda yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankraj kullanılan deney elemanlarının maksimum taşıma gücü değerleri, bağlantıda sadece yapıştırıcı kullanılan deney elemanlarından sırasıyla ortalama 37%, 53% ve 66% oranlarında daha büyük elde edilmiştir. Bağlantı bölgesinde mekanik ankraj kullanılan deney elemanlarında hesaplanan maksimum kesme gerilmesi değerlerinin davranış trendi tamamen maksimum taşıma gücü değerleri ile örtüşmektedir. Mekanik ankrajlı deney elemanlarının maksimum kesme gerilmesi değerleri ankraj kullanılmayan deney elemanlarından ortalama 52% oranında büyük hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuç mekanik ankraj kullanılmasının ahşap-ahşap bağlantı bölgelerinin performansını iyileştirerek taşıma gücünü olumlu etkilediğini göstermiştir. Mekanik ankraj kullanılan deney elemanlarında maksimum kesme gerilmesi kapasitesine ulaşılan kadar meydana gelen kayma deplasmanı değerleri, sadece yapıştırıcının kullanıldığı ankrajsız deney elemanlarından ortalama 33% oranında daha fazla ölçülmüştür. Ankrajlı deney elemanlarının taşıma gücü ve kesme gerilmesi değerleri önemli oranda artış gösterdiği için daha fazla kapasite değerlerine deney elemanları ankrajsız deney elemanlarına göre bir miktar daha fazla kayma deplasmanı yaparak ulaşmışlardır. Ancak bağlantı bölgesinde ankraj kullanılması deney elemanlarından ölçülen maksimum göçme anındaki kayma deplasmanı değerlerini, ankrajsız deney elemanlarına göre ortalama 30% oranında azalmasına neden olmuştur. Deney elemanlarında birleşim bölgesinde ankraj kullanılması birleşim bölgesinde meydana gelen kayma deplasmanı değerlerini sınırlandırarak, taşıma gücünde önemli bir miktarda artış sağlamasına rağmen, birleşimlerde göçme meydana gelene kadar çok daha az deplasman oluşmasına neden olmuştur. Elde edilen bu sonuç birleşim bölgelerinde ankraj kullanılmasının taşıma gücünü artıranın yanı sıra, hasar meydana gelme potansiyelini de sınırlandırdığını göstermiştir. Ahşap-ahşap birleşim bölgelerinde ankraj kullanılması deney elemanlarında birleşim bölgesinde ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinde çok büyük oranda artış meydana gelmesine neden olmuştur. Ankrajlı deney elemanlarından ölçülen maksimum birim deformasyon değerleri ankrajsız sadece yapıştırıcı ile bağlantının yapıldığı deney elemanlarına göre ortalama 428% oranında daha büyük ölçülmüştür. Elde edilen bu sonuç birleşim bölgesinde kullanılan

ankrajların bağlantı bölgesinde daha verimli bir şekilde kesme gerilmesi aktarılmasına sağladığını göstermiş olup, maksimum taşıma gücü ve kesme gerilmesi değerlerindeki artışın daha verimli bir şekilde gerilme aktarılmasının sağlanması ile başarıldığını göstermiştir. Deneysel çalışma kapsamında incelenen bir diğer değişken ise birleşim bölgesinde kullanılan mekanik ankrajların yerleşim şeklidir. Çalışma kapsamında birleşim bölgesinde ankrajlar tek sıra şeklinde deney elemanına uygulanan eksenel çekme yüklemesi ile konsantrik olarak yükleme ekseninde ve iki sıra şeklinde yükleme eksenini dışında ekzantrikite ile bağlantı bölgesine yerleştirilmiştir. Çalışma kapsamında bu değişken deney elemanı 7, 8, 9 ile deney elemanı 10, 11, 12 arasında bir karşılaştırma yapılarak incelenmiştir. 7, 8 ve 9 nolu deney elemanlarında 2 adet mekanik ankraj tek sıra şeklinde yükleme ekseninde ve 10, 11, 12 nolu deney elemanlarında ise 2 sıra şeklinde yükleme ekseninin üst ve altında yerleştirilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde birleşim bölgesindeki ankrajların 2 sıra şeklinde yerleştirilmesinin, tek sıra şeklinde yerleştirildiği duruma göre daha iyi performans sergilediği, maksimum taşıma gücü, maksimum kesme gerilmesi ve maksimum birim deformasyon değerlerini artırdığı, maksimum kayma deplasmanı değerlerini ise azalttığı görülmüştür. Ahşap-ahşap birleşim bölgesinde 2 sıra şeklinde mekanik ankraj yerleştirilen deney elemanlarında bir sıra şeklinde yerleştirilen deney elemanlarına göre maksimum taşıma gücü, maksimum kesme gerilmesi ve maksimum birim deformasyon değerleri sırasıyla ortalama 5%, 5% ve 9% oranlarında artmış, maksimum kayma deplasmanı değerleri ise ortalama 3% oranında azalmıştır. Elde edilen bu sonuçlar 2 sıra şeklinde ankraj yerleşim şeklinin tek sıra ankraj yerleşimine göre ahşap-ahşap birleşim bölgesi performansına daha fazla olumlu etki yaptığını göstermiştir.

4. Sonuçlar

Yürütülen çalışma kapsamında sadece yapıştırıcı ve yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankraj yerleştirilen ahşap-ahşap birleşim bölgelerinin eksenel çekme kuvveti etkisi altında kayma gerilmesi – kayma deplasmanı davranışı ve birleşim bölgesi boyunca birim deformasyon dağılımlarının incelenmesi için kapsamlı bir deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada toplam 21 adet ahşap-ahşap birleşim bölgesi deney elemanı tasarımı yazarlar tarafından gerçekleştirilen özel bir deney düzeneği ile eksenel çekme kuvveti etkisinde göçme meydana gelene kadar monotonik olarak artılan yükleme ile test edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen kesme gerilmesi - kayma deplasmanı davranışları kullanılarak ankrajsız ve ankrajlı ahşap-ahşap birleşim bölgeleri için genelleştirilmiş bir bond stress- slip displacement (bond-slip) modeli önerisi oluşturulmuştur. Ahşap-ahşap birleşim bölgeleri için oluşturulan bu yeni kesme gerilmesi - kayma deplasmanı modeli oluşturulurken literatürde beton ve CFRP malzemesi arasındaki kesme gerilmesi - kayma deplasmanı modeli olarak kullanılan Lu et al., 2005 tarafından önerilen Cohesive Zone Modelling (CZM)) metodu temel alınarak, bu model modifiye edilerek ahşap-ahşap birleşimleri arayüzeyleri için yeni bir bond-slip modeli önerisi oluşturulmuştur. Yapılan literatür taramasında ankrajsız yapıştırıcı ile birleştirilen ve yapıştırıcıya ek olarak mekanik ankrajlar ile birleştirilmiş ahşap-ahşap bağlantı bölümleri için genelleştirilmiş bir kayma gerilmesi- kayma deplasmanı malzeme modeline raslanmamıştır. Bu şekildeki bir modelin sonul elemanlar analizlerinde kullanılabilmesi ve bu türdeki birleşimler içeren ahşap yapı elemanları veya sistemlerinin nümerik analizlerinde kullanılabilmesi, bu konudaki literatüre önemli bir katkı sağlanabileceği düşünülmektedir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğu arttıkça maksimum taşıma gücü değerlerinde artış meydana geldiği belirlenmiştir. Mekanik ankraj kullanılmayan sadece yapıştırıcı ile oluşturulan ahşap-ahşap bağlantılarında birleşim bölgesi uzunluğu arttıkça maksimum taşıma gücü değerlerinde meydana gelen artış daha düşük oranda meydana gelirken, bağlantı bölgelerinde yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankraj kullanılması maksimum taşıma gücü değerleri üzerinde daha büyük oranda etkili olmuş ve daha fazla artış meydana gelmesine neden olmuştur.
- Ahşap-ahşap birleşim bölgesinin uzunluğunun artması deney elemanlarından ölçülen maksimum kayma gerilmesi değerlerinin azalmasına neden olmuştur. Birleşim bölgesinde sadece yapıştırıcının kullanıldığı deney elemanlarında bağlantı uzunluğunun artması sonucunda maksimum kesme gerilmesi değerlerinde meydana gelen azalım daha büyük oranda meydana gelirken, birleşim bölgesinde yapıştırıcı ile birlikte mekanik ankrajların kullanıldığı deney elemanlarında bağlantı bölümünün uzaması kesme gerilmesi değerlerinin daha düşük oranda azalmasına neden olmuştur.
- Ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun artması deney elemanlarında maksimum kesme gerilmesi değerinde meydana gelen kayma deplasmanı değerlerinin artmasına ve maksimum kayma deplasmanı değerlerinin ise azalmasına neden olmuştur.
- Deneysel çalışma kapsamında alınan birim deformasyon ölçümleri incelendiğinde en büyük birim deformasyon değerlerinin 250 mm uzunluğundaki birleşimde meydana geldiği görülmüştür. Maksimum birim deformasyon değerleri 350 mm ve 180 mm uzunluğundaki birleşim bölgelerinde azalım göstermiştir.
- Ahşap-ahşap birleşim bölgesi uzunluğunun çok fazla uzatılmasının etkili bir şekilde kesme gerilmesi aktarımı üzerinde faydalı bir etkisi olmadığı görülmüştür.
- Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde ahşap-ahşap birleşim bölgelerinde yapıştırıcı haricinde mekanik ankraj kullanılması durumunda birleşim bölgelerinin maksimum taşıma gücü değerleri, maksimum kesme gerilmesi değerleri, maksimum kesme gerilmesi düzeyindeki kayma deplasmanı değerleri ve maksimum birim deformasyon değerleri önemli oranlarda artış göstermiş, maksimum kayma deplasmanı değerleri ise azalım göstermiştir.
- Maksimum taşıma gücü değerlerindeki artış oranları incelendiğinde birleşim bölgesindeki mekanik ankraj sayısındaki artış ile maksimum taşıma gücü değerlerinin çok daha fazla miktarda artış gösterdiği görülmektedir. birleşim bölgesinde ankraj kullanılması ile birlikte bağlantı uzunluğunun da artış göstermesi deney elemanlarının maksimum taşıma güçlerinin daha fazla oranda artmasına neden olmuştur.
- Deneysel çalışmada birleşim bölgesinde ankraj kullanılması birleşim bölgesinde meydana gelen kayma deplasmanı değerlerini sınırlandırarak, taşıma gücünde önemli bir miktarda artış sağlamasına rağmen, birleşimlerde göçme meydana gelene kadar çok daha az deplasman oluşmasına neden olmuştur. Elde edilen bu sonuç birleşim bölgelerinde ankraj kullanılması taşıma gücünü artırmanın yanı sıra, hasar meydana gelme potansiyelini de sınırlandırdığını göstermiştir.

- Ahşap-ahşap birleşim bölgelerinde ankraj kullanılması deney elemanlarında birleşim bölgesinde ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinde çok büyük oranda artış meydana gelmesine neden olmuştur.
- Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde birleşim bölgesindeki ankrajların 2 sıra şeklinde yerleştirilmesinin, tek sıra şeklinde yerleştirildiği duruma göre daha iyi performans sergilediği, maksimum taşıma gücü, maksimum kesme gerilmesi ve maksimum birim deformasyon değerlerini artırdığı, maksimum kayma deplasmanı değerlerini ise azalttığı görülmüştür.

Referanslar

- Anshari, B., Guan, Z.W., Wangc, Q.Y. (2017). Modelling of Glulam beams pre-stressed by compressed wood, *Composite Structures* 165 (2017) 160–170.
- Anshari, B, Guan, Z.W., Kitamori, A., Jung, K., Komatsu, K., (2012). Structural behaviour of glued laminated timber beams pre-stressed by compressed wood. *Constr Build Mater*; 29:24–32.
- Anıl, Ö., Durucan, C., Wali Din, S., (2016). Experimental Study on the Stress Distribution at the Interface Between CFRP and Three Different Types of Masonry Units, *Composites Part B: engineering*, Vol. 92, 63-73.
- Dietsch, P., Tannert, T. (2015). Assessing the integrity of glued-laminated timber elements, *Construction and Building Materials* 101: 1259–1270.
- Dönmez, T. Ü., Türer, A., Anıl, Ö., Erdem, R. T. (2020). Experimental and numerical investigation of timber formwork beam under different loading type, *Mechanics Based Design of Structures and Machines*, DOI: 10.1080/15397734.2020.1749071.
- Fossetti, M., Minafò, G., Papia, M., (2015). Flexural behaviour of glulam timber beams reinforced with FRP cords, *Construction and Building Materials* 95: 54–64.
- Ghoroubi, R., Mercimek, Ö., Anıl, Ö., (2020). Açılı CFRP Ankrajlı Şeritler ile Beton Yüzey Arasındaki Gerilme-Deformasyon Davranışı için Yeni Bir Model Önerisi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12 (2) , 380-386. DOI: 10.29137/umagd.697870.
- Ghoroubi, R., Mercimek, Ö., Özdemir, A., Anıl, Ö., (2020). Experimental investigation of damaged square short RC columns with low slenderness retrofitted by CFRP strips under axial load. *Structures* , vol.28, 170-180.
- Haiman, M., Pavković, K., Baljkas, B. (2010). Application of Glulam Beam Girders With External Pre-Stressing, *WTCE, World Conference on Timber Engineering*.
- Izzi, M., Casagrande, D., Bezzi, S., Pasca, D., Follesa, M., Tomasi, R., (2018). Seismic behaviour of Cross-Laminated Timber structures: A state-of-the-art review, *Engineering Structures* 170:42–52.
- Lu, X., Teng, J., Ye, L., & Jiang, J. (2005). Bond–slip models for FRP sheets/plates bonded to concrete. *Engineering Structures*, 27, 920–937.
- Mehra, S., O’Ceallaigh, C., Hamid – Lakzaeian F., Guan, Z., Sotayo, A., Harte, A.M., (2018). Evaluation of The Structural Behaviour of Beam-Beam Connection Systems Using Compressed Wood Dowels And Plates, *WCTE 2018, World Conference on Timber Engineering*, April, 20-23 2018, Seoul, Republic of Korea.
- Mercimek, Ö., Ghoroubi, R., & Anıl, Ö., (2019). Behavior of RC Square Column Strengthening with CFRP Strips Subjected to Low Velocity Lateral Impact Loading. *Seismic Isolation, Structural Health Monitoring, and Performance Based Seismic Design in Earthquake Engineering* (pp.329-342), Berlin: Springer, London/Berlin.
- Mercimek, Ö., Ghoroubi, R., Özdemir, A., Anıl, Ö., (2020). Strengthening of Columns with Different Innovative Composite Materials for RC Buildings without Sufficient Earthquake Resistance . *International Conference on Advanced Materials Science & Engineering and High Tech Devices Applications; Exhibition (ICMATSE 2020)*, October 2-4, 2020, Gazi University, Ankara, TURKEY (pp.214-215). Ankara, Turkey.
- Mertoğlu, Ç., Anıl, Ö., Durucan, C, (2016). Bond Slip Model and Strain Distribution of Anchored CFRP Strips, *Construction and Building Materials*, Vol. 123, 553-564.
- Raftery, G.M., Rodd, P.D. (2015). FRP reinforcement of low-grade glulam timber bonded with wood adhesive, *Construction and Building Materials* 91: 116–125.
- Raftery, G.M., Harte, A.M. (2013). Nonlinear numerical modelling of FRP reinforced glued laminated timber, *Composites: Part B* 52: 40–50.

- Sakin, S., Anıl, Ö., Ghoroubi, R., Mercimek, Ö., (2019). Modelling bond between concrete and bonded and anchored carbon-fibre polymer strips. *Proceedings of The Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings* , vol.172, 437-450.
- Sena-Cruz, J., Jorge, M., Branco, J. M., Cunha, V.M.C.F. (2013). Bond between glulam and NSM CFRP laminates. *Construction and Building Materials* 40: 260–269.
- Schiere, M., Franke, S., Franke, B., (2018). Investigation and analysis of press glued connections for timber structures, Research Report No: K.007404.77FE-V1, Bern University of Applied Sciences, Institute for Timber Constructions, Structures and Architecture, COST Project, European Cooperation in Science and Technology.
- Tran, V.D., Oudjene, M., Méausoone, P.J. (2015). Experimental and numerical analyses of the structural response of adhesively reconstituted beech timber beams, *Composite Structures* 119: 206–217.
- Weidong, L., Ling, Z., Geng, Q., Liu, W., Yang, H., Yue, K. (2015). Study on flexural behaviour of glulam beams reinforced by Near Surface Mounted (NSM) CFRP laminates, *Construction and Building Materials* 91: 23–31.
- Yang, H., Liu, W., Ren, X. (2016a). A component method for moment-resistant glulam beam–column connections with glued-in steel rods, *Engineering Structures* 115: 42–54.
- Yang, H., Ju, D., Liu, W., Lu, W., (2016b). Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars, *Construction and Building Materials* 109, 73–83.



Developing a Message Broadcasting System for Natural Disasters

Veysel Harun Sahin^{*1,2} , İsmail Oztel³ 

¹ Department of Software Engineering, Faculty of Computer and Information Sciences, Sakarya University, 54050, Sakarya, TURKEY

² Disaster Management Application and Research Center, Sakarya University, 54050, Sakarya, TURKEY

³ Department of Computer Engineering, Faculty of Computer and Information Sciences, Sakarya University, 54050, Sakarya, TURKEY

Başvuru/Received: 26/12/2019

Kabul / Accepted: 11/10/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Abstract

Natural disasters may cause fatal results on earth and often, it concludes with death and great destruction. One of the ways to cope with these effects is effective and continuous communication when the communication infrastructure destroyed with disasters. In this study, a message broadcasting system is proposed to enable the relief organizations to broadcast messages to the people in a disaster area even the communication infrastructures collapsed. The system uses smartphones for communication because of its widespread usage in the community. It consists of two mobile applications: master node and neighbor node. The master node is used to broadcast messages to disaster sufferers in the disaster area by relief organizations. The neighbor node receives the broadcasted message and also broadcasts the received message to other neighbor nodes. In the system, the communication between the smartphones were achieved by using Google Nearby Connections API. This API allows Android operating system smartphones to broadcast/discover each other and exchange messages regardless of network connectivity with the help of Bluetooth, Bluetooth Low Energy and Wi-Fi. In the context of this study, the proposed system was successfully developed and tested in different scenarios by using smartphones.

Key Words

“Disaster, Emergency Communication, Google Nearby Connections API, Mobile Application, Wireless Communication”

1. Introduction

Many natural disasters have occurred in the world, which cause great losses and affect human life. According to an article of EM-DAT, 315 disasters, 11,804 deaths, 68.5 million affected people and \$132 billion economic damages are reported in just 2018 all around the world (CRED, 2019). Many scientific studies have been carried out to reduce these effects.

Natural disasters such as earthquakes, floods, landslides, avalanches, storms, hoses, volcanic eruptions, fires can cause great damage to infrastructures that make people's lives easier. Unfortunately, the occurring time and place of some of these natural disasters cannot be predicted. Even if predicted, they cannot be prevented. In addition, most of the disasters catch people unawares. It is observed that 50% of deaths happen in the first two hours after a natural disaster (Shao et al., 2011). Taking into account all of these facts, communication becomes an important requirement for the effective response of the rescue teams and relief organizations on disasters.

Rescue, recovery, and reconstruction operations during and after disasters are major duties for the rescue teams, relief organizations, and the governments (Menon et al., 2016). An efficient communication network is needed for the healthy progress of these operations (Townsend & Moss, 2005). With reliable and continuous communication during and after disasters, it is possible for the relief organizations to carry out effective aiding activities to provide food, water, and shelter equipment to the disaster victims (Mase et al., 2010). Unfortunately, the communication infrastructure may collapse during natural disasters and this situation may cause the late and ineffective response to the disaster area which means that life and financial loss may increase (Krock, 2011). Uchida et al. (2011) shared the status of networks after the 9.0 magnitude earthquake in Japan on March 11, 2011. Fixed phone, the network of local government, LAN in city hall were not functional; 3G and GSM were partly functional but jammed; wireless LAN and internet of the satellite system were functional.

There are three main causes of the failure of telecommunication networks during natural disasters (Townsend & Moss, 2005): physical destruction, corruption in supporting the infrastructure, and network overload. It can take a great deal of time to renew or repair the crashed communication network (Tuna et al., 2012). Even the communication infrastructure is not damaged, it may not be usable because of the large number of calls occurring at the time of disaster which can be more than 60 times compared to normal times (Kim et al., 2015; Ministry of Internal Affairs and Communications, 2019).

The communication between the relief organization and the disaster sufferers is very important. There is a critical need to develop systems that can provide reliable and continuous communication during and after disasters. A message broadcasting system is proposed in this paper. The proposed system aims to enable relief organizations to broadcast messages to disaster sufferers even when the current communication infrastructure is not functional. The system uses smartphones for communication. There are mainly two advantages of using smartphones in such a system: The widespread usage of smartphones in the community and not requiring additional hardware. Two mobile applications have been developed to realize the system: one for relief organizations to broadcast the messages, and one for the disaster sufferers to receive and rebroadcast the messages. Owing to the message broadcasting system, the relief organizations can provide their assistance more effectively to the victims of the disasters.

The remainder of the paper is organized as follows. In Section 2, an overview of the related works on the topic is given. The proposed message broadcasting system is explained in Section 3, and implementation information is shared in Section 4. After giving information about the evaluation of the system and discussion in Section 5, the paper is concluded with Section 6.

2. Related Works

Many research have been carried out on natural disasters on different topics like the effect of the disasters (Chang-Richards et al., 2019; Kousky, 2016; Lesk et al., 2016), reducing the destructive effects or results of disasters (Aschenbruck et al., 2006; Kim et al., 2015; Noguchi & Fujii, 2000), effective and rapid response methods (Schultz et al., 1996), communication behavior in case of disaster (Lu, 2018), etc.

The communication and messaging between rescue teams, relief organizations and the survivors is essential for an effective and rapid response. Murugeswari and Radhakrishnan (2015) proposed a network architecture that uses Wireless Mesh Network (WMN) for emergency communication. Together with the network, they introduced an algorithm (Report Message Forwarding Algorithm) to provide reliable communication in case of a disaster. Shao et al. (2011) proposed a communication system using aero crafts. Several aerial base stations establish a network in order to ensure emergency communication. Also, some issues like coverage zone and capacity were analyzed in their study. According to the results, just one aerial base network is adequate for a county. Menon et al. (2016) proposed a technique, namely Reliable Routing Technique (RRT), in order to provide safe data delivery during disaster recovery. Their simulation results showed that the RRT achieved high performance for delivering data through the network using different topology and node number scenarios. Guo et al. (2010) investigated disaster area communication by using mobile nodes and relay nodes. In the paper, they introduced a novel mobility model and studied relay management. The approaches were evaluated with simulations and the results showed that their mobility model can help the disaster scenarios. Menon (2019) introduced an opportunistic routing protocol named Optimized Opportunistic Routing. The protocol aims to guarantee Quality of Service (QoS) and high transmission efficiency in highly dynamic mobile ad hoc networks. The efficiency of the protocol was shown by simulation. Ahmed et al. (2017) proposed a routing method for Wireless Sensor Networks (WSNs) that provides a reliable environment for communication during disasters. The method isolates misbehaving nodes during communication. By using this method, communication is achieved by using trusted nodes and shorter paths. This also leads to reduced energy consumption.

Tuna et al. (2012) proposed a post-disaster temporary communication system using unmanned aerial vehicles. They studied the system from three angles: peer to peer communication, coordination, navigation and localization. The navigation and localization were investigated with simulation studies and the simulation results showed that the proposed system can be used after disasters on the purpose of the communication. Pogkas et al. (2007) proposed an ad hoc network for post-disaster operations. The system can provide data about people who are inside a collapsed building and the state of the building. Also, it can be used for communication purposes. Energy efficiency and low cost are the two primary objectives of the study. According to the simulation results, energy consumption is reduced, user connection life is increased, but the network performance is not significantly affected using the proposed method.

Location detection is very important in case of a disaster and many studies are available in the literature about location detection for disasters. The study of Pogkas et al. (2007) mentioned above can be given as an example. Sun et al. (2011) developed a location-based vehicular ad hoc network for efficient rescue planning. Their proposed system, named RescueMe, retrieves the location information which was stored before the disaster and uses that information for the rescue planning. Also, the system pays attention to security and privacy issues. Arbia et al. (2017) presented an IoT end-to-end system with ORACE-Net routing protocol for disaster relief operations using wearable wireless sensor networks. With the help of the system, the information from a disaster area is collected using different types of wireless devices such as smartphones, Raspberry Pi modules, etc. The collected information is then sent to a command center. Mezghani and Mitton (2017) proposed a method for determining the location of disaster victims using their mobile devices by taking into consideration their phone energy levels. The system aims to provide maximum network coverage by using high-level energy nodes. The researchers applied the method on two laptops and according to their experience, the system has been observed to perform effectively. Khan et al. (2020) proposed a system that reports the location of the victims to the rescue teams. The system is rapidly deployable for the first response after a disaster situation. It uses a novel routing approach which includes Dynamic ID Assignment (DIA) algorithm and the Minimum Maximum Neighbor (MMN) algorithm. According to their experiments, the system reduces the message delivery delay and improves the message delivery ratio.

The developed system in the context of this study uses Google Nearby Connections API (Google, 2019) for communication between Android operating system (OS) smartphones. Google Nearby Connections API is used in many different research studies. Eichinger et al. (2019) proposed a new method for finding similar peers and exchanging items among them. The method was implemented by using this API. Takasuka et al. (2018) introduced a delay, disruption, disconnection tolerant networking system which provides a messaging infrastructure for the communication of a social networking service community. The system creates ad-hoc network with the help of the same API. Meftah et al. (2019) presented a test framework that aims to help the testing of nearby peer-to-peer applications. The framework targets the applications which are based on also this API. In a different study, Antonioli et al. (2019) reversed engineered the API and performed a security analysis of it.

3. The Message Broadcasting System

During the development phase of the message broadcasting system, the traditional software development process was followed. Firstly, the requirements were analyzed. Then the system was designed by considering the requirements. After the design phase, the implementation was realized. In the following subsections, these phases are explained in detail.

3.1. Requirement Analysis

The main aim of this study is to develop a system that helps relief organizations to broadcast messages to the people, especially to the disaster victims in the disaster area. For this system, three requirements were identified.

- (1) The system should enable broadcasting messages (sending bulk messages) to the people.
- (2) The system should operate even the communication infrastructure collapsed.
- (3) The system should use commercial of the shelf (COTS) technology.

3.2. System Design

In the design phase by considering the requirements stated above we chose to use smartphones for communication as they are one of the most common technologies. For the operating system, Android OS was chosen.

As the system should work without current communication infrastructure, we planned to use Google Nearby Connections API (Google, 2019). This API allows Android OS smartphones to broadcast-discover each other and exchange messages regardless of network connectivity with the help of Bluetooth, Bluetooth Low Energy (BLE) and Wi-Fi. The API automatically chooses the most suitable protocol for communication according to each scenario without developer and user intervention.

For the message broadcasting system, M to N connection (mesh topology) between nodes is needed. Google Nearby Connections API supports star and mesh topologies. These are called connection strategies in the API, and their names are "P2P_STAR" and "P2P_CLUSTER". Therefore, "P2P_CLUSTER" connection strategy was chosen for the operation of the API.

The main aim of this system is to send messages between smartphones. Google Nearby Connections API supports 3 different types of payloads: bytes payload, file payload, and stream payload. For exchanging messages between smartphones, we chose to use bytes payload.

Other information needed for this kind of communication is the identification of smartphones. In this system, all nodes have to have unique identifiers for seamless communication. There are several ways of getting a unique identifier in Android OS (Android, 2019). One way is using hardware identifiers. We chose to use secure settings Android Id (SSAID) which is one type of hardware identifiers.

After making these choices the design of the system was started. In the developed system, all of the smartphones are called nodes. The smartphone of the relief organization which is the main message sender is called **master node** and all other smartphones are called **neighbor nodes**.

The system works as follows. The relief organization (master node) broadcasts a message. The smartphones of the people (neighbor nodes) who are nearby the broadcast center receive the broadcasted message. After receiving the message neighbor nodes become broadcasters and start broadcasting the message they just received to other neighbors. The aim of this process is spread the message to the disaster area.

To create this system, two mobile applications were developed: master node application and neighbor node application. For the communication of these applications, two algorithms were designed.

The algorithm of the master node is shown in Algorithm 1:

Algorithm 1 Master Node Communication Algorithm

```

1: broadcast (advertise)
2: if there is a connection request from a neighbor node then
3:     accept connection
4:     send the message
5:     disconnect from the node
6: end if
7: go to step 1

```

In step 1 of the Algorithm 1, the master node starts broadcasting. This is written also as advertising as the API documentation uses this term. In this paper, we use broadcast and advertise terms interchangeably. When there is a connection request from a neighbor node (which is discoverer), the master node accepts the connection, sends the message and disconnects from the node. After that, it jumps to step 1 and continues to broadcast.

Here it should be noted that the master node does not check repetitive sending of messages to the same neighbor node. It just broadcasts. When a connection request is made by a neighbor node it accepts the request and sends the message. Repetitious message control is performed by a neighbor node upon receiving the message. To help this control, a unique identifier is given to each different message. The identifier is the current timestamp -in millisecond resolution- which is set by the master node when starting the broadcast operation.

The algorithm of the neighbor node is shown in Algorithm 2:

Algorithm 2 Neighbor Node Communication Algorithm

```

1: discover
2: if there is a broadcaster (advertiser) then
3:     send connection request
4:     connect to the node
5:     get the message from the node
6:     disconnect from the node
7:     stop discovery
8:     if the message is received before then
9:         exit
10:    end if
11:    set message count to 0
12:    broadcast (advertise)
13:    if there is connection request from a neighbor node then
14:        accept connection
15:        send the message
16:        disconnect from the node
17:        increase message count
18:        if message count < maximum node count then
19:            go to step 12
20:        end if
21:    end if
22: end if

```

Algorithm 2 is a little bit long because neighbor nodes both discover and broadcast messages. In the first step, the neighbor node starts discovery. If it finds a broadcaster, it connects to the node, gets message and disconnects from the node. Then it stops discovery. Afterward, it checks if the same message is received before or not. It compares the timestamp of the new message with the timestamp of the last message it received. If they are different, this means a new message has arrived. If they are the same, this means the message has already been received before. If the message is received before, it exists. If the message is a new message, it starts broadcasting the message. During this phase, we decided to set a limit on the number of neighbor nodes to deliver the message. We chose this because of energy saving purposes of smartphones. This limit is named as “maximum node count” in the algorithm. Each neighbor node stops broadcasting after delivering the message to the number of neighbor nodes which is set by the maximum node count.

4. Implementation

According to our design, two mobile applications were developed: master node and neighbor node. The applications were developed for Android OS. For the development platform, we used Android Studio 3.6. Supported minimum API level is 21 (Android 5.0). With this API level, the system will work on 85% of Android devices[#]. The applications were developed using Java programming language.

The screenshots of the mobile applications are shown in Fig. 2, Fig. 3 and Fig. 4. Log message interfaces were added intentionally in both applications to show the communication procedures. In the deployment phase, these log messages will be removed.

In Fig. 2 the screenshot of the master node is shown. As seen from the figure it is self-explanatory. The user (the officer of the relief organization) writes the message which will be delivered to the neighbor nodes in the message text box of the application. After the “start sending message” button is clicked the application starts broadcasting the message according to the algorithm written above. The logs of the broadcasting procedure are seen on the log text box.

In Fig. 3 and Fig. 4, the screenshots of the two different neighbor nodes are shown. These figures show the entire procedure from discovery to broadcast. When the user of the neighbor node clicks on the “start receiving message” button the application starts discovery. During discovery, it looks for a node that broadcasts a message. If it finds a broadcaster, then connects and gets the message from it. After that, it shows the message to the user in the message text box and begins to broadcast the message. The logs of the discovery and broadcasting procedures are seen on the log text box. The neighbor is shown in In Fig. 3 gets the message from the master node and also delivers the message to another neighbor node. The neighbor node is shown in In Fig. 4 gets the message from another neighbor node (the neighbor node which is shown in Fig. 3).

5. Evaluation and Discussion

In this section, we first explain the evaluation of the developed system. Then we discuss the advantages and challenges of implementing and deploying of such a communication mechanism.

5.1. Evaluation

After the implementation of the system, we performed several tests on real hardware (multiple smartphones running Android OS). Tests were performed both indoors and outdoors. During the tests, smartphones were not connected to any wireless networks or cell towers. Phones were operated in flight mode or without a SIM card. The connection between phones and message exchange were performed by using Bluetooth. The system was tested in three different scenarios. The scenarios are shown in Fig. 1. For each scenario, multiple tests were performed in different distances between nodes ranging from 1 meter to 10 meters.

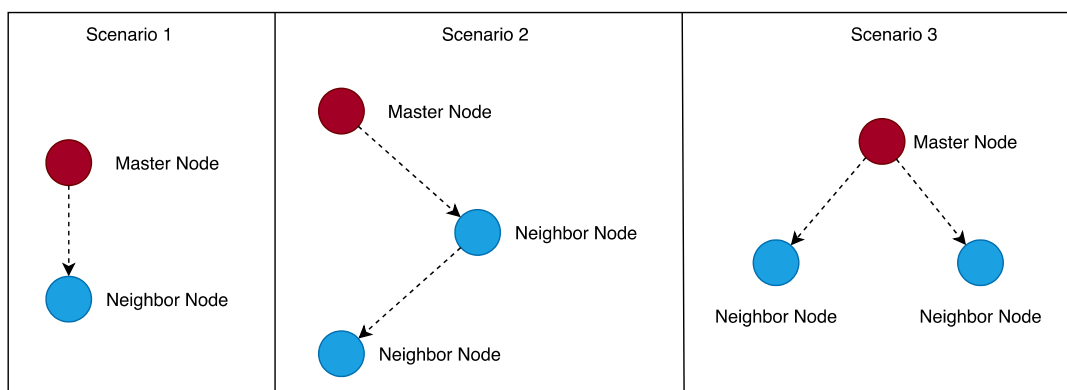


Figure 1. Test scenarios.

[#] This information was obtained from Android Studio during the API level selection.

In scenario 1, we performed tests with two smartphones: one master node and one neighbor node. The main aim of the tests in this scenario was the validation of the basic communication and messaging between the master node and neighbor node. During the tests broadcast, discovery, and message exchange operations were performed successfully.

In scenario 2, we performed tests with three smartphones: one master node and two neighbor nodes. The main aim of the tests in this scenario was the validation of the communication of multiple nodes in the form of master-neighbor and neighbor-neighbor. We tried to send the message to neighbor node from the master node and then to another neighbor node from receiving neighbor node. During the tests, the first neighbor node successfully discovered the master node and got a message from it. Then the same neighbor node again successfully delivered the newly received message to another neighbor node.

In scenario 3, we performed tests with three smartphones: one master node and two neighbor nodes. The main of the tests in this scenario was the validation of the communication of multiple neighbor nodes with one master node. We tried to send the message to multiple nodes from one master node. During the tests, message exchange between the master node and neighbor nodes was performed successfully.

The screenshots taken in scenario 2 are shown in Fig. 2, Fig. 3, and Fig. 4. In Fig. 2, the screenshot of the master node is shown. In the log window of the screenshot, the communication process of the master node with neighbor node is seen. In Fig. 3, two screenshots of the first neighbor node -the neighbor node which is connected to the master node- are shown. In the log window of these screenshots, the whole process of discovering the master node, getting message, broadcasting, and sending the message to another neighbor are seen. In Fig. 4, the screenshot of the second -last- neighbor node is shown. In the log window of the screenshot, the process of discovering, finding the first neighbor node, and getting a message is seen.

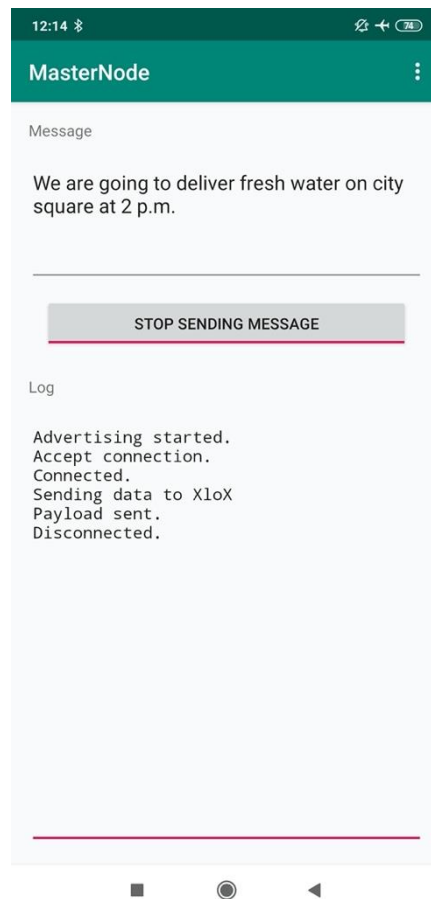


Figure 2. Screenshot of the master node.

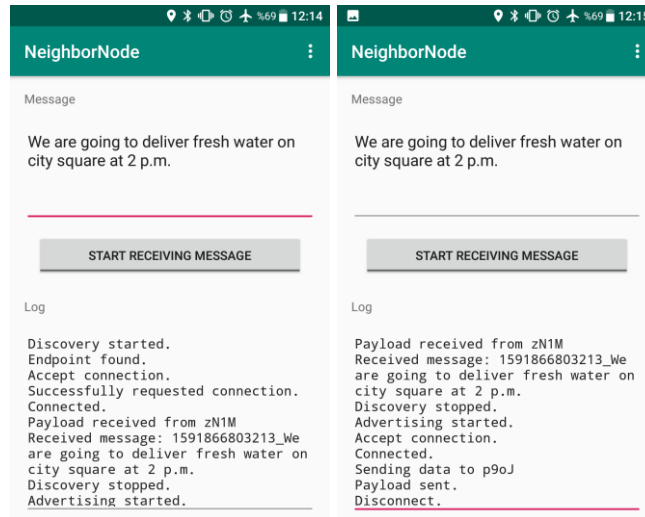


Figure 3. Screenshots of the first neighbor node.

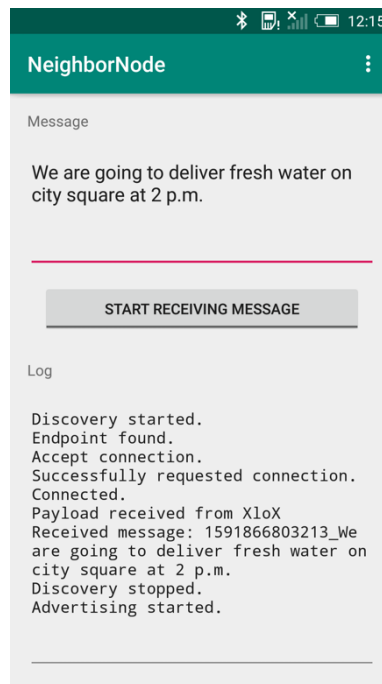


Figure 4. Screenshot of the second neighbor node.

5.2. Discussion

One of the key advantages of such a communication system that allows communication even the communication infrastructure is collapsed. The second advantage of the developed system is that it does not require additional specific hardware. This lowers the costs and eases the adaptation. The third advantage is using smartphones. Today smartphones are ubiquitous technology which most of the community has access. We believe that this will also ease the adaptation and will increase the coverage of the system. One of the important things of developing this kind of system is selecting the Android API level. As this is a solution for disasters, the API level should be selected to cover as many smartphones as possible.

As mentioned above Google Nearby Connections API was chosen to create the communication mechanism. Like all other API's, this API also may change over time. Therefore, the developers should be careful during the maintenance and updating of the applications. A permanent solution can be to communicate with the manufacturers and request from them to provide API's for disasters with long term support.

In these kinds of systems, nodes have to have unique identifiers. Android allows us to use different types (Android 2019). One of them is hardware identifiers. Currently, our system uses secure settings Android Id (SSAID) which is one type of hardware

identifier. An alternative is to use instance id, but it requires an internet connection. Another one is to use advertising id whose main target is advertisement use cases. This id is resettable so it is not appropriate for this kind of use.

6. Conclusion

In this study, we designed and developed a message broadcasting system which helps communicating the relief organizations and community. The main purpose of the system is to enable the relief organizations to broadcast messages to the people in disaster area by using smart phones. Smart phones are everyday technology which most people in the community have access and this kind of coverage is very important for communication on disasters.

The developed system run and tested by using Android smart phones successfully. The results and experiences are shared. Different kind of communication systems which use special hardware can also be developed and used in disasters. But we believe that using COTS hardware is important because of their accessibility and prevalence. Therefore, getting help from COTS technology on disasters should be studied more.

References

- Ahmed, A., Bakar, K. A., Channa, M. I., Khan, A. W., & Haseeb, K. (2017). Energy-aware and secure routing with trust for disaster response wireless sensor network. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 10(1), 216–237. <https://doi.org/10.1007/s12083-015-0421-4>
- Antonioli D., Tippenhauer N. O., Rasmussen K. B. (2019). Nearby Threats: Reversing, Analyzing, and Attacking Google's 'Nearby Connections' on Android. *Network and Distributed Systems Security (NDSS) Symposium 2019* (pp. 1-14). <https://dx.doi.org/10.14722/ndss.2019.23367>
- Arbia, D. Ben, Alam, M. M., Kadri, A., Hamida, E. Ben, & Attia, R. (2017). Enhanced IoT-based end-to-end emergency and disaster relief system. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 6(3), 1–18. <https://doi.org/10.3390/jsan6030019>
- Android. (n.d.). Best practices for unique identifiers. Retrieved August 7, 2019, from <https://developer.android.com/training/articles/user-data-ids>
- Aschenbruck, N., Gerharz, M., Frank, M., & Martini, P. (2006). Modelling Voice Communication in Disaster Area Scenarios. In *Proceedings. 2006 31st IEEE Conference on Local Computer Networks* (pp. 211–220). IEEE. <https://doi.org/10.1109/LCN.2006.322102>
- Chang-Richards, A., Seville, E., Wilkinson, S., & Walker, B. (2019). Effects of Disasters on Displaced Workers (pp. 185–195). https://doi.org/10.1007/978-3-319-92498-4_14
- CRED. (2019). *Natural Disasters 2018*. Brussels, Belgium.
- Eichinger T., Beierle F., Papke R., Rebscher L., Tran H. C., Trzeciak M. (2019). On gossip-based information dissemination in pervasive recommender systems. *RecSys 2019 - 13th ACM Conference on Recommender Systems* (pp. 442–446). <https://doi.org/10.1145/3298689.3347067>
- Google. (n.d.). Google Nearby Connections API. Retrieved August 7, 2019, from <https://developers.google.com/nearby/connections/overview>
- Guo, W., Huang, X., & Liu, Y. (2010). Dynamic relay deployment for disaster area wireless networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, (10), 1238–1252. <https://doi.org/10.1002/wcm.679>
- Khan, A., Munir, A., Kaleem, Z., Ullah, F., Bilal, M., et al. (2020). RDSP: Rapidly deployable wireless ad hoc system for post-disaster management. *Sensors (Switzerland)*, 20(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/s20020548>
- Kim, S., Urata, Y., Koizumi, Y., & Hasegawa, T. (2015). Power-saving NDN-based message delivery based on collaborative communication in disasters. In *The 21st IEEE International Workshop on Local and Metropolitan Area Networks* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/LANMAN.2015.7114733>
- Kousky, C. (2016). Impacts of Natural Disasters on Children. *The Future of Children*, 26(1), 73–92. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9402\(2009\)135:2\(25\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9402(2009)135:2(25))
- Krock, R. E. (2011). Lack of emergency recovery planning is a disaster waiting to happen. *IEEE Communications Magazine*, 49(1), 48–51. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2011.5681014>
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84–87. <https://doi.org/10.1038/nature16467>

- Lu, X. (2018). Online communication behavior at the onset of a catastrophe: an exploratory study of the 2008 Wenchuan earthquake in China. *Natural Hazards*, 91:785–802. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3155-1>
- Mase, K., Azuma, N., & Okada, H. (2010). Development of an Emergency Communication System for Evacuees of Shelters. In 2010 IEEE Wireless Communication and Networking Conference (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WCNC.2010.5506628>
- Meftah L., Rouvoy R., & Chrisment I. (2019). Testing Nearby Peer-to-Peer Mobile Apps at Large. In 2019 IEEE/ACM 6th International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft) (pp. 1–11). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MOBILESoft.2019.00009>
- Menon, V. G., Pathrose, J. P., & Priya, J. (2016). Ensuring Reliable Communication in Disaster Recovery Operations with Reliable Routing Technique. *Mobile Information Systems*, 2016, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2016/9141329>
- Menon, V. G. (2019). Optimized Opportunistic Routing in Highly Dynamic Ad hoc Networks. <https://doi.org/10.20944/preprints201810.0478.v1>
- Mezghani, F., & Mitton, N. (2017). Alternative opportunistic alert diffusion to support infrastructure failure during disasters. *Sensors (Switzerland)*, 17(10). <https://doi.org/10.3390/s17102370>
- Ministry of Internal Affairs and Communications. (n.d.). Retrieved August 7, 2019, from http://www.soumu.go.jp/main_content/000117676.pdf
- Murugeswari, R., & Radhakrishnan, S. (2015). Reliable data delivery for emergency and disaster recovery in wireless mesh network. 2014 International Conference on Information Communication and Embedded Systems, ICICES 2014, (978), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICICES.2014.7033950>
- Noguchi, T., & Fujii, T. (2000). Minimizing the Effect of Natural Disasters. *Japan Railway & Transport Review*, 10(March), 52–59.
- Pogkas, N., Karastergios, G. E., Antonopoulos, C. P., Koubias, S., & Papadopoulos, G. (2007). Architecture Design and Implementation of an Ad-Hoc Network for Disaster Relief Operations. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 3(1), 63–72. <https://doi.org/10.1109/TII.2007.891307>
- Schultz, C. H., Koenig, K. L., & Noji, E. K. (1996). A Medical Disaster Response to Reduce Immediate Mortality after an Earthquake. *New England Journal of Medicine*, 334(7), 438–444. <https://doi.org/10.1056/NEJM199602153340706>
- Shao, Z., Liu, Y., Wu, Y., & Shen, L. (2011). A Rapid and Reliable Disaster Emergency Mobile Communication System via Aerial Ad Hoc BS Networks. In 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/wicom.2011.6040479>
- Sun, J., Zhu, X., Zhang, C., & Fang, Y. (2011). RescueMe: Location-based secure and dependable VANETs for disaster rescue. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 29(3), 659–669. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2011.110314>
- Takasuka H., Hirai K., & Takami K., (2018). Development of a social DTN for message communication between SNS group members. *Future Internet*, 10(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/fi10040032>
- Townsend, A. M., & Moss, M. L. (2005). *Telecommunications Infrastructure In Disasters: Preparing Cities for Crisis Communications*. New York, NY, USA. Retrieved from <https://www.nyu.edu/ccpr/pubs/NYU-DisasterCommunications1-Final.pdf>
- Tuna, G., Mumcu, T. V., & Gulez, K. (2012). Design strategies of unmanned aerial vehicle-aided communication for disaster recovery. *High Capacity Optical Networks and Emerging/Enabling Technologies*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/HONET.2012.6421446>
- Uchida, N., Takahata, K., & Shibata, Y. (2011). Cognitive Wireless Network for Large Scale Disaster. In 2011 Third International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems (pp. 362–366). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INCoS.2011.64>



Ticari Bina LED Aydınlatma Sistemlerinde Enerji Tasarrufu İçin Bulanık Mantık Denetleyicisi

Fuzzy Logic Controller for Energy Saving in Commercial Building LED Lighting Systems

Ayşe Doğru*¹, Nazlı Koymat¹, Zafer Civelek¹

¹Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 01800, Çankırı, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 26/12/2019

Kabul / Accepted: 09/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Ticari binalarda elektrik aydınlatması en çok enerji harcayan temel unsurlardan biridir. Binaların iç aydınlatmasında enerji tasarrufu yapabilmek için güneş ışığından yararlanmak önemli bir hale gelmiştir. Bu sebeple iç mekân aydınlatma koşullarını yeterli bir seviyede tutmaya devam ederken gün ışığından faydalanarak iç mekân aydınlatma koşullarını yakalamak ve bunun için gerekli kontrol algoritmaları kullanmak gerekir. Gün ışığı aydınlatmasıyla enerjiden önemli ölçüde tasarruf edilmesi uzmanların bu alana olan ilgisini arttırmıştır. Aydınlatmada kontrol sisteminin uygulanmasıyla yıllık enerji tüketiminde azalma olacaktır. Bu aynı zamanda, yapay aydınlatma ve gün ışığından yararlanarak, çalışanların çalışma verimliliğini ve memnuniyetini arttırmasına yardımcı olur. Bu makalede gün ışığı aydınlatmasından faydalanarak ve aydınlatma konforu göz önüne alınarak bir bulanık mantık denetleyicisi tasarlanmıştır. Simülasyon ortamında hazırlanan bir ofis dairesinde masalara hareket sensörleri yerleştirilmiştir. Kullanıcıların hareketlerine göre aydınlatma sistemi otomatik olarak ayarlanır ve kullanıcıların kendi aydınlatma konforu tercihlerine göre seçim yapmalarına izin verilir. Simülasyon sonuçları kontrolsüz aydınlatma sistemi ile konforlu aydınlatma kullanılarak enerjiden önemli ölçüde tasarruf edilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler

"Bulanık mantık denetleyicisi, gün ışığı, aydınlatma konforu, enerji tasarrufu, LED"

Abstract

Electric lighting is one of the main factors consuming energy in commercial buildings. Use of sunlight has become crucial for indoor lighting to save energy. So, it is necessary to use control algorithms in order to meet indoor lighting conditions and keep them at a certain level using sunlight. Energy saving by sunlight contribution has raised specialists' interest in this field. By the application of lighting control system there will be decline in annual energy consumption. And this will help to increase the efficiency and satisfaction of employees by using artificial light and sunlight. In this study, a fuzzy-logic controller was designed using sunlight and regarding lighting comfort. Motion sensors were installed in tables in an office room created in a simulation environment. Lighting system sets itself automatically detecting the movement of users and also lets them to choose the lighting level for their lighting comfort. Result of the simulation shows that using comfort lighting saves much energy compared to uncontrolled lighting.

Key Words

"Fuzzy logic controller, daylight, lighting comfort, energy saving, LED"

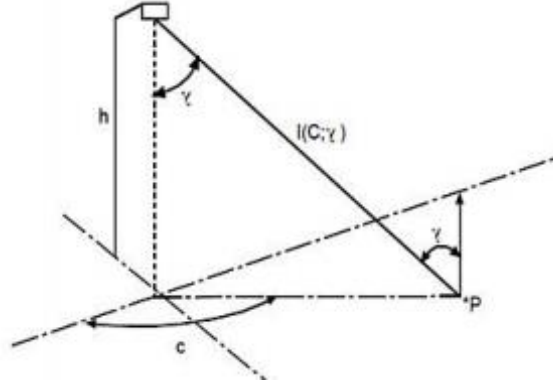
1. Giriş

Günümüzde enerji tasarrufu alanında yapılan çalışmalar gün geçtikçe önemli hale gelmeye başlamıştır. Küresel ısınma, iklim değişikliği, enerji maliyetlerindeki artış, artan enerji talepleri gibi başlıca nedenler enerji kaynaklarının tasarruflu bir şekilde kullanılması gerektiğini göstermektedir. Gelişen teknoloji sayesinde elektrik enerjisi aydınlatma sistemlerinde de kullanımı artmaya başlamış ve yaygınlaşmıştır. Dünyadaki toplam enerji tüketiminin %20 'si aydınlatma amaçlı kullanılmaktadır (Byun, Hong, Lee, & Park, 2013) (Ryckaert, Smet, Roelandts, Gils, & Hanselaer, 2012). Elektrik aydınlatmasından kaynaklanan ısı kazanımı, sıcak yaz aylarında bina soğutma yükünü de arttırmış olmaktadır. Bu nedenle aydınlatma enerji tasarrufunda önemli bir rol oynamaktadır.

Enerji tasarrufunu sağlamak için konfordan, üretim ve kaliteden ödün vermeden tüketilen enerjinin uygun değerinde tutulması gerekmektedir. Tasarrufla beraber mekândaki kişilerin ihtiyaçları doğrultusunda belirlenen aydınlık seviyesi en uygun aydınlatma kalitesidir (Resource Pages | WBDG - Whole Building Design Guide, n.d.).Gün ışığı aydınlatması insan görsel tepkisine en çok benzeyen, insanların verimliliğini artıran ve iç mekân konforu sağlayan bir aydınlatma kaynağıdır. Yeterli yaşam konforu sağlayarak veya gün ışığı kullanımını en üst seviyede tutarak iç mekân aydınlık koşullarını kontrol etmeye yönelik birçok yaklaşım önerilmiştir (Kristl, Koşir, Trobec Lah, & Krainer, 2008) (Oh, Lee, & Yoon, 2012) (Yun & Kim, 2012). Ofis binalarında çalışma saatlerinde gün ışığı kullanımı görsel konfor, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından önem kazanmaktadır. Gün ışığı performansını en iyi şekilde tespit edebilmek için o bölgedeki dış aydınlık düzeylerinin belirlenmesi ve ele alınan bölge genelinde sene boyunca oluşabilecek gün ışığı etkisinin hesaplanması gerekmektedir (Şahin, M., Büyüktümtürk, F., & Oğuz, Y., 2013) (Kocaman, 2020).

2. Yüzeydeki Bir Noktada Aydınlık Düzeyi

Bir noktanın yatay aydınlık düzeyi, ölçüm yapılan noktaya katkıda bulunan bütün armatürlerin bu nokta üzerinde oluşturdukları aydınlık düzeylerinin toplamı olarak tanımlanır. Şekil 1'de aydınlık düzeyi hesaplanacak yüzey üzerindeki bir P noktasının geometrik konumu gösterilmektedir. P noktasının yatay aydınlık düzeyi denklem 1'de görülmektedir (Cengiz, 2018; Cengiz, 2019, Cengiz & Cengiz, 2018)



Şekil 1. Aydınlık düzeyi hesaplanacak yüzey üzerindeki bir P noktasının geometrik konumu

$$E_p = \sum_i^a \frac{I(C_i \gamma)}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma \quad (1)$$

Işık akısının modellenilebilir olmasıyla birlikte, genellikle kontrol tasarımının temelini oluşturan iç mekân ışık yoğunluğu ve yüzey aydınlatma teknikleri ilgi çeken konular olmuştur. Ayrıca, bir odadaki belli bir konumda yaklaşık aydınlık seviyesi tahmini sağlayan birçok yöntem vardır (Şener Yılmaz, n.d.). Akıllı aydınlatma sistemlerinde LED'ler yarı iletken, diyot temelli bir ışık kaynağıdır. LED aydınlatma armatürleri, düşük enerji tüketimi ve enerjiyi verimli kullanması, sağlam ve dayanıklı olması, tasarım esnekliği sağlaması, uzun ömürlü ve küçük boyutlu olması nedeniyle ticari binaların aydınlatmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışma, DiaLüx simülasyon programı aracılığıyla modellenmiştir. Simülasyon ortamında bir test ofisi seçilerek akıllı LED aydınlatma sistemi kurulmuştur. Gün ışığı aydınlatma hareketleri ve kullanıcıların hareketlerine göre konforlu aydınlatma dikkate alınarak enerji tasarrufu sağlanabilmesi amaçlanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisi aydınlatma konfor şartları ve kullanıcı aydınlatma tercihleri dikkate alınarak aydınlatma çıkışı üretmek üzere tasarlanmıştır.

3. Tasarlanmış Bulanık Mantık Denetleyicisi

Kontrol birimi için sistemin girdi ve çıktıları arasında ilişkiyi kontrol eden bir algoritmaya ihtiyaç vardır. Klasik yöntemlerden PID en çok kullanılan kontrol yöntemidir. Başka bir alternatif yöntem ise insan beyninin çalışma sistemine benzer bir şekilde çalışma ortaya koyan ve yapay zekânın alt birimi olan bulanık mantık sistemidir. Bulanık mantık sisteminde kontrolde herhangi bir matematiksel ifadeye gerek yoktur. Bu sebeple matematiksel model elde etmenin zor veya imkânsız olduğu, karmaşık, doğrusal olmayan, bilgilerin niteliklerinin belirsiz veya kesin sınırları olmadığı kontrol problemlerinde uygulanabilmektedir (Aprea, Mastrullo, & Renno, 2006).

Bulanık mantık kontrolörleri, iç mekân aydınlatma kontrol sistemlerinin tasarımında kullanılmıştır. Bu kontrolörler, modeller hakkında kesin bilgi gerektirmediklerinden, tasarımı sağlam ve basittir.

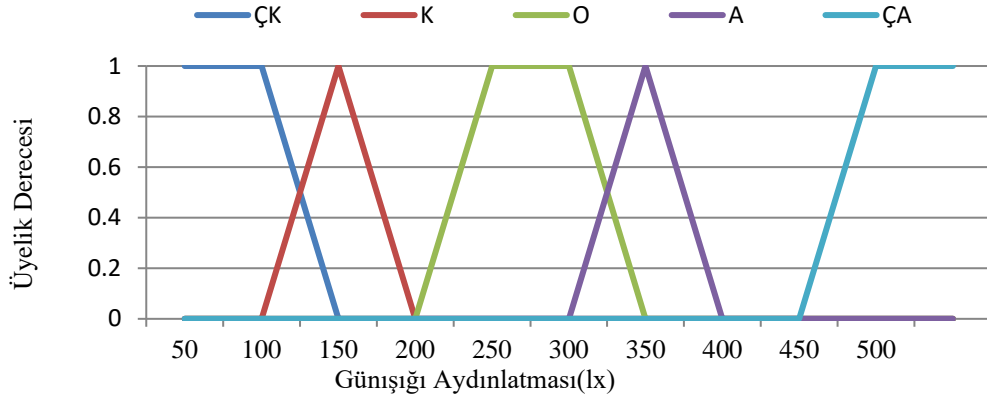
Aydınlatma konforu, kullanıcıların iç mekân aydınlatma kalitesindeki memnuniyetlerini göstermektedir. Aydınlatma konforunu kesin sınırlar ile belirlemek zordur. Bulanık mantık, aydınlatma konforunun değerlendirilmesi için uygun bir araçtır. Bu çalışmada kullanıcıların aydınlatma konforunu göz önüne alarak ve yapay aydınlatmayı da içeren kapsamlı bir bulanık mantık algoritması geliştirilmiştir. Bulanık mantık kontrol sisteminde üç ana kısım vardır (Ross, 2010);

- Bulanıklaştırma (Fuzzification)
- Kural tablosu ve çıkarım tablosu (Rule Base)
- Durulaştırma (Defuzzification)

3.1. Bulanıklaştırma

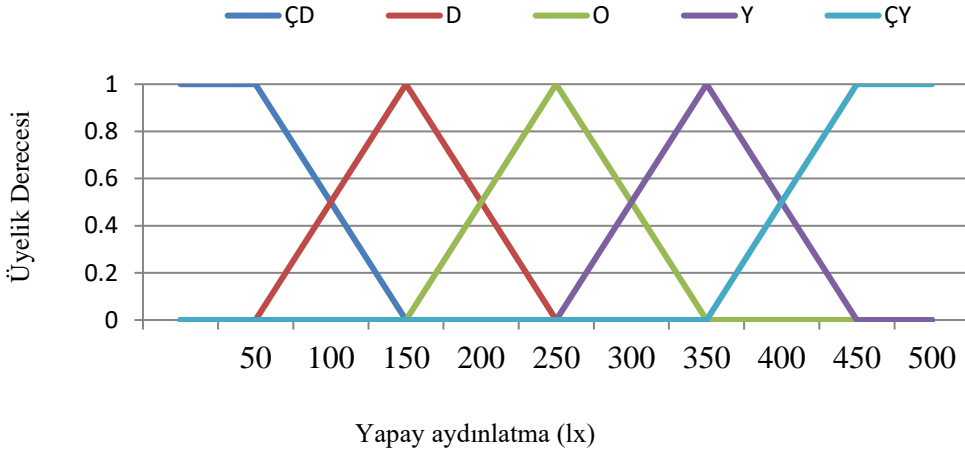
Bulanıklaştırma işlemi sistemden alınan giriş bilgilerinin dilsel niteleyiciler ile sembolize edilerek yazılmasıdır. Giriş ve çıkış değişkenleri belirlendikten sonra bulanık mantığın temelini oluşturan üyelik fonksiyonları tanımlanır ve üyelik dereceleri atanır (Mendel, J. M., 1995). Bu çalışmada önerilen bulanık mantık sistemi iki giriş değişkeninden ve bir çıkış değişkeninden oluşmaktadır. Giriş değişkenleri (A) gün ışığı aydınlatması, (B) yapay aydınlatma, çıkış değişkeni (C) konforlu aydınlatmadır.

A = {çok karanlık (ÇK), karanlık (K), orta (O), açık (A), çok açık (ÇA)} gün ışığı aydınlatma sıralarının alanını belirtir. Her bir sıra, Şekil 2'de gösterildiği gibi bir üyelik fonksiyonuyla tasvir edilmiştir. Üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmıştır.



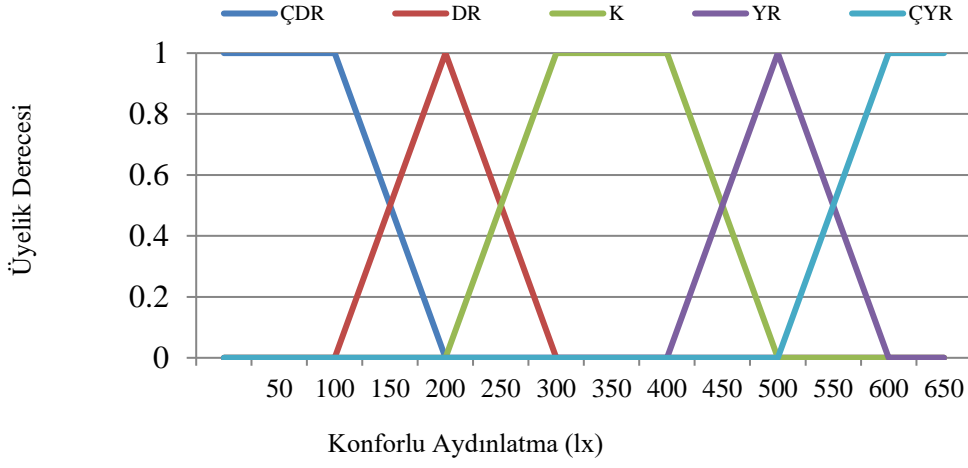
Şekil 2. Günışığı katılımlı üyelik fonksiyonları

B = {çok düşük (ÇD), düşük (D), orta (O), yüksek (Y), çok yüksek (ÇY)} yapay aydınlatma alanını belirtir. Her bir sıra, Şekil 3'te gösterildiği gibi yamuk ve üçgen biçimli bir üyelik fonksiyonu ile tasvir edilmiştir.



Şekil 3. Yapay aydınlatma üyelik fonksiyonları

C = {çok düşük rahatsızlık (ÇDR), düşük rahatsızlık (DR), konforlu (K), yüksek rahatsızlık (YR), çok yüksek rahatsızlık (ÇYR)} konfor aydınlatma alanını belirtir. Her bir sıra, Şekil 4'te gösterildiği gibi, üçgen veya yamuk formların kendi üyelik fonksiyonlarıyla tasvir edilmiştir.



Şekil 4. Konforlu aydınlatma üyelik fonksiyonları

3.2 Çıkarım Yöntemleri

Bulanıklaştırma işleminden sonra kontrolde çok önemli olan kural tablosunun oluşturulma işlemidir. Bu çalışmada, algoritma bir duyarlılık analizine dayanan 5*5 kural tablosu ile yazılmıştır. Günışığı çıktısı, aydınlatma konforu için yapay aydınlatmaya göre daha yüksek bir ağırlık faktörüne sahiptir. Bulanık çıkarım kurallarını çalıştırmak için, Mamdani'nin Max - Min metodu kullanılmıştır. Tablo 1 tasarlanan bulanık mantık denetleyicisinin kurallarını ve Tablo 2 bulanık mantık denetleyicisinin çıkarım tablosunu göstermektedir. Çıkarım kurallarının 3-D görselleştirilmesi, Şekil 5'te gösterilmiştir.

Tablo 1. Tasarlanmış bulanık mantık denetleyici kuralları

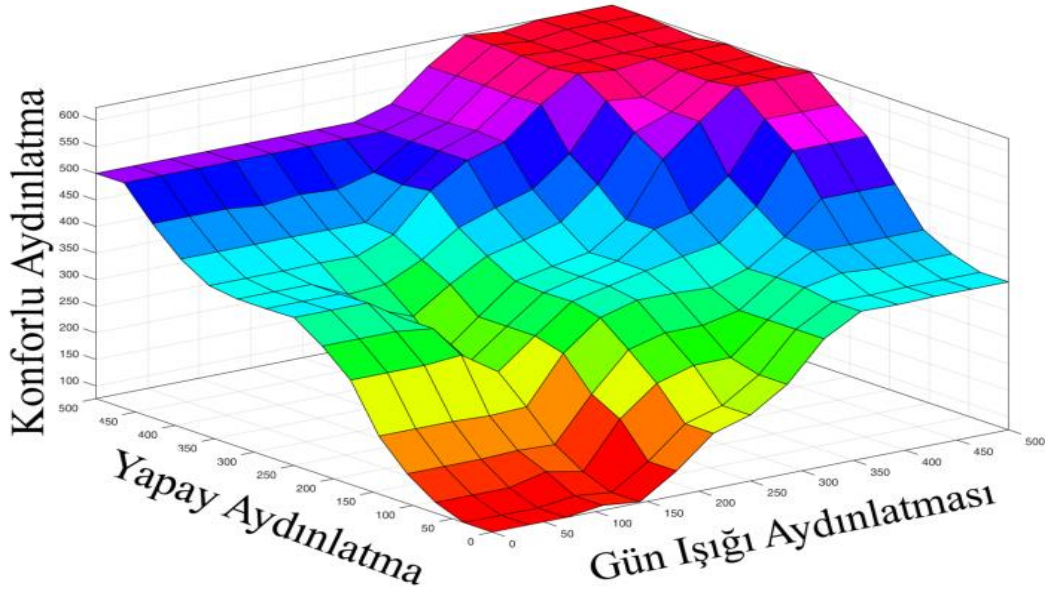
Kurallar	
1.	Eğer (Gün Işığı ÇK) ve (Yapay aydınlatma ÇD) ise Konforlu Aydınlatma ÇDR'dir
2.	Eğer (Gün Işığı ÇK) ve (Yapay aydınlatma D) ise Konforlu Aydınlatma DR'dir
3.	Eğer (Gün Işığı ÇK) ve (Yapay aydınlatma O) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
4.	Eğer (Gün Işığı ÇK) ve (Yapay aydınlatma Y) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
5.	Eğer (Gün Işığı ÇK) ve (Yapay aydınlatma ÇY) ise Konforlu Aydınlatma YR'dir
6.	Eğer (Gün Işığı K) ve (Yapay aydınlatma ÇD) ise Konforlu Aydınlatma ÇDR'dir
7.	Eğer (Gün Işığı K) ve (Yapay aydınlatma D) ise Konforlu Aydınlatma DR'dir
8.	Eğer (Gün Işığı K) ve (Yapay aydınlatma O) ise Konforlu Aydınlatma DR'dir
9.	Eğer (Gün Işığı K) ve (Yapay aydınlatma Y) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
10.	Eğer (Gün Işığı K) ve (Yapay aydınlatma ÇY) ise Konforlu Aydınlatma YR'dir
11.	Eğer (Gün Işığı O) ve (Yapay aydınlatma ÇD) ise Konforlu Aydınlatma DR'dir
12.	Eğer (Gün Işığı O) ve (Yapay aydınlatma D) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
13.	Eğer (Gün Işığı O) ve (Yapay aydınlatma O) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
14.	Eğer (Gün Işığı O) ve (Yapay aydınlatma Y) ise Konforlu Aydınlatma YR'dir
15.	Eğer (Gün Işığı O) ve (Yapay aydınlatma ÇY) ise Konforlu Aydınlatma YR'dir
16.	Eğer (Gün Işığı A) ve (Yapay aydınlatma ÇD) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
17.	Eğer (Gün Işığı A) ve (Yapay aydınlatma D) ise Konforlu Aydınlatma K'dir
18.	Eğer (Gün Işığı A) ve (Yapay aydınlatma O) ise Konforlu Aydınlatma YR'dir
19.	Eğer (Gün Işığı A) ve (Yapay aydınlatma Y) ise Konforlu Aydınlatma ÇYR'dir
20.	Eğer (Gün Işığı A) ve (Yapay aydınlatma ÇY) ise Konforlu Aydınlatma ÇYR'dir
21.	Eğer (Gün Işığı ÇA) ve (Yapay aydınlatma ÇD) ise Konforlu Aydınlatma K'dir

Tablo 1 (devam). Tasarlanmış bulanık mantık denetleyici kuralları

Kurallar	
22.	Eğer (Gün Işığı ÇA) ve (Yapay aydınlatma D) ise Konforlu Aydınlatma YR'dir
23.	Eğer (Gün Işığı ÇA) ve (Yapay aydınlatma O) ise Konforlu Aydınlatma ÇYR'dir
24.	Eğer (Gün Işığı ÇA) ve (Yapay aydınlatma Y) ise Konforlu Aydınlatma ÇYR'dir
25.	Eğer (Gün Işığı ÇA) ve (Yapay aydınlatma ÇY) ise Konforlu Aydınlatma ÇYR'dir

Tablo 2. Tasarlanmış bulanık mantık denetleyicinin çıkarım tablosu

Yapay Aydınlatma	Gün Işığı Katkısı				
	ÇK	K	O	A	ÇA
ÇD	ÇDR	ÇDR	DR	K	K
D	DR	DR	K	K	YR
O	K	DR	K	YR	ÇYR
Y	K	K	YR	ÇYR	ÇYR
ÇY	YR	YR	YR	ÇYR	ÇYR

**Şekil 5.** 3-D görselleştirme ve çıkarım kuralları

3.3. Durulaştırma

Tasarlanmış bulanık mantık denetleyicisinin son aşaması durulaştırma işlemidir. Durulaştırma, bulanık bir alt kümeyi tek değerli gerçek sayılara dönüştürme işlemidir. Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemleri arasında en yaygın kullanılan yöntemdir. Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemine göre, üyelik fonksiyonu altındaki alanın ağırlık merkezi denklem (2)'den yararlanılarak bulunur:

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(CI_i)CI_i}{\sum_{i=1}^n \mu(CI_i)} \quad (2)$$

Burada $\mu(CI_i)$ bir aktivasyon kural derecesi i. CI_i Max - Min bileşimin merkezi üyelik fonksiyonlarıdır. CI konforlu aydınlatma seviyesidir.

4. Dialux Evo Programı

Görsel planlama da çok güzel bir örnek olan Dialux Evo yazılımı planlama, hesaplama ve aydınlatma görselleştirme için Dial Gmbh tarafından hazırlanan bir yazılımdır. Yazılımın içeriğinde hazır yapı malzemeleri istenilen ölçüler ile girilebilir. Ayrıca anlaşılabilir aydınlatma firmalardan istenilen aydınlatmayı seçerek görsel olarak simülasyonda görülebilir. Şekil 6 'da bir test ofis için gündüz ışığı olmadan sadece LED ile aydınlatma ortamı tasarlanmıştır.

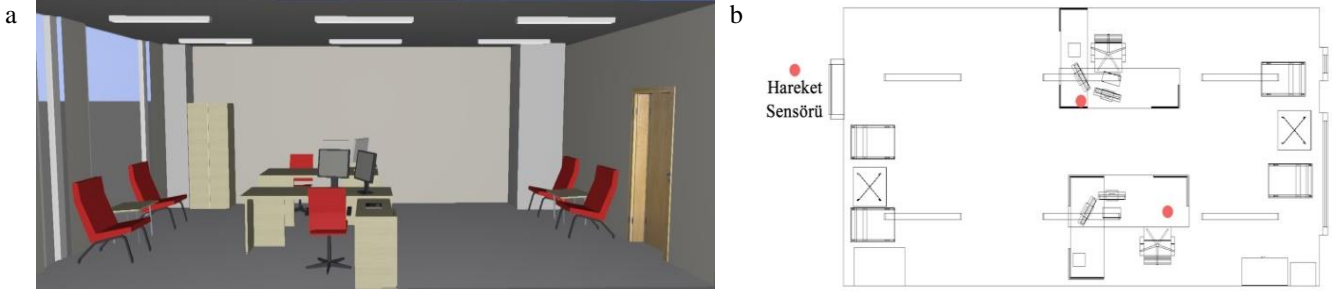


Şekil 6. Gündüz ışığı olmadan sadece LED ile aydınlatma

Programı daha iyi anlayabilmek ve hesaplamaları daha bilinçli yapabilmek için aydınlatma ile ilgili bazı kavramların daha iyi bilinmesi gerekir. Böylece analiz edilmesi kolaylaşır. Dialux Evo ile tasarlanan yapının mevcut enerji tüketiminin ne kadar yüksek olduğuna veya ne kadar enerji tasarrufu yapıldığına dair genel bilgilere ulaşılabılır. Bu yazılım ile tasarlanan yapının aydınlatması sadece yapay ışık yerine gün ışığı kullanılarak enerji kullanımı hesaplanabilir. Ayrıca gün ışığından olası enerji spektrumunu da gösterir. Hesaplama binalardaki aydınlatma enerji performansını belirlemede Türk Standardı TS EN 15193 uyarınca yapılarak yapının bulunduğu enlem ve boylam bilgilerinin yazılıma doğru bir şekilde girilmesi gerekir.

5. Dialux Evo Programı Ofis Yapılandırma

Çankırı Karatekin Üniversitesi Bilgi İşlem Daire Başkanlığı Yazılım Biriminde bir ofis çalışma için seçildi. Ofis zemin katta 4,16 m genişliğinde 7,90 m uzunluğunda ve 2,79 m yüksekliğinde olan bir alandır. Ofiste 2 x 18 W olan 6 adet LED armatür bulunmaktadır. Dialux Evo tarafından oluşturulan bir simülasyon modeli Şekil 7 'de gösterilmiştir.



Şekil 7. (a) Görüntüleme;

(b) Zemin görüntümü.

6. Geliştirilen Gün Işığı Katkılı Senaryoları

Örnek ofis mekânı için 3 adet doğal aydınlatma senaryosu oluşturulmuştur. Örnek ofis mekânı simülasyonu bilgileri Tablo 3'te gösterilmiştir. Simülasyonda kullanılan armatür türü V - TAC 2 x 18 LED Waterproof Lamp, 4000K, 6387 olarak seçilmiştir.

Tablo 3. Senaryo durumları

Kodlama	Aydınlanma Şiddeti(lx)	Senaryo Adı
S1	350 lx	Gün ışığı mevcut değil.
S2	300 lx	Gün ışığı mevcut değil ve Kullanıcı tercihli durum
S3-a	350 lx	Gün ışığı dahil durum.(Açık Gökyüzü)
S3-b	300 lx	Gün ışığı dahil durum.(Açık Gökyüzü)
S3-c	200 lx	Gün ışığı dahil durum.(Açık Gökyüzü)

S1: Yazılımda çizimin yapılıp, seçilen LED armatür ile sadece yapay aydınlatma kullanılarak ve aydınlanmanın 350 lx olduğu senaryo.

S2: Aydınlanmanın 300 lx olarak ayarlandığı durum.

S3: Gün Işığının Çankırı koşullarında 8.05.2019 tarihinde doğrudan ışık varken ve yokken hazırlanan mevcut durumu. Bu senaryo 3 aydınlatma şiddeti değerleri belirli saatlerde ölçüm yapılarak Tablo 4'deki değerlere ulaşılmıştır.

Tablo 4. Masalarda ve çalışma ortamında aydınlık seviyeleri ölçüm sonuçları

Senaryo S3-a						
Aydınlanma Şiddeti(lx)	Saat	Masa 1	Masa 2	Çalışma Ortamı	Doğrudan ışık	
200 lx	08.00	1240	655	889	Yok	
200 lx	08.00	13351	658	4588	Var	
200 lx	12.00	578	348	718	Yok	
200 lx	12.00	661	348	1202	Var	
200 lx	17.00	467	265	485	Yok	
200 lx	17.00	467	265	485	Var	
Senaryo S3-b						
Aydınlanma Şiddeti(lx)	Saat	Masa 1	Masa 2	Çalışma Ortamı	Doğrudan ışık	
300 lx	08.00	1364	751	1185	Yok	
300 lx	08.00	13470	753	4691	Var	
300 lx	12.00	7022	443	825	Yok	
300 lx	12.00	785	443	1309	Var	
300 lx	17.00	591	360	593	Yok	
300 lx	17.00	591	360	593	Var	
Senaryo S3-c						
Aydınlanma Şiddeti(lx)	Saat	Masa 1	Masa 2	Çalışma Ortamı	Doğrudan ışık	
350 lx	08.00	1479	827	1294	Yok	
350 lx	08.00	13576	530	4794	Var	
350 lx	12.00	819	519	935	Yok	
350 lx	12.00	900	519	1418	Var	
350 lx	17.00	707	436	703	Yok	
350 lx	17.00	707	436	703	Var	

Dialux Evo simülasyon programı çalışma ortamı aydınlanmasını ölçerken nesnelerin ve mobilyaların yansımaya katsayılarını da dikkate alır. Simülasyonda belirlenen katsayı değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Simülasyon modelinde parametre değerleri

Parametreler	Değer
Worktable yüksekliği	0,75 m
LED güç tüketimi	18 × 18 W
Kullanım faktörü	0.85
Işık kaybı faktörü	0.8
Kat yansımaya katsayısı	0.3
Tavan yansımaya katsayısı	0.7
Duvar yansımaya katsayısı	0.48
Mobilya yansımaya katsayısı	0.5

Hazırlanan senaryoları daha da özelleştirmek için aynı gün ve saatlerde kontrol kısıtlaması yaparak LED armatürlerin aydınlatma değeri %50 indirilerek ayrıntılı sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. 300lx yapay aydınlatma ve saat 08.00 gün ışığı (doğrudan ışık) konfor kısıtı varken yapılan karşılaştırma

Kodlama	S3-a	S3-a
Aydınlanma Şiddeti(lx)	300 lx	300 lx
Saat	08.00	08.00
Masa 1	13128 lx	13307 lx
Masa 2	4943 lx	5065 lx
Çalışma Ortamı	4750 lx	4925 lx
Konfor Kısıtı	%50	%100

Bu karşılaştırma sonucunda Şekil 8'de görüldüğü gibi aydınlatma kısıtlı olmasına rağmen kullanıcı konforu sağlanmıştır. Çalışma alanındaki aydınlanma değeri yaklaşık kalmıştır.

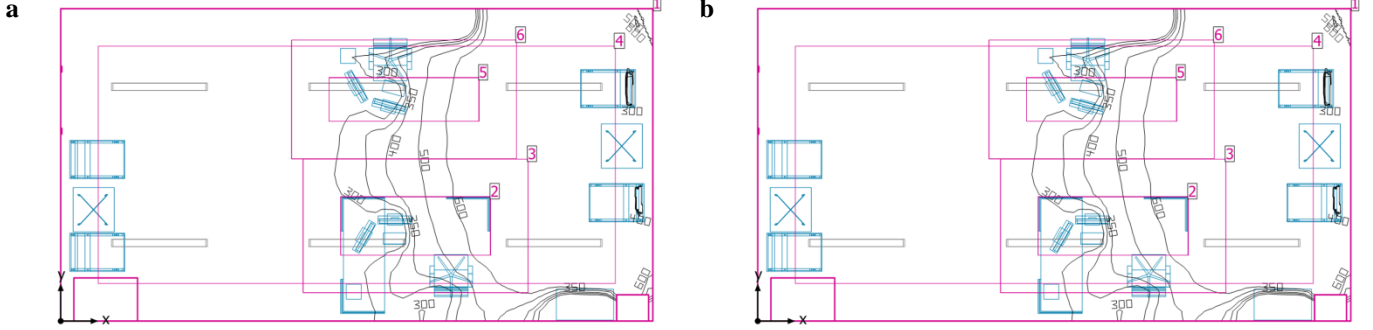


Şekil 8. (a) 300lx yapay aydınlatma ve saat 08.00 gün ışığı (doğrudan ışık) ile test ofisi görünümü;



(b) 300lx yapay aydınlatma ve saat 8.00 gün ışığı (doğrudan ışık) ve kontrol kısıtlaması ile test ofisi görünümü.

6.1. Simülasyon Sonuçları



Şekil 9. (a) S3-a senaryo aydınlatması;

(b) S3-a 50 kontrol %50 kısıtı ile.

Tablo 5’te simülasyon modelinde parametre değerleri göz önünde bulundurularak, önerilen bulanık mantık kontrol stratejisiyle Tablo 3’deki farklı senaryoların aydınlatma güç tüketimi Tablo 7’de göstermektedir.

Tablo 3 – S1 senaryosunda kontrolsüz aydınlatma(350 lx) parametresi kullanılmıştır. Bu senaryoya göre, aydınlatma güç tüketimi 288 W’tır.

Tablo 3 – S3-a senaryosunda kontrolsüz aydınlatma (350 lx) ve açık gökyüzü parametreleri kullanılmıştır. Bu senaryoya göre, aydınlatma güç tüketimi Tablo 7’de gösterildiği gibi 216 W’tır ve enerjide yaklaşık % 25’i tasarruf sağlanmıştır.

Tablo 3 – S3-b senaryosunda kontrollü aydınlatma(300 lx) ve açık gökyüzü parametreleri kullanılmıştır. Bu senaryoya göre, aydınlatma güç tüketimi Tablo 7’de gösterildiği gibi 144W’tır ve enerjide yaklaşık % 50 tasarruf sağlanmıştır.

Tablo 3 – S3-c senaryosunda kontrollü aydınlatma(200 lx) ve açık gökyüzü parametreleri kullanılmıştır. Bu senaryoya göre, aydınlatma güç tüketimi Tablo 7’de gösterildiği gibi 72W’tır ve enerjide yaklaşık % 75 tasarruf sağlanmıştır.

Bu sonuçlara göre Tablo 3 – S3-b’de kullanılan kontrollü aydınlatma ve açık gökyüzü tercihi en konforlu aydınlatma ve ideal enerji tasarrufuna sahip senaryodur.

Tablo 7. Senaryo Sonuçları

Aydınlatma (lx)	Güç tüketimi (W)	Güç tasarrufu (W)	Tasarruf yüzdesi
350	216	72	%25
300	144	144	%50
200	72	216	%75

7. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada ticari ofis binalarındaki iç mekan aydınlatma sistemlerinden enerji tasarrufu sağlamak için bulanık mantık algoritması kullanımından bahsedilmiştir. Çankırı Karatekin Üniversitesi test ofisinin ölçüleri kullanılarak doğal aydınlatma programı olan Dialux Evo’da simülasyon modeli hazırlanmıştır. Hazırlanan simülasyon modelinde Tablo 3’te gösterilen 3 farklı senaryo ele alınmıştır. Dialux Evo programından 8.05.2019 tarihinde alınan simülasyon sonuçlarındaki aydınlatma gücü tasarruf yüzdeleri karşılaştırılmıştır. Bu verilere göre aydınlatma enerjisinden tasarruf etmek için gün ışığından ve kullanıcının çalışma ortamındaki aydınlık konforundan yararlanılarak hazırlanan senaryoda (Tablo 3 – S3-b) önemli ölçüde tasarruf elde edildiği ispatlanmıştır.

Sonuç olarak, ticari binalarda gün ışığı katkısı ve kullanıcı konforu sağlanarak enerjiden tasarruf elde edildiği görülmüştür. Böylelikle deney yapmadan, bilgisayar destekli doğal aydınlatma simülasyonlarını kullanarak, sağlanan enerji tasarrufunun hesaplanabileceğini ispatlamıştır.

Gelecekte ki çalışmalarda projeye yeni senaryolar ekleyerek farklı hava koşullarında örneğin kapalı gökyüzü veya orta gökyüzü parametreleri kullanılarak aydınlatma enerjisi tasarrufu incelenecektir. Ayrıca LED armatürler de hareket sensörü teknolojileri senaryoya dâhil edilerek projenin geliştirilmesi planlanmaktadır.

Referanslar

- Apra, C., Mastrullo, R., & Renno, C. (2006). Experimental analysis of the scroll compressor performances varying its speed. *Applied Thermal Engineering*, 26(10), 983–992. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2005.10.023>
- Byun, J., Hong, I., Lee, B., & Park, S. (2013). Intelligent Household LED Lighting System Considering Energy Efficiency and User Satisfaction. In *IEEE Transactions on Consumer Electronics* (Vol. 59). Retrieved from [http://pgembeddedsystems.com/securelogin/upload/project/IEEE/33/PGEMB0030/Intelligent Household LED Lighting System.pdf](http://pgembeddedsystems.com/securelogin/upload/project/IEEE/33/PGEMB0030/Intelligent%20Household%20LED%20Lighting%20System.pdf)
- Cengiz, MS. (2018). Thermal Design Calculations for LED Luminaires. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(2), 69-75.
- Cengiz, MS. (2019). Akaryakıt İstasyonu Aydınlatma Sistemleri, 5. *Uluslararası ISPEC Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi*, 532-540, 20-22 Aralık 2019, Van.
- Cengiz, MS. (2019). Simulation and design study for interior zone luminance in tunnel lighting. *Light Engineering*, 27(3), 75-84.
- Cengiz, MS. (2019). The relationship between maintenance factor and lighting level in tunnel lighting. *Light Engineering*, 27(2), 42-51.
- Cengiz MS. (2019). Tünel Aydınlatma Sistemlerinde Aydınlık Düzeyi Toleransının Bakım Faktörüne Göre Saptanması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(2), 432-441.
- Cengiz, MS. Cengiz Ç. (2018). Numerical analysis of tunnel LED lighting maintenance factor. *International Islamic University Malaysia Journal*, 19(2), 154-163
- Kristl, Ž., Košir, M., Trobec Lah, M., & Krainer, A. (2008). Fuzzy control system for thermal and visual comfort in building. *Renewable Energy*, 33(4), 694–702. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.03.020>
- Kocaman, B. (2020). Elektrik Elektronik Mühendisliği / Electrical Electronic Engineering Kapalı Otopark Aydınlatmasında Floresan ve LED Lambanın Enerji Verimliliği Açısından Karşılaştırılması Comparison of Fluorescent Lamp and LED Lamp in Terms of Energy Efficiency in Parking Garage Lighting. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1640–1648. <https://doi.org/10.21597/jist.670665>
- Mendel, J. M. (1995). Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial. *Proceedings of the IEEE*, 83(3), 345–377. <https://doi.org/10.1109/5.364485>
- Oh, M. H., Lee, K. H., & Yoon, J. H. (2012). Automated control strategies of inside slat-type blind considering visual comfort and building energy performance. *Energy and Buildings*, 55, 728–737. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.019>
- Resource Pages | WBDG - Whole Building Design Guide. (n.d.). Retrieved June 24, 2019, from <https://www.wbdg.org/resources/energy-efficient-lighting>.

Ross, T. J. (2010). Fuzzy Logic with Engineering Applications: Third Edition. <https://doi.org/10.1002/9781119994374>

Ryckaert, W. R., Smet, K. A. G., Roelandts, I. A. A., Gils, M. Van, & Hanselaer, P. (2012). Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. *Energy & Buildings*, 49, 429–436. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.042>

Şahin, M., Büyüktümtürk, F., & Oğuz, Y. (2013). Yapay Sinir Ağları ile Aydınlik Kalitesi Kontrolü. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 1–10. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/akufemubid/issue/1600/19877>

Şener Yılmaz, F. (n.d.). *Güneş Kontrolü Tasarımının Görsel Konfor ve Günışığı Performansına Etkisi: Ofis Binaları*. Retrieved from <http://www.adjournal.net/articles/44/444.pdf>

Yun, G. Y., & Kim, H. (2012). Effects of occupancy and lighting use patterns on lighting energy consumption. *Energy and Buildings*, 46, 152–158. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2011.10.034>



Sürdürülebilir Konut Satın Alımının Çok Kriterli Karar Verme Metotlarıyla Değerlendirmesi ve Bir Uygulama

An Assessment of Sustainable Housing Affordability using Multiple Criteria Decision Making Methods and an Application

Deniz İrem Yertutan¹ , Tahsin Çetinyokuş² 

¹Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD, Yenimahalle/Ankara, TÜRKİYE

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Çankaya/Ankara, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 03/02/2020

Kabul / Accepted: 11/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Konut alımı sadece ekonomik parametrelerle değerlendirilemeyecek kadar karmaşık bir konudur. Yaşam kalitesini ve toplumun sürdürülebilirliğini arttırmak için konutun çevresel ve sosyal sürdürülebilirliği de dikkate alınmalıdır. Bu çalışma, hane halkı refah düzeyini etkileyen ekonomik, çevresel ve sosyal kriterleri dikkate alarak farklı yerleşim yerlerinin alım gücünün sürdürülebilir bir şekilde değerlendirilmesinde bir metodolojinin uygulanmasını ele almaktadır. Konusunda uzman kişilere yapılan anketlerden elde edilen verilere dayanarak Türkiye’de seçilen 5 alternatif il, Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden (ÇKKV); düzeltilmiş AHP (Revised Analytic Hierarchy Process), TOPSİS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), COPRAS (COmplex PROportional ASsessment) ve ELECTRE ((E)limination and Choice Translating Reality English) uygulamaları ile kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Konut Alım Gücü, Sürdürülebilirlik, Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV), AHP, TOPSİS, COPRAS”

Abstract

Housing affordability, a very sophisticated issue, cannot be limited to the economic parameters. Environmental and social sustainability of housing also deserves importance so as to enhance life standards and maintain sustainability of societies. This study, therefore, focuses on the evaluation of the affordability of different settlements by taking economic, environmental and social criteria affecting the welfare of household level. Upon debates with area specialists selected 5 alternative cities in Turkey and also criteria to be applied in the evaluation process of these alternatives have been determined. Based on the data collated from surveys among Multiple Criteria Decision Making methods, the following methods namely Revised AHP, TOPSİS, COPRAS and ELECTRE are utilised to make evaluation.

Key Words

“Housing Affordability, Sustainability, Multiple Criteria Decision Making (MCDM), AHP, TOPSİS, COPRAS”

1. Giriş

Konut herkes için temel bir gereklilik olmakla birlikte tek başına konut sahibi olmak, iyi bir yaşam kalitesi sağlamak için yeterli olmamaktadır. Konut sahibi olmak hanehalkı refahını, hissedilen değer duygusunu, aileye ve topluma olan bağları pozitif yönde etkilemektedir. İş imkânlarının yoksunluğu, güvenlik endişesi ve temel hizmetlere erişimin kısıtlı olması hanehalkının hayat kalitesini düşürmektedir. Konutun çevresi ve çevre imkânları yaşam kalitesinin önemli belirleyicileri olarak kabul edilmektedir. Uluslararası alanda sürdürülebilir gelişme; şimdiki nesillerin ihtiyaçlarını dikkate alarak, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını öngörerek geleceği tehlikeye atmadan karşılanması olarak tanımlanır (Mulliner, 2012). Bu sebeple küresel ölçekte sürdürülebilirlik konusu önem kazanmaktadır.

Toplumların sürdürülebilirliği; mevcut ve gelecekteki çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak, yüksek yaşam kalitesi için doğal kaynakların etkin kullanımını sağlamak, daha iyi bir yaşam çevresi geliştirmek, sosyal bütünlük ve ekonomik refahı güçlendirmek suretiyle oluşturulabilir (Mulliner, 2012). Konutların karşılanabilirliği geleneksel olarak ekonomik kriterlerle tanımlanmakta ve değerlendirilmektedir. Bunun sonucu olarak düşük maliyetli olan konutlar uygun fiyatlı olarak kabul edilir. Ancak bu konutun yer aldığı bölgenin çevresel ve ekonomik yaşam şartları konularında yeterli bilgi vermemektedir. Konut karşılanabilirliğinin sadece konut maliyetleri ve gelirle birlikte değerlendirmekten ziyade hane halkının yaşam kalitesini de etkileyen daha geniş bir dizi kriterden etkilendiği düşüncesi oluşmuştur. Daha fazla ev sağlamaktan ziyade işyerleri, alışveriş mağazaları, hizmetlerin, ulaşımın ve yeşil alanların varlığı, başarılı toplumlar oluşturmak için önemli faktörlerdendir.

Başarılı toplumlar ve konutlandırma sistemi oluşturabilmek için sürdürülebilirlik ve satın alınabilirlik konularının birlikte ele alınması gerekmektedir (Mulliner vd., 2016; Maliene vd., 2013; Mulliner vd., 2015). Satın alınabilir konutun uygun fiyatlı olması toplum veya aile refahını sağlamak için tek başına yeterli bir ölçüt değildir. Bununla birlikte hane halkı; kaliteli, sağlam, temiz ve güvenli çevrelere sahip, iş yerlerine ve toplu taşıma araçlarına erişimi kolay konumlarda bulunan konutlara ihtiyaç duymaktadır. Ancak sürdürülebilir konut satın alımı sıklıkla ekonomik açıdan tek başına ele alınmaktadır. Diğer önemli konular olan; sürdürülebilirlik, konutun yerleşim yeri ve konut kalitesi kavramaları göz ardı edilmektedir.

Konut satın alma gücünü ölçmenin ve tanımlamanın uluslararası düzeyde en yaygın yolu konut maliyeti ve hane halkı geliri arasındaki ilişkinin karşılaştırılmasıdır. Başparmak kuralına göre, herhangi bir hane halkı, gelirinin belirli bir orandan daha fazlasını konut maliyetine harcıyorsa pahalı evde yaşadığı anlaşılmaktadır. Bu yaklaşım 19 yy da yapılan hane halkı bütçe çalışmalarındaki “bir aylık kira bedeli için bir haftalık maaşını öde” anlayışına dayanmaktadır (Mulliner vd., 2012).

Karşılanabilir konut problemi yalnızca bireyleri etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda ekonomi ve çevre gibi daha geniş toplumsal alanları da etkilemektedir. Bazı araştırmacılara göre “karşılanabilir konutu” tanımlamakta ve ölçmekte; hane halkı geliri ve giderinin kullanılmasının yeterli olmadığı düşünülmektedir (Hancock, 1993; Guitouni vd., 1998; Alkay vd., 2019).

Konut alım gücünün artırılması için konut maliyetlerinin tek başına ele alınmaması gerekmektedir. Aynı zamanda sürdürülebilir ve başarılı yaşam ortamları oluşturmak için tesislere erişiminde, konut ve tesislerin enerji verimliliğinde geliştirilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşımla, başarılı karşılanabilir konut politikaları için, sürdürülebilirlik ile hane halkı refahının uyumlu olduğu daha bütünsel bir değerlendirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma; sosyal, ekonomik ve çevresel yönlerinde dâhil olduğu birtakım kriterler göz önünde bulundurularak bir karşılanabilir konut değerlendirme metodolojisini test etmeyi amaçlamaktadır. Burada sürdürülebilir konut alınabilirliğinin değerlendirilmesi için Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden; Revize Edilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), TOPSIS, COPRAS ve ELECTRE yöntemleri uygulanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Konut Satın Alınabilirliği

Konut satın alınabilirliği genellikle 'uygun fiyatlı konut' olarak ifade edilir. Bazen 'konut satın almaya yeteneği olmak' ile birbirinin yerine kullanılabilir olsa da, 'uygun fiyatlı konut' terimi politika yapıcılar tarafından, dar veya orta gelirli aileler için piyasa şartlarında ki düşük kira veya fiyatlarda olan konutlara atıfta bulunmak için kullanılır (Whitehead, 2007). Uygun fiyatlı konutlar, hükümet önderliğindeki konut dernekleri veya özel müteahhitler tarafından işletilen projeler yoluyla genellikle piyasa değerinin altında fiyatlandırılan ve bu şekilde edinilebilen mülklere dir. Uygun fiyatlı konut tanımı hükümet ve yerel yönetim politikalarına bağlı olarak uluslararası platformlarda farklılık gösterebilmektedir.

“Devlet, şehirlerin özelliklerini ve çevre şartlarını gözetken bir planlama çerçevesinde, konut ihtiyacını karşılayacak tedbirleri alır, ayrıca toplu konut teşebbüslerini destekler” şeklinde bir sosyal konut politikasına sahiptir. (Anayasa 57. Maddesi Konut Hakkı) Hükümetin sosyal konut politikası; piyasa koşullarında konutların fiyatlarını karşılayamayan topluluklarda ev sahipliğini daha erişilebilir ve uygun fiyatlı hale getirmektir. Piyasada ki kiralık konutlar için ödenmesi gereken kira brüt gelirin yüzde 25'inden fazla olmamalıdır (Whitehead vd., 2009). Genel durum bu yönde olsa da gelişmiş ülkelerde, gelirin yüzde 25-35 oranlarında konuta harcanması makul olarak kabul edilmektedir. ABD Konut ve Kentsel Gelişim Bakanlığı brüt gelirin yüzde 30'undan fazlasının konut giderleri için harcanmadığı konutların ekonomik olduğunu değerlendirmektedir (Dacquistto vd., 2006).

Konut satın alınabilirliği kavramı iki farklı şekilde ölçülebilir. Bunlardan ilki hane halkı geliri ile konut maliyetleri arasındaki ilişkiyi, ikincisi konut maliyetleri karşılandıktan sonra kalan gelir ile konut standartları ve konut dışı tüketim konularını değerlendirmektir (Mulliner, 2012). İdeal bir satın alınabilirlik değerlendirilmesi, hanelerin konut maliyetlerini düşürmek için ulaşım, kamu hizmetlerine erişim, sağlık ve güvenlik gibi konulardan feragat ederek oluşturdukları dengeyi açıklar (Dacquistto vd., 2006). Bu bulgulara rağmen, araştırmalar genellikle konut satın alımı değerlendirmesinde hane halkının konutlara harcadıkları paraya karşılık olarak aldıkları konutun konumu, mahalle özellikleri gibi konuların dikkate alınması gerekirken yalnızca ekonomik kriterleri dikkate alınmaktadır (Fisher vd., 2009).

2.2. Konut ve Sürdürülebilir Konut Alımı

İnsanca yaşamanın bir gereği olarak daha nitelikli, güvenli, dayanıklı, erişilebilir, ekonomik olarak karşılanabilir, temel sosyal ve teknik hizmetleri sağlanmış konut ve konut çevrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çerçevede konut, Anayasamızın 57. maddesinde de belirtildiği gibi bir sosyal ve ekonomik hak olarak ele alınmakta, çağdaş yaşam çevrelerinin oluşturulması ile birlikte değerlendirilmektedir. Birleşmiş Milletler 'in Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri kapsamında "2030'a kadar, herkesin yeterli, güvenli ve ekonomik olarak karşılanabilir konuta ve temel hizmetlere erişiminin sağlanması ile gelecek alanlarının iyileştirilmesi" hedeflenmektedir (www.unesco.org.tr, 2015). Kentlerde halen 980 milyon hanehalkının uygun konuta sahip olmadığı, buna 2030 yılına kadar 600 milyon hanehalkının da ekleneceği tahmin edilmektedir (www.unhabitat.org, 2016).

Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) TÜİK' e ait 2017 yılı verilerine göre Türkiye nüfusu; 80 milyon 810 bin 525 kişi iken 2018-2080 dönemi nüfus projeksiyonlarına göre; 2023'te 86 milyon 907 bin 367 olan nüfusun 2040 yılında 100 milyon 331 bin 233 kişiye ulaşması öngörülmektedir. Bu durumda 2020 yılı itibarıyla önümüzdeki 3 yıl içinde nüfusumuzun yaklaşık 3 milyon kişi daha artacağı tahmin edilmektedir (www.tuik.gov.tr, 2018). Bununla birlikte, ülkemizdeki nüfus artışı, iller ve bölgeler arasında yaşanan göçler, afet riski, konut stokunun niteliği gibi unsurlar konut ihtiyacını artırmaktadır. Diğer bir yandan Türkiye İstatistik Kurumu'nun Hanehalkı Tüketim Harcamaları 2017 verilerine göre Türkiye'de kurumsal olmayan nüfus içinde 6 milyon hane kiracı statüsündedir (www.emlak.haber7.com.tr, 2018).

2018 yılında yayınlanan Gelir ve Yaşam Koşulları Araştırması raporuna göre Türkiye'de konut sahipliği oranı yüzde 59 olarak belirlenmiştir (www.tuik.gov.tr, 2018). Bu nedenle Türkiye'de konut sahipliği halen düşük olarak değerlendirilmektedir. Konut sahipliği kapsamında sahip olunan konutların nitelikleri de dikkate alındığında özellikle düşük gelir gruplarının sahip olduğu konutların önemli bir bölümü ruhsatsız, altyapı ve temel hizmetlere erişimden yoksun veya asgari yaşam standartlarının altında bulunan konutlardan oluşmaktadır. Bu nedenle ekonomik olarak karşılanabilir konut kavramının önemi artmaktadır. Sağlık faktörünü dikkate alan, engellerin kaldırıldığı, güvenliğin ön planda olduğu ve çevreyle uyumlu konut alanlarının yaygınlaştırılması için yasal, idari ve finansal mekanizmaların güçlendirilmesi gerekmektedir. Düşük gelir grupları için konut üretimini desteklemek üzere iyileştirilmeler yapılması gerekliliği doğmaktadır. Kentsel gelişmişlik düzeyinin artırılması için daha yaşanabilir, ekonomik olarak karşılanabilir, dayanıklı, sürdürülebilir, tüm yaş ve gelir gruplarının ihtiyaçlarını karşılayan, insan odaklı konutu merkeze alan çevrelerin oluşturulması gerekmektedir.

Literatürde "housing affordability" olarak geçen Türkçe çalışmalarda "konut edinebilirliği" şeklinde anılan kavram bu çalışmada "konut satın alımı veya konut alım gücü" olarak geçecektir. Bazen konut satın almaya yeteneği olmak ile birbirinin yerine kullanılabilir olsa da, "uygun fiyatlı konut" terimi politika belirleyiciler tarafından, dar veya orta gelirli aileler için piyasa şartlarında ki düşük kirali konut veya düşük fiyatlı konutlara atıfta bulunmak için kullanılmaktadır (Whitehead, 2007). Konut politikaları konut ihtiyacı olanlar için iyi ve uygun fiyatlı konut sağlanması gibi hedefler barındırır. Konutun ekonomik kabul edildiği bir senaryoda konutun erişilebilir olması, hane halkı geliri ile o bölgede yer alan konut fiyatlarıyla belirlenir. Sunulan konutların, ortalama geliri olan insanlara düşük maliyetle ve taksitle karşılanması öngörülerek planlanmaktadır.

Türkiye'de ekonomik konut, kamu eliyle yapılan ve satılan, taksitler halinde ödemelerin yapıldığı ve taksitlerin bitimiyle özelleşen bir konut sağlama biçimine evrilmiştir. Bu konutlar özellikle alt ve orta gelir grubundan başlayarak her kesime hitap edebilen bir yelpaze ile sunulmuş ve sunulmaktadır.

Literatür analizi, satın alınabilirliğin nasıl tanımlanması ve ölçülmesi gerektiği konusunda akademisyenler ve uzmanlar arasında fikir birliği bulunmadığını ortaya koymaktadır. Linneman ve Megbolugbe'e (1992) göre uygun fiyatlı konutun doğru bir şekilde tanımlanmasının belirsiz olduğu vurgulanmaktadır. Dahası, Bramley'ye göre (1994) uygunluk tanımının net olmaması konutun karşılanabilirliğindeki belirsizlikleri yansıtmaktadır. Bu kaygılar ön plana çıktıktan sonra on yılı aşkın bir süredir Stone hem akademik hem de politika çevrelerinin uygun fiyatlı kavramıyla çeliştiği sonucuna varmıştır. Bununla birlikte, terim hala uluslararası alanda çoğunlukla anlamı pek dikkate alınmadan kullanılmaktadır. Buna göre konut karşılanabilirliği kavramının yerel, bölgesel, ulusal ve uluslararası seviyelerde akademik ve politik ortamlar tarafından önerilen konut tanımlarına ilişkin birçok farklı tanımı vardır (Linneman vd., 1992; Bramley, 1994; Stone, 2006). Birleşik Krallıkta konutta ekonomiklik konusunda resmi bir tanım bulunmamakla birlikte, Birleşik Krallık hükümetleri sıklıkla, satın alınabilirlik göstergesi olarak alt çeyrekteki ev fiyatlarının alt çeyrekteki kazançlara oranına değinmektedir (McCord vd., 2011; Mulliner, 2012).

Topluluklar ve Yerel Yönetimler Dairesi'nin Stratejik Konut Piyasası Değerlendirmeleri Uygulama Kılavuzu'na göre, konut sahibi olunması ancak tek haneli olmayan hane halkı için hane halkı yıllık brüt gelirin 3,5 katına, tek haneli hane halkı için hane halkı

yıllık brüt gelirinin 2,9 katına mal olması halinde uygun kabul edilebilmektedir (www.gov.uk, 2007). Ayrıca, hane halkının kiraladığı konut için ödenmesi gereken yıllık kira bedeli yıllık brüt gelirin yüzde 25'inden fazlasını oluşturmamalıdır (Whitehead vd., 2009). Avustralya ve Yeni Zelanda'da kişi başına düşen milli gelirin yüzde 40'ının altında yaşayan hane halkı için konut maliyeti brüt gelirinin yüzde 30'unu aştığı durumda uygun fiyatlılık konusu endişe yaratmaktadır (Stone vd., 2011). Ayrıca uygun fiyatlılık tamamen konut maliyetleri ve gelir hesaplamaları ile ilgili değildir. Konut edinme aynı zamanda konut sahipliğini koruma ve temel ihtiyaçları karşılamak için yeterli kalıcı gelir elde etme becerisini de içermektedir (www.wellington.govt.nz, 2005). Kanada'da gelirinin yüzde 30'undan fazlasını konutta harcayan aileler çekirdek konut ihtiyacına sahip aileler olarak kabul edilip tespit edilmeye çalışılmıştır (Gabriel vd., 2005).

Konut satın alabilme kriterleri, konut fiyatının gelire oranı gibi konutun finansal yüküne odaklanmaktadır (Whitehead, 1991). Konut satın alınabilirliği kavramı iki farklı şekilde ölçülebilir. Bunlardan ilki hane halkı geliri ile konut maliyetleri arasındaki ilişkiyi, ikincisi konut maliyetleri karşılandıktan sonra kalan gelir ile konut standartları ve konut dışı tüketim konularını değerlendirmektedir (Mulliner, 2012). İdeal bir satın alınabilirlik değerlendirmesi, hanelerin konut maliyetlerini düşürmek için ulaşım, kamu hizmetlerine erişim, sağlık ve güvenlik gibi konulardan feragat ederek oluşturdukları dengeyi açıklamaktadır (Belsky vd., 2005). Buna rağmen, araştırmalarda genellikle hane halkının konuta harcadığı paraya karşılık olarak konutun konumu, çevre özellikleri, faaliyetlere erişim gibi konuların dikkate alınması gerekirken yalnızca ekonomik kriterler dikkate alınmaktadır (Fisher, 2009). Diğer bir taraftan; konut herkes için temel bir gereklilik olmakla birlikte tek başına konut sahibi olmak iyi bir yaşam kalitesi sağlamak için yeterli olmamaktadır. Konut sahibi olmak, hane halkı refahını, hissedilen değer duygusunu, aileye ve topluma olan bağları pozitif yönde etkilemektedir. İş imkânlarının yoksunluğu, güvenlik endişesi ve temel hizmetlere erişimin kısıtlı olması hane halkının hayat kalitesini düşürmektedir. Kaliteli eğitime, iyi sağlık kuruluşlarına ve iş alanlarına daha kolay erişim sağlayan konutlarda ikamet etmek daha fazla fayda sağlama olasılığını arttırmaktadır. Konutun çevresi ve çevre imkânları yaşam kalitesinin önemli belirleyicileri olarak kabul edilmektedir.

Sürdürülebilir konut çevreleri için yedi anahtar bileşen tespit edilmiştir. Bunlar yönetim, ulaşım, hizmetlere erişim, çevre, ekonomi, sosyal ve kültürel yapıları konut çevreleridir. Bunlara ek olarak kapsayıcı, güvenli, etkin, çevreye duyarlı, iyi gelişen, bağlantılı, tasarlanmış ve herkes için adil hizmet sunulmalıdır (Mulliner, 2012). Ekonomik, sosyal ve çevresel faktörler olan daha uygun fiyatlı konut, işyerlerine daha iyi erişim, tasarruflu işletmeler, ulaşımında daha kısa mesafeler, daha verimli binalar, hava ve su temizleyicilerinin varlığı, geliştirilmiş sağlık hizmetleri, gelişmiş ekonomik rekabet gücü ve büyüme hızı, daha iyi çalışma imkânları ve daha kaliteli bir yaşam sürdürülebilir gelişimin faydalarını vurgular (Pollard, 2010). Satın alınabilirlik değerlendirmesinde çelişkili çok sayıda faktörün varlığı göz önüne alındığında çok kriterli karar verme yöntemleri uygun görülmüş ve bu çalışmada kullanılmıştır (www.gov.uk, 2007).

2.3. Çok Kriterli Karar Verme

Yöneticiler doğası gereği farklı problemler karşısında alternatif kümeleri arasından seçim yapma zorluğunu çekmektedirler. Uygun alternatifin seçilmesi başarı seviyesini doğrudan etkilemektedir. Bu süreçte klasik yaklaşımlarla kararın verilmesi kriter sayısının fazla olması, çelişmesi vb. nedenlerle işe yarar ve uygulanabilir sonuçların elde edilmesi daha da zorlaşmaktadır. ÇKKV metodlarının farklı uygulamalarda fazlaca görülmesi bu sebeptir (www.community-wealth.org, 2006).

ÇKKV; karar verici pozisyonundaki bireylerin/grupların belirli alternatif kümesi içinden çok sayıda(birden fazla) kıstası baz alarak yaptıkları seçim işlemidir (Saaty, 2005). Birbiriyle çelişebilen seçim kriterleri kullanılarak değerlendirme sonucu en uygun alternatifin seçilme işidir (Pomerol vd., 2000). Birden fazla olası durum içinden çeşitli değerlendirme kriterleri dikkate alınarak yürütülen sonuçta diğer adaylara nazaran iyi olan alternatifi seçme metodudur (Bozbura vd, 2007).

Kriter ağırlıklandırma verileri ile çelişen kriterlere sahip karmaşık problemlerde çok kriterli karar verme yöntemleri çözüm sunmaktadır. Kriter, alt kriter ve alternatif setinin belirlenmesinden sonra bunlarla ilgili değerlendirmeler alınır ve ağırlıklandırmalar yapılır. Alternatiflerin her birinin kriterler bazında değerlendirilmeleri sonucunda ağırlıkları elde edilir. Tüm bu kriter ağırlıkları, alternatiflerin ağırlıkları ve değerleri sistematik şekilde sürece dahil edilerek skorları hesaplanır. Yapılacak duyarlılık analizleri ile sonuçlar yorumlanır.

ÇKKV yaklaşımı iki gruba ayrılmıştır. İlki; problemin niteliklerinin(kriterlerin) puanlanması, alternatiflerin değerlendirme sürecine girmesi ve aralarında iyi olanın ortaya konmasıdır ve çok nitelikli karar verme problemi olarak adlandırılmaktadır. Diğeri ise çok amaçlı karar verme problemidir ve farklı amaçlara dayalı olarak en uygun alternatifin seçimidir. Her iki karar verme problemiyle bireysel ya da grup bazlı karar verme problemi olarak karşılaşılabilmektedir (Karaatlı vd., 2015; Phua vd., 2005).

Bu tip ÇKKV problem yapılarındaki analiz; kriter ve alternatiflerin tanımlanması, bu kriter ve alternatiflerin önem dereceleriyle birlikte ağırlıklandırılması ve sonrasında sıralama yapılarak sonuçların sayısal analiziyle sonlanmaktadır (Triantaphyllou, 2000). Karar vericinin yapılması gerekeni algıladığı ve karar durumunu netleştiren sinyaller süreçte kullanılan girdi veri setini oluşturmaktadır. Sonuçta metoda bağlı olarak sayısal sıralamaya sahip bir alternatif listesine ya da direkt en iyi çözüme ulaşılabilir.

ÇKKV probleminin açıklanması ve çözümünde aşağıdaki öğeler açıkça belirlenir:

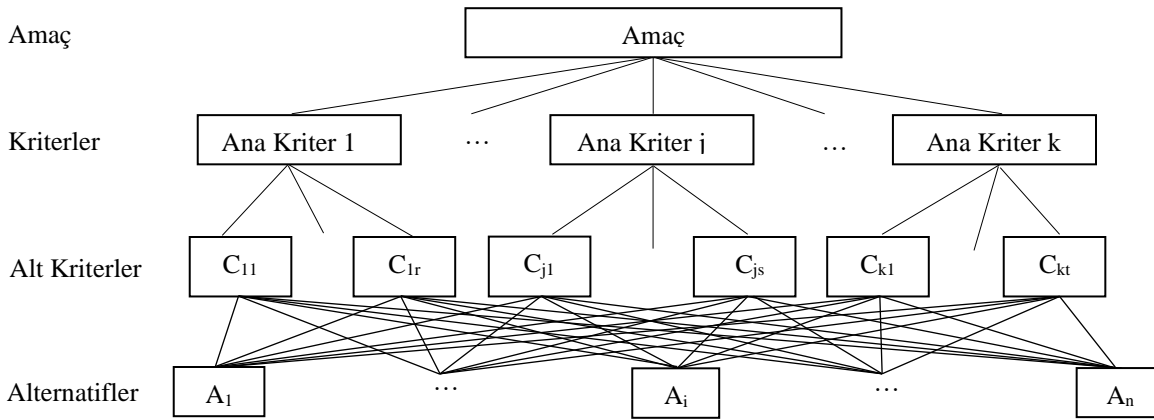
- Karar Verme Birimi veya Karar Vericinin kim ya da kimler olacağı,
- Bir Amaçlar/Kriterler kümesi ve Amaçlar (Kriterler)-Nitelikler arasındaki ilişkiler ve bunların hiyerarşik bir gösterimi,
- Uygun Alternatifler Kümesi,
X: x karar değişkeninin N boyutlu vektörlerinden oluşan örtük küme veya $A: \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_m\}$ açık - belirgin alternatifler (aksiyonlar) kümesi,
- Değerlendirme için uygun amaç fonksiyonları veya nitelikler kümesi, $F_j: f_1, f_2, \dots, f_n$ $X_j: x_1, x_2, \dots, x_n$
- Veri bir alternatif x için her bir kriterin değerleri, $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$ veya veri bir alternatif a_i için her bir kriterin değerleri (çıktılar veya sonuçlar); $X_j(a_i) = x_{ij}$
- Alternatifler kümesinin tanımı, karar değişkenlerinin ve niteliklerin türü, bunların ölçüm düzeyleri/ölçekleri, problemin doğal durumu, nedensel ve araç ile amaç ilişkilerinin türü,
- Karar kuralının ne olacağı veya karar vericinin tercih yargılarının modellenmesi için ihtiyaç duyulan bilgisinin türü,

Bir ÇKKV problemi matris formatında aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Stanujkic vd., 2013).

$$D = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ A_1 & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \end{bmatrix} \\ A_2 & \begin{bmatrix} x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \end{bmatrix} \\ \vdots & \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \\ A_m & \begin{bmatrix} x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1.1)$$

2.3.1. Düzeltilmiş ahp

Sıklıkla kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesini 1970'li yılların sonlarında L. Saaty geliştirilmiştir. Bu metod hiyerarşik bir yapı içinde kriterleri ortaya koymayı, temsilini sağlamayı ve çözülebilecek seviyeye indirgenmiş problem parçalarını ikili karşılaştırma mantığıyla çözen bir süreçtir [37]. Karmaşık karar problemlerini analiz etmek ve yapılandırmak için yoğun olarak kullanılmıştır. Şekil 1'de AHP'nin hiyerarşik yapısı yer almaktadır. AHP modelinin yapısı, ters bir ağaç modelidir. Ağacın tepesinde karar verme probleminin amacını temsil eden tek bir amaç, hemen altında hem niteliksel hem de niceliksel özellikleri belirten kriterler ve alt kriterler, en altta da alternatifler yer almaktadır [38].



Şekil 1. Hiyerarşik yapı

AHP metodu, karar kriterleri ile ilgili alternatifleri karşılaştırmak için ikili karşılaştırmaların kullanılmasına dayanmaktadır (Belton vd., 2002). Eğer kriter değerleri ve ağırlıklar doğrudan elde edilemezse, ikili karşılaştırmalara dayanan bir yöntem kullanılmalıdır. Bu durumda, kriter ağırlıkları AHP kullanılmadan uzman görüşüyle önceden belirlenmiştir. Bu çalışmada AHP'nin sadece son aşamaları, yani sayısal değerlerin işlenmesi gerekmiştir. AHP'deki son adım, alternatiflerin her kriter açısından göreceli önemini kullanarak bir $M \times N$ matrisinin oluşturulmasıdır (burada M alternatiflerin sayısı ve N kriterlerin sayısını ifade etmektedir.) (Triantaphyllou, 2000). AHP yöntemindeki temel fark, karar matrisinin değerlerinin "1"e normalleştirilmesidir.

Belton ve Gear orijinal AHP yönteminde bir sorun gözlemlenmiştir; mevcut olanla özdeş bir alternatif sunulduğunda AHP alternatiflerin sıralamasını tersine çevirebilmektedir. Bu nedenle revize edilmiş bir versiyon önermişlerdir; alternatiflerin göreceli değerlerinin bire kadar toplamına sahip olması yerine, her göreceli değer göreceli değerlerin maksimum değerine bölünmektedir (Neufville, 1995).

Düzeltilmiş AHP yöntemi iki farklı şekilde test edilmiştir. Düzeltilmiş AHP 1: Sadece değerlendirme içindeki fayda kriterleri değerlerini kullanmaktadır (Millet vd., 2005). Düzeltilmiş AHP 2: Hem fayda hem de maliyet kriterlerinin değerlerini kullanmaktadır.

Maliyetler, ilk matris içinde negatif ağırlıklar olarak dâhil edilerek analizde tutulmaktadır. Bunu yapmak için, maliyet kriterleri ağırlıkları “-1” ile çarpılmaktadır.

Her iki yaklaşımda da sonraki aşamalar aynı biçimde yapılmaktadır. Düzeltilmiş AHP 'nin normalizasyon prosedürü, her göreceli kriter değerinin, göreceli değerlerin maksimum olan değerine bölünmesini içermektedir. Daha sonra, normalize edilmiş her değer, ağırlığı ile çarpılmaktadır. Alternatif için nihai bir puan elde etmek amacıyla her alternatifin tüm normalize edilmiş ölçüt değerlerinin toplamı hesaplanır. En iyi alternatif (tüm kriterler maksimize edildiğinde), Eş. 1.2’de ki gibi gösterilir (Mulliner vd., 2016):

$$A *_{AHP} = \max_i \sum_{j=1}^N q_{ij} w_j \quad i = 1,2,3, \dots, M \text{ için} \quad (1.2)$$

2.3.2. Electre yöntemi

Roy (1977, 1978), karar vericilerin bulanık koşullardaki tercihlerini modellemek için açık ve net ilişkilerini genişleterek ELECTRE III' ü geliştirmiştir. $A = (a, b, c, \dots, n)$ bir dizi alternatif ve (g_1, g_2, \dots, g_m) ÇKKV probleminde kriterler kabul edildiğinde, $g_j(a_j)$, alternatif $a \in A$ 'nın g_j kriterindeki performansını veya değerlendirmesini temsil etmektedir (Tzeng vd., 2011).

Yöntem temelinde alternatiflerin belirli kriterlere uyumun eşik değerleriyle mukayese edildiği bir yapıyla ortaya konmuştur. Sonrasında yapılan çalışmalar neticesinde ihtiyaca binaen evrimleşmiş metod, alternatifleri sıralamak, gruplamak veya alternatiflerden seçim yapmak amacıyla türleri geliştirilmiştir. Enerji, finans, proje seçimi, ulaştırma, tarım ve askeriye gibi birçok alanda ELECTRE yönteminin uygulamaları mevcuttur (Atıcı vd., 2009).

ELECTRE yönteminin adımları aşağıdaki gibidir (Ertuğrul vd., 2010):

Adım 1. Karar matrisinin (A) oluşturulması:

Bu yöntemin ilk adımında karar matrisi oluşturulur. Karar matrisinin satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenen alternatifler, sütunlarında ise karar vermede kullanılacak kriterler yer alır. A matrisi karar verici tarafından oluşturulan başlangıç matrisidir ve Eş 1.3'teki gibi gösterilir:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & K & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & K & a_{2n} \\ M & M & M & M \\ a_{m1} & a_{m2} & K & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

A_{ij} matrisinde m alternatif sayısını, n değerlendirme faktörü sayısını verir.

Adım 2. Normalize karar matrisinin (X) oluşturulması:

Normalize Karar Matrisi, A matrisinin elemanlarından yararlanılarak hesaplanır. Maliyet ve fayda kriteri için farklı normalizasyon formülleri kullanılır. Maliyet kriteri için Eş.1.4 kullanılırken, fayda kriteri için Eş.1.5 kullanılır.

$$x_{ij} = \frac{\frac{1}{a_{ij}}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m \left(\frac{1}{a_{kj}}\right)^2}} \quad i=1,2,K,m \quad j=1,2,K,n \quad (1.4)$$

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad i=1,2,K,m \quad j=1,2,K,n \quad (1.5)$$

Hesaplamalar sonunda X matrisi Eş. 1.6’da gösterildiği gibi elde edilir:

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & K & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & K & x_{2n} \\ M & M & M & M \\ x_{m1} & x_{m2} & K & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

Adım 3. Ağırlıklı normalize karar matrisinin oluşturulması:

Değerlendirme faktörlerinin karar verici açısından önem dereceleri farklı olabilir. Bu önem farklılıklarını ELECTRE çözümüne yansıtılabilmek için Y matrisi hesaplanır. Karar verici öncelikle değerlendirme faktörlerinin ağırlıklarını (w_j) belirlemelidir. Daha

sonra normalize edilmiş X matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili w_i değeri ile çarpılarak ağırlıklı normalize matris (Y) oluşturulur. Ağırlıklı normalize matris (Y) Eş. 1.7’deki gibi ifade edilir:

$$Y_{ij} = \begin{bmatrix} w_1x_{11} & w_2x_{12} & K & w_nx_{1n} \\ w_1x_{21} & w_2x_{22} & K & w_nx_{2n} \\ M & M & M & M \\ w_1x_{m1} & w_2x_{m2} & K & w_nx_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

Adım 4. Uyum ve uyumsuzluk kümelerinin belirlenmesi:

Uyum kümelerinin belirlenebilmesi için Y matrisinden yararlanılır, karar noktaları birbirleriyle değerlendirme faktörleri açısından kıyaslanır. Her ikili alternatif kıyaslaması için kriterler iki ayrı kümeye ayrılır. A_p ve A_q (1,2,K ,m ve $p \neq q$) uyum kümesinde A_p ve A_q ’ya tercih edilir.

$$C(p, q) = \{j, v_{pj} \geq v_{qi}\} \quad (1.8)$$

A_p ve A_q ’dan daha kötü bir alternatif ise uyumsuzluk kümesi oluşturulur.

$$D(p, q) = \{j, v_{pj} < v_{qi}\} \quad (1.9)$$

ELECTRE yönteminde her uyum kümesine, bir uyumsuzluk kümesi karşılık gelir. Diğer bir deyişle uyum kümesi sayısı kadar uyumsuzluk kümesi sayısı vardır.

Adım 5. Uyum ve uyumsuzluk indekslerinin hesaplanması:

Uyum matrisinin (C) oluşturulması için uyum kümelerinden yararlanılır. C matrisinin elemanları Eş. 1.10’da gösterilen ilişki yardımıyla hesaplanır.

$$C_{pq} = \sum_{j^*} w_{j^*} \quad (1.10)$$

j^* uyum kümesi $C(p, q)$ da yer alan faktörlerdir. Örneğin $C_{12}=\{1,4\}$ ise C matrisinin C_{12} elemanının değeri, $C_{12}= w_1 + w_4$ olacaktır. C matrisi Eş. 1.11’de gösterildiği gibi ifade edilir:

$$C = \begin{bmatrix} - & c_{12} & c_{13} & K & c_{1m} \\ c_{21} & - & c_{23} & K & c_{2m} \\ M & & & & M \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} & K & - \end{bmatrix} \quad (1.11)$$

Uyumsuzluk matrisinin (D) elemanları ise Eş. 1.12’deki formül yardımıyla hesaplanır:

$$D_{pq} = \frac{(\sum_{j=0} |v_{pj}^0 - v_{qj}^0|)}{(\sum_{j=1} |v_{pj} - v_{qj}|)} \quad (1.12)$$

j^* uyumsuzluk kümesi $D(p, q)$ da yer alan faktörlerdir. D matrisi Eş. 1.13’te gösterilmiştir:

$$D = \begin{bmatrix} - & d_{12} & d_{13} & K & d_{1m} \\ d_{21} & - & d_{23} & K & d_{2m} \\ M & & & & M \\ d_{m1} & d_{m2} & d_{m3} & K & - \end{bmatrix} \quad (1.13)$$

Adım 6. Üstünlük karşılaştırmasının yapılması:

C ve D değerlerinin ortalamaları alınarak \underline{C} ve \underline{D} değerleri hesaplanır. Eğer $C_{pq} \geq \underline{C}$ ve $D_{pq} \leq \underline{D}$ ise $A_p \rightarrow A_q$ ’dir.

Yani p. birim q. birime göre üstündür. ELECTRE ile seçilen alternatiflerin Kernel (çekirdek) oluşturma durumları incelenir.

Adım 7. Net uyum ve uyumsuzluk indeksleri hesaplanması:

Net uyum (C_p) ve uyumsuzluk (D_p) indeksleri hesaplandıktan sonra, C_p değerleri büyükten küçüğe, D_p değerleri ise küçükten büyüğe sıralanır ve böylece nihai sıralama elde edilmiş olur.

$$C_p = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^m C_{pk} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^m C_{kp} \quad (1.14)$$

$$D_p = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^m D_{pk} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq p}}^m D_{kp} \quad (1.15)$$

2.3.3. Topsis yöntemi

TOPSIS, ideal alternatifin ideal çözümden en kısa mesafeye sahip olması gerektiği ve negatif ideal çözümden en uzak mesafeye sahip olması gerektiği düşünülerek bir ÇKKV problemine yaklaşmaktadır. TOPSIS hem maksimize etme (fayda) hem de minimize etme (maliyet) kriterlerine uygulanabilir (Zavadskas vd., 1994).

TOPSIS yöntemi 6 aşamadan oluşan bir hesaplama sürecine sahiptir. Bu aşamalar aşağıdaki şekilde açıklanmıştır (Bakır vd., 2018).

Aşama 1. Karar matrisinin normalleştirilmesi:

TOPSIS yönteminde öncelikle karar vericiler yardımıyla karar matrisi oluşturulur. Karar matrisinin satırlarında karar alternatifleri, sütunlarında ise problemde kullanılacak kriterler bulunmaktadır. Karar matrisi Eş. 1.16'daki gibi oluşturulur.

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.16)$$

A_{ij} matrisinde m karar alternatifi sayısını, n ise problemde yer alan kriter sayısını belirtir.

Aşama 2. Normalize edilmiş karar matrisinin (r) oluşturulması:

Normalize edilmiş karar matrisi, A matrisinin elemanları kullanılarak Eş.1.17 yardımıyla oluşturulur. Normalizasyon işlemi, verileri farklı birimlerden olma ihtimallerine karşın "0" ile "1" arasında standart bir değere kavuşturmayı amaçlamaktadır.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}} \quad (i = 1, 2, \dots, m \text{ ve } j = 1, 2, \dots, p) \quad (1.17)$$

Aşama 3. Ağırlıklı normalize karar matrisinin (v) oluşturulması:

Bu aşama da normalize edilmiş karar matrisi kriterlere ilişkin önem katsayıları (w_i) ile çarpılır ve ağırlıklandırma işlemi yapılır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken w_i değerlerinin toplamının "1"i vermesidir. Eş.1.18 yardımıyla oluşturulan v matrisi aşağıdaki gibidir.

$$v_{ij} = r_{ij} \cdot w_{ij} \quad (1.18)$$

Aşama 4. Pozitif ideal (A^+) ve negatif ideal (A^-) çözümlerin elde edilmesi:

TOPSIS yönteminin temelini oluşturan pozitif ideal çözüme yakınlık ve negatif ideal çözüme uzaklık koşuluna ulaşılması için öncelikle bu değerlerin elde edilmesi gerekir. Çözümlerin elde edilmesinde ağırlıklandırılmış karar matrisi değerleri referans alınır. Pozitif ideal çözümün elde edilmesinde V matrisinin sütun değerlerinin en yükseği (ilgili ölçüt maliyet yönlü ise en düşüğü), negatif ideal çözümün elde edilmesinde ise sütun değerlerinin en düşüğü (ilgili ölçüt fayda yönlü ise en yükseği) seçilir. Pozitif ideal ve negatif ideal çözümlerin belirlenmesinde Eş.1.19 ve Eş.1.20 kullanılır.

- Pozitif ideal çözüm için:

$$A^+ = \{(max_i v_{ij} \mid j \in J), (min_i v_{ij} \mid j \in J')\} \quad (1.19)$$

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\}$$

- Negatif ideal çözüm için:

$$A^- = \{(min_i v_{ij} | j \in J), (max_i v_{ij} | j \in J')\} \quad (1.20)$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

Yukarıda bulunan her iki formülde de fayda ve maliyet değerini göstermektedir. Hem pozitif ideal çözüm kümesi hem de negatif ideal çözüm kümesi değerlendirme faktörü sayısı olan m elemandan oluşmaktadır.

Aşama 5. Ayırım ölçülerinin hesaplanması:

Yöntemde en uygun alternatifin belirlenmesinde her bir karar alternatifinin pozitif ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına olan uzaklığına bakılmaktadır. Bu uzaklık değerleri Öklidyen uzaklık yardımıyla elde edilirken pozitif ideal çözüme uzaklık S_i^+ ve negatif ideal çözüme uzaklık S_i^- olarak adlandırılır. Pozitif ideal çözüme uzaklık değerinin (S_i^+) hesaplanması için Eş.1.21 kullanılırken, negatif ideal çözüme uzaklık değerinin (S_i^-) hesaplanması için ise Eş.1.22 kullanılmaktadır.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (1.21)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (1.22)$$

Bu adımda hesaplanan (S_i^+) ve (S_i^-) değeri, karar alternatifi sayısı kadardır.

Aşama 6. İdeal çözüme görece yakınlık değerinin hesaplanması:

Her bir karar alternatifinin ideal çözüme görece uzaklığının hesaplanması C_i^+ işleminde pozitif ideal çözüme uzaklık (S_i^+) ve negatif ideal çözüme uzaklık (S_i^-) değerlerinden yararlanılmaktadır. C_i^+ değerinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (1.23)$$

Bu adımda hesaplanan değeri C_i^+ "0" ile "1" arasında bir değer almakla birlikte $C_i^+=1$ karar alternatifinin pozitif ideal çözüme, $C_i^+=0$ ise alternatifinin negatif ideal çözüme olan mutlak yakınlığını göstermektedir. TOPSIS yönteminde son olarak elde edilen değerler büyükten küçüğe doğru sıralanarak karar alternatiflerinin performansları değerlendirilir.

2.3.4. Copras yöntemi

Çok kriterli karar verme yöntemi olan COPRAS (Complex PROportional ASsessment) yöntemi Zavadskas ve Kaklauskas (1996) tarafından Vilnius Gediminas Teknik Üniversitesindeki araştırmaları sonucunda alternatiflerin seçiminde etkili bir yöntem olarak literatüre kazandırılmıştır. COPRAS, hem fayda hem de maliyet kriterlerinin değerlendirilmesine izin vermektedir. Pozitif ve negatif kriterler normalize edilir böylece farklı ölçüm birimleri kullanılabilir ve karşılaştırılabilir.

COPRAS yöntemi, karmaşık kriterler ve çok sayıda alternatif içeren problemlere kolaylıkla uygulanabilmektedir. Bu yöntem karmaşık süreçleri nicel çok ölçütlü yöntemlerle değerlendiren uzmanlar tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin; farklı şehir/ilçelerde konut satın alınabilirliklerinin değerlendirilmesinde (Mulliner vd., 2012), ülkelerin yaşanabilirlik düzeylerinin karşılaştırılmasında (Şahin vd., 2017). vb. birçok literatür çalışmasında COPRAS yöntemi kullanılmıştır.

COPRAS yönteminin aşamaları aşağıdaki gibi sıralanmaktadır (Sarıçalı vd., 2016; Kaklauskas vd., 2010; Özdağolu, 2013).

Modeldeki değişkenler;

$$A_i = i'nci \text{ alternatif} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$K_j = j'nci \text{ değerlendirme ölçütü} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$W_j = j'nci \text{ değerlendirme ölçütünün önem düzeyi} \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$X_{ij} = j'nci \text{ değerlendirme ölçütü açısından } i. \text{ alternatifin değeridir.}$$

Adım 1: Öncelikle Eşitlik 1.24'te görüldüğü gibi karar matrisi oluşturulur. D ile gösterilen karar matrisi x_{ij} değerlerinden oluşmaktadır.

$$D = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \cdot & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \cdot & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \cdot & x_{3n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \cdot & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1.24)$$

Adım 2: Daha sonra, Eşitlik 1.25 yardımıyla karar matrisi normalize edilmiş karar matrisine dönüştürülür.

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (1.25)$$

Adım 3: Her bir değerlendirme kriterinin ağırlık değeri (w_j) ile normalize edilmiş karar matrisi kullanılarak, D' olarak simgelenen ve d_{ij} elemanlarını içeren ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi oluşturulur. Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi oluşturma işlemi Eşitlik 1.26 yardımıyla yapılır.

$$D' = d_{ij} = x_{ij}^* \cdot w_j \quad (1.26)$$

Adım 4: Faydalı kriterler, amaca ulaşmada daha yüksek değerlerin daha iyi durumu gösterdiği kriterleri ifade etmekte iken, faydasız kriterler amaca ulaşmada daha düşük değerlerin daha iyi durumu gösterdiği kriterleri ifade etmektedir (Özdağoğlu, 2013). Faydalı kriterler ve faydasız kriterler için ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı hesaplanır. Faydalı kriterler için ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı S_{i+} , faydasız kriterler için ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisindeki değerlerin toplamı S_{i-} olarak gösterilir. S_{i+} ve S_{i-} değerlerinin hesaplanması sırasıyla Eş. 1.27 ve Eş. 1.28'de görülmektedir.

$$S_{i+} = \sum_{j=1}^k d_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, k \quad \text{faydalı kriterler} \quad (1.27)$$

$$S_{i-} = \sum_{j=k+1}^n d_{ij} \quad j = k + 1, k + 2, \dots, n \quad \text{faydasız kriterler} \quad (1.28)$$

Adım 5: Her alternatif için Q_i olarak simgelenen göreceli önem değeri Eş. 1.29 kullanılarak hesaplanır.

$$Q_i = S_i + \frac{\sum_{i=1}^m S_{i-}}{S_{i-} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (1.29)$$

En yüksek göreceli önem değeri en iyi alternatifi gösterecektir.

Adım 6: En yüksek göreceli öncelik değeri Eş.1.30 yardımıyla bulunur.

$$Q_{max} = \text{en büyük}\{Q_i\} \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (1.30)$$

Adım 7: Her bir alternatif için P_i olarak simgelenen performans indeksi Eş. 1.31 kullanılarak hesaplanır.

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} \cdot 100\% \quad (1.31)$$

P_i olarak simgelenen performans indeksi 100 olan alternatif en iyi alternatiftir. Alternatiflerin tercih sıralaması performans indeks değerlerinin büyükten küçüğe doğru sıralanmış halidir.

3. Uygulama

Sürdürülebilir konut alım gücü ile ilgili literatür araştırmasında uygulayıcıların değerlendirmelerini birbirinden farklı pek çok kriter ile yaptığı gözlemlenmiştir. Bu konudaki standartların ülkeler arasında farklılık göstermesi nesnel kriterler belirlemeyi zorlaştırmaktadır. Bu konuda kriter sayısının fazlalığı ve bunların birbirleri ile çelişkili durumlar arz etmesi uygulamayı çok kriterli karar verme yöntemleri ile analiz edilebilir kılmaktadır.

Uygulamada TÜİK Konut Satış İstatistikleri verileri ışığında Türkiye'de nüfus ve konut talebinin en yoğun olduğu beş il seçilmiş olup bu iller için sürdürülebilir konut alınabilirliğine dair kriterler belirlenerek farklı çok kriterli karar verme teknikleri uygulanmıştır. Ülkemizde konut sektöründe hizmet vermekte olan kamu personeli ve çeşitli derneklerde görev alan uzmanlar ile yapılan görüşmeler neticesinde sürdürülebilir konut satın alımını etkileyen kriterler belirlenmiş ve bu doğrultuda alternatif iller üzerinde uygulama yapılması kararı alınmıştır. Yapılan literatür taraması sonucunda gelirle ilişkili ev fiyatları, gelirle ilişkili kira maliyetleri, istihdama ulaşılabilirlik, suç oranı, alt yapı hizmetleri, sosyal yaşama erişim, çevre sorunları, okullara ulaşılabilirlik, sağlık hizmetlerine erişilebilirlik ve faiz olmak üzere on ana kriter belirlenmiştir.

Veri toplama, kriter seçimi ve analiz sürecinde Mulliner, Malys ve Maliene (2016) “Sürdürülebilir konut satın alınabilirliğinin değerlendirilmesi için ÇKKV yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi” ile Mulliner, Smallbone ve Maliene (2012) “Sürdürülebilir uygun konut maliyetliliğinin ÇKKV yöntemi kullanılarak değerlendirilmesi” makalelerinde yer alan yaklaşımdan faydalanılmıştır [2,5]. Yurtdışında bir bölge için gerçekleştirilen Mulliner, Malys ve Maliene (2016) çalışmalarından farklı olarak Türkiye örneği ele alınmış ve öncelik sırası belirlenen kriterler revize edilerek farklı analitik algoritmalarla senaryo üreten bir yapı ortaya konarak özgünlüğü pekiştirilmiştir.

Veri toplama işlemi aşağıdaki aşamaları içermektedir:

- Sürdürülebilir konut alma gücü kriterlerini tanımlama: Literatür araştırmaları ve uzman görüşlerine göre toplamda on tane sürdürülebilir konut alım gücü değerlendirme kriteri tanımlanmıştır. Seçilen kriterler Tablo 1’de gösterilmektedir.
- Kriter ağırlıklarını belirleme: Uzmanlara yapılan anket değerlendirmesiyle Tablo 2’de gösterildiği gibi her bir kriterin ağırlığı tanımlanmıştır.
- Değerlendirme için karar alternatiflerinin seçimi: Sürdürülebilir konut alım gücünün değerlendirilmesi için farklı bölgelerdeki şehirler alternatif olarak ele alınmıştır. Seçilen iller Şekil 2’de gösterilmektedir.
- Her alternatif için kriter değerlerini hesaplama
- Karar verme matrisini oluşturma

Kriterleri ağırlıklandırmak ve doğrulamak için iki aşamalı bir yaklaşım benimsenmiştir. Başlangıçta sürdürülebilir konut alma gücünü tanımlamak için bir literatür taraması ve TOKİ’ de konunun uzmanlarıyla görüşmeler yapılmıştır. Bu görüşmeler ve literatür taraması neticesinde toplam 10 kriter tespit edilmiştir. Tablo 1’de kriterler yer almaktadır. Daha sonra anket yoluyla kriterler ağırlıklandırılmıştır. Anket çalışması karar verme yetkisine sahip ve stratejik planların hazırlık sürecine dahil olan yönetim kademesini, süreçle ilintili derneklerde görev alan ve bahsedilen yaşam döngüsü içerisinde olan taktik seviyedeki yönetici vasfında olan kişilere yapılmıştır.

Tablo 1. Kriterler ve açıklamaları

Kriterler	Açıklama
Gelirle İlişkili Ev Fiyatları	Konut maliyetleri ve hane halkı geliri konut alım gücünü tanımlamada anahtar kelimelerdir (Robinson vd., 2006). Konut alım gücü sıklıkla hane halkı geliri ve konut satın alma maliyeti arasındaki ilişkiyle açıklanır (www.gov.uk , 2007; Whitehead vd., 2009). Gelirle ilişkili ev kiralama veya satın alma maliyeti konuta erişilebilirliği doğrudan etkilemektedir. Kiralama fiyatının gelire oranının daha yüksek olması bazı hane halkının konuta erişilebilirliğinin daha az olmasına neden olmaktadır.
Gelirle İlişkili Kira Maliyetleri	
İstihdama Ulaşılabilirlik	İstihdam fırsatlarının olması bir alanın iyi bir yaşam alanı olması ve sürdürülebilir toplumlar oluşturmayı desteklemek için çok önemli bir faktördür (Fisher vd., 2009; https://services.swale.gov.uk , 2005). Bir bölgedeki mevcut istihdam seviyesi ödenen ücretlerin seviyesini belirlemekte ve hane halkının görev süresini, konutun büyüklüğünü ve lokasyonunu etkilemektedir (Whitehead vd., 2009).
Suç Oranı	Emniyet, bir alanı iyi bir yaşam alanı olmasını sağlayan en önemli faktör olarak tanımlanmaktadır. Yüksek suç oranları hane halkının evin içinde ve dışında kendini savunmasız hissetmesine neden olabilir ve konut alımı üzerinde olumsuz etkisi olabilir. Yüksek suç oranlarının olduğu yerlerde yaşayan hane halkı, düşük suç oranlarının olduğu yerlerde yaşayan hane halkı ile karşılaştırıldığında güvenlik ve emniyet konularında kazançlarının daha fazlasını harcama ihtiyacı duyarlar. Sürdürülebilir konut için güvenli bir çevrede yaşanmalıdır (Winston, 2010).
Alt Yapı Hizmetleri	Refah düzeyi yüksek toplumlar oluşturmak için yaşanabilir alanları oluşturmada iyi ulaşım/alt yapı hizmetlerine erişim temel bir göstergedir. Zengin alt yapı/ulaşım hizmetlerinin varlığı hane halkının net geliri üzerinde pozitif etkisi vardır (www.community-wealth.org , 2006; Pollard, 2010).
Sosyal Yaşama Erişim	Hem yetişkinler hem de çocuklar için sağlıklı yaşam stilini destekleyen aktivitelere katılmak ve boş zamanlarını geçirebilecekleri alanlara erişim sağlamak hane halkı için önemli bir faktördür.
Çevre Sorunları	Yeterli konut uygun çevre kalitesini gerektirir (www.wascorporation.it , 2004). Sürdürülebilir kalkınma, konutların temiz çevrelere sahip cazibe merkezi haline gelen yerleşimlerde bulunmasını gerektirir (www.gov.uk , 2007; Winston, 2010).

Tablo 1 (devam). Kriterler ve açıklamaları

Kriterler	Açıklama
Okullara Ulaşabilirlik	Başarılı ve sürdürülebilir toplumlar için iyi yaşam çevrelerinin göstergelerinden biri de iyi okullara daha kolay erişebilmektir (www.gov.uk, 2007; https://services.swale.gov.uk, 2005). İyi okullara erişim kişilerin bir bölgede yaşamaya karar vermesinde karakteristik bir öneme sahiptir (Fisher vd., 2009; www.mae.co.uk, 2005; Zhu vd., 2006). İyi bir eğitime erişim kişilerin gelecekteki bakış açısını ve yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir.
Sağlık Hizmetlerine Erişilebilirlik	Konutun lokasyonu düşünüldüğünde potansiyel konut satın alanlar için sağlık hizmetlerine erişim önemli bir faktördür (Zhu vd., 2006). Sağlık hizmetlerine erişilebilirlik, sürdürülebilir toplumlar ve iyi yaşam alanları oluşturabilmeyi destekleyen önemli bir faktördür (www.gov.uk, 2007; https://services.swale.gov.uk, 2005).
Faiz	Faiz oranları konut satın almada anahtar rol oynamaktadır (Yates vd., 2007). Faiz oranları ve kredi ödemeleri hane halkının tasarruf oranını doğrudan etkiler ve gelecekteki konut için yaptıkları harcamaları arttırır (www.thinkhouse.org.uk, 2010).

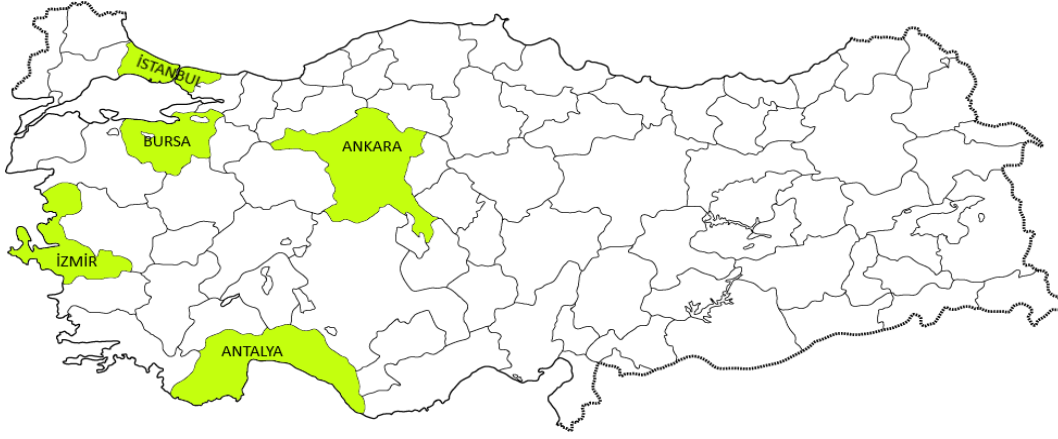
Kriterler 1-10 arası skala ile değerlendirilmiş olup 1 değeri “önemsiz” olarak, 10 değeri ise “en önemli” olarak nitelendirilmiştir. Anket yöntemiyle elde edilen önem dereceleri ve kriterler ağırlıkları Tablo 2’de gösterilmiştir. Kriter ağırlıklandırılmasında aritmetik ortalama kullanılmıştır. Ardından veri yapısının tanınması amacıyla medyan değeri bulunup standart sapması hesaplanmıştır. Her bir kriter için bulunan aritmetik ortalamaların toplamı bulunmuş ve kriter ağırlıkları bu yolla hesaplanmıştır.

Gelirle ilişkili ev fiyatları kriteri için yapılan anket sonucunda toplanan değerlendirmelerin aritmetik ortalaması alınarak 9,4 değeri bulunmuştur. Gelirle ilişkili ev fiyatları kriterinin medyan değeri 9’dur. Ardından standart sapması hesaplanmış olup 0,628 değeri bulunmuştur. Her bir kriterin aritmetik ortalaması toplandığında 77,4 değeri bulunmuştur. Ardından ortalama değeri 9,4 ortalamaların toplam değerine 77,5 bölünüp 0,1212 değeri bulunmuştur.

Tablo 2. Kriterlerin ağırlıkları ve ortalama değerleri

Kriterler	Ortalama	Kriterlerin Ağırlıkları (%)
Gelirle İlişkili Ev Fiyatları	9,4	12,12
Gelirle İlişkili Kira Maliyetleri	7,5	9,66
İstihdama Ulaşabilirlik	6,8	8,79
Suç Oranı	8,4	10,79
Alt Yapı Hizmetlerinin Varlığı	7,3	9,4
Sosyal Yaşama Erişim	7,4	9,53
Çevre Sorunlarının Varlığı	6,8	8,82
Okullara Ulaşabilirlik	7,2	9,31
Sağlık Hizmetlerine Erişilebilirlik	8,5	10,95
Faiz	8,2	10,63
Toplam	77,5	100

Ülkemizde nüfus ve konut talebinin en yoğun olduğu beş şehir İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa ve Antalya’dır. Alternatif olarak farklı bölgelerde yer alan bu şehirler değerlendirme için seçilmiştir. Çalışmada bu illerin seçilmesinin temel nedenleri; nüfusun ve konut talebinin fazlalığı olmakla beraber bu illerin büyükşehir olması, seçilen kriterlerin ortak analiz edilebilirliği ve veriye ulaşımın daha kolay olması göz önünde bulundurulmuştur. Birinci alternatif; Ankara, ikinci alternatif; İstanbul, üçüncü alternatif; İzmir, dördüncü alternatif; Bursa, beşinci alternatif; Antalya’dır. Alternatifler Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Seçilen alternatif illerin gösterilmesi

Seçilen kriterlerden bazılarının açıklamaları ve hesaplamaları aşağıda yer almaktadır.

1. Kriter / Gelirle İlişkili Konut Fiyatları: Bu kriter ortalama konut fiyatının gelire oranı baz alınarak oluşturulmuştur. Bu oran hanehalkı gelirin ortalama ev fiyatına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Tamamına ulaşılabildiği nedeniyle alınan 2014 TÜİK verilerine göre İstanbul için ortalama gelir 43.645,16 TL iken Ankara için gelir 36.679,67 TL'dir. Stratejik planlamada kullanılacak olması, çalışmanın zamanlaması ve vizyon oluşturmak amacıyla gerçekleştirilmesi nedeniyle anlık veriye ulaşılamamanın etkisi göz ardı edilmiştir. Ev fiyatlarından kast edilen dar ve orta gelirli vatandaşlar için yapılan sosyal konutların ortalama değeridir. Bu kriter için alternatiflere göre hesaplanan değerler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Gelirle ilişkili ev fiyatları

İller	Ev fiyatları (TL)	Hanehalkı Geliri (TL)	Ev fiyatı/Gelir
Ankara	119.729	36.679,67	3,26
İstanbul	193.007	43.645,16	4,42
İzmir	118.055	31.178,66	3,79
Bursa	124.663	29.946,39	4,16
Antalya	95.410	29.692,54	3,21
Ortalama			3,77

2. Kriter / Gelirle İlişkili Kira Fiyatları: Ortalama kira fiyatlarının hanehalkı gelirine oranı baz alınmıştır. TÜİK verilerine göre İstanbul için 2014 yılı hanehalkı aylık geliri 3.637,10 TL iken ortalama aylık kira bedeli 795 TL olup aylık kira bedeli aylık hanehalkı gelirin %21,86'sını oluşturmaktadır. Bu kriter için alternatiflere göre hesaplanan değerler Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Gelirle ilişkili kira fiyatları

İller	Hanehalkı Yıllık Geliri (TL)	Hanehalkı Aylık Geliri (TL)	Aylık Ortalama Kira Bedeli (TL)	Yüzde Değer
Ankara	36.679,67	3.056,64	552	18,06
İstanbul	43.645,16	3.637,10	795	21,86
İzmir	31.178,66	2.598,22	662	25,48
Bursa	29.946,39	2.495,53	473	18,95
Antalya	29.692,54	2.474,38	491	19,84
Ortalama				20,84

3. Kriter / İstihdama Ulaşılabilirlik: İş yerlerine toplu taşıma araçlarıyla ulaşım süreleri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede Moovit uygulamasının verileri esas alınmıştır. Bu verilerdeki her 10 dakikalık ilave süre bir kısıtlım olarak değerlendirmeye alınmıştır. En kısa ulaşım süresi 62 dakika, en uzun ulaşım süresi ise 91 dakika olup 62-71, 72-81 ve 82-91 süreleri skorlandırılmıştır. Tablo 5'te işyerine olan ulaşım süresiyle ilişkili skor değerleri yer almaktadır.

Tablo 5. İşyerine ulaşım süresi ile ilişkili skorlar

Ulaşım süresi	İlgili Skor
İşyerine toplu taşıma araçları ile 82-91 dakikada ulaşım	1
İşyerine toplu taşıma araçları ile 72-81 dakikada ulaşım	2
İşyerine toplu taşıma araçları ile 62-71 dakikada ulaşım	3

Alternatiflere göre işyerine ulaşımında geçen süreler ve skorlar Tablo 6'da yer almaktadır ve görüldüğü üzere işyerlerine erişim için geçen sürenin en fazla olduğu il 91 dakika ile İstanbul'dur. Bu ile 1 skor derecesi verilmiştir. Bu ili 71 dakika ile Ankara, 63 dakika ile Antalya, 62 dakika ile İzmir ve Bursa illeri izlemektedir. Bu illere de ulaşım sürelerine karşılık gelen skor dereceleri verilmiştir.

Tablo 6. İllere göre işyerlerine erişim için geçen süre

İller	İşyerlerine Ulaşımında Geçen Süre (dak.)	Skor
Ankara	71	2
İstanbul	91	1
İzmir	62	3
Bursa	62	3
Antalya	63	3

Tablo 7'de gösterilen matris sürdürülebilir konut alma gücünü belirleyen, kriter ağırlıklarını, karar alternatiflerini ve her bir alternatif için kriter değerlerini göstermektedir. Matris oluşturulduktan sonra değerlere uygun karar verme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada seçilen beş alternatif il için ÇKKV yöntemlerinden düzeltilmiş AHP, COPRAS, TOPSIS ve ELECTRE yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalı değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 7. Çok kriterli karar verme için başlangıç matrisi

Kriterler	z	Ölçme Değerleri	Alternatifler					
			Ağırlıklar	Ankara (A ₁)	İstanbul (A ₂)	İzmir (A ₃)	Bursa (A ₄)	Antalya (A ₅)
Gelirle İlişkili Ev Fiyatları	-	Oran	12,12	3,26	4,42	3,79	4,16	3,21
Gelirle İlişkili Kira Maliyetleri	+	%	9,66	18,06	21,86	25,48	18,95	19,84
İstihdama Ulaşılabilirlik	+	Skor	8,79	2	3	1	1	1
Suç Oranı	-	Skor	10,79	2	1	2	5	1
Alt Yapı Hizmetlerinin Varlığı	+	Skor	9,40	5	5	5	4	4
Sosyal Yaşama Erişim	+	Skor	9,53	4	4	4	4	2
Çevre Sorunlarının Varlığı	-	Skor	8,82	2	4	4	4	4
Okullara Ulaşılabilirlik	+	Skor	9,31	4	2	4	4	4
Sağlık Hizmetlerine Erişilebilirlik	+	Skor	10,95	4	4	4	4	4
Faiz	+	Skor	10,63	1	1	1	1	1

3.1. Copras Yöntemi Kullanılarak Sürdürülebilir Konut Alım Gücünün Değerlendirilmesi

Her türlü karar verme durumu için çok sayıda ÇKKV metodu olmasına rağmen, tek bir yöntemin uygunluğundan söz etmek mümkün değildir. Bu nedenle, Guitouni ve Martel, uygun bir ÇKKV yöntemini seçmek için kavramsal bir çerçeve önermiştir (Guitouni vd., 1998). Belirli bir karar verme durumu için çeşitli metotların potansiyel olarak geçerli olabileceği kabul edilmekle birlikte her zaman bir tekniği diğerine tercih etmek için çok büyük bir sebep yoktur (Hajkowicz vd., 2008). Sürdürülebilir konut alım gücü değerlendirmesinde aşağıda yer alan bir dizi faktör nedeniyle COPRAS'ın uygun bir yöntem olacağı değerlendirilmektedir. Bu faktörler;

- Yöntem şeffaftır ve kullanımı kolaydır. AHP ve TOPSIS gibi diğer ÇKKV yöntemlerine göre hesaplama süresi düşüktür (Chatterjee vd., 2011). Bu nedenle, bu yöntem kolaylıkla benimsenebilir.
- COPRAS alternatiflere tam bir sıralama sağlar,
- Yöntemde hem nicel hem de nitel kriterler ele alınabilir,
- COPRAS, ayrı ayrı değerlendirilebilecek hem pozitif (maksimize eden) hem de negatif (minimize eden) değerlendirme kriterlerini açıklayabilme yeteneğine sahiptir,
- Diğer mevcut ÇKKV yöntemlerine göre COPRAS yöntemini üstün kılan önemli bir özellik; alternatiflerin fayda derecesini tahmin edebilmek ve yüzdesel olarak gösterebilmek ve bir alternatifin karşılaştırmaya alınan diğer alternatiflerden ne oranda daha iyi ya da daha kötü olduğunu açıklayabilmesidir,
- COPRAS yöntemi, planlama ve sürdürülebilirlik ile ilgili problemlere sıklıkla ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır (Mulliner vd., 2012).

Uygulamada yer alan COPRAS metodu 5 adımdan oluşmaktadır.

1. Adım: Çok kriterli karar verme yöntemlerinin ilk adımı olan karar matrisinin normalleştirilme işlemi gerçekleştirilir. Bunun için Tablo 7' de verilen başlangıç matrisi kullanılarak normalleştirilmiş karar matrisi oluşturulmuştur.

Normalize karar matrisinde yer alan gelirle ilişkili ev fiyatları kriterinin A_1 alternatifinin değerini bulmak için; başlangıç matrisinde yer alan değerler kullanılır.

$$A_1 \text{ kriteri için; } 3,26/(3,26+4,42+3,76+4,16+3,21)=0,173$$

Tablo 8. Normalize karar matrisi

Kriterler	z	Alternatifler				
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Gelirle İlişkili Ev Fiyatları	-	0,173	0,235	0,201	0,221	0,170
Gelirle İlişkili Kira Maliyetleri	+	0,173	0,210	0,245	0,182	0,190
İstihdama Ulaşabilirlik	+	0,250	0,375	0,125	0,125	0,125
Suç Oranı	-	0,182	0,091	0,182	0,455	0,091
Alt Yapı Hizmetlerinin Varlığı	+	0,217	0,217	0,217	0,174	0,174
Sosyal Yaşama Erişim	+	0,222	0,222	0,222	0,222	0,111
Çevre Sorunlarının Varlığı	-	0,111	0,222	0,222	0,222	0,222
Okullara Ulaşabilirlik	+	0,222	0,111	0,222	0,222	0,222
Sağlık Hizmetlerine Erişilebilirlik	+	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Faiz	+	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200

2. Adım: Tablo 8'de verilen normalleştirilmiş karar matrisi her bir kriterin anketlerle elde edilmiş ağırlıkları ile çarpılarak Tablo 9'da verilen ağırlıklı normalize karar matrisi oluşturulmuştur.

Tablo 9. Ağırlıklı normalize karar matrisi

Kriterler	z	Alternatifler				
		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Gelirle İlişkili Ev Fiyatları	-	2,10	2,84	2,43	2,68	2,07
Gelirle İlişkili Kira Maliyetleri	+	1,67	2,03	2,36	1,76	1,84
İstihdama Ulaşabilirlik	+	2,20	3,30	1,10	1,10	1,10
Suç Oranı	-	1,96	0,98	1,96	4,91	0,98
Alt Yapı Hizmetlerinin Varlığı	+	2,04	2,04	2,04	1,64	1,64
Sosyal Yaşama Erişim	+	2,12	2,12	2,12	2,12	1,06
Çevre Sorunlarının Varlığı	-	0,98	1,96	1,96	1,96	1,96
Okullara Ulaşabilirlik	+	2,07	1,03	2,07	2,07	2,07
Sağlık Hizmetlerine Erişilebilirlik	+	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19
Faiz	+	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13

Ağırlıklı normalize karar matrisinde yer alan A₁ alternatifi için gelirle ilişkili ev fiyatı değeri için başlangıç matrisinde yer alan değeri kullanılarak;

$$3,26 * (12,12 / (3,26+4,42+3,79+4,16+3,21)) = 2.10 \text{ değeri bulunmuştur.}$$

3. Adım: Ağırlıklı normalize edilmiş karar matrisi kullanılarak pozitif kriterler S_j⁺ ve negatif kriterler S_j⁻ değerleri her bir alternatif için hesaplanmış olup Tablo 10'da gösterilmiştir.

$$S_j^+ \text{ değerleri toplamı: } 1,67+2,20+2,04+2,12+2,07+2,19+2,13=14,42$$

$$S_j^- \text{ değerleri toplamı: } 2,10+1,96+0,98=5,04$$

4. Adım: Daha önceki adımda hesaplanmış olan S_j değerleri kullanılarak alternatif yerleşim alanlarının önceliklendirilmesinin yapılabilmesi için Q_j değeri hesaplanmıştır. Bu durumda en uygun alternatifi Q_{max} değerinin yüksek olması gerekmektedir. Tablo 10'da yer alan Q_j değerleri karşılaştırıldığında en yüksek Q_j değerlerinin sırasıyla A₁, A₂, A₃, A₅ ve A₄ olduğu görülmektedir.

Tablo 10. COPRAS değerlendirme sonucu

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
S _j ⁺	14,42	14,84	14,01	12,99	12,02
S _j ⁻	5,04	5,78	6,36	9,54	5,01
Q _j	21,97	21,42	20	16,98	19,62
Öncelik	1	2	3	5	4
N _j	100	97	91	77	89

5. Adım: Son aşama, sürdürülebilir konut satın alınabilirliğini en iyi şekilde karşılayan alternatifi belirlemesidir. Analiz edilen alternatifi önceliğinin artması/azalması ile birlikte fayda derecesi de artar/azalır. Proje fayda derecesi, analiz edilen her alternatifi en etkili olan alternatif ile karşılaştırılması ile belirlenir. %100'e eşit en yüksek N_j fayda derecesi olan yerleşim bölgesi sürdürülebilir konut alım gücü kriterlerine göre en uygun yerleşim yeri olarak ifade edilir. Değerlendirilen alternatiflerle ilgili tüm fayda değerleri en kötü veya en iyi alternatif arasında ve %0 - %100 aralığında değişmektedir (Mulliner vd., 2012). Bu değerlendirmede N_j değeri en yüksek olan alternatif yerleşim yeri A₁ olarak ifade edilen Ankara ili olarak belirlenmiştir.

3.2. Düzeltilmiş AHP Yöntemi Kullanılarak Sürdürülebilir Konut Alım Gücünün Değerlendirilmesi

Bu kısımda sadece düzeltilmiş AHP'nin son aşamaları olan sayısal değerlerin hesaplanması yapılmıştır. Başlangıç matrisi olarak ÇKKV'de daha önce oluşturulan çizelge kullanılmıştır (Bkz. Tablo 7). Bu yöntemde hem pozitif hem de negatif değerler dikkate alınmıştır. Negatif kriterler başlangıç matrisine negatif ağırlıklar olarak dâhil edilmiştir. Bunu yapmak için negatif değerler -1 ile çarpılarak pozitif değerlere dönüştürülmüştür. Negatif kriterleri pozitif değerlere dönüştürerek oluşturulan başlangıç matrisi Tablo 11'de verilmiştir.

Pozitive dönüştürülmüş başlangıç matrisinde yer alan suç oranı kriteri için A₁ alternatif değerinin bulunması için;

Başlangıç matrisinde yer alan suç oranı satırında yer alan değerlerin maksimumu ve minimumu seçilir. Maksimum için seçilen değer 5'tir. Minimum için ise 1'dir.

$$\text{Mak}(2,1,2,2,5,1)= 5$$

$$\text{Min}(2,1,2,2,5,1)= 1$$

Ardından en büyük ve en küçük değerler toplanır ve bulunan değerden başlangıç matris değeri "2" çıkarılır.

$$(5+1)-2=4$$

Tablo 11. Tüm kriterlerin pozitifte dönüştürüldüğü başlangıç matrisi

Kriterler	z	Ağırlıklar	Alternatifler				
			A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
Gelirle İlişkili Ev Fiyatları	-	0,121	4,37	3,21	3,85	3,47	4,42
Gelirle İlişkili Kira Maliyetleri	+	0,097	18,06	21,86	25,48	18,95	19,84
İstihdama Ulaşabilirlik	+	0,088	2	3	1	1	1
Suç Oranı	-	0,108	4	5	4	1	5
Alt Yapı Hizmetlerinin Varlığı	+	0,094	5	5	5	4	4
Sosyal Yaşama Erişim	+	0,095	4	4	4	4	2
Çevre Sorunlarının Varlığı	-	0,088	4	2	2	2	2
Okullara Ulaşabilirlik	+	0,093	4	2	4	4	4
Sağlık Hizmetlerine Erişilebilirlik	+	0,110	4	4	4	4	4
Faiz	+	0,106	1	1	1	1	1

Düzeltilmiş AHP'nin normalizasyon prosedürü her bir nispi kriter değerinin nispi kriter değerlerinin maksimumuna bölünmesini içerir. Böylece her satırdaki en büyük kriter değeri normalleştirilmiş matriste 1 puan elde etmiştir. Normalize matrisi Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Normalize edilmiş matris

Kriterler/Alternatifler	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
K1: Gelirle İlişkili Ev Fiyatları	0,99	0,73	0,87	0,79	1,00
K2: Gelirle İlişkili Kira Maliyetleri	0,71	0,86	1,00	0,74	0,78
K3: İstihdama Ulaşabilirlik	0,67	1,00	0,33	0,33	0,33
K4: Suç Oranı	0,8	1	0,8	0,2	1
K5: Alt Yapı Hizmetlerinin Varlığı	1	1	1	0,8	0,8
K6: Sosyal Yaşama Erişim	1	1	1	1	0,5
K7: Çevre Sorunlarının Varlığı	1	0,5	0,5	0,5	0,5
K8: Okullara Ulaşabilirlik	1	0,5	1	1	1
K9: Sağlık Hizmetlerine Erişilebilirlik	1	1	1	1	1
K10: Faiz	1	1	1	1	1

Elde edilen normalize edilmiş matris (Bkz. Tablo 12) kriter ağırlıkları ile çarpılarak en yüksek puana sahip alternatif bulunur. En yüksek puana sahip alternatif, alternatifler arasındaki en iyi seçenektir. Normalize edilmiş matrisin kriter ağırlıkları ile çarpılarak her bir alternatifin elde edilen puanı Tablo 13'te gösterilmektedir.

Tablo 13. Alternatiflerin sıralaması

	Ankara	İstanbul	İzmir	Bursa	Antalya
S _i	0,920	0,863	0,860	0,741	0,809
Sıralama	1	2	3	5	4

Düzeltilmiş AHP yönteminin sonucunda en iyi alternatifin S_i değeri en yüksek olan Ankara ili olduğu sonucuna varılmıştır. Ankara ilini 0,863 S_i değeri ile İstanbul izlemiştir. İstanbul'u 0,860 S_i değeri ile İzmir, 0,809 S_i değeri ile Antalya ili izlemiştir. En son sırayı 0,741 S_i değeri ile Bursa ili almıştır. Bu yöntem sonucunda sürdürülebilir konut alım gücü değerlendirmesinde Ankara ili ilk sırada yer almaktadır.

3.3. Topsis Yöntemi Kullanılarak Sürdürülebilir Konut Alım Gücünün Değerlendirilmesi

TOPSIS, karar matrisindeki her bir kriter değerinin kendi normuna bölündüğü kriter değerlerinin normleştirilmesi ile başlamaktadır. Norm, aralıktaki tüm özellik değerlerinin karelerinin toplamının karekökünü temsil eder. Ardından ağırlıklı normalize karar matrisini oluşturulmuştur. Bu, normalize edilmiş her bir matris değer r_{ij} 'nin atanan ağırlık W_j ile çarpılmasıyla elde edilir. Daha sonra pozitif-ideal / en iyi çözümden (A^*) ve negatif-ideal / en kötü (A^-) çözüm setleri oluşturulur. A^* seti için ağırlıklı normalize karar matrisinin her bir sütunundaki maksimum değer A^* için en küçük değer kullanılarak uzaklık belirlenir. İdeal noktaya en yakın seçenek en iyisidir (Mulliner vd., 2016).

SANNA, çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için MS Excel tabanlı eklenti uygulamasıdır. Çok kriterli karar problemlerini çeşitli yöntemlerle (Örneğin; WSA, TOPSIS, ELECTRE I ve III, PROMETHEE I ve II, ORESTE ve MAPPAC) çözmeyi sağlayan ücretsiz bir yazılımdır. SANNA 2014 100'e kadar alternatif ve 50 kritere kadar problemleri çözebilmektedir. Bu çalışmada SANNA Programı kullanılarak ve TOPSIS yöntemine göre problem çözülmüş olup elde edilen ağırlıklı normalize karar matrisi Şekil 3'de yer almaktadır.

	MIN	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX	MIN	MAX	MAX	MIN
	Gelirle ilişkil	Gelirle ilişkil	İstihdamı ulı Suç	Alt yapı hizm	Sosyal Yaşam	Çevre sorunl	Okullara ulaş	Sağlık hizmet	Faiz	
Ankara	0,04654	0,03715	0,04394	0,03648	0,04545	0,04623	0,02139	0,04514	0,04898	0,04754
İstanbul	0,06306	0,04496	0,06591	0,01824	0,04545	0,04623	0,04279	0,02257	0,04898	0,04754
İzmir	0,05399	0,05241	0,02197	0,03648	0,04545	0,04623	0,04279	0,04514	0,04898	0,04754
Bursa	0,05936	0,03898	0,02197	0,09121	0,03636	0,04623	0,04279	0,04514	0,04898	0,04754
Antalya	0,04582	0,04081	0,02197	0,01824	0,03636	0,02312	0,04279	0,04514	0,04898	0,04754
Vahy	0,12116	0,09661	0,08788	0,10792	0,09402	0,09532	0,08821	0,09305	0,10953	0,10630
İdeální	0,04582	0,05241	0,06591	0,01824	0,04545	0,04623	0,02139	0,04514	0,04898	0,04754
Bazální	0,06306	0,03715	0,02197	0,09121	0,03636	0,02312	0,04279	0,02257	0,04898	0,04754

Şekil 3. Ağırlıklı normalize karar matrisi ekran çıktısı

Şekil 3'de yer alan EXCEL programının Sanna eklentisi ile elde edilen pozitif ve negatif çözüme olan uzaklıklar kullanılarak alternatiflerin ideal çözüme göreceli yakınlıkları hesaplanmış ve alternatif sıralamaları bulunmuştur (Bkz. Şekil 4).

	d_i^+	d_i^-	c_i
Ankara	0,03239	0,07303	0,69279
İstanbul	0,03633	0,08907	0,71030
İzmir	0,05280	0,06660	0,55779
Bursa	0,09033	0,03257	0,26502
Antalya	0,05604	0,07838	0,58312

Şekil 4. Pozitif ideal ve negatif ideal çözüm vektörleri ekran çıktısı

Şekil 4'de görüldüğü gibi C_i değeri yüksek olan 2. alternatif olarak belirtilen İstanbul ili TOPSIS yöntemi tarafından en iyi alternatif olarak sunulurken Bursa ili ise en son sırada sunulan alternatif olmuştur.

3.4. Electre Yöntemi Kullanılarak Sürdürülebilir Konut Alım Gücünün Değerlendirilmesi

Diğer ÇKKV yöntemlerinde oluşturulan başlangıç matrisi (Bkz. Şekil 7) ELECTRE yönteminin sürdürülebilir konut alım gücünün değerlendirilmesinde de kullanılmıştır. Başlangıç matrisi EXCEL programının Sanna eklentisine girilerek ELECTRE III yönteminin uygulama sonucu elde edilmiştir. ELECTRE metoduna göre oluşturulan karşılaştırma matrisi Tablo 14'te yer almaktadır.

Tablo 14. Karşılaştırma matrisi

	Ankara	İstanbul	İzmir	Bursa	Antalya
Ankara	0,00000	0,30242	0,29725	0,49919	0,36543
İstanbul	0,29241	0,00000	0,19580	0,38643	0,37383
İzmir	0,09661	0,31082	0,00000	0,41971	0,28595
Bursa	0,09661	0,21422	0,00000	0,00000	0,09532
Antalya	0,32569	0,21422	0,22908	0,32569	0,00000

Karşılaştırma matrisi ve kriterlerin ağırlıkları kullanılarak elde edilen alternatiflerin uygunluk sıralamasını gösteren EXCEL Sanna çıktısı Şekil 5'te yer almaktadır. Programdan elde edilen sonuçlara göre ELECTRE III yönteminde Ankara ili alternatifler arasında en uygun il olarak belirlenirken Bursa ili ise sıralamada en sonda yer almaktadır.

İnd. Tşıda	Varianta
1.	Ankara
2.	İzmir
3.	İstanbul
4.	Antalya
5.	Bursa

Şekil 5. Sanna yazılımından elde edilen uygunluk sıralaması ekran çıktısı

3.5. Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmada dört farklı ÇKKV yöntemi olan; revize edilmiş AHP, TOPSIS, COPRAS ve ELECTRE için uygulamalar yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Yöntemlerin uygulanmasıyla elde edilen nihai sonuçlar Tablo 15'te gösterilmektedir.

Tablo 15. Farklı yöntemlere göre alternatiflerin puanları

Yöntem	Alternatifler				
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
COPRAS sıralama	21,97	21,42	20,00	16,98	19,62
	1	2	3	5	4
RAHP sıralama	0,9196	0,8625	0,8600	0,7414	0,8095
	1	2	3	5	4
TOPSIS sıralama	0,6928	0,7103	0,5578	0,2650	0,5831
	2	1	4	5	3
ELECTRE III sıralama	1	3	2	5	4

Farklı yöntemlere göre alternatiflerin sıralaması / öncelik sırası Tablo 16'da gösterilmektedir.

Uygulanan dört yöntemden COPRAS, RAHP ve ELECTRE III yöntemlerinde Ankara ili birinci sırada yer alırken sadece TOPSIS yönteminde İstanbul ili birinci sırada yer almıştır. Buna göre, tüm ÇKKV yöntemlerinde tutarlı bir şekilde en uygun alternatifin Ankara ili olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 16. Farklı yöntemlerle elde edilen alternatiflerin sıralaması

Sıralama	Yöntemler			
	COPRAS	RAHP	TOPSIS	ELECTRE III
1	A ₁	A ₁	A ₂	A ₁
2	A ₂	A ₂	A ₁	A ₃
3	A ₃	A ₃	A ₅	A ₂
4	A ₅	A ₅	A ₃	A ₅
5	A ₄	A ₄	A ₄	A ₄

Kullanılan tüm ÇKKV yöntemlerinde Bursa alternatifi ise 5. sırada yer alan il olmuştur. COPRAS ve RAHP yöntemleri değerlendirmeye alınan 5 alternatif için de aynı sıralama sonucunu vermiştir. ELECTRE III yöntemi ise değerlendirmeye alınan alternatiflerin (5 alternatif) %60 için COPRAS ve RAHP ile aynı sıralama sonucunu vermiştir. TOPSIS yöntemi alternatiflerin önceliklendirilmesi açısından uygulanan diğer yöntemlere göre en tutarsız olan sonucu vermiştir. TOPSIS yöntemi, diğer yöntemlerle sadece en kötü performans gösteren alternatifin Bursa ili olması konusunda benzerlik göstermiştir.

4. Sonuç

Çalışmada sürdürülebilir konut alımı hakkında kapsamlı bir değerlendirme için kriter seti oluşturmak ve bu kriterleri farklı ÇKKV yöntemleri ile test etmek amaçlanmıştır. Konut alımında temel olarak konut maliyeti, gelir ve faiz gibi ekonomik faktörlerin başrol oynadığı, ancak pek çok araştırmacının vurguladığı gibi sürdürülebilirlik ve kalite gibi daha geniş bir dizi faktör üzerinde de durulması gerektiği literatürde sıkça göze çarpmaktadır. Tek boyutlu olmayan konut satın alınabilirliği ile ilgili birden fazla unsurdan oluşan bir kombinasyonun, konu hakkında daha iyi fikir vereceği muhakkaktır. Bu kombinasyon içerisinde konutun lokasyonu, çeşitli hizmetlere ulaşım ve güvenlik kaygısı da yer almaktadır. Yapılan araştırmaların pek çoğunda satın alım gücünün ve sürdürülebilirliğin yakın işbirliği gerektiren önemli konular olduğu sonucuna varılmıştır.

Literatürde karşılaşılan ve konut uzmanları ile yapılan görüşmeler neticesinde konunun analiz edilebilirliğine en uygun on kriter, değerlendirme modelinin temeli olarak belirlenmiştir. Seçilen kriterler açısından sadece konut maliyetleri ve hane halkı gelirleri değil, aynı zamanda yaşamın sürdürülebilirliğini ve kalitesini sağlayan çok çeşitli ekonomik, çevresel ve sosyal etkiler de göz önünde bulundurulmuştur. Seçilen kriterler, konut uzmanlarıyla yapılan nicel araştırmalar yoluyla önem düzeylerini yansıtmak için ağırlıklandırılmıştır. Sürdürülebilir konut alımını belirleyen karar kriterlerinin çok sayıda ve çelişkili olması nedeniyle, değerlendirme modeli olarak ÇKKV yöntemleri seçilmiştir. Ayrıca bu seçimin yapılmasında kriterlerin çok boyutlu olması ve değişken önem derecelerinin dikkate alınmasına olanak sağlanması tercih sebebi olmuştur.

Barınma ihtiyacı olan konut, gelişen toplumlarda bu amacın ötesine geçerek sosyal yaşam alanı olarak evrilmiştir. Son dönemde ülkemizde de özellikle TOKİ önderliğinde yaşam kalitesinin ve dolayısıyla refah seviyesinin artırılması amacıyla sosyal konut projelerine hız verilmiştir. Yaşam alanlarının hızlı bir şekilde rehabilite edilmesi, göç ile oluşmuş çarpık kentleşmenin ve yüksek olan doğal afet riskinin bertaraf edilmesi noktasında önem arz etmektedir. Bu bağlamda sürdürülebilir konut, daha kaliteli sosyal yaşam alanlarının oluşması ve bu sayede toplumun refah düzeyinin hızla yükseltilmesi açısından değerlidir.

Yapılan çalışmada Türkiye’de sürdürülebilir konut alım gücünü değerlendirmesine yönelik bir bakış açısı sunulmaya çalışılmıştır. Örnek olayda beş il için değerlendirme yapılmış olup benzer değerlendirmeler farklı iller için de uygulanabilir. Vaka çalışması verileri; alternatif iller, ölçüt değerleri ve farklı iller için değiştirilerek tekrar analiz edilebilir. Kriterler sistemi de esnek, kriterler eklenebilir veya kaldırılabilir. Alternatif olarak, tarafların gereksinimlerine göre kriterlerin ağırlıklandırılması değiştirilebilir veya karar verme matrisinden çıkarılabilir. Bu nedenle bu değerlendirme farklı bakış açılarının ihtiyaçlarını karşılamak için de uygulanabilir.

Bu araştırma bulgularının, taraflara konut alım gücüne dair sürdürülebilirliğe ve kaliteye daha fazla odaklanma ile konuyu daha bütünsel değerlendirme imkânı sağlayacağı ümit edilmektedir. Çalışmanın konut alım gücü ve sürdürülebilirlik kavramlarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu katkılar;

- Sürdürülebilirlik kavramını ele alıp bağlantılar kurarak geleneksel satın alınabilirlik kavramına farklı bir boyut kazandırılmıştır. Bu çalışmada; konut satın alınabilirlik probleminin, hane halkının konutun maliyetini karşılama kabiliyetinden daha fazlasını içerdiğini belirtilmektedir. Hane halkı refahını etkileyen sorunların sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik konularıyla ilişkili olduğu ortaya konulmuştur.
- Bütünsel bir kriter kümesi kullanılarak sürdürülebilir alım gücü kavramını geliştirmek amaçlanmıştır. Değerlendirme, konut seçiminin ekonomik sonuçlarının yanı sıra sürdürülebilirlik ve refah ile ilgili nitel yönleri de dikkate almıştır. Bu nedenle, çalışma aynı zamanda konut satın alınabilirliğinin daha geniş tanımına da katkıda bulunmaktadır.

Sürdürülebilir konut satın alınabilirliğine dair farklı değerlendirilmeler, merkezi hükümetler, yerel makamlar, politika geliştiriciler ve karar alıcılar dahil olmak üzere ulusal ve uluslararası düzeyde ilgilenen birçok taraf için faydalı olacaktır. Ayrıca karar alıcılar veya tüketiciler, bu tür çalışmaların ürettiği sonuçlardan yararlanabileceklerdir.

Ortaya koyulan bu yaklaşımın, sürdürülebilir toplulukları ve haneler için yüksek yaşam kalitesini teşvik etmek için uygun fiyatlı konut gelişimini izlemeyi kolaylaştıracağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın esneklik seviyesinin yüksek olması geniş yelpazedeki konut politikası uygulamalarında da kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Üretilen sonuçlar, konut alıcılarının veya kiralayanların alternatif konut çevreleri/mahalleleri arasında seçim yaparken, farklı ihtiyaç ve tercihlerini en iyi şekilde yönlendirmeye yardımcı olarak, hanelerin karşılaştığı zorlukların üstesinden gelmesini sağlayacaktır.

Referanslar

Alkay, E. ve Övenç, G. (2019). Farklı Gelir Gruplarının Konut Satın Alabilirliğinde Bölgesel Farklılıkların İncelenmesi. Uluslararası Siyaset Bilimi ve Kentsel Araştırmalar Dergisi, 7(1), 259-284.

Atıcı, K. B. ve Ulucan, A. (2009). Enerji Projelerinin Değerlendirilmesi Sürecinde Çok Kriterli Karar Verme Yaklaşımları ve Türkiye Uygulamaları. Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 27(1), 161-186.

Bakır, M. ve Akan, Ş. (2018). Havaalanlarında Hizmet Kalitesinin Entropi ve TOPSIS Yöntemleri ile Değerlendirilmesi: Avrupa'nın En Yoğun Havaalanları Üzerine bir Uygulama. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 17(66), 632-651.

Belsky, E. S., Goodman, J. and Drew, R. (2005). Measuring the Nation's Rental Housing Affordability Problems. Joint Center for Housing Studies Harvard University, Boston, http://www.jchs.harvard.edu/publications/rental/rd05-1_measuring_rental_affordability05.pdf, (son erişim: 01.05.2019).

Belton, V. and Steward, T. (2002). Multiple Criteria Decision Analysis (First edition). Boston: Kluwer Academic Publishers, 5-12.

Belton, V. and Gear, T. (1983). On a Short-Coming of Saaty's Method of Analytic Hierarchies. Omega, 11(3), 228-230.

Bozbura, F. T., Beskese, A. and Kahraman, C. (2007). Prioritization of Human Capital Measurement Indicators Using Fuzzy AHP. Expert Systems with Applications, 32(4), 1100-1112.

Bramley, G. (1994). An Affordability Crisis in British Housing: Dimensions, Causes and Policy Impact. Housing Studies, 9(1), 103-124.

Chatterjee, P., Athawale, V.M. and Chakraborty, S. (2011). Materials Selection Using Complex Proportional Assessment and Evaluation of Mixed Data Methods. Materials and Design, 32(2011), 851-860

Communities and Local Government. (2007). Strategic housing market assessments practice guidance version 2; CLG. London, 1-63.

Commission for Architecture and the Built Environment. (2005). What home buyers want: Attitudes and decision making among consumers; CABE. London. 1-28.

Dacquisto, D. J. and Rodda, D.T. (2006). Housing Impact Analysis. U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research, 3, 1-20.

Emlak Haber (2018). Bedelsiz kiracı sayısı yüzde 220 arttı, 2018, <https://emlak.haber7.com/emlak/haber/2678739-bedelsiz-kiraci-sayisi-yuzde-220-artti/?detay=1> (erişim tarihi: 01.05.2020).

Ertuğrul, İ. ve Karakaşoğlu, N. (2010). Electre ve Bulanık AHP Yöntemleri ile Bir İşletme için Bilgisayar Seçimi. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 25(2), 23-41.

Fisher, L. M., Pollakowski, H. O. and Zabel, J. (2009). Amenity-Based Housing Affordability Indexes. Real Estate Economics, 37(4), 705-746.

Gabriel, M., Jacobs, K., Arthurson, K., Burke, T. and Yates, J. (2005). Conceptualising and Measuring the Housing Affordability Problem. Australian Housing and Urban Research Institute Research Paper I, 2, 1-71.

Guitouni, A. and Martel, J. M. (1998). Tentative Guidelines to Help Choosing an Appropriate MCDA Method. European Journal of Operational Research, 109(2), 501-521.

Hajkovicz, S. and Higgins, A. (2008). A Comparison of Multiple Criteria Analysis Techniques for Water Resource Management. European Journal of Operational Research, 184, 255-265.

Hancock, K.E. (1993). Can pay? Won't pay? or Economic Principles of Affordability. Urban Studies, 30(1), 127-145.

Housing New Zealand Corporation. (2005). Building the Future: New Zealand Housing Strategy. Wellington, April 2004. Wellington: Housing New Zealand Corporation, 1-86.

Kaklauskas, A., Zavadskas, E.K., Naimavicienė, J., Krutinis, M., Plakys, V. and Venskus, D. (2010). Model for a Complex Analysis of Intelligent Built Environment. Automation in Construction, 19(3), 326-340.

- Karaatlı, M., Ömürbek, N., Budak, İ. ve Dağ, O. (2015). Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Yaşanabilir İllerin Sıralanması. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 33, 215-228.
- Linneman, P. D. and Megbolugbe, I. F. (1992). Housing Affordability: Myth or Reality? Urban Studies, 29 (3-4), 369-392.
- McCord, M., McGreal, S., Berry, J., Haran, M. and Davis, P. (2011). The Implications of Mortgage Finance on Housing Market Affordability. International Journal of Housing Markets and Analysis, 4(4), 394 - 417.
- Millet, I. and Schoner, B. (2005). Incorporating Negative Values in to the Analytic Hierarchy Process. Computers and Operations Research, 32(12), 3163-3173.
- Mulliner E. (2012). A Model for the Complex Assessment of Sustainable Housing Affordability. Master's thesis, John Moores University, Liverpool, 1-164.
- Mulliner, E., Malys, N. and Maliene, V. (2016). Comparative Analysis of MCDM Methods for the Assessment of Sustainable Housing Affordability. Omega, 59, 146-156.
- Mulliner, E. and Maliene, V. (2013). Affordable Housing Policy and Practice in England. In: Hepperle E, Dixon-Gough R, Maliene V, Mansberger R, Paulsson J and Pödör A (Eds). Land management: Potential, Problems and Stumbling blocks . Eth Zürich, Switzerland: Vdf Hochschulverlag, 71(4), 267–277.
- Mulliner, E. and Maliene, V. (2015). An Analysis of Professional Perceptions of Criteria Contributing to Sustainable Housing Affordability. Sustainability, 7, 248–270.
- Mulliner, E., Smallbone, K. and Maliene V. (2012). An Assessment of Sustainable Housing Affordability Using a Multiple Criteria Decision Making Method, Omega, 41, 270-279.
- National Housing and Planning Advice Unit. (2010). Housing Affordability: A Fuller Picture, 10, 1-28.
- Neufville, R. (1995). Management of Multi-Airport Systems: A Development Strategy. Journal of Air Transport Management, 2(2), 99-110.
- Office of the Deputy Prime Minister. (2005). Sustainable Communities: People, Places and Prosperity. London, January 2005. The Stationery Office, 1-62.
- Özdağoğlu, A. (2013). İmalat İşletmeleri için Eksantrik Pres Alternatiflerinin Copras Yöntemi ile Karşılaştırılması. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Elektronik Dergisi, 8, 1-22.
- Phua, M. and Minowa, M. (2005). A GIS Based Multi-Criteria Decision Making Approach to Forest Conservation Planning at a Landscape Scale: A Case Study in the Kinabalu Area, Sabah, Malaysia. Landscape and Urban Planning, 71, 207–222.
- Pollard, T. (2010). Jobs, Transportation, and Affordable Housing: Connecting Home and Work. Southern Environmental Law Center, 3(1), 1-19
- Pomerol, J. C. and Romero, S. (2000). Multicriterion Decision in Management: Principles and Practice (First edition). Boston: Kluwer Academic Publishers, 11, 17.
- Robinson, M., Scobie, G. M. and Halinan, B. (2006). Affordability of Housing: Concepts, Measurement and Evidence. Working Paper, 6(3), 1-46.
- Saaty, T. L. (2005). Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs and Risks (Third edition). Pittsburgh: RWS Publications, 5-9.
- Sarıçalı, G. ve Kundakçı N. (2016). AHP ve COPRAS Yöntemleri ile Otel Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. International Review of Economics and Management, 4(1), 45–66.
- Stanujkic, D., Magdalinovic, N. and Jovanovic, R. (2013). A Multi Attribute Decision Making Model Based on Distance from Decision Maker's Preferences. Informatica, Vilnius University, 24(1), 103-118.

- Stone, M. E. (2006). Housing Affordability: One-Third of a Nation Shelter Poor. In: Bratt, R., Stone, M.E. and Hartman, C.A. Right To Housing: Foundation For A New Social Agenda. Philadelphia: Temple University Press, 38-60
- Stone, M., Burke, T. and Ralston, L. (2011). The Residual Income Approach to Housing Affordability: The Theory and the Practice. Australian Housing and Urban Research Institute Swinburne Monash Research Centre, 139, 1-90.
- Şahin, C. ve Öztel, A. (2017). Ülkelerin Yaşanabilirlik Düzeylerinin Copras Yöntemiyle Karşılaştırmalı Analizi: BRICS Ülkeleri ve Türkiye. Uluslararası Batı Karadeniz Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi, 1(1), 75-84.
- The Brookings Institution. (2006). The Affordability Index: A New Tool for Measuring the True Affordability of a Housing Choice. Washington, January 2006. Washington: The Brookings Institution: Urban Markets Initiative, 1-22.
- Triantaphyllou, E. (2000). Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study (44th edition). Boston: Springer, 5-21.
- Tscheikner-Gratl, F., Egger, P., Rauch, W. and Kleidorfer, M. (2017). Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods for Integrated Rehabilitation Prioritization. MDPI Journal Water, 9, 1-68.
- Tüik. (2018). Nüfus Projeksiyonları, 2018-2080. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30567> (erişim tarihi: 01.05.2020).
- Tüik. (2018). Gelir ve Yaşam Koşulları Araştırması, 2018. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30755> (erişim tarihi: 30.05.2020).
- Tzeng, G. H. and Huang, J. J. (2011). Multiple Attribute Decision Making Methods And Application (First edition). Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor and Francis Group, 69-93.
- Unesco. (2015). Sürdürülebilir Kalkınma 2030 Hedefleri, 108-219. <http://www.unesco.org.tr/Pages/108/219/S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir-Kalk%C4%B1nma-2030-Hedefleri-%C4%B0htisat-Komites> (erişim tarihi: 30.05.2020).
- United Nations. (2016). World Cities Report 2016: Urbanization and Development Emerging Futures; UN Habitat. Nairobi. 1-247.
- Whitehead, C. (1991). From Need to Affordability: Analysis of UK Housing Objectives. Urban Studies, 28(6), 871-887.
- Whitehead, C. (2007). Planning Policies and Affordable Housing: England as a Successful Case Study? Housing Studies, 22(1), 25-44.
- Whitehead, C., Monk, S., Clarke, A., Holmans, A. and Markkanen, S. (2009). Measuring Housing Affordability: A Review of Data Sources. Cambridge Centre for Housing and Planning Research, 1, 1-97.
- Winston, N. (2010). Regeneration for Sustainable Communities? Barriers to Implementing Sustainable Housing in Urban Areas. Sustainable Development, 18(6), 319-330.
- World Health Organisation. (2004, June). Review of Evidence on Housing and Health. Paper presented at the Fourth Ministerial Conference on Housing and Health, Budapest, Hungary.
- Yaldır, A. ve Özgür-Polat, L. (2016). Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri İle Elektronik Belge Yönetim Sistemi Seçimi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 8(14), 88-108.
- Yates, J. and Milligan, V. (2007). Housing Affordability: A 21st Century Problem. Final report, Melbourne, Australian Housing and Urban Research Institute, 5(2), 1-57.
- Zavadskas, E.K, Kaklauskas, A. and Sarka, V. (1994). The New Method of Multicriteria Complex Proportional Assessment of Projects. Technological and Economic Development of Economy , 1(3),131-139.
- Zavadskas, E. K. and Kaklauskas, A. (1996). Systemotechnical Evaluation of Buildings (Pastatų Sistemotechninis Įvertinimas). Vilnius: Technika, 280.
- Zhu, X., Liu, S. and Yeow, M. C. A. (2006). A GIS-Based Multi-Criteria Analysis Approach to Accessibility Analysis for Housing Development in Singapore. Applied GIS, Monash University Epress, 2(2), 1-13.



Implementation of Collaborative Multi-Robot System Carrying Cargos Autonomously

Emrah Budak¹ , Fecir Duran² , Meral Özarıslan Yatak³ , Raif Bayır⁴ 

¹UDEA Elektronik A.Ş., ODTÜ Teknokent Gümüş Bloklar K1-3, 06800, Ankara, TURKEY

²Gazi University, Technology Faculty, Department of Computer Engineering, 06560, Ankara, TURKEY

³Gazi University, Technology Faculty, Department of Electrical-Electronics Engineering, 06560, Ankara, TURKEY

⁴Karabuk University, Technology Faculty, Department of Mechatronics Engineering, , 78050, Karabuk, TURKEY

Başvuru/Received: 07/02/2020

Kabul / Accepted: 10/10/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Abstract

The paper presents implementation of collaborative multi-robot system for carrying cargo autonomously. Multi-robot systems are especially used to carry cargos to target place in the shortest way in the shortest duration by path planning. This system is composed of two robots called as Leader and Assistant. They sense the cargo with load cells on themselves and carry it to the target place. After determination of the cargo, if its weight is in the limits of the weights for Leader, it pushes the cargo by itself and Assistant waits on standby mode. If the cargo is higher than carrying capacity of Leader, Assistant is called and both push it to the target. Detecting cargos task is performed with a method similar to method of calculating fitness value. Carrying cargos task was performed by finding the shortest way with curve fitting algorithm. Carrying cargos with multi-robots by using curve fitting is the most practical solution. Consequently, reducing the route by 13.7% could be provided successfully by this algorithm instead of line following method and so energy saving was ensured. Task performance rate for carrying the cargo to the target place is achieved up to 90% for stand-alone and cooperative operation.

Keywords

“Multi-robot systems, path planning, curve fitting”

1. Introduction

Goods and cargos are transported in factory with autonomous mobile robots, avoiding obstacles and coordinating with group mates. An autonomous robot is a very important part in industries as automotive, military, electrical, mine, chemical, etc. It is evident that using autonomous robots in industry is quite widespread especially for increasing work safety, decreasing manpower and ensuring material safety (Berglund et al. 2010, Graetz and Michaels 2018, Kermorgant 2018, Özarlan Yatak et al. 2018, Prabuwno et al. 2008, Thor et al. 2015, Tominaga et al. 2017). Intelligent solutions in the field of intralogistics are required by the industrial production. Autonomous robots are adequate solution for a highly flexible, reliable and transparent material flow.

One of the ways of providing autonomy in robotics is the ability of the robot to correctly map an environment and to coordinate itself in that environment. This situation is called Simultaneous Localization and Mapping (SLAM). SLAM provides the ability to anticipate and represent its location in an environment. SLAM's performance depends on the accuracy of the environmental sensors and requires very high data processing and also communication between the robots. (Howard 2006, Koch et al. 2016, Marjovi and Marques 2011, Saeedi et al. 2011, Saeedi et al. 2015, Sun et al. 2008). SLAM is formed with some classes of algorithms such as applying Extended Kalman filter (EKF), parsing information matrices produced by generating a factor graph of observation interdependencies, camera tracking system, operating on image intensities. SLAM is employed especially for self-driving cars, planetary rovers, unmanned vehicles, and autonomous underwater vehicles.

Multi-robots are faster than a single one on complete mapping tasks and exploration. Multi-robots are designed to perform various tasks. They are often used for the places where human intervention is difficult, elimination, in large factories, storage centers, etc. (Adrian and Ribickis 2013, Hussein et al. 2014, Kim et al. 2016, Macwan et al. 2016, Madhu et al. 2017, Seçkin et al. 2019). Multi-robots can realize action as synchronously with data sharing and task sharing on account of communication techniques.

Path planning lets robots find optimal path between two points. Various path planning methods for the multi-robot systems have been studied to implement the task in a short time with high accuracy (Abdi et al. 2011, Alotaibi and Al-Rawi 2016, Behzad 2019, Ganeshmurthy and Suresh 2015, Nagy 2014, Nazarahari et al. 2019, Kim et al. 2016, Thabit and Mohades 2019). Task sharing and path planning should be done when multi-robots are used in dynamic environments and distributed geographical tasks. Curve fitting method was used by Gong and the others on the B-spline curve which was used for fitting the nodes to derive a smooth feasible path such that the kinematic constraints of vehicle are taken into consideration (Gong et al. 2017).

In this study, a multi-robot system was implemented for carrying cargos and goods. The robots worked in cooperation with each other and made path planning with curve fitting method. The robots communicated each other and the center with a wireless sensor area network designed by using mesh topology. The robots used curve fitting method to select the shortest distance with minimum power expenditure for completing the task. The robots could find a collision free path beside optimality of the path with this method. After the robot scanned the area and found the coordinates of the cargos, it went to the nearest cargo. If the cargo was light as Leader could carry, it could carry the cargo to the target by itself. If the weight was too heavy for Leader, it asked for help from Assistant by using decision algorithm. The route was reduced by 13.7% with curve fitting algorithm and so energy saving was ensured. This work can be transformed into robots to be used to carry cargos under the industrial 4.0 in factories.

2. Design and Implementation of Robots

Multi-robots called as Leader and Assistant work together to carry cargos and goods. The robots were implemented similarly and consisted of a microcontroller, 6 contrast sensors, 3 distance sensors, a load cell, 2 DC motors with encoder, a motor driver, and Xbee module. Block diagram of Leader and Assistant is shown in Figure 1. The contrast sensors are for following the lines on the floor. 3 distance sensors are at right, left and in front of the robots to detect the cargo and each robot. There is a load cell with capable of measuring maximum weight of 5 kg. The robots communicate with each other on XBee Module. The motor driver can drive two motors and support PWM signals up to 100 kHz. Rotation speed of the motors is 125 Revolutions per Minute (RPM). Power Management System is for supplying power for the modules.

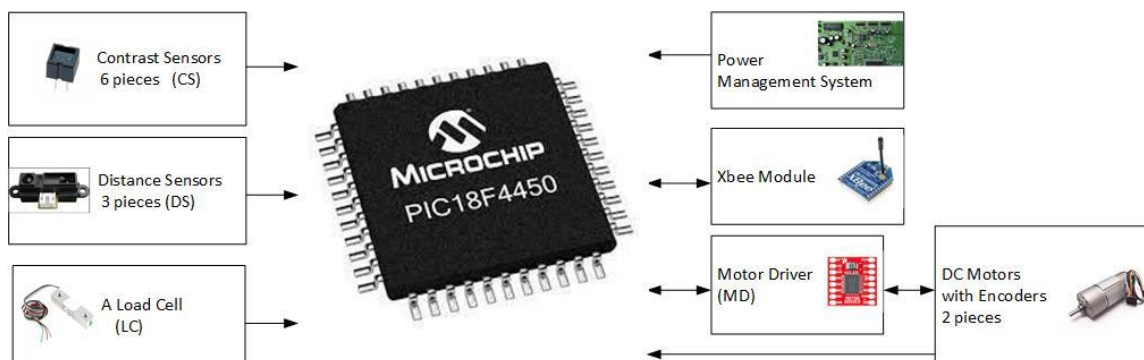


Figure 1. Block diagram of leader and assistant

ANKAKIT was designed and implemented for control of the robots. PIC18F4550 microcontroller was used on ANKAKIT. Motor driver (MD) card, serial communication module, regulator circuit, analogue reading card and pins of the contrast sensors were

placed on ANKAKIT. The robots used six CNY70 contrast sensors (CS) shown in Figure 2(a). GP2D120 distance sensors (DS) were used as shown in Figure 2(b). The load cell (LC) was used for decision algorithm of calling Assistant. If the cargo was too heavy for Leader, it called Assistant. As the load cell placed in front of the robot was in an upright position according to the ground, it measured applied thrust to the cargo and amplifying the voltage regulation formed after pushing the cargo was necessary to measure this thrust data (Figure 2b). INA125 instrumentation amplifier was used for amplifying.

Robot motion was realized with two DC motors. Voltage of the motors is 6 Volts and the no-load current is 90 mA. The motors have built-in encoder structure with 90° phase-shifted two internal outputs. XBee module was used for communication and it was preferred because it is a platform that provides data transfer to all users connected to the network by creating an RF network.

The mechanical parts of the robots were designed from 2,5 mm aluminum and 3 mm Plexiglas material and they were cut with laser. Solid work drawing of the robots can be seen from Figure 2c.

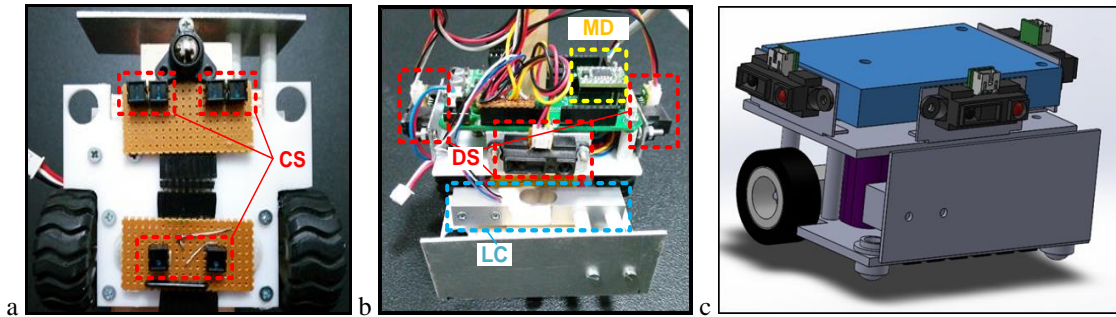


Figure 2. Implemented robot views. (a) Bottom view with the contrast sensors. (b) Top and front view with the load cell, the motor drive, and the distance sensors. (c) Solidworks drawing of the robot

3. Software Algorithms

Leader and Assistant Robots are desired to carry the cargo to the target in a short way with a high accuracy. The software of these two robots was coded differently. Line following, automatic angled rotations, line counting algorithms were the same, but the main algorithms were different in terms of tasks.

The task of carrying cargo is primarily Leader’s responsibility. If the cargo isn’t too heavy for Leader, Leader pushes it by itself, but if it is heavy, Leader calls Assistant. Firstly, Leader is starting to scan the area with data from computer. While the area is scanning, the coordinates of the cargos are determined and these coordinates are kept in memory. After the field scanning is finished, Leader turns 180° and goes to the calculated coordinates and tries to carry the cargo to the target by itself. Assistant waits outside of the area until help is asked by Leader. If the cargo is too heavy to carry, Assistant is called. Leader sends also data about the coordinate for coming of Assistant with the code for calling it. Assistant arrives at the coordinate of the cargo. The algorithm developed for Leader is shown in Figure 3.

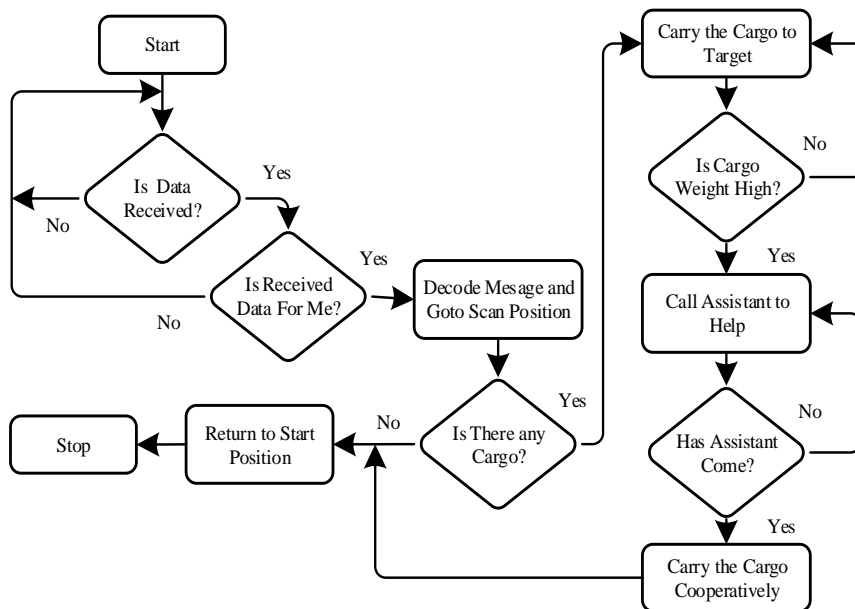


Figure 3. Flow chart of Leader’s software

Assistant reaches to the coordinate it has been called to, after it receives the call for help and sends this information to Leader. Assistant and Leader carry the cargo together until the robots receive the data that the cargo is carried to the target. After the cargo is transported to the target, the robots return to the starting point in turn. The algorithm of Assistant is shown in Figure 4.

PID controller was used for the functions of line following and path trip. PID coefficients and sampling time were different from each other. The line data from the contrast sensors were used for line following and calculation of total distance covered was used for path trip by counting the step with encoder. PID controller block diagram of the robots is as shown in Figure 5. There is a switch function to determine PID inputs (In_x and Ref_x) and constants (P_x , I_x and D_x). If the robot is switched to line following function, PID inputs become contrast sensors data and constants are updated to P_1 , I_1 , and D_1 . Otherwise PID inputs become encoders data and constants are updated to P_2 , I_2 , and D_2 .

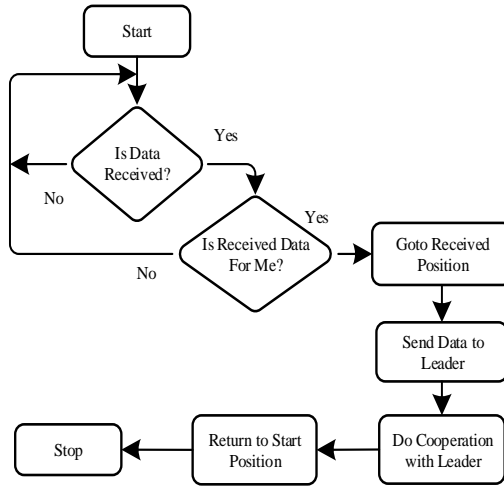


Figure 4. Flow chart of Assistant's software

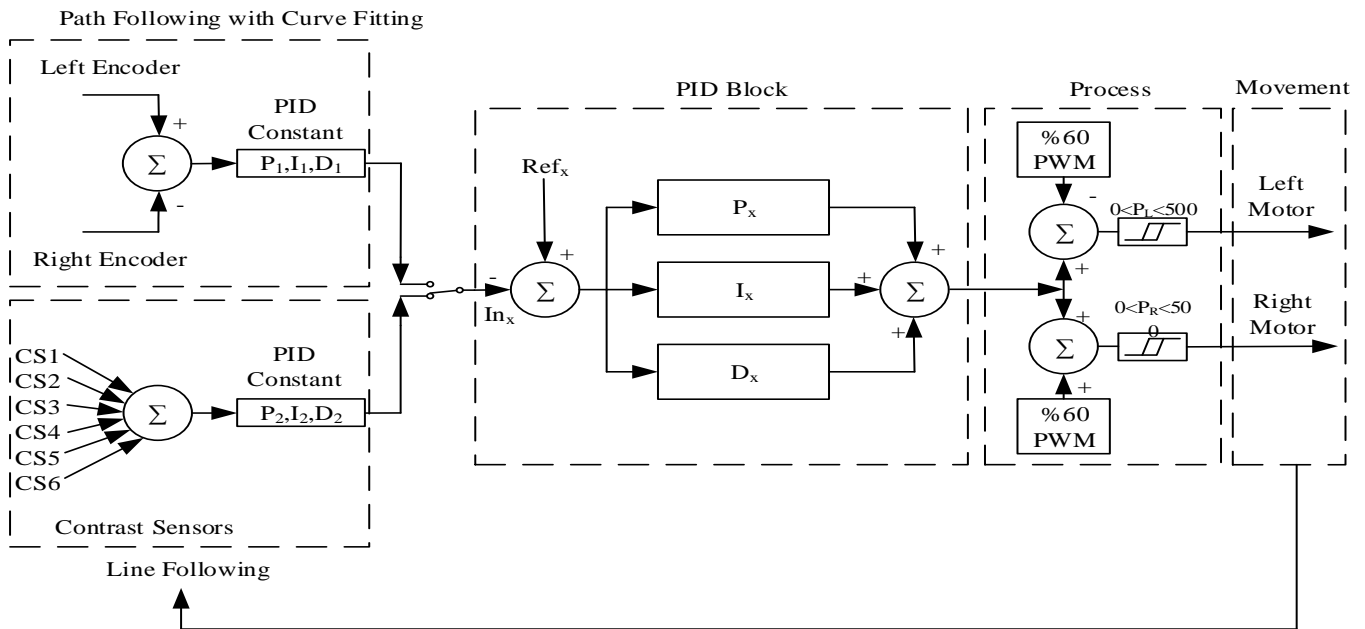


Figure 5. Robots PID block diagram for line following and path trip

Transmitter LED of the distance sensor has 30° optical faring angles and so, reflections of wide area come to the receiver of the sensor while the robot is moving. ADC of the microcontroller is set to 10 bit so as to minimize the errors. For calculation of the cargo coordinates, data from the distance sensors are looked at where they are collected on the platform.

An experimental setup was prepared for detecting the cargo place without error as shown in Figure 6. In this experiment, the sensor output values for the cargos placed at different points were recorded while the robot follows the line from -4 to +4 points on the y axis.

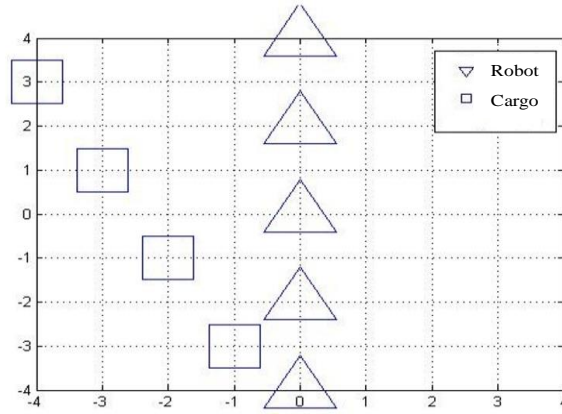


Figure 6. Cargo detection experimental setup

The obtained sensor data is as shown in Fig 7. The density of nearby values gives the knowledge that the cargo is there. As a result of 20 tests performed, the place of the cargo is correctly identified.

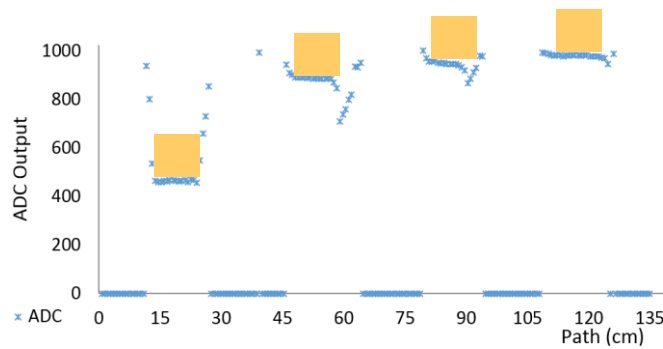


Figure 7. Outputs of distance sensors for sensing cargos

For power management system, lithium polymer battery which could provide high currents with a small size was used for the robots. A 2-cell, 7.4 Volt 900 mAh battery formed by serial connection of Li-Po cells with each cell 3.7V voltage was preferred. The robots measured the voltage periodically and calculated how much of the total power was consumed by comparing the battery with the values in the discharge curve.

The robots estimate the power consumption required for the task and produce data on whether performing the task with this power or not by comparing the total power remaining in the battery to the estimation before performing the task from the center or the robot members. If it does not have power to perform the task, it sends information that it cannot perform the task.

4. Path Planning with Curve Fitting

Curve fitting is an analysis method for using to measure the relationship between two or more variables. If analysis is performed using a single variable, this is called univariate regression. If multiple variables are used, it is called multivariate regression analysis. The least squares method is used to write the mathematical relation between two physical quantities, which depend on each other, as a true equation as much as possible. In other words, this method helps to find a function curve that will pass "as close as possible" to the data points resulting from the measurement.

In this study, linear sampling method which is a kind of least squares method was used with two variables. The linear samples were expressed as $y = mx + n$. m and n values in the equation can be defined as the most accurate values to draw the line. To do this, sum of squares of distances between the (x_i, \bar{y}_i) points on $y = mx + n$ line and the (x_i, y_i) scatter points are calculated. When m and n data are found, the regression line is found.

$$S = \sum_{i=0}^k (mx_i + n - y_i)^2 \tag{1}$$

The prerequisite for finding m and n values are that the distance of the straight line to the data values entering the equilibrium must be the smallest of the squares. To calculate m and n values which make S minimum, the partial derivative of S by m (2) and the partial derivative of S by n (3) should equal to zero.

$$\frac{\partial S}{\partial m} = \sum_{i=1}^k (mx_i + n - y_i)x_i = 0 \tag{2}$$

$$\frac{\partial S}{\partial n} = \sum_{i=1}^k (mx_i + n - y_i) = 0 \tag{3}$$

This equation system is reorganized as Eq. 4-10 and the m and n values are calculated.

$$m \sum_{i=1}^k x_i^2 + n \sum_{i=1}^k x_i - \sum_{i=1}^k x_i y_i = 0 \tag{4}$$

$$m \sum_{i=1}^k x_i + n \sum_{i=1}^k 1 - \sum_{i=1}^k y_i = 0 \tag{5}$$

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^k x_i^2 & \sum_{i=1}^k x_i \\ \sum_{i=1}^k x_i & k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} m \\ n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^k x_i y_i \\ \sum_{i=1}^k y_i \end{pmatrix} \tag{6}$$

$$m = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^k x_i y_i & \sum_{i=1}^k x_i \\ \sum_{i=1}^k y_i & k \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^k x_i^2 & \sum_{i=1}^k x_i \\ \sum_{i=1}^k x_i & k \end{vmatrix}} \tag{7}$$

$$n = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^k x_i^2 & \sum_{i=1}^k x_i y_i \\ \sum_{i=1}^k x_i & k \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^k x_i^2 & \sum_{i=1}^k y_i \\ \sum_{i=1}^k x_i & k \end{vmatrix}} \tag{8}$$

$$m = \frac{k \sum_{i=1}^k x_i y_i - \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k y_i}{k \sum_{i=1}^k x_i^2 - (\sum_{i=1}^k x_i)^2} \tag{9}$$

$$n = \frac{k \sum_{i=1}^k y_i \sum_{i=1}^k x_i^2 - \sum_{i=1}^k x_i \sum_{i=1}^k x_i y_i}{k \sum_{i=1}^k x_i^2 - (\sum_{i=1}^k x_i)^2} \tag{10}$$

The cargo coordinates are entered in the mathematical equations and a straight line is drawn between the robot and the cargo. After acquiring the necessary angle data, the robot rotates to the calculated angle with the information it receives from the encoders and moves towards the cargo (Figure 8).

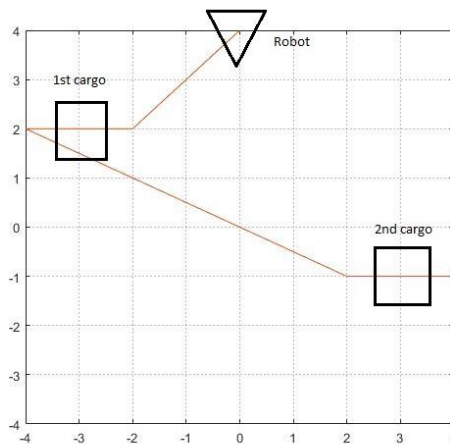


Figure 8. The straight line drawn between the robot and the cargo with curve fitting method

5. Experimental Setup and Communication Protocol

5.1. Experimental Setup

The platform where the system tests are performed is shown in Fig 9. This platform consists of 9 vertical and horizontal lines spaced at 150 mm intervals with a white band of 18 mm thickness on a black area of one and a half square meters.

Leader and Assistant get in platform "B" from entrance "A". Leader finds the coordinates of the cargos and carries them to the target "C" area.

Leader moves on from A until vertical lines run out, detects and records the cargos on the right and left sides. After the scanning process is finished, it returns to the coordinates where the cargos are located and carries the cargos to the C area except for too heavy weights. After sensing the heavy load by the load cell, Leader asks Assistant for help by sending the coordinates and waits for help. When Leader receives the data on coming help through the communication, it pushes the cargo with Assistant to the C area.

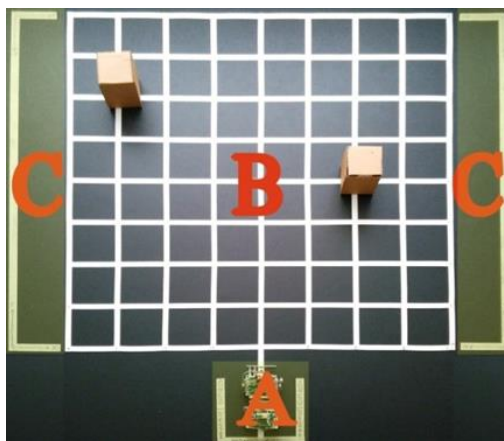


Figure 9. Test platform

5.2. Communication Protocol

A protocol has been developed to provide synchronization between the robots. The length of this protocol is 6 bytes. The described protocol contains sender and receiver information and coordinate points. This protocol is given in Figure 10.

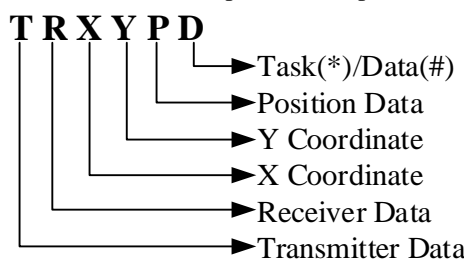


Figure 10. Communication Protocol

The first byte of the protocol carries the sender data. In this study, the letters "M" for the central computer, "O" for Leader and "D" for Assistant are used. The second byte carries the receiver data. As the first byte of the protocol, the letters M, O, and D are also valid for this byte. The third and fourth bytes carry the X and Y axis information. Although the coordinate plane is between -4 and +4 in this study, the coordinate information is sent by summing with 5 for the simplicity of protocol. This prevents the negative numbers in the protocol. The receiver robot adapts the data in the protocol to the coordinate plane by subtracting 5 from the robot coordinates. The fifth byte contains the position information. Position information is organized as 0 for +Y, 1 for -Y, 2 for -X, 3 for +X. If the sixth byte is "*", the robot is asked to go to the coordinates and position values. If the sixth byte is "#", the coordinate information of the robot is requested regardless of the coordinate information sent. In Figure 11, the protocol data that Leader asked help from Assistant is shown.



Figure 11. Stand-alone work and an example of protocol

When Assistant received help message from Leader, moves to received coordinates. After that they carry the cargo cooperatively to target (Fig 12).

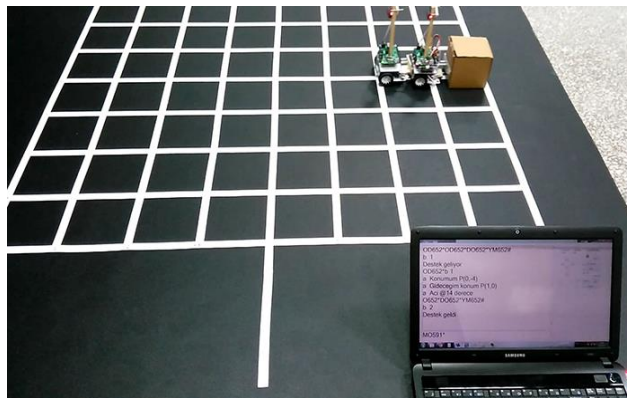


Figure 12. Cooperative work (<https://youtu.be/sfQggAvIxNE>)

6. Experimental Results

Experimental studies were carried out in two main categories. In the first step, the robots were tested on path planning algorithms. The robots performed path planning with line following and curve fitting algorithms. Figure 13 and Figure 14 show the paths that are followed according to line following method and curve fitting respectively. In both methods, firstly, the task of determining the coordinates of the cargo was applied (object detection task). When the cargo was on coordinates (-3,1), the travelled distance with line following method was 120 cm. For the same task, the covered distance was 99 cm with curve fitting method (cargo carrying task).

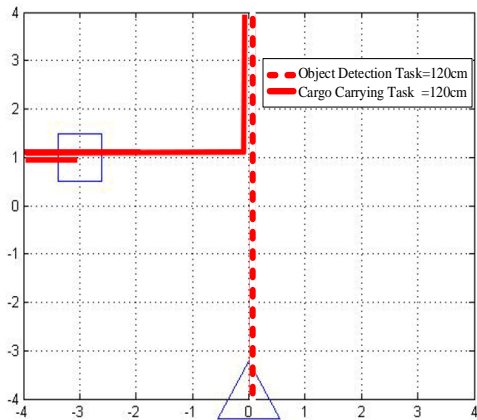


Figure 13. Path Planning with line following

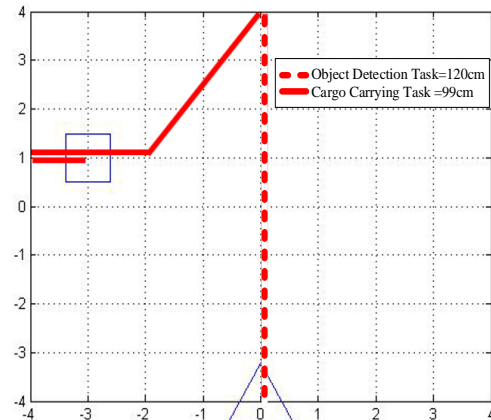


Figure 14. Path Planning with curve fitting

Cargo was placed at the coordinates (-3, Y) in the test setup and the travelled distance for each cargo carrying task was measured. The distances for each method are shown in Table 1. The travelled distance was reduced up to 17.5% with curve fitting method.

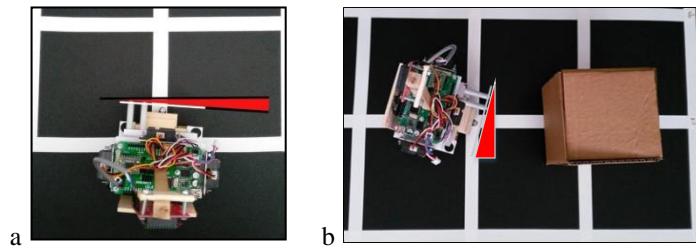
Table 1. Results on path planning algorithms

Coordinates of Cargo	Line Following Distance	Curve Fitting Distance	Saved Distance	%Saved Distance
-3,4	75	75	0	0.0%
-3,3	90	79	11	12.2%
-3,2	105	87	18	17.1%
-3,1	120	99	21	17.5%
-3,0	135	112	23	17.0%
-3,-1	150	126	24	16.0%
-3,-2	165	139	26	15.8%
-3,-3	180	154	26	14.4%
-3,-4	195	169	26	13.3%
% Average of saved distance				13.7%

In the second step, the robots were tested on completing object detection, cargo handling and updating coordinates tasks. The experiment was realized for four different scenarios and repeated ten times. These scenarios and experiment results are given in Table 2. Consequently, Leader detected cargos with 93% average accuracy. The cause of 7% error was the propagation angle of the distance sensor and the line deflection angle during line following (Figure 15(a)). For the same reasons, the updating coordinate's task performance was determined as 80%. The average cargo carrying task performance rate was reduced to 78%. The cargo approach deflection angle (Figure 15(b)) caused falling average rate of success. The tests showed that cooperative work is more successful for further cargos.

Table 2. Success rates of the tasks

Working principle	Task\Cargo position	Object detection	Updating coordinates	Carrying cargo
Stand-alone	Nearest Cargo	100%	100%	90%
	Further Cargo	90%	60%	60%
Cooperative	Nearest Cargo	90%	90%	90%
	Further Cargo	90%	70%	70%
% Average performance rate		93%	78%	78%

**Figure 15.** Main causes of errors. (a) Line deflection angle (b) Approach deflection angle

7. Conclusion

In this study, collaborative multi-robot system of consisting two robots for carrying cargos was designed and implemented via curve fitting and line following algorithm. Line following and curve fitting methods were compared on path planning. The travelled distance was measured for each algorithm. Curve fitting method for path planning reduced the average distance 13.7% according to line following method.

Tests on accomplishment of task completion for near and further carrying cargo were done. The tests were implemented as stand-alone and cooperatively. Cooperative work was more effective than stand-alone for especially further cargos.

For further work, the robots can be extended to be used to carry cargos under the industrial 4.0 in factories. Robot orientation and object detection errors can be reduced by increasing sensors.

References

- Abdi H., Black T. & Nahavandi S. (2011). An adjustable force field for multiple robot mission and path planning. In Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Anchorage, USA, 1950–1955. doi:10.1109/ICSMC.2011.6083957
- Adrian L. R. & Ribickis L. (2013). Fuzzy logic analysis of photovoltaic data for obstacle avoidance or mapping robot. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 19(1), 1392-1215. doi:10.5755/j01.eee.19.1.3243
- Alotaibi E. T. S. & Al-Rawi H. (2016). Push and spin: a complete multi-robot path planning algorithm. In Proceedings of the 14th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, Phuket, Thailand, 13-15. doi:10.1109/ICARCV.2016.7838836
- Berglund T., Brodnik A., Jonsson H., Staffanson M. Soderkvist I. (2010). Planning smooth and obstacle-avoiding B-spline paths for autonomous mining vehicles. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 7(1), 167-172. doi:10.1109/TASE.2009.2015886
- Ganeshmurthy M. S. & Suresh G. R. (2015). Path planning algorithm for autonomous mobile robot in dynamic environment, In Proceedings of the 3rd International Conference on Signal Processing, Communication and Networking, Chennai, India. doi:10.1109/ICSCN.2015.7219901
- Gong H., Yin C., Zhang, F., Hou Z., Zhang R. (2017). Path planning algorithm for unmanned vehicles based on target-oriented rapidly-exploring random tree. In Proceedings of the 11th Asian Control Conference (ASCC), Gold Coast, Australia, 760-765. doi:10.1109/ASCC.2017.8287266
- Graetz G. & Michaels G. (2018). Robots at work. *Review of Economics and Statistics*, 100(5), 753-768. doi:10.1162/rest_a_00754
- Howard A. (2006). Multi-robot simultaneous localization and mapping using particle filters. *International Journal of Robotics Research*, 25(12), 1243–1256. doi:10.1177/0278364906072250
- Hussein A., Adel M., Bakr M., Shehata O. M. & Khamis A. (2014). Multi-robot task allocation for search and rescue missions, *Journal of Physics: Conference Series*, 570: 1–10. doi:10.1088/1742-6596/570/5/052006
- Kermorgant O. (2018). A magnetic climbing robot to perform autonomous welding in the shipbuilding industry. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 53, 178-186. doi:10.1016/j.rcim.2018.04.008
- Kim H., Kim D., Kim H., Shin J.U. & Myung H. (2016). An extended any-angle path planning algorithm for maintaining formation of multi-agent jellyfish elimination robot system. *International Journal of Control, Automation, and Systems*, 14(2), 598–607. doi:10.1007/s12555-014-0349-0.
- Koch P., May S., Schmidpeter M., Kuhn M., Pfitzner C., Merkl C., Koch R., Fees M., Martin J., Ammon D. & Nuchter A. (2016). Multi-robot localization and mapping based on signed distance functions. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 83, 409–428. doi:10.1007/s10846-016-0375-7
- Macwan A., Vilela J., Nejat G. & Benhabib B. (2016). Multi-robot deployment for wilderness search and rescue. *International Journal of Robotics and Automation*, 31(1), 45-51. doi:10.2316/Journal.206.2016.1.206-4366
- Madhu B., Sakkaravarthi R., Singh G. M.; Diya R. & Jha D. K. (2017). Modeling, simulation and mechatronics design of a wireless automatic fire fighting surveillance robot. *Defence Science Journal*, 67(5), 572–580. doi:10.14429/dsj.67.10237
- Marjovi A. & Marques L. (2011). Multi-robot olfactory search in structured environments. *Robotics and Autonomous Systems*, 59, 11867–11881. doi:10.1016/j.robot.2011.07.010
- Moradi B. (2019). Multi-objective mobile robot path planning problem through learnable evolution model. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 31(2), 325-348. doi: 10.1080/0952813X.2018.1549107
- Nagy I. (2014). From exploring to optimal path planning: considering error of navigation in multi-agent mobile robot domain. *Acta Polytechnica Hungarica*, 11(6), 39-55. doi:10.12700/aph.11.06.2014.06.3
- Nazarahari M., Khanmirza E., Doostie S. (2019). Multi-objective multi-robot path planning in continuous environment using an enhanced genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 115, 106-120. doi:10.1016/j.eswa.2018.08.008
- Özarslan Yatak M., Göktaş B. & Duran F. (2018). Design and implementation of Android-based autonomous human tracking vehicle. *International Journal of Informatics Technologies*. 11(2), 157-162. doi:10.17671/gazibtd.340566

- Prabuwono A. S., Burhanuddin M. A. & Said S. M. (2008). Autonomous contour tracking using staircase method for industrial robot. In Proceedings of the 10th International Conference on Control Automation Robotics and Vision, Hanoi, Vietnam, 2272–2276. doi:10.1109/ICARCV.2008.4795886
- Saeedi S., Paull L., Trentini M & Li H. (2011). Neural network-based multiple robot simultaneous localization and mapping. IEEE Transactions on Neural Networks, 22(12), 2376–2387. doi:10.1109/TNN.2011.2176541
- Saeedi S., Paull L., Trentini M, & Li H. (2015). Occupancy grid map merging for multiple robot simultaneous localization and mapping. International Journal of Robotics and Automation, 149-157. doi:10.2316/Journal.206.2015.2.206-4028
- Seçkin A.Ç., Özek A. & Karpuz C. Çoklu robotlarda işbirlikli davranışların karşılaştırılması ve bulanık mantık yaklaşımı. Politeknik, Erken Görünüm. doi:10.2339/politeknik.481177
- Sun D., Kleiner A. & Wendt T.M. (2008). Multi-robot range-only SLAM by active sensor nodes for urban search and rescue. In Proceedings of the 12th annual RoboCup International Symposium, Suzhou, China 318–330. doi:10.1007/978-3-642-02921-9_28
- Thabit S., Mohades A. (2019). Multi-robot path planning based on multi-objective particle swarm optimization. IEEE Access,7, 2138-2147. doi:10.1109/ACCESS.2018.2886245
- Thor J., Schultz U. P. & Kuhrmann M. (2015). On the use of safety certification practices in autonomous field robot software development: A systematic mapping study. In Proceedings of the 16th International Conference on Product-Focused Software Process Improvement, Bolzano, Italy, 335–352. doi:10.1007/978-3-319-26844-6_25
- Tominaga A.; Hayashi E. & Sasao T. (2017). Localization method of autonomous moving robot for forest industry. In Proceedings of the International Conference on Artificial Life and Robotics, Miyazaki, 376-379.



Trafik Kazalarının Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi

Evaluation of Traffic Accidents Using Machine Learning Methods

Arzu Altın Yavuz¹, Barış Ergül¹, Ebru Gündoğan Aşık^{*2}

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, 26010 Eskişehir, TÜRKİYE

²Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü, 61080 Trabzon, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 17/03/2020

Kabul / Accepted: 20/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Türkiye’de meydana gelen trafik kazaları, sebep oldukları maddi/manevi kayıplar sebebiyle gündemin ilk sırasında olma durumunu korumaktadır. Trafik kazaları, insan, yol, araç, iklim, çevre koşulları gibi birçok etkenin bir araya gelmesi sonucu oluşmaktadır. Trafik kazaları sonucu, telafi edilebilen kazalar olabileceği gibi, telafisinin olanaksız olduğu kazalar da olabilmektedir. Trafik kazalarının sayısını ve etkilerini en aza indirebilmek için genel olarak kazaya sebep olan etkenlerin tespit edilip ortadan kaldırılması gerekmektedir. Trafik kazalarına neden olan etkenlerin belirlenebilmesi için geçmiş kaza verilerinden yararlanılmaktadır. Kaza analizinde önemli olan var olan durumun model yardımıyla doğru bir şekilde sınıflandırılmasıdır. Trafik kazaları için literatür çalışmaları incelendiğinde, genel olarak diskriminant analizi, lojistik regresyon analizi ve logaritmik doğrusal modellerin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada 2012 ile 2016 yılları arasında Antalya ili ve ilçelerinde sonucu ölümlü, yaralanmalı olarak gerçekleşen 3181 trafik kazası ele alınmıştır ve makine öğrenme yöntemleri kullanılarak trafik kazalarının sınıflandırılması yapılmıştır. Ele alınan makine öğrenme yöntemlerinin performansları çeşitli ölçütlere göre karşılaştırılması sonucunda kaza verilerini en yüksek doğrulukla sınıflandıran yöntemin Naive Bayes olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Trafik, kaza analizi, sınıflandırma, karar ağaçları, WEKA, makine öğrenmesi”

Abstract

Traffic accidents occurred in Turkey caused their financial/moral losses to continue to maintain its status by virtue of being first during the agenda. Traffic accidents occur as a result of the combination of many factors such as people, roads, vehicles, climate and environmental conditions. As a result of traffic accidents, there may be accidents that can be recovered or accidents that cannot be compensated. In order to minimize the number and effects of traffic accidents, the factors causing the accident in general should be identified and eliminated. In order to identify the factors that cause traffic accidents accident history data are utilized. The important thing in accident analysis is the correct classification of the existing situation with the help of the model. When literature studies for traffic accidents are examined, it is seen that discriminant analysis, logistic regression analysis and logarithmic linear models are generally used. In this study, 3181 traffic accidents that occurred as a result of death or injury in Antalya province and its districts between 2012 and 2016 were considered and the classification of traffic accidents was made using machine learning methods. As a result of comparing the performances of the machine learning methods discussed according to various criteria, it was determined that the method that classifies the accident data with the highest accuracy is Naive Bayes.

Key Words

“Traffic, accident analysis, classification, decision tree, WEKA, machine learning”

1. Giriş

Karayolu ile ulaşım, bütün dünya için diğer ulaşım türlerine oranla daha çok tercih edilmektedir. Türkiye için, elde edilen veriler ışığında yaklaşık %95'lik bir oranla en çok kullanılan ulaşım türü, karayolu ulaşımıdır (Bolakar, 2014). 2018 yılında Türkiye'de 428.074 adet trafik kazası meydana gelmiş, bunlardan 2.712 adedi ölüm ve 183.710 adedi yaralanma ile sonuçlanmıştır. Bu kazalarda 3.373 kişi hayatını kaybetmiş, 310.109 kişi yaralanmıştır (EGM Trafik İstatistik Bülteni, 2018). Yoğun bir kullanıma sahip olan karayollarında meydana gelen trafik kazaları neden oldukları maddi/manevi kayıplar sebebi ile ulaşım alanında önemli konulardan biridir. Trafik kazalarının oluşmasında birçok değişken rol almaktadır ve bu durum trafik kazalarının oluşmasını belirleme sürecini karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle trafik güvenliğini sağlama ve sürdürülebilir kılmak oldukça karmaşık ve zor bir hal almaktadır (Özden ve Acı, 2018). Trafik kazalarının başlıca oluşma sebepleri, insan, yol, araç, iklim, çevre koşulları olarak sıralanabilmektedir. Trafik kazaları sonucu, telafi edilebilen kazalar olabileceği gibi, telafisinin mümkün olmadığı kazalar da olabilmektedir. Trafik kazalarının sayısını ve etkilerini en aza indirebilmek için ülkeler, bu konularda çeşitli stratejiler ve uygulamalar geliştirmektedirler. Trafik kazalarının sayısını ve maddi/manevi kayıpları azaltabilmek için kazaya sebep olan etkenlerin tespit edilip ortadan kaldırılması benimsenen bir yoldur.

Birçok sebep ile meydana gelen trafik kazalarının önlenmesinde mevcut eksikliklerin olduğu görülmektedir. Sistemin sağlıklı işlemesi açısından çeşitli yaptırımlar ile birlikte bazı kuralların da uygulamaya yardımcı olması önemlidir. Trafik güvenliğindeki eksikliklerden kaynaklanan sorunların çözümüne yönelik değerlendirme yapılırken, öncelikle var olan yapıdaki sorunların tespit edilmesi ve sonrasında çözüm odaklı güncellemelerin geliştirilmesi uygun bir yaklaşım olacaktır (Aron vd., 2015; Tolunay ve Gökdeniz, 2002).

Literatürde farklı yöntemler kullanılarak yapılandırılan birçok trafik kaza tahmin modeli vardır. Bu çalışmalar, istatistiksel yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. İstatistik alanındaki gelişmeler ve son yıllardaki makine öğrenmesi yaklaşımları ile kaza nedenlerinin tespiti önemli bir çalışma alanıdır. Bilgisayar programlarının geliştirilmesi de bu çalışmaların hızını arttırmıştır. Dolayısı ile artık trafik kazalarının nedenlerinin tespiti için uzun süreli gözlemlerin ve analizlerin yapılması beklenmeksizin sürecin değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Özgan vd., (2004) yılındaki çalışmalarında, 1999-2002 yılları arasında Sivas İli 'nde meydana gelen trafik kazalarına ait tutanak ve raporlardaki verileri kullanarak meydana gelebilecek kazaların sayısını tahmin etmeye çalışmışlardır. Chong vd., (2005) yılında yaptıkları çalışmada, trafik kazaları sonucu oluşan yaralanma derecesinin kestirimini yapmak için Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Regresyon Ağaçları (RA) yöntemlerini karma şekilde kullanan yeni bir model önerisi yapmışlardır. Chang ve Wang, (2006) yılındaki çalışmalarında, Karar Ağacı (KA) yöntemi ile araç tipinin kaza şiddetini etkileyen en önemli değişken olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Shon ve Shin, (2010) yılında yaptıkları çalışmalarında, YSA, Lojistik Regresyon (LRA) ve KA yöntemlerini kullanarak Kore'de olan trafik kazalarının şiddetini etkileyen değişkenleri belirlemişlerdir. Kwon vd., (2014) yılında yaptıkları çalışmalarında Naive Bayes (NB) ile KA yöntemlerini kullanarak trafik kazalarına sebep olan değişkenleri nispi önemlerine göre sıralamışlardır. Muhammed vd., (2017) yılında yaptıkları çalışmada, karayollarında oluşan trafik kazalarını karar ağaçları algoritmalarını kullanarak trafik kazalarının tahminini yapmaya çalışmışlardır. Jiahia vd., (2019) yılında yapılan çalışmalarında, WEKA 'daki C4.5 algoritmalarını kullanarak trafik kazalarını analiz etmişlerdir.

Trafik kaza analizleri için literatür genel olarak değerlendirildiğinde çalışmaların büyük kısmında diskriminant analizi, lojistik regresyon analizi, logaritmik modeller, yapay sinir ağları (YSA) ve fuzzy yaklaşımların kullanıldığı görülmektedir (Bektaş, 2012; Ahmed, 2017; Delen vd., 2006). Genel olarak bu yöntemler, veri setinin ölümlü/yaralamalı şeklinde sınıflandırılmasını sağlayan yöntemlerdir. Bir sınıflandırma sonucu tespit edilen sonuçlar değerlendirilirken, ele alınan sınıflandırıcının doğru sınıflandırma oranı göz önüne alınır. Doğru sınıflandırma oranı düşük olan bir yöntemden elde edilen sonuçların geçerli ve güvenilir olması beklenemez.

Bu çalışmada, farklı istatistiksel sınıflandırma algoritmaları ve karar ağaçları ele alınmıştır. Öncelikle bu yöntemler tanıtılacaktır. Daha sonra ise, 2012 ile 2016 yılları arasında Antalya ili ve ilçelerinde gerçekleşen trafik kaza tutanaklarından elde edilen veriler yardımıyla trafik kazalarının doğru sınıflandırılmasını en iyi sağlayan model belirlenecektir.

2. Materyal ve Metot

Çok değişkenli istatistiksel yöntemler, birden çok değişkenin oluşturduğu değişken kümesinin yapısını belirleyerek, ele alınan problemin yapısına uygun çözümler için gerekli olan betimleyici bilgiyi sağlar. Aynı zamanda, değişken grupları arasındaki karşılıklı ilişkiyi ölçme olanağı sağlayan istatistik tekniklerini oluşturur.

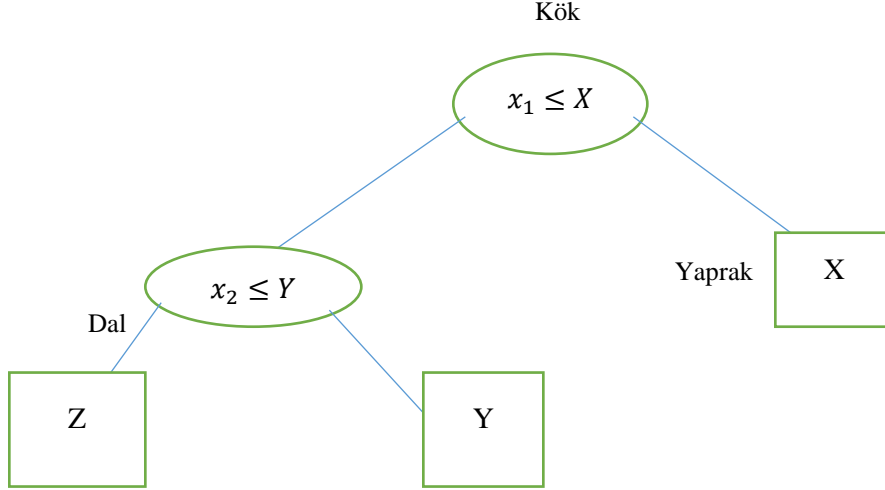
Sınıflandırma problemi istatistiksel karar verme süreci olarak görülebilir. Bu düzeyde, araştırmacı için iki çeşit karar verme süreci bulunmaktadır. İlki, grubun ayırt edici özelliklerini araştırmak ve bu özellikleri bir fonksiyon haline getirmek; diğeri, bu ayırt edici fonksiyonlar yardımıyla gözlemleri gruplara atamaktır. Sınıflandırma, veri madenciliğinde eğitici olan ve olmayan olarak ikiye ayrılır. Eğitici olan öğrenmede, grup sayısı ve hangi gruba ait olduğu önceden bilinen verilerin, deneme süreci ile hangi gruba ait olduğu bulunmaya çalışılır. Karar ağaçları eğitici olan öğrenme sınıflandırmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca karar

ağaçları, eğer verinin ait olduğu grup biliniyorsa, sınıflandırma ağaçları yöntemi ile modellenmelidir (Akçetin ve Çelik, 2014; Breiman vd., 1984).

Veri madenciliği yaklaşımı; karar ağaçları, sınıflandırma ve tahmin için sıklıkla kullanılmaktadır. Kolay yorumlanması ve anlaşılması açısından karar vericiler için bir avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada karar ağaçları, lojistik regresyon ağacı, J48, Basit CART (Classification and Regression Trees), rassal ağaç ve rassal orman karar ağaçları yöntemleri ele alınmıştır.

2.1. Karar Ağaçları

Karar ağaçları, denetimli makine öğrenmesi sınıfındandır. Karar ağaçları kolay uygulanabilmesinin yanı sıra, kolay yorumlanabilmesi; nitel, nicel, sürekli ve kesikli değişkenlere uygulanabilmesi ve güvenilir sonuçlar vermesi sebebiyle sıklıkla kullanılmaktadır (Akşehirli, 2012). Karar ağaçları, tek kökten başlamaktadır. Karar düğümlerine doğru ilerleyen, etiketlenmiş yapraklarda son bulan bir sınıflandırma ağacıdır. Basit bir karar ağacının yapısı Şekil 1 'de gösterilmiştir. Şekil 1'den görüleceği üzere karar ağaçları, kök, dal ve yapraklardan oluşmaktadır.



Şekil 1. Karar Ağacı Yapısı

Karar ağaçlarında kullanılacak veri seti için eğitim ve test verisi, veri setindeki sınıf oranları dikkate alınarak tüm veri setinin 2/3'ü eğitim (in Bag) ve 1/3'ü test verisi (Out of Bag, OOB) olarak kullanılmaktadır. Karar ağacı oluşturmak için, eğitim veri seti içinde veriyi en iyi tanımlayan veri seçilir. Bu veri ile ağacın dalı ve yaprakları olarak bilenen ayrıştırma işlemi yapılır ve yeni bir veri seti oluşturulur. Ayrıştırılan dal üzerinde bulunan örneklerden yeni bir belirleyici veri bulunur ve yeni dallar oluşturulur. Veri setini ayrıştıracak başka veri kalmamışsa ve kalan verilerin değerini taşıyan başka veri yoksa işlem sonlandırılır. Aksi durumda alt veri setini ayrıştırmak için yeniden belirleyici bir veri bulunur (Albayrak, 2015).

Karar ağaçlarında, bir veri için sınıflandırma, üzerinden geçilen her dal ve bütün yaprakların doğru olduğu yollar üzerinden takip edilerek yapılır (Freund ve Mason, 1999).

2.2. J48 Karar Ağacı

Veri madenciliği alanında yaygın bir kullanıma sahip olan J48 algoritması bir karar ağacı sınıflandırıcısıdır. J48 sınıflandırıcısı C4.5 karar ağacı olarak da bilinmektedir. Bu algoritma, veriyi yukarıdan aşağıya doğru bir dağılım ile sınıflandırmaktadır. En yüksek bilgi kazancına sahip nitelikten başlayarak verilerin bölünmesi ile nihai karar ağacına ulaşırlar (Quinlan, 1993; Öztürk ve Mesut, 2016).

Karar ağacı yapısı, daha küçük bölümlere neden olan her düğümde bölünlenen bir veri seti (eğitim seti) ile başlamaktadır. Bu sayede, özyinelemeli bir bölünme stratejisi izlenmektedir. Bir veri kümesine ek olarak, bir dizi nitelik de iletilir. Nesnelere bir olay, bir aktivite veya nitelikler o nesneyle ilgili bilgiler olabilmektedir. Veri kümesindeki her demet için, bir nesnenin belirli bir sınıfa ait olup olmadığını belirleyen bir sınıf etiketi ile ilişkilendirilme yapılmaktadır. Her bir düğümdeki entropi değerleri kullanılarak en yüksek bilgi kazancına ulaşmaya çalışılmaktadır. En yüksek bilgi kazancına sahip veri üzerinden verilerin bölünmesiyle oluşturulan dallardan hareket ederek sonuca ulaşmaktadır (Quinlan, 1993).

J48 algoritmasında ilk adım bilgi kazanımını hesaplamaktır. Bilgi kazanımı hesaplanırken kullanılan entropi formülü Eşitlik (1) de verildiği gibidir (Şeker, 2012).

$$Entropi(D) = - \sum_{i=1}^m p_i \log_2(p_i) \quad (1)$$

Daha sonra her bir özellik için ayrı ayrı bilgi hesaplaması yapılır.

$$Entropio_A(D) = \sum_{j=1}^v \frac{|D_j|}{|D|} \times Entropi(D_j) \quad (2)$$

İlk aşamada hesaplanan bilgi değerinden, belirli bir özellik için elde edilen bilgi değeri çıkarılarak ilgili özelliğin bilgi kazanımı belirlenir. Tüm özellikler için elde edilen bilgi kazanımları içerisinde en yüksek bilgi kazanımını sağlayan özellik karar ağacında ilk basamakta yer alır. Daha sonra süreç benzer şekilde devam eder ve karar ağacını şekillenir. Son olarak geriye doğru budama yapılarak karar ağacının nihai şekli elde edilir.

J48 karar ağacı, veri yapısını anlamlandırmada güçlü ve hızlı yollar sunar. Veri hazırlamak için az zaman gerektirmesi, yorumlama kolaylığı sağlaması ve doğrusal olmayan ilişkilerden etkilenmemesi bakımından tercih edilir. Dezavantajları ise, çok aşırı dal içere karar ağacı çizimleri karmaşık bir yapı sunmakta ve zaman alıcı olmaktadır. Büyük ağaçların sunumu ve anlaşılması zordur.

J48 Con. Karar Ağacı ise, tahmin hatasının azaltılması amacı ile mevcut karar ağacına yeni dallar ekler. Bu teknik, ağacı karmaşık yapıdan kurtarmaktadır ve ağacın oluşma zamanını azaltmaktadır.

2.3. Basit CART (Classification and regression trees)

CART algoritması, eğitim veri setini her bir yaprak olmayan düğümlerde iki parçaya bölmektedir. Bu bölme işlemi, eğitim veri setini tamamen ayırılmaz duruma gelene dek bölmektedir. Bölme işlemi, ayırılmayınca dek sürmektedir ve sonrasında durmaktadır (Ma, 2013).

Breiman vd., (1984), tarafından önerilen bu algoritma, sayısal ve isimsel veri setlerinden oluşan değişkenleri kullanarak analiz yapmaktadır. CART karar ağacı, ikili olarak özyinelemeli biçimde bölünen bir yapıya sahip olması nedeniyle artık yeni bir bölünmenin gerçekleşmeyeceği duruma kadar devam eder ve sonraki aşamada uçtan başlayarak köke doğru budama işlemi başlar. Her budama işlemi sonrası test verisi kullanılmak suretiyle, olası en başarılı karar ağacı tespit edilmeye çalışılır. Her bir düğümdaki binom dağılımının genellemesi ile elde edilen Gini indeksi değerleri kullanılarak en yüksek bilgi kazancına ulaşmaya çalışılmaktadır. Birbiri ile ilişkili değişkenler olması durumunda, iyi performans vermediği söylenmektedir.

Gini indeksi Eşitlik 3 de verildiği gibidir.

$$g(t) = 1 - \sum_j p^2(j/t) \quad (3)$$

Burada, t yaprağındaki j sınıfına ait koşullu olasılık $p(j/t)$ ile gösterilmiştir.

2.4. Rassal Ağaç

Rassal ağaç, her bir düğümden daha önce belirlenen sayıda rastgele özellik seçilmesiyle başlamaktadır. Bu algorithmada ağacın dallarında budama yapılmamaktadır. Karar ağaçlarında, her bir düğümden en çok bilgi veren özellik seçilirken; rastgele ağaç yönteminde bu seçim tesadüfi olarak gerçekleşmemektedir (Witten vd., 2016). Rassal Ağaç, ağaç kümesinde her ağacın örnekleme alınma şansının eşit olduğu veya ağaçların “uniform” dağılıma sahip olduğu bir ağaçtır (Breiman, 2001). Bununla birlikte, her düğümden K rassal öneme sahip bir dizi olası ağaçtan rassal olarak oluşturulmuş bir ağaç olduğu düşünülür. Ayrıca kategorik değişkenler için olasılıkların tahminine izin vermektedir (Zhao ve Zhang, 2008; Başar ve Akan, 2018).

2.5. Rassal Orman

Rastgele orman, her biri birbirinden bağımsız ve aynı dağılım kullanılarak elde edilen eğitim veri setinden rassal olarak elde edilmiş bir örnekleme dayanan karar ağacıdır. Rassal Orman algoritması, tek bir karar ağacı oluşturmak yerine çok sayıda karar ağacının kararlarının birleştirilmesine dayanmaktadır. Bu karar ağaçlarının her biri, birbirinden bağımsızdır ve eğitim kümesinden bootstrap tekniği ile seçilen farklı örneklerden oluşturulur. Farklı eğitim kümeleri için, aynı dağılımdan gelen rassal özellik seçimi kullanılmaktadır. Karar ağaçlarını oluştururken bütün ağaçlarda ilgili nitelik taraması yapılır. Sonrasında, diğer ağaçlardaki nitelikler birleştirilir. Bu şekilde en çok kullanılan öznelik seçilir. Seçilen öznelik karar ağacına dahil edildikten sonra diğer aşamalarda da aynı işlemler tekrarlanmaktadır. RO, karar ağacı oluşturmak için CART algoritmasını kullanmaktadır (Daş ve Türkoğlu, 2014). Ağaç yapısının oluşturulması için, her bir dalda kullanılacak örneklem sayısı ve oluşacak ağaç sayısının belirlenmesi önem taşımaktadır (Pal, 2005). Dallara ayırıcı özellikteki değişkenin seçimi “Bagging” yaklaşımından farklıdır. Burada, tüm değişkenler içerisinde rassal olarak $m = \sqrt{p}$ değişken seçilmektedir. Ayrıca her aşamadaki m sabittir (Breiman, 2001). Regresyon ağaçlarında $m = p/3$ olarak alınmaktadır (Yılmaz, 2014).

Eğitim sırasında birçok karar ağacının oluşturulması, sınıflandırmada başarı oranının yüksek olmasını sağlamaktadır. Rastgele ormanın en önemli avantajı, diğer karar ağacı yöntemlerinden daha hızlı çalışması olarak gösterilmiştir. Bu algorithmada budama işlemi yoktur (Breiman, 2001). Budamanın olmaması RO algoritmasını diğer karar ağacı yöntemlerinden daha avantajlı hale getirmektedir. Birbiri ile ilişkili değişkenler olması durumunda, diğer karar ağaçlarına göre performansı daha yüksektir.

2.6. Lojistik Regresyon Ağacı

Lojistik Regresyon Ağacı, lojistik regresyon ve karar ağacının birleştirilmesi ile meydana gelmiş bir sınıflandırma modelidir. Lojistik Regresyon ağacı, regresyon analizi yapısına sahip bir karar ağacıdır. Bu ağaç yapısında, ağacın her dalı için lojistik regresyon analizi yapılmaktadır, daha sonra C4.5 karar ağacı kullanılarak dallar ayrılmaktadır. Son aşama, ağacın budanması aşamasıdır (Long, 1993; Landwehr vd., 2005).

Lojistik regresyon ağacı, ortalama olarak hem karar ağaçları hem de lojistik regresyondan daha iyi performans göstermektedir. Ayrıca daha iyi yorumlanabilen bir model sunarken, güçlendirilmiş karar ağacı topluluklarıyla rekabet içinde performans sergilemektedir.

Eğitim veri setine bağlı olarak, karmaşıklığını kolayca ve otomatik olarak ayarlayabilen bir modeldir. Lojistik regresyon ağacı büyütülürken; her bölünmüş düğüm, aday bir yaprak düğümü olarak kabul edilir. Bu nedenle ağaçtaki her düğümle bir lojistik regresyon modeli ilişkilendirilmektedir. Çapraz doğrulama (Cross Validation), uygun sayıda yinelemeyi belirlemek için kullanılır. C4.5 algoritması, lojistik regresyon ağacı düğümlere sığmadan önce temel ağaç yapısını oluşturmak için kullanılmaktadır. Ağaç büyütüldükten sonra hem eğitim hatasını hem de ağacın karmaşıklığını göz önünde bulunduran düşük maliyetli budama kullanılarak budama yapılmaktadır (Breiman vd.,1984).

2.7. Naive Bayes

Naive Bayes Classifier, bayes teoremine dayanan en popüler makine öğrenimi sınıflandırma tekniklerinden biridir. Naive Bayes sınıflandırması birçok farklı alanda da kullanılmaktadır (Cihan vd., 2018). Mevcut ve geçmiş frekans oluşumlarını hesaplamak için kullanılan Naive Bayes Sınıflandırıcısının hesaplanışı Eşitlik (4) de verildiği gibidir (Aydınadağ ve Kırıcı, 2019).

$$P(A \setminus B) = P(B \setminus A) * P(A) / P(B) \quad (4)$$

Burada;

$P(A)$: A'nın prior olasılığı. Sadece A olayının sayısını içerir.

$P(A \setminus B)$: B verildiğinde A'nın posterior olasılığı.

$P(B \setminus A)$: A verildiğinde B'nin posterior olasılığı.

$P(B)$: B'nin prior olasılığını ifade etmektedir.

Tablo 1. Trafik Kaza Verileri İçin Kullanılan Makine Öğrenme Yöntemleri

Yaklaşım	Kullanılan Teknik
Bayes	Naive Bayes
Regresyon	Lojistik Regresyon
Karar Ağacı	Karar Ağacı, Basit CART, J48, Düzeltilmiş J48, Rassal Ağaç, Rassal Orman

2.8. Karşılaştırma Ölçütleri

Sınıflandırma problemlerinde modelin başarısını değerlendirebilmek için sık kullanılan temel kavramlar kontenjans tablosundan hesaplanan değerlerdir. Doğruluk ölçütünün hesaplanmasında, doğru sınıflandırma tablosu kullanılmaktadır. Doğru sınıflandırma tablosunun köşegen elemanları TP (True Pozitif) ve TN (True Negatif) değerleridir. Bu değerler doğru sınıflandırmayı temsil eder. FP (False Pozitif) ve FN (False Negatif) değerleri ise köşegen dışı elemanlardır ve yanlış sınıflandırma durumlarını ifade eder. Doğruluk değerinin hesaplanması eşitlik (5)'te verildiği gibidir. Eşitlik (5) de T_p doğru pozitif, T_n doğru negatif, F_p yanlış pozitif ve F_n yanlış negatif ifadelerine karşılık gelmektedir (Kaur ve Chhabra, 2014).

$$\text{Doğruluk} = \frac{T_p + T_n}{T_p + F_p + T_n + F_n} \quad (5)$$

Burada;

- True Pozitif - TP: Yaralanmalı olarak sonuçlanan bir kazanın yaralanmalı olarak sınıflandırılması
- False Pozitif - FP: Ölümle sonuçlanan kazaların yaralanmalı olarak sınıflandırılması
- True Negatif - TN: Ölümle sonuçlanan kazaların ölümlü olarak sınıflandırılması
- False Negatif - FN: Yaralanmalı olarak sonuçlanan kazaların ölümlü olarak sınıflandırılmasını

ifade etmektedir. Doğruluk değeri (DSO), yöntemlerin değerlendirilmesinde kullanılan model doğruluğunun bir ölçüsüdür. DSO ne kadar yüksek ise, o yöntem daha iyi demektir.

3. Uygulama

2012 ile 2016 yılları arasında Antalya ili ve ilçelerinde toplam 30232 adet trafik kazası olmuştur. Bu çalışmada, meydana gelen trafik kazalarının sonucu, ölümlü ve yaralanmalı olarak gerçekleşen 3181 trafik kazası veri seti olarak kullanılmıştır. Analize alınan bağımsız değişkenler; kaza yeri, yol tipi, yolun kaplama cinsi, yolun sınıfı, hava durumu, yol yüzeyi, trafik lambasının durumu, aydınlatma, trafik görevlisi durumu, emniyet şeridi durumu ve bağımlı değişken kaza türü değişkenidir.

Bu çalışmada, makine öğrenmesi modelinde yapılan testin hatasını tahmin edebilmek için model seçiminde sıklıkla kullanılan k-kat çapraz doğrulama test yöntemi kullanılmıştır. Bir test ve eğitim seti olarak verilen verileri bir k sayısına göre ayırdıktan sonra, sınıflandırıcı, modelin güvenilirliğini doğrulamak için değerlendirilmektedir.

Verilerin analizi için kullanılan WEKA yazılımı; Waikato Üniversitesinde geliştirilmiş, GNU lisansı ile çalışan açık kaynak kodlu bir yazılımdır (Witten ve Frank, 2005). Makine öğrenmesi algoritmalarını içeren WEKA, temel olarak sınıflandırma, kümeleme, demetleme, birliktelik analizi, veri ön işleme gibi temel veri madenciliği işlemlerini yapabilmesinin yanı sıra, eğitilmiş ve eğitimsiz öğrenme yöntemlerini de içeren bir yazılımdır. Makine öğrenmesi paketleri bakımından güçlü bir yazılım olan WEKA programının seçilmesinin nedeni, sınıflandırma tekniklerini gerçek veriler üzerinde kolay ve anlaşılır şekilde karşılaştırabilme olanağı da sağlamasıdır. Algoritmalar, veri kümesine doğrudan veya Java kodundan çağrılarak uygulanabilen WEKA, aynı zamanda yeni makine öğrenme algoritmaları geliştirmek için uygundur (Patterson vd., 2008).

Bu çalışmada, açık kaynak kodlu yazılım olan WEKA yardımıyla Karar Ağaçları, Lojistik Regresyon Ağaçları, J48 Ağaçları, Basit CART, Rassal Ağaç, Rassal Orman ve Naive Bayes yöntemleri uygulanmıştır.

WEKA kullanılarak analiz edilen trafik kazaları veri seti için 3 farklı karşılaştırma ölçütü kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 2’de verildiği gibidir.

Tablo 2. Antalya İli Trafik Kazaları için Sınıflandırma Analizi Sonuçları

Ölçüt	L.R.A.	J48	J48 Con.	K.A.	Basit CART	R.A.	R.O.	Naive Bayes
DSO	98,679	97,679	98,4981	88,679	87,679	89,616	91,679	99,012
TP	0,987	0,977	0,985	0,887	0,877	0,896	0,917	0,990
FP	0,013	0,023	0,015	0,113	0,123	0,104	0,083	0,010

DSO ölçütüne göre Naive Bayes algoritması trafik kazalarını %99.012 doğrulukla sınıflandırmaktadır. Bu yöntemden sonra en yüksek doğru sınıflandırma lojistik regresyon ağacı kullanılarak elde edilmiştir. Sıralama düzeltilmiş J48, J48, rassal orman, rassal ağaç, karar ağacı ve basit CART şeklinde devam etmektedir. Yaralanmalı kazaların yaralanmalı olarak sınıflandırılmasını temsil eden TP değeri benzer şekilde bir sıralama sunmaktadır. Ölümle sonuçlanan bir kazanın yaralanmalı olarak tespitini ifade eden FP değerinin oldukça küçük olması istenir. FP değerleri incelendiğinde en düşük FP değerini veren yöntemin Naive Bayes algoritması olduğu, bunu lojistik regresyon ağacının takip ettiği görülmektedir. Tüm ölçütler göz önünde bulundurulduğunda trafik kazalarının sınıflandırılması için en etkin sonucu veren yöntemin Naive Bayes olduğu görülmektedir. Naive Bayes yöntemi sonucunda, Antalya İli trafik kazaları için en etkili değişkenlerin yolun kaplama cinsi ve yolun sınıfı olduğu belirlenmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Makine öğrenme algoritmaları pek çok alanda olduğu gibi trafik çalışmalarında son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde makine öğrenmesi ve veri madenciliği yöntemleriyle doğru kararlar alınmasına olanak sağlayan ve trafik kazalarının önlenmesinde etkili olan pek çok yöntem geliştirilmektedir. Bu yöntemler sayesinde var olan durumun tespiti doğru bir şekilde analiz edilerek gerek önlemlerin alınması gerek yeni düzenlemeler yapılmaktadır. Bu çalışmada, 2012 ile 2016 yılları arasında Antalya ili ve ilçelerinde ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı olmak üzere toplam 30232 adet trafik kazası değerlendirmeye alınmıştır. Bunlar içerisinde sonucunu, ölümlü ve yaralanmalı olarak gerçekleşen 3181 trafik kazası veri seti olarak belirlenmiştir. Ölümlü ve yaralanmalı kazaların sonuçlarının telafisi mümkün olmadığından, kazaya neden olan unsurların belirlenmesi önemlidir. Ancak bunun yapılabilmesi için kaza analizinde kullanılacak sınıflandırma yönteminin etkinliğinin yüksek olması gerekmektedir. Bu çalışmada WEKA yazılımı yardımıyla Karar Ağaçları, Lojistik Regresyon Ağaçları, J48 Ağaçları, Basit CART, Rassal Ağaç, Rassal Orman ve Naive Bayes yöntemleri kullanılmıştır. Doğru sınıflandırma ölçütü bakımından incelendiğinde en etkili sonucu Naive Bayes yönteminin verdiği belirlenmiştir. Daha sonra ise lojistik regresyon karar ağaçlarının etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. Naive Bayes yöntemine göre, yolun kaplama cinsi ve yolun sınıfı değişkenlerinin kaza türünü etkileyen etkili değişkenler olduğu tespit edilmiştir. Singh ve Kaur (2014) çalışmalarında, yol karakteristikleri ile kaza türü arasında ilişki olduğundan bahsetmişlerdir. Bu çalışmada, bu sonuç doğrulanmıştır. Sonuç olarak, kaza analizinde Bayes ve regresyon yaklaşımını kullanan yöntemlerin performansının, diğer karar ağaçlarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Trafik kazaları ile ilgili politika üretenler için yol gösterici nitelikte olan bu çalışmada, yolun kaplama cinsi ve yol sınıfı değişkenlerinin trafik kazalarını etkilediği görülmüştür. Yol kaplama türü ve yol sınıfının değiştirilmesi ile ilgili yapılacak çalışmalar sayesinde, trafik kazalarının azalacağı ön görülmektedir.

Referanslar

- Ahmed, L.A. (2017). Using logistic regression in determining the effective variables in traffic accidents. *Applied Mathematic Science*, 11(42), 2047-2058. doi:10.12988/ams.2017.75179
- Akçetin, E., & Çelik, U. (2010). İstenmeyen elektronik posta (spam) tespitinde karar ağacı algoritmalarının performans kıyaslaması. *İnternet Uygulamaları ve Yönetimi*, 5(2), 43-56. doi:10.5505/iuyd.2014.43531
- Akşehirli, Ö. (2012). Tıbbi Araştırmalarda Destek Vektör Makinelerinin Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi. Düzce Üniversitesi, Düzce.
- Albayrak, S. (2015). CE 4850 data mining sınıflama ve kümeleme yöntemleri. Ders Notları, Bilgisayar Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Aron, M., Billot, R., ElFaouzi, N., & Seidowsky, R. (2015). Traffic indicators, accidents and rain: some relationships calibrated on a french urban motorway network. *Transportation Research Procedia*, 10, 31-40. doi: 10.1016/j.trpro.2015.09.053
- Aydındag Bayrak, E., & Kirci, P. (2019) Intelligent big data analytics in health. In *Early Detection of Neurological Disorders Using Machine Learning Systems*, IGI Global 252-291. doi:10.4018/978-1-5225-8567-1.ch014
- Doğruyol Başar, M., & Akan, A. (2018). Chronic kidney disease prediction with reduced individual classifiers, *Electrica*, 18(2), 249-255. doi: 10.26650/electrica.2018.99255
- Bektaş, S. (2012). Çok şeritli bölünmüş karayollarında kaza tahmin modeli. *İleri Teknoloji Bilimler Dergisi*, 1 (1), 27-24.
- Bolakar, H. (2014). Yapay Sinir Ağları ile Trafik Kazalarının Modellenmesi: Erzurum İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1984). *Classification and regression trees*. Monterey, CA: Wadsworth & Brooks/Cole Advanced Books & Software.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32. doi :10.1023/A:1010933404324
- Chang, L., & Wang, H. (2006). Analysis of traffic injury severity: an application of non-parametric classification tree techniques. *Accident Analysis and Prevention*, 38(5), 1019-1027. doi: 10.1016/j.aap.2006.04.009
- Chong, M., Abraham, A., & Paprzycki, M. (2005). Traffic accident analysis using machine learning paradigms. *Informatica*, 29(1), 89-98.
- Cihan, Ş., Karabulut, B., Arslan, G., & Cihan, G. (2017). Koroner arter hastalığı riskinin veri madenciliği yöntemleri ile incelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(1), 85-93. doi: 10.29137/umagd.419663
- Daş, B., & Türkoğlu, İ. (2014). DNA dizilimlerinin sınıflandırılmasında karar ağacı algoritmalarının karşılaştırılması, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar-Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, 27 – 29.
- Delen, D., Sharda, R., & Bessonov, M. (2006). Identifying significant predictors of injury severity in traffic accidents using a series of artificial neural networks. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 434-444. doi: 10.1016/j.aap.2005.06.024
- EGM Trafik İstatistik Bülteni, 2018.
- Freund, Y., & Mason, L., (1999). The alternating decision tree learning algorithm. Paper presented at the Proceedings of the Sixteenth International Conference on Machine Learning, 1-10.
- Jiajia, L., Jie, H., Ziyang, L., Hao, Z., & Chen, Z. (2019). Traffic accident analysis based on C4.5 algorithm in WEKA. *MATEC Web of Conferences*, 272(10),1-8. doi: 10.1051/mateconf/201927201035
- Kaur, G., & Chhabra, A. (2014). Improved J48 classification algorithm for the prediction of diabetes. *International Journal of Computer Applications*, 98(22), 13-17. doi:10.5120/17314-7433
- Kwon, O.H., Rhee, W., & Yoon, Y. (2015). Application of classification algorithms for analysis of road safety risk factor dependencies. *Journal of Accident Analysis and Prevention*, 75, 1-15. doi: 10.1016/j.aap.2014.11.005
- Landwehr, N., Hall, M., & Frank, E. (2005). Logistic model trees. *Machine Learning*, 59(1-2), 161-205. doi:10.1007/s10994-005-0466-3
- Long, W. J., Griffith, J. L., Selker, H. P., & D'Agostino, R. B. (1993). A comparison of logistic regression to decision-tree induction in a medical domain. *Computers in Biomedical Research*, 26(1), 74-97. doi: 10.1006/cbmr.1993.1005

- Ma, Y. (2013). The research of stock predictive model based on the combination of cart and DBSCAN. Ninth International Conference on Computational Intelligence and Security, 159-164.
- Muhammad, L.J., Salisu, S., Yakubu, A., Malgwi, Y.M., Abdullahi, E.T., Mohammed, I.A., & Muhammad, N.A. (2017). Using decision tree data mining algorithm to predict causes of road traffic accidents, its prone locations and time along kano-wudil highway. International Journal of Database Theory and Application, 10(1), 197-206. doi: 10.14257/ijda.2017.10.1.18
- Özden, C., & Acı, Ç. (2018). Makine öğrenmesi yöntemleri ile yaralamalı trafik kazalarının analizi: Adana örneği. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(2), 266-275. doi: 10.5505/pajes.2016.87847
- Özgan, E., Ulusu, H., & Yıldız, K. (2004). Trafik kaza verilerinin analizi ve kaza tahmin modeli. SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(1), 160-166. doi:10.16984/saufbed.47078
- Öztürk, E., & Mesut, A. (2016). Makine öğrenmesi kullanılarak jpeg xr standardında dosya boyutu belirleme işlemi, 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU),1-4.
- Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. International Journal of Remote Sensing, 26(1), 217-222. doi:10.1080/01431160412331269698
- Patterson, D., Liu, F., Turner, D., Concepcion, A., & Lynch, R. (2008). Performance comparison of the data reduction system, Proceedings of the SPIE Symposium on Defense and Security, 1-6.
- Quinlan, J. R. (1993). C4.5: programs for machine learning. Morgan Kaufmann Publishers Inc.
- Singh, M., & Kaur, A. (2014). A Review on Road Accident in Traffic System using Data Mining Techniques. International Journal of Science and Research, 5(1), 1530-1535.
- Sohn, S.Y., & Shin, H. (2010). Pattern recognition for road traffic accident severity in Korea. Ergonomics, 44(1), 107-117. doi:10.1080/00140130120928
- Şeker, S. (2012). Weka, <http://bilgisayarkavramlari.sadievrenseker.com/2009/06/01/weka/>.
- Tolunay, M. K., & Gökdeniz, İ. (2002). Trafik bilincinin oluşması ve kurallara uyumu sağlamada kampanyaların yeri ve önemi. Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, 1-11.
- Witten, I.H., & Frank, E. (2005). Data mining practical machine learning tools and techniques 2rd edition. San Fransisco, Morgan Kaufmann Publications.
- Witten, I. H., Frank, E., & Hall, M. (2016). Data mining: Practical machine learning tools and techniques 3rd edition. USA: Morgan Kaufmann Publications.
- Yılmaz, H. (2014). Random Forests Yönteminde Kayıp Veri Probleminin İncelenmesi ve Sağlık Alanında Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Zhao, Y., & Zhang, Y. (2008). Comparison of decision tree methods for finding active objects. Advances in Space Research, 41(12), 1955-1959. doi: 10.1016/j.asr.2007.07.020.



Esnek Robotların Tasarım, Kontrol ve İmalat Çalışmaları

Design, Control and Manufacturing Studies of Soft Robots

Seda Yetkin^{*1} , Gonca Ozmen Koca² 

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, 13000 Bitlis, TÜRKİYE

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 23000 Elazığ, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 18/03/2020

Kabul / Accepted: 02/11/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Son dönemlerde teknolojinin gelişimine paralel olarak robotik sistemlerle ilgili çalışmalar hız kazanmıştır. Robotik sistemlerin amacı insanların yaşamını kolaylaştırmaktır. Bu amacı gerçekleştirebilmek için robotik sistemler oluşturulurken daha çok hayvanlar ve insanların günlük hareketlerinden esinlenmişlerdir.

Bu çalışmada, giderek önem kazanan ve robotiğin yeni bir alanı olan esnek robotların tasarımı, imalatı ve araştırma faaliyetleri üzerine son yıllarda yapılan çalışmalar incelenerek bir derleme yapılmıştır. İncelemeler sonucunda esnek robotları; sürünerek hareket edebilen, yüzebilen, rehabilitasyon amaçlı kullanılan ve tutucu olarak kullanılan esnek robotlar olarak sınıflandırılmıştır. Bu derleme makalesinde esnek robotlarda kullanılan farklı teknikler ve farklı kontrol sistemleri, farklı güç aktarım yöntemleri ve üretimi esnasında gerekli olan malzeme özellikleri anlatılmaktadır. Ayrıca farklı esnek robotların imalatı ile ilgili çalışmalar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda deneysel olarak gerçekleştirilen esnek robotlarda kullanılan donanım elemanları, kontrol edinme şekilleri ve kontrol sistemleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Robotik, esnek robotlar, kontrol sistem, pnömatik sistem”

Abstract

Lately, studies on robotic systems have gained speed in parallel with the development of technology. The purpose of robotic systems is to make people's lives easier. In order to realize this purpose, While creating robotic systems, they are mostly inspired by the daily movements of humans and animals.

In this study, a review is made by examining the recent studies on the design, manufacture and research activities of soft robots, which are becoming increasingly important and a new area of robotics. Soft robots as a result of the studies; They are classified as soft robots that can move by crawling, swim, are used for rehabilitation purposes and are used as grippers. In this review article, information is given about the different control systems used in soft robots, different power transmission methods, different techniques and material properties required during the production of soft robots. In addition, article on manufacturing different soft robots have been extensively study. As a result of these examinations, the hardware elements, control methods and control systems used in experimentally performed flexible robots are explained in detail.

Key Words

“Robotics, soft robots, control system, pneumatic system”

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte yapay zeka uygulamaları, kontrol ve akıllı sistemler büyük önem kazanmıştır. Bu sistemlerin büyük bir kısmını robotlar oluşturmaktadır. Günümüzde robotlar; evlerde, hastanelerde, fabrikalarda vb. farklı kullanım alanları ile karşımıza çıkmaktadır (Yetkin, 2016; Wallin et al. 2018). Robotlar sayesinde insanların işleri daha da kolaylaşmıştır. Robotiğin yeni bir alanı olan esnek robotların tasarımı, imalatı ve araştırma faaliyetleri üzerine yapılan çalışmaların son dönemlerde giderek önem kazandığı görülmektedir. Bunun nedeni esnek robotlarda kullanılan yumuşak ve genişleyebilen malzemelerdir. Bu malzemeler, çalışma ortamında çarpışmadan kaynaklı oluşacak olan herhangi bir sarsıntıyı absorbe edebileceklerdir. Böylece esnek robotlar sarsıntıların azalmasını sağlayacak ve esnek robotların kırılması engellenecektir. Fakat genellikle mühendisler, esnek olmayan malzemelerden oluşan katı robotlar imal etmektedirler. Bunun nedeni ise kolayca modellenebilir olmasıdır. Esnek robotlar, katı robotlarla karşılaştırıldığında esnek olması gibi çok çekici özelliklere sahip olmalarına rağmen, kolay deforme olabilmeleri, kolayca modellenememeleri ve doğrusal olmayan sistemler için eğitilebilir modeller geliştirmenin zorluğundan kaynaklı dezavantajları bulunmaktadır.

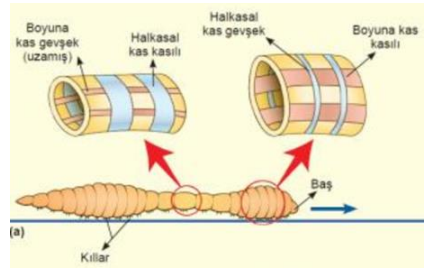
Biyoloji, esnek robotların tasarımı, imalatı ve kontrolü için mühendislere önemli bir ilham kaynağı oluşturmaktadır. Çevredeki canlılar göz önünde bulundurularak esnek robotlar üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Kim et al., 2013; Lee et al., 2017). Yapılan çalışmalara bakıldığında esnek robotlar; sürünerek hareket edebilen esnek robotlar Cao et al. (2016), yüzen esnek robotlar Marchese et al. (2014), rehabilitasyon ve biyomedikal cihazlar için kullanılan esnek robotlar Yüzgeç vd. (2016), tutucu olarak kullanılan esnek robotlar Guo et al. (2017), olarak sınıflandırılabilir.

Bu çalışma 6 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde sürünerek hareket eden, yüzebilen, rehabilitasyon amaçlı kullanılan ve tutucu olarak kullanılan esnek robotlar ile yapılan literatür çalışmaları incelenmiştir. İkinci bölümde esnek robotlarla ilgili literatür çalışmalarında yer alan kontrol sistemleri, kontrol edilme şekilleri ve malzeme seçimi anlatılmıştır. Üçüncü bölümde literatür çalışmalarında kullanılan donanım elemanları verilmiştir. Dördüncü, beşinci ve altıncı bölümde ise sırasıyla sonuçlar, öneriler ve kaynaklar sunulmuştur.

1.1. Sürünerek Hareket Eden Esnek Robotlar

Bu bölümde iki konu üzerinde durulmuştur. Bu konulardan birincisi; esnek robotların kullanım alanlarından biri olan sürünerek hareket edebilen esnek robotların ilham kaynakları olan yuvarlak, yassı ve halkalı solucanların hidrostatik hareketleridir. İkincisi ise; sürünerek hareket eden robotlar üzerine yapılan çalışmalardır.

Yuvarlak, yassı ve halkalı solucanlar gibi bazı omurgasız hayvanlar hidrostatik iskelet yapısına sahiptir. Hidrostatik iskelet yapısına sahip hayvanlar vücut sıvısı ve bu sıvıyı hareket ettirerek basınç oluşturan kaslardan meydana gelir. Solucanların bağırsaklarında 100-200 arasında halka (segment) ve kas tabakası bulunmaktadır (URL-1; URL-2). Şekil 1'de görüldüğü gibi bir toprak solucanı halka ve boyuna uzanmış şekilde bulunan iki farklı kas yapısına sahiptir.

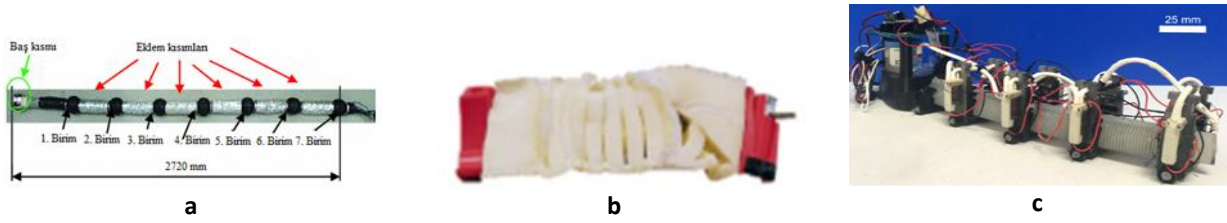


Şekil 1. Toprak solucanın iskelet yapısı (URL-3)

Toprak solucanı, Şekil 1'de gösterilen her iki kası da kullanarak baştan kuyruğa doğru ilerleyen ritmik kasılma dalgalarını oluşturmaktadır. Halka şeklindeki kaslar kasılarak vücut akışkanına basınç yapar ve solucan uzamaya başlar. Solucanın ön ucundaki kıllar yardımıyla zemine tutunduktan sonra solucanda bulunan diğer boyuna kaslar kasılır; vücudun arka kısmı öne doğru çekilerek vücut kalınlaşır. Böylece yassı solucan, hidrostatik hareketini sağlamış olur (URL-3). Hidrostatik hareket yaparak ilerleyen solucanlardan esinlenilerek Tomita ve arkadaşları, şebeke su borularında meydana gelen kazaları önlemek ve boruların iç-durum kontrolünü sağlamak için peristalsis sürünen bir robot yapmışlardır (Tomita et al., 2015). Şekil 2'de gösterildiği gibi Peristalsis robot, 6 kısımdan oluşmuştur. 5 eklem ve denetimin yapıldığı bir baş bölümü bulunmaktadır. Peristalsis robot, içerisine havanın gönderilip-boşaltılması ile ve sahip olduğu yapay kaslar yardımıyla hareketini sağlamış olur. Havayı sağlamak için kompresör ve havayı gönderip-boşaltmak için selenoid valf kullanılmıştır.

Sürünerek hareket eden omurgasız hayvanlardan biri ise tırtıllardır. Donatelli ve arkadaşları, tırtıllardan esinlenerek yapmış oldukları esnek bir robot olan SquMA Bot'u tanıtmışlardır (Donatelli et al., 2017). Şekil 2'de gösterilen SquMA Bot robotun gövdesinde esnek viskoelastik bir köpük olan Smooth-On FlexFoam malzemesini kullanmışlardır.

Sürünerek hareket edebilen omurgalı hayvanlardan biri ise yılanlardır yılanlardan esinlenerek Luo ve arkadaşları, yılanımsı bir esnek robot (SRS) tasarlamışlardır (Luo et al., 2015). Şekil 2'de gösterilen SRS robotun gövdesindeki her bir büküm yerine valf ve pasif tekerlek tutucuları yerleştirmişlerdir. Pasif tekerlekler, vücudun teğet ve normal yönleri arasında gerekli olan izotropik olmayan sürtünmeyi sağlamıştır.



Şekil 2. (a) Peristalsis sürünen robot (Tomita et al., 2015); (b) SquMA Bot esnek robot (Donatelli et al., 2017); (c) Yılanımsı esnek robot (Luo et al., 2015).

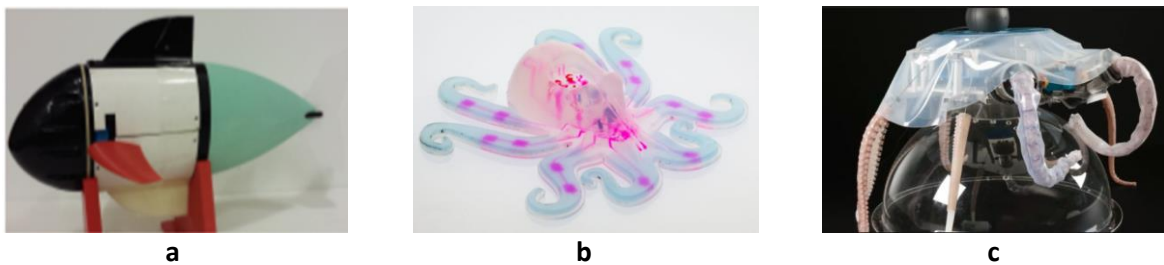
1.2. Yüzebilen Esnek Robotlar

Bu bölümde, su içerisinde yaşayabilen canlılardan esinlenerek yapılmış esnek robot çalışmaları hakkında detaylı bir inceleme gerçekleştirilmiştir.

Sualtı robotları, deniz endüstrisinde ve deniz operasyonlarında yasaklı bölgelerde daha zorlayıcı görevleri üstlenmektedir. Bu durum sualtı robotlarının uzaktan kontrolü ve otonom olarak kontrol edilmesi sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak için manevra yeteneğine sahip ve esnek olan sualtı robotları geliştirilmiştir.

Son yıllarda sualtı robotlarının tasarımını gerçekleştirmek için sualtı canlılarının yüzme stratejileri, fizyolojik yapıları ve hidrodinamikleri incelenmektedir. Bu incelemelere bakıldığında en çok balıklardan ilham alınarak yapılan biomimetrik robot balıklarının tasarımı ve kontrolü gerçekleştirilmiştir (Koca vd., 2018; Yetkin vd. 2017; Ay vd. 2017; Ay vd. 2018). Sualtı canlılarından esinlenilerek gerçekleştirilen robot balıkların gövdesi esnek yapıdan yapılırsa robot balıklar daha hızlı hareket etme özelliğine sahip olabilirler. Marchese ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Marchese (2014), bir balığın ince anatomik şeklini taklit eden gömülü kanalları içeren bir gövde gerçekleştirilmiştir. Katzschman ve arkadaşları ise çalışmalarında, hidrolik olarak çalıştırılan, 3 boyutlu olarak yüzebilen, otonom ve esnek gövdeli bir robot balık tasarlamışlardır (Katzschman et al., 2016). Şekil 3'de gösterilen robot balığın gövdesi pnomatik güç yerine hidrolik güç altında uzayabilmektedir.

Biyolojik sınıflandırmalara bakıldığında ise kalamar, ahtapot ve mürekkep balığı türleri esnekçilerin üyelerinden biri olan kafadanbacaklılar (cephalopoda) sınıfına aittir. Esnek gövdeli olmaları ve suda hareket edebilmeleri sebebiyle bilimsel olarak birbirine yakınlıkları bulunmaktadır. Fakat daha alt sınıflarına bakıldığında kalamar ve mürekkep balığı 10 kollular olarak adlandırıldığı, ahtapotun ise 8 kollular olarak adlandırıldığı bilinmektedir (Şen, 2006; Haimovici et al., 2009). Harvard Üniversitesindeki araştırmacılar (URL-4), kendi kendine hareket edebilen ve hareketini sağlamak için gerekli olan güç kaynağını elektrik yerine kimyasal reaksiyondan alan OCTOBOT adı verilen ahtapot şeklinde bir robot tasarlamışlardır. Şekil 3'de gösterilen OCTOBOT' un silikon gövdesinin içerisindeki hidrojen peroksit kimyasal malzemesinin dolaşımına bağlı olarak hareket sağlanmıştır. Hill ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (URL-5; URL-6), gerçek bir ahtapotun uzuvlarında bulunan boyuna ve enine kaslara benzemesi için şekil hafızalı alaşım (SMA) yaylar kullanılarak bir prototip kol inşa edilmiştir. Şekil 3'de gösterilen SMA yaylara farklı akım değerleri gönderilmesi ile uzama, kısalma ve bükülme hareketini gerçekleştirmiştir.



Şekil 3. (a) Esnek gövdeli robot balık (Katzschman et al., 2016); (b) OCTOBOT ahtapot robot (URL-4); (c) Ahtapot robot (URL-5)

1.3. Rehabilitasyon Amaçlı Kullanılan Esnek Robotlar

İnsanlarda meydana gelen hareket bozuklukları zamanla insanın yaşam kalitesini düşürür ve belirli bir süre sonra hareket kabiliyetinin yok olmasına neden olur. Özellikle insan kişisel ihtiyaçlarını karşılayabilmek için üst ekstremiteye ihtiyaç duyar. Üst ekstremitenin fonksiyonelliğinin kaybedilmesi yaşlılarda sıklıkla görülmenin yanı sıra kazalarla da meydana gelebilmektedir. Üst ekstremitenin fonksiyonelliğini geri kazanabilmek için birçok fizyoterapi yöntemi kullanılmaktadır. Teknolojideki gelişmelerle birlikte fizyoterapi ve rehabilitasyon alanının da meydana gelen gelişmeler robotik cihazların rehabilitasyonda kullanım alanlarını arttırmıştır (Chan et al., 2017; Yüzgeç et al., 2016).

Rehabilitasyon ve fizyoterapi alanlarında son dönemlerde esnek robotlar yapılmaya başlanmıştır. Bu bölümde bu alanda yapılan literatür sunulmuştur. Polygerinos et al. (2015a) çalışmasında, el doku rahatsızlığı (patolojisi) olan bireyler için yeni geliştirilen bir yardımcı esnek robot eldiveninin daha fazla geliştirilmesi, tanımlanması ve ilk değerlendirilmesi sunulmuştur. Tasarlanan

esnek robot eldiven, 500 gram ağırlığında ve 75 mm çapında bir silindiri kavrayabilmektedir. Polygerinos et al. (2015b) çalışmasında ise fonksiyonel kavrama hastalığı olan bireyler için el rehabilitasyonunu güçlendirmek üzere fiber takviyeli esnek bir robotik eldiven tasarlamışlardır. Bu robotik eldiven basınçlı akışkan altında eğilen, burulan ve yörüngede uzayan elyaf takviyeli elastomerik odalardan oluşan esnek aktüatörler kullanılmıştır. Biodesign Lab'da yürütülen bir araştırma projesinde ise tamamlanmamış bir omurilik hasarı olan hastalara kısmi el kontrolünü eski haline getirmeyi amaçlayan esnek robotik eldiven tasarlanmıştır (URL-7). Robotik eldiven içindeki her parmağın arkasına esnek aktüatörler yerleştirilmiş ve böylece kullanıcının nesnelere sıkıca kavraması sağlanmıştır. Yi et al. (2018) çalışmalarında, kullanıcı tarafından giyilebilen, 50 gramın altında ağırlığı olan ve düşük basınç ile yüksek kuvvet üreten esnek bir eldiven tasarlamışlardır. Bartlett ve arkadaşları da çalışmalarında yoğun egzersiz rejimleriyle hastalara terapi teknikleri ile el bileğini geliştirmeyi amaçlayan giyilebilir robotik bir eldiven tasarlamışlardır (Bartlett et al., 2015). Yap et al. (2017) çalışmalarında, el rahatsızlığı olan hastalara, rehabilitasyon egzersizleri yaptırmak ve günlük yaşam aktivitelerine kolaylaştırmak için kumaşa dayalı çift yönlü bir esnek robot eldiven sunulmuştur. Diğer bir çalışmada ise eldivenin aktifleştirilmesi veya devre dışı bırakılması için kullanıcı niyetinin tespit edilmesi için yüzey elektromiyografi ve radyo frekansı tanımlama tekniklerini kullanılmıştır (Yap et al., 2016). Deimel and Brock (2016), son derece uyumlu, zayıf, sağlam ve dingin bir antropomorfik el olan RBO El 2'yi sunmuşlardır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda rehabilitasyon amaçlı esnek robot el tasarımları Şekil 4'de gösterilmiştir.

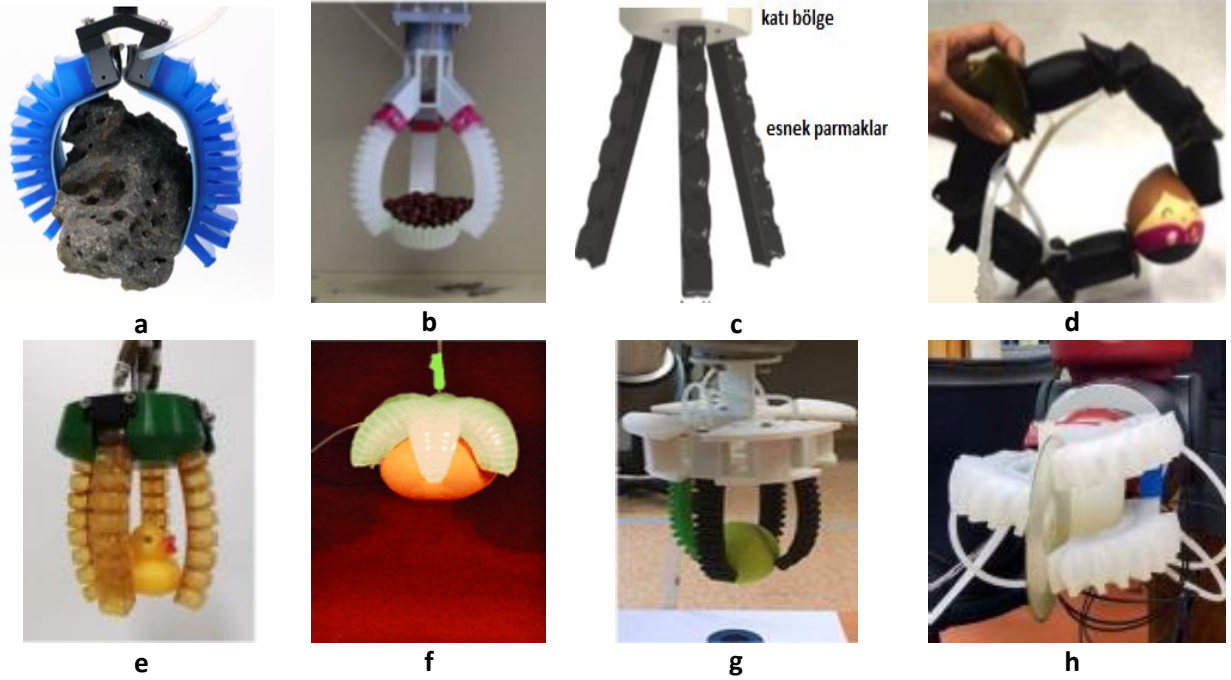


Şekil 4. (a) Esnek robotik eldiven (Polygerinos et al., 2015a); (b) Fiber takviyeli (Polygerinos et al., 2015b); (c) Esnek robotik eldiven (URL-7); (d) Esnek eldiven ve çift yönlü doğrusal esnek aktüatör (Yi et al., 2018); (e) Giyilebilir robotik bir eldiven tasarımı (Bartlett et al., 2015); (f) Esnek termoplastik poliüretan kaplı eldiven (Yap et al., 2017); (g) Elektro-pnömatik esnek eldiven (Yap et al., 2016); (h) DielsAlder polimerler el (Zhu et al., 2017); (i) RBO El 2 (Deimel and Brock, 2016).

1.4. Tutucu Olarak Kullanılan Esnek Robotlar

İnsanların günlük yaşantılarında bir eşyayı bir yerden alıp başka bir yere taşımak ve bu işi sürekli olarak yapma gereksinimlerini karşılamak amacıyla tutucu teknolojileri üzerine birçok çalışma geliştirilmiştir (Shintake et al., 2018; Wang et al., 2018). Bu bölümde tutucu teknolojisinin yeni bir alanı olan esnek tutucular üzerine yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Guo et al. (2017), kısıcağların sebep olduğu yumuşak doku zedelenmelerini en aza indirmek için yeni bir esnek tutucu tasarlamış ve üretmişlerdir. Bu esnek tutucu; 0.8 mm çapına sahip iki küçük çubuktan, esnek hava ile şişebilen bir aktüatörden ve 3 boyutlu geri çekilebilir kabuktan meydana gelmiştir. Glick et al. (2018), hem mevcut olan tutucuların özelliklerini geliştirmişler hem de yeni bir aktüatör tasarlamışlardır. Aktüatörler, sıvımsı elastomer aktüatörler ve gecko sürüngenlerinin yapışkanlık özellikleri incelenerek ikisinin kombinasyonu sonucunda oluşturulmuştur. Zhu et al. (2017), eğim sensörü ile kontrol edilen esnek bir tutucunun tasarımı ve imalatı anlatmışlardır. Tutucu 3 eş parmandan oluşmuş ve bu parmaklar bir kilitleme mekanizması ile bir

robot kola bağlanmıştır. Zhang et al. (2017), üç parmaktan oluşan, hareketini pnomatik olarak sağlayan bir esnek tutucu imal etmişlerdir. Her bir tutucu parmak, Veroclear ile TangoBlack malzemelerin karışımından oluşan kompozit bir yapıya sahiptir. Khin et al. (2017) çalışmasında, kumaş tabanlı döner aktüatörler (FRA) ve kirişlerin bir araya getirilmesiyle esnek pnomatik yapıya sahip C şeklinde bir tutucu oluşturulmuştur. Terryn et al. (2017), ısıya dayanıklı kovalent bağları içeren DielsAlder polimerleri kullanarak esnek bir tutucu, esnek bir el ve yapay kasları geliştirmişlerdir. Ilievski et al. (2011) tutucuyu harekete geçirmek için balon gibi şişirilen elastomerlerde kanalların gömülü pnömatrik ağlarını (PneuNets) kullanmışlardır. Low et al. (2017), 3 boyutlu esnek kumaşlı haptik bir tutucu tasarlamışlardır. Homberg ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, nesnelere güçlü bir şekilde kavrayan ve tanımlayan esnek bir el sunmuşlardır (Homberg et al., 2015; URL-8). İncelenen çalışmalar sonucunda tutucu olarak kullanılan esnek robot el tasarımları Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. (a) Gecko Tutucusu (Glick et al., 2018); (b) 3 Parmaklı Esnek Tutucu (Zhu et al., 2017); (c) Kompozit Tutucu (Zhang et al., 2017). (d) C Şekilli Tutucu (Khin et al., 2017); (e) DielsAlder Polimerlerli Tutucu (Terryn et al., 2017); (f) PneuNets Tutucu (Ilievski et al., 2011); (g) Haptik Tutucu (Low et al., 2017); (h) Baxter Tutucu (Homberg et al., 2015).

2. Materyal ve Metot

Esnek robotlar, esnek olarak hareketliliğini gerçekleştirme bilmesi için yumuşak malzeme özelliklerinden, özellikle de elastiklikten yararlanmaktadır. Elastiklik özelliği nedeniyle, robotların gövdesinin ve işlevlerinin çalışma ortamlarına uygun olmasını sağlayan kontrolün dikkate alınması gerekir. Bu kontrolü sağlama bilmesi için, robotlara uygun kontrol sistemlerin seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca esnek robotların ayırt edici en önemli özelliklerinden biride robotların yapımında kullanılan gövdeye uygun şekilde güç aktarımını sağlayan güç kaynaklarının seçilmesidir.

Bu bölümde bir esnek robotun üretimi sırasında gerçekleştirilen kontrol sistemleri, kontrol edilme şekilleri ve malzeme seçimi ile ilgili önemli konular hakkında detaylı incelemeler sunulmuştur.

2.1. Esnek Robotların Kontrol Sistemleri

Robotların kontrol sistemleri geri beslemeli ve geri beslemesiz olmak üzere iki temel sınıfa ayrılabilirler. Kontrol edilecek sistemde algılayıcılar bulunuyorsa ve bu algılayıcılardan gelen bilgi kontrol sistemine girdi olarak uygulanıyorsa bu tip sistemlere geri beslemeli sistem denir (Bicakci, 2012). Geri beslemesiz kontrol sisteminde ise kontrol sistem ile kontrollü değişken arasında doğrudan bir bağlantı bulunmamaktadır. Esnek robotların kontrol yöntemlerine bakıldığında son yıllardaki çalışmalarda geri beslemeli Oransal kontrol, Oransal-Türevsel, Oransal-Türevsel-İntegral kontrol ve Kayma Kipli kontrol yapıları kullanılmıştır.

2.1.1. Oransal (p) kontrol

Oransal kontrol en çok kullanılan doğrusal geri beslemeli kontrol sistemlerinden bir tanesidir (Bicakci, 2012). Oransal kontrol yardımıyla esnek robotlarda akışkanların kontrolü sağlanmıştır. Oransal kontrolcü, çıkışına hatanın belirli bir “Kazanç” değeri ile çarpımı kadar etki göstermektedir (URL-9). Amacı ise sabit durum hatasını azaltmaktır. Kazanç değeri arttıkça kararlı durum hatası azalmaktadır.

2.1.2. Oransal-türevsel (pd) kontrol

PD kontrolörünün kullanılmasının amacı, sistem müdahalesinin gelecekteki hatasını tahmin etme yeteneğine sahip olduğundan, kontrolü iyileştirerek sistemin stabilitesini arttırmaktır. D modu, hata çıkışındaki ani değişikliklerden kaynaklanan kontrol çıkışında meydana gelen ani değişikliklerin önlenmesi için çıkış değişkeninin değişimi ile orantılı olacak şekilde tasarlanmıştır (Temel, 2013).

2.1.3. Oransal-türevsel-integral (pid) kontrol

PID kontrol ünitesi, kararlı durum hatası sıfır, hızlı tepki (kısa yükselme süresi), salınım ve daha yüksek kararlılık dahil olmak üzere optimum kontrol dinamiğine sahiptir. PI kontrolörüne ek olarak bir türev kazanç bileşeninin kullanılmasının gerekliliği, sistemin çıkış yanıtında meydana gelen aşma ve salınımların ortadan kaldırılması içindir (Temel, 2013).

2.1.4. Kayma kipli (kkk) kontrol

Doğrusal olmayan veya değişen parametrelere sahip sistemlerin kontrolü için kullanılan en iyi kontrol yöntemlerinden birisi de Kayma Kipli Kontrolüdür. Modellenmemiş dinamikler ve bozucu girişlerin etkili olduğu durumlarda bu yöntem dayanıklı bir kontrol yöntemi sağlar. KKK yönteminin asıl amacı sistem kaçınıcı dereceden olursa olsun sistemin davranışını birinci dereceye indirgeyerek kontrol girişini belirlemek ve sistemin birinci derece gibi davranmasını sağlamaktır. Böylece, bu kontrol yöntemi sayesinde modellenmemiş parametrelerin ve bozucu girişlerin etkisinin görüldüğü durumlarda bile kararlı bir kontrol elde edilmiş olur (Koca, 2010).

2.2. Esnek Robotların Kontrol Edilme Şekilleri

Esnek robotların hareketleri katı cisimlerin kontrolünden farklı olarak altı serbestlik derecesiyle tanımlanabilmektedir (x, y ve z eksenleri etrafında üç dönüş ve üç çeviri). Esnek malzemeler elastik, büküleme, kırılma ve gerilme vb. yapılarla sahiptir (Yi, 2018). Esnek bir robotun gövdesinin hareket ettirilebilmesi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Esnek robotların ayırt edici en önemli özellikleri robotların yapımında kullanılan aktüatörler ve gövdeye uygun şekilde güç aktarımını sağlayan güç kaynaklarıdır. Güç aktarım şekillerine bakıldığında 4 ana grupta incelenmiştir (URL-10). Bu aktarım şekilleri aşağıda kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır.

2.2.1. Hidrolik sistemler

Günümüzde "hidrolik" sıvı akışkanlar aracılığıyla kuvvetlerin ve hareketlerin iletilmesini sağlayan sistemlerdir. Elektrik motorunun tahrik ettiği hidrolik pompa ile akışkanın belirli bir basınçta ve debide basılmasını sağlar. Bu hidrolik enerji ile doğrusal, dairesel ve açılma hareketi üretilmesine neden olur. Esnek robotlar ile yapılan çalışmalar incelendiğinde güç aktarımları hidrolik sistemler ile sağlanmış olanlar olduğu da görülmüştür (URL-10). Daha çok akışkan olarak yaşam kaynağımız olan su ile yapıldıkları göze çarpmaktadır.

2.2.2. Pnömatik sistemler

Sıkıştırılmış hava ile çalışan sistemlere pnömatik sistemler denir. Genellikle ortamda bulunan havayı alarak mekanik enerjiye çeviren sistemlerdir. Pnömatik enerjiyi kullanarak enerjinin açılma, dairesel ve doğrusal bir şekilde hareket etmesini sağlamaktadırlar. Pnömatik sistemler için kullanılacak olan hava basıncı genellikle kompresör yardımı ile elde edilmektedir. Esnek robotların bir zorluğu ise robotu harekete geçirmek için taşınabilir bir güç kaynağı bulabilmektir. Pnömatik sistemler için mevcut akışkanın güç kaynakları esnek değildir ve genellikle büyük ve hantaldır. Basınçları sağlamak için kompresörler veya pompalar ve sıkıştırılmış hava silindirleri kullanılır. Minyatür kompresörler, elektrik enerjisini verimsiz kullanırlar ve silindirler uzun ömürlü olmazlar. Kimyasal olarak çalıştırılan portatif basınç kaynağı bir hidrojen peroksit monopropellant kullanılarak basınçlı gaz üretir (Yi, 2018).

Pnömatik sistemler de, elektrik kontrolörleri gibi esnek ve hafif elektrik güç kaynakları gerektirirler. Bundan dolayı grafen, organik polimer, gömülü iletken kumaş bazlı bataryalar kullanılmaktadır.

2.2.3. Elektriksel sistemler

Genellikle elektriği kullanarak mekanik enerjiye çeviren sistemlerdir. Elektrik enerjisini alarak enerjiyi açılma, dairesel ve doğrusal bir şekilde hareket ettirmeyi sağlamaktadırlar. Rijit robot teknolojisinde en çok kullanılan kontrol edilme şekillerinden biridir (Koca, 2018). Bu teknolojiye en çok kullanılan servo motorlar ve fırçasız DC motorlar bunlara örnek verilebilir.

2.2.4. Kimyasal sistemler

Son dönemlerde yeni bir araştırma alanı olan kimyasal tepkiler robotik alanında gerçekleştirilen çalışmalara hızla girmiştir. Kimyasal enerji moleküldeki atomların tepkimesi sonucu açığa çıkan enerjidir. Kimyasal enerjinin mekanik enerjiye dönüşmesi esnek robotlarda yapılan çalışmalarda kullanılmaya başlanmıştır (Rus, 2015).

2.3. Malzeme Seçimi

Son yıllarda dünya çapında birçok malzeme ile birçok farklı çalışma alanları ile karşılaşmaktadır (Cengiz, Mamiş 2015; Cengiz, 2018). Esnek robot ile yapılan çalışmalarda bakıldığında aktüatör olarak daha çok fiber takviyeli aktüatörlerin kullanıldığı görülmektedir. Fiber takviyeli aktüatörlerin temel tasarımına bakıldığında uzayabilir olmayan takviyeler ile sarılmış bir elastomer iç lastikten oluşmaktadır. Çekme kuvveti altında çok yüksek oranda uzayabilen, kuvvet kaldırıldığında ise başlangıç uzunluğuna geri dönebilen çapraz bağlanmış kauçuğumsu polimerlere Elastomer malzemeler denir (URL-11).

Fiber takviyeli aktüatörün iç lastiği bir balon gibi davranır; hava her yöne doğru genişlemeye başlar. İç lastik, uzamayan takviyeler ile sarıldığında radyal olarak genişlemesi engellenir ve hava verildiğinde sadece eksel yönde ilerlemesi sağlanır. Fiber takviyeli aktüatöre uzamayan bir malzeme tabakası eklenirse aktüatörün o tabaka bölgesinde genişlemesi engellenir. Diğer tabaka genişlemeye devam ettirilirse uzamayan tabaka etrafında bükülme hareketi sağlanmış olur (URL-12). Fiber takviyeli aktüatör tasarlanırken;

- İçi boş yarım silindir şeklinde elastomer malzemeden oluşan iç lastik bölgesinin kalıbı oluşturulur.
- Hava verildiğinde gerilmeyi azaltan fiberglas malzemeden oluşan gerilme sınırlayıcı tabaka yerleştirilir.
- Radyal gerilmeleri sınırlayarak uzamayı sağlayan Kevlar ipliği ile sarımı yapılan takviyeler gerçekleştirilir.
- Son olarak ise Kevlar ipliğinin sabitlenmesi için dış deri tabakası oluşturulur.

Aktüatörün iç lastik bölgesini oluşturulurken kullanılacak malzemeler Wacker Chemie AG firması tarafından üretilen Elastosil M4601 silikon veya Smooth-On Inc. firması tarafından üretilen Dragon Skin 30 dur. Takviyeleri yerinde tutmak için uygulanan dış deri tabakası için Ecoflex 20 veya Dragon Skin 20 gibi daha düşük sertlikteki malzemeler kullanılır.

Tablo 1. Malzemeler ve Özellikleri

Malzemeler	Özellikler	Kullanım amacı
Elastosil M4601	<ul style="list-style-type: none"> • Çok iyi bir akışkan • Isıl uygulamalarda önemli ölçüde büzülebilen oda sıcaklığında büzülmeyen • Yırtılmaya dayanıklı • Yaygın döküm reçinelerine, özellikle poliüretanlara karşı mükemmel dirençli • A ve B olmak üzere 2 bileşenli malzemedir • A bileşenin rengi beyaz, yoğunluğu 1,14 g / cm³ ve viskozitesi 15000 mPa s. • B bileşenin rengi kırmızımsı kahverengi, yoğunluğu 1,01 g / cm³ ve viskozitesi 800 mPa s (URL-13). 	Aktüatörün iç lastik bölgesi
Dragon Skin 30	<ul style="list-style-type: none"> • Platin katalizli sıvı silikondur • Çalışma sıcaklığı -21°C ve +205°C arasındadır • A ve B olmak üzere 2 bileşenli malzemelerdir ve renkleri yarısaydamdır. • Karışım sonucundaki yoğunluğu 1.08 g / cm³ (URL-14). 	Aktüatörün iç lastik bölgesi
Ecoflex 20	<ul style="list-style-type: none"> • Platin katalizli sıvı silikondur • Çalışma sıcaklığı --53°C ve 232°C arasındadır • 2 bileşenlidir ve renkleri yarısaydamdır. • Karışım sonucundaki yoğunluğu 1.07 g / cm³ (URL-15). 	Aktüatörün dış deri tabakası
Dragon Skin 20	<ul style="list-style-type: none"> • Platin katalizli sıvı silikondur • Çalışma sıcaklığı -53°C ve 232°C arasındadır • 2 bileşenlidir ve renkleri yarısaydamdır. • Karışım sonucundaki yoğunluğu 1.08 g / cm³ (URL-14). 	Aktüatörün dış deri tabakası
Fiberglas	<ul style="list-style-type: none"> • Çeliğe karşı 4 kat fazla çekme dayanımına sahiptir. • Küflenmez veya paslanmaz • Dış etkenlerden etkilenmez (korozyon gibi) • Sıcaktan veya soğuktan etkilenmez • Şekil değişikliğine uğramaz ve su geçirmez. • İstenilen ebatta, şekilde ve renkte üretimi yapılabilmektedir • Darbelere dayanıklıdır (URL-16). 	Aktüatörün gerilme sınırlayıcı tabakası

Tablo 1 (devamı). Malzemeler ve Özellikleri

Malzemeler	Özellikler	Kullanım amacı
Tyvek	<ul style="list-style-type: none"> Nefes alan su yalıtım örtüsüdür Yüksek mukavemetli %100 HDPE (High Density Polyethylene) Isıl bağlı mikro gözenekli yapılıdır Daimi buhar geçirgen yapılıdır (Sd=0,02m.) Yüksek su yalıtım özelliği (1.5m.s.s.) Yüksek ısı dayanımındadır (-73°C/+100°C) (URL-17). 	Aktüatörün gerilme sınırlayıcı tabakası
Kevlar	<ul style="list-style-type: none"> Eşit ağırlık bazında çelikten beş kat daha güçlü olan bir elyafır (URL-18). 	Aktüatörün gerilme sınırlayıcı tabakası

Tablo 1’de fiber takviyeli aktüatörlerde kullanılan Elastosil M4601, Dragon Skin 30, Ecoflex 20, Dragon Skin 20, Fiberglas, Tyvek ve Kevlar ip malzemelerin özellikleri verilmiştir.

3. Bulgular

Esnek robotlar ile ilgili literatür çalışmaları incelendiğinde en önemli kriterlerin tasarımda kullanılan donanım elemanları ve esnek malzemelerinin seçimi olduğu sonucuna varılmıştır. Esnek robotlar, seçilen malzemeler ile tasarlanırken daha çok kalıp oluşturularak modellenme gerçekleştirilir. Bu kalıplar 3 boyutlu yazıcılar tarafından imal edilmiştir. Tablo 2’de verildiği üzere incelenen makalelerin hangi tür esnek robot olduğu ve onlara ait kullanılan donanım elemanları, kontrol edilme şekilleri ve kontrol sistemleri belirtilmiştir. Ayrıca hava ve su ile kontrol edilen çalışmalarda basınçlı hava üretmek için kompresörler kullanılmıştır. Oluşturulan havanın istenilen basınçta sisteme verilmesi için basınç sensörleri ile ölçüm yapılmıştır. Gerekli olan basınçlı havayı yönlendirmek için daha çok selonoid valfler tercih edilmiştir. Selonid valfleri, basınç sensörlerini, motorları ve kompresörleri kontrol etmek için ise Arduino, FPGA gibi farklı tip kontrol kartları tercih edilmiştir. Ayrıca esnek robotlarda güç aktarım şekli elektrik olan motorlar da kullanılabilir. Motorlar ile yapılan esnek robot çalışmalarında daha çok servo motor ve fırçalı DC motor kullanılmıştır.

Tablo 2. Esnek Robotlarda Kullanılan Elemanlar ve Kontrol Sistemleri

Esnek robot türleri	Kullanılan elemanları	donanım	Kontrol edinme şekilleri	Kontrol sistemleri	İlgili literatür
Rehabilitasyon Amaçlı Kullanılan Esnek Robot	Fiber takviyeli elastomer aktüatörler, Basınç sensörleri (150PGAA5), Basınç valfleri, Arduino Mega (2560), Lityum polimer pil (14.8V).		Su ile kontrol	Kayar kipli kontrol (KKK)	Polygerinos, 2015.
Rehabilitasyon Amaçlı Kullanılan Esnek Robot	3 boyutlu yazıcıda basılmış termoplastik poliüretan (TPU) malzeme, Basınç sensörü, Arduino Uno, Esnek ağızlı valfler.		Hava ile kontrol	Oransal kontrol (P)	Yi, 2018.
Rehabilitasyon Amaçlı Kullanılan Esnek Robot	3 Boyutlu yazıcıda basılmış sert (Ahşap) malzeme, Eğim sensörü, Arduino Uno.		Servo motor ile kontrol	-----	Chan, 2016.
Tutucu Olarak Kullanılan Esnek Robot	3 Boyutlu yazıcıda basılmış VeroClear plastik malzeme, Selonoid valf, Hava pompası, Arduino Mega.		Hava ile kontrol	-----	Guo, 2017.
Rehabilitasyon Amaçlı Kullanılan Esnek Robot	Termoplastik poliüretan (TPU) malzeme, Basınç sensörü, Arduino Mega, Selonoid valf, Hava pompası.		Hava ile kontrol	Oransal-İntegral-Türevsel denetleyici kontrol (PID)	Yap, 2017.

Tablo 2 (devamı). Esnek Robotlarda Kullanılan Elemanlar ve Kontrol Sistemleri

Esnek türleri	robot	Kullanılan elemanları	donanım	Kontrol şekilleri	edinme	Kontrol sistemleri	İlgili literatür
Sürünerek Hareket Eden Esnek Robot		Smooth-On poliüretan, LLC 44 RPM Dişli motor, myRio FPGA, DuPont Kevlar.	FlexFoam malzeme, fırçalı DC motor,	DC motor ile kontrol		-----	Donatelli, 2017.
Tutucu Olarak Kullanılan Esnek Robot		Dragon Skin adında silikon kauçuk eğim sensörü.		Hava ile kontrol		-----	Zhu, 2017.
Tutucu Olarak Kullanılan Esnek Robot		Ninjaflex filement ve termoplastik polüüretan malzemeler, Basınç sensörü.	Selonoid valf,	Hava ile kontrol		Oransal-türevsel denetleyici (PD)	Deimel, 2017.
Rehabilitasyon Amaçlı Kullanılan Esnek Robot		Ninjaflex filement, Arduino, Teller.		Servo motor ile kontrol		-----	Chan, 2017.
Tutucu Olarak Kullanılan Esnek Robot		Dragonskin (10-20) ve Ecoflex (00-10) malzemeler, Esnek sensör (BendShort 2.0), Arduino micro, Lineer motor.		Hava ile kontrol		-----	Homberg, 2015.
Rehabilitasyon Amaçlı Kullanılan Esnek Robot		Sıvı elastomer (DragonSkin10, Smooth-On) malzemeler, Ağırlık sensörü (Load cell), Basınç sensörü (MPX5500DP), Selonoid valf (X-Valve, Parker), Hava pompası (D737-23-01), Arduino Mega.		Hava ile kontrol		Darbe genişli modülasyon (PWM)	Yap, 2016.
Rehabilitasyon Amaçlı Kullanılan Esnek Robot		PneuFlex malzeme, Basınç sensörü, Selonoid valf, Hava boruları.		Hava ile kontrol		-----	Deimel, 2015.

4. Sonuç ve Tartışma

Giderek önem kazanan ve robotiğin yeni bir alanı olan esnek robotların tasarımı, imalatı ve araştırma faaliyetleri üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. İncelemeler sonucunda esnek robotlar ile ilgili bir derleme çalışması yapılmıştır. Çalışmalara bakıldığında esnek robotların kullanım alanları sürünerek hareket edebilen, yüzebilen, rehabilitasyon amaçlı ve tutucular olarak gruplandırılmıştır. Sürünerek hareket edebilen esnek robotlar yuvarlak, yassı, halkalı solucanlar ve tırtıl gibi omurgasız hayvanların yanı sıra yılan gibi omurgalı hayvanların hareketlerinden esinlenilerek gerçekleştirildiği görülmüştür. Yüzerek hareket eden esnek robotlar da daha çok balıklar ve kafadanbacaklılar grubuna giren ahtapot dan yararlanılmıştır. Rehabilitasyon amaçlı esnek robotlar daha çok fonksiyonel kavrama hastalığı olan bireyler için el rehabilitasyonunu güçlendirmek üzere insanların el ve bilek hareketleri ilham alınmıştır. Esnek tutucularda ise insanların el ve bilek hareketlerinin yanı sıra gecko gibi sürüngenlerin yapışkanlığından da yararlanılmıştır.

Esnek robotlar ile yapılan çalışmalar incelendiğinde güç aktarımlarının daha çok hidrolik (Su), pnömatik (Hava), kimyasal ve elektrik (Motor) ile sağlandığı görülmüştür. Esnek robotların hareketliliğini sağlayan aktüatörlerin iç lastik bölgesinde daha çok Elastosil M4601 silikon veya Dragon Skin 30 malzemelerinden biri kullanıldığı görülmüştür. Aktüatörün dış deri tabakası için ise daha düşük sertlikteki malzemelerden olan Ecoflex 20 veya Dragon Skin 20 kullanılmıştır.

Esnek robotlar tasarlanırken öncelikle esnek malzemenin dökümü için bir kalıp hazırlandığı görülmüştür. Bu kalıplar 3 boyutlu yazıcılar tarafından üretilmiştir. Kalıpları oluşturulan tasarımlara Smooth-On FlexFoam poliüretan, Termoplastik poliüretan,

Dragonskin (10-20) ve Ecoflex (00-10) silikon malzemeleri gibi farklı çeşit esnek malzemeler dökülmüştür. Daha sonra hava ile kontrol edinme şekillerinde vakum pompası veya kompresör, sayesinde robotun kanallarına hava verilerek robotların hareketi sağlanmıştır. Basınç sensörleri, kanallara verilecek olan basınçları ayarlamıştır. Robotların istenilen hareketi sağlaması için uygun kanallara hava akışını yönlendiren selonid valfler kullanılmıştır. Esnek robotların kullanıcının istediğini kontrollü bir şekilde yapabilmesi için bütün devre elemanlarını kontrol eden Arduino, FPGA gibi farklı tip kontrol kartları tercih edilmiştir. Ayrıca hidrolik sistemli esnek robotların hareketinin sağlanması için gerekli akışkanı depolayan bir tank ve bu tanktan akışkanı kanallara gönderen bir pompa kullanılmıştır. Akışkan valfleri sayesinde akışkanların yönlendirilmesi sağlanmıştır.

Esnek robotlar sayesinde insanların işleri daha da kolaylaşmıştır. Bunun nedeni ise esnek robotların diğer robotlara göre daha esnek bir şekilde hareketliliğinin sağlanması ve geliştirilen yöntemler sayesinde sarsıntılar azalmasına neden olmuştur. Ayrıca güvensiz ortamlarda ve tekrarlı işlerde esnek robotlar çokça kullanılmaya başlanmıştır.

5. Öneriler

İleriki çalışmalarda rehabilitasyon amaçlı kullanılan esnek bir el tasarlanarak bütün parmakların hava ile kontrolü sağlanacaktır. Yapılmış olan esnek robotların ANSYS paket programında zamana bağlı akış analizi yapılabilir. Daha farklı malzemelerin karışımı ile olan yeni bir kimyasal madde kullanılarak esnek parmaklar yapılabilir. Yapılmış olan esnek parmak farklı kontrol yöntemleri ile kontrol edilebilir.

Referanslar

Ay, M., Korkmaz, D., Ozmen, K. G., Bal, C., Akpolat, Z. H. & Bingol, M. C., (2018). Mechatronic Design and Manufacturing of the Intelligent Robotic Fish for Bio-Inspired Swimming Modes, *Electronics*, 7, 118.

Ay, M., Ozmen, K. G., Yetkin, S., Bal, C. & Akpolat, Z. H. (2017). Farklı Kuyruk Modellerine Sahip Bir Robot Balığın FSI Analizi, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 12(1), 78-89.

Bartlett, N. W., Lyau, V., Raiford, W. A., Holland, D., Gafford, J. B., Ellis, T. D. & Walsh, C. (2015). A Soft Robotic Orthosis for Wrist Rehabilitation, *The Design of Medical Devices*, 9, 1-3.

Bicakci, S. (2012). Sanal Elemanlar Yardımı İle Üst Seviye Robot Kontrol Sistemi Tasarımı, *Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 31-39.

Cao, Y., Liub, Y., Chena, Y., Zhua, L., Yana, Y. & Chenc, X. (2016). A Novel Slithering Locomotion Mechanism For A Snake Like Soft Robot, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 99, 304–320.

Cengiz M.S., Mamis M.S. (2015). Geçmişten Günümüze Stirling Motorlar için Literatür Çalışması. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 1 (6), 10-19

Cengiz M.S., Mamis M.S, & Yurcu Y. (2018). Providing Electrical Power Increase By Stimulating temperature Difference at Low Temperatures in Stirling Motors. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36(1), 87-97

Cengiz M.S., Mamis M.S, (2016). Analysis Of Electrical Efficiency In Stirling Engine For Temperature Increase. *International Workshop on Special Topics on Polymeric Composites*, FEBRUARY 24-26, 2016, pp. 68-73.

Chan, Y. H., Tse, Z. & Ren, H. (2017). Design Evolution and Pilot Study for a Kirigami-inspired Flexible and Soft Anthropomorphic Robotic Hand, *International Conference on Advanced Robotics*, China, 432 - 437.

Deimel, R. & Brock, O. (2016). A novel type of compliant and under actuated robotic hand for dexterous grasping, *The International Journal of Robotics Research*, 35(1–3), 161–185.

Donatelli, C. N., Serlin, Z. T., Jones, E. P., Scibelli, A. E., Cohen, A., Musca, J. M., Levy, S. R., Buckingham, D., White, R. & Trimmer, B. A. (2017). Soft Foam Robot with Caterpillar-Inspired Gait Regimes for Terrestrial Locomotion, *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, IEEE, Canada, 476 - 481.

Glick, P., Suresh, S. A., Ruffatto, D., Cutkosky, M., Tolley, M. T. & Parness, A. (2018). A Soft Robotic Gripper With Gecko-Inspired Adhesive, *IEEE Robotics And Automation Letters*, 3, 903 - 910.

Guo, J., Sun, Y., Liang, X., Low, J. H., Wong, Y. R., Tay, V. S. C. & Yeow, C. H. (2017). Design and fabrication of a pneumatic soft robotic gripper for delicate surgical manipulation, *International Conference on Mechatronics and Automation*, IEEE, Japan, 1069-1074.

Haimovici, M., Santos, R. A., & Fischer, L. G. (2009). Class Cephalopoda. In: Rios, E. de C. 2009. *Compendium of Brazilian Sea Shells*. Rio Grande, RS: Evangraf, 610-649.

- Homberg, B. S., Katschmann, R. K., Dogar, M. R. & Rus, D., (2015). Haptic Identification of Objects using a Modular Soft Robotic Gripper, International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE, 1698-1705.
- Ilievski, F., Mazzeo, A. D., Shepherd, R. F., Chen, X. & Whitesides, G. M. (2011). Soft Robotics for Chemists, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 50, 1890–1895.
- Katschmann, R. K., Marchese, A. D. & Rus, D. (2016). Hydraulic Autonomous Soft Robotic Fish for 3D Swimming”, International Symposium on Experimental Robotics, Essaouira, 1-15.
- Khin, P. M., Yap, H. K., Ang, M. H. & Yeow, C. H. (2017). Fabric-based Actuator Modules for Building Soft Pneumatic Structures with High Payload-to-Weight Ratio, International Conference on Intelligent Robots and Systems, Canada, 2744 - 2750.
- Kim, S., Laschi, C. & Trimmer, B.(2013). Soft robotics: a bioinspired evolution in robotics, *Trends Biotechnol*, 31(5), 287–294.
- Koca, O. G., Bal, C., Korkmaz, D., Bingol, M. C., Ay, M., Akpolat, Z. H. & Yetkin, S. (2018). Three-Dimensional Modeling of a Robotic Fish Based on Real Carp Locomotion, *Appl. Sci.*, 8, 180.
- Koca, Ö., G., (2010). Dört kol mekanizmalı mekatronik bir sistemin akıllı yöntemlerle kontrolü, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 24-32.
- Lee, C., Kim, M., Kim, Y. J., Hong, N., Ryu, S., Kim, H. J. & Kim, S. (2017). Soft Robot Review, *International Journal of Control, Automation and Systems*, 15(1), 3-15.
- Luo, M., Pan, Y., Skorina, E. H., Tao, W., Chen, F., Ozel S. & Onal, C. D. (2015). Slithering Towards Autonomy: A Self-Contained Soft Robotic Snake Platform With Integrated Curvature Sensing, *Bioinspiration & Biomimetic*, 10 055001.
- Low, J. H., Lee, W. W., Khin, P. M., Thakor, N. V., Kukreja, S. L., Ren, H. L. & Yeow, C. H. (2017). Hybrid Tele-Manipulation System Using a Sensorized 3-D-Printed Soft Robotic Gripper and a Soft Fabric-Based Haptic Glove, *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2, 880–887.
- Marchese, D. A., Onal, D. A. & Rus, D. (2014). Autonomous Soft Robotic Fish Capable of Escape Maneuvers Using Fluidic Elastomer Actuators, *Soft Robotics*, 1, 75–87.
- Polygerinos, P., Galloway, K. C., Sanan, S., Herman, W. & Walsh, C. J. (2015). EMG Controlled Soft Robotic Glove For Assistance During Activities of Daily Living, International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), IEEE, Singapore, 55–60.
- Polygerinos, P., Wang, Z., Galloway, K. C., Wood, R. J. & Walsh, C. J. (2015). Soft Robotic Glove For Combined Assistance and At-Home Rehabilitation, *Robotics and Autonomous Systems*, 73, 135–143.
- Rus, Daniela & Michael T. Tolley. (2015). Design, Fabrication and Control of Soft Robots, *Nature international journal of science*, 521. 467–475.
- Shintake, J., Cacucciolo, V., Floreano, D. & Shea, H. (2018). Soft Robotic Grippers, *Advanced Materials*, 30, 1707035(1-33).
- Şen, H., (2006). Ahtapot (*Octopus vulgaris* Cuvier, 1797) Yetiştiriciliği, *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 23, 207–213.
- Temel, S., Yağlı, S., & Gören, S. (2013). P, PD, PI, PID Controllers, Report, Middle East Technical University Electrical and Electronics Engineering Department, 1 Eylül 2018.
- Terryn, S., Brancart, J., Lefeber, D., Assche, G. V. & Vanderborght, B. (2017). Self-healing soft pneumatic robots, *Science Robotics*, 2(9), eaan4268.
- Tomita, T., Tanaka, T. & Nakamura, T. (2015). Development of a peristaltic crawling robot for long-distance sewer pipe inspection with consideration of complex pipe line, International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE, Germany, 2742-2747.
- URL-1,Yılmaz. G. L., Halkalı Solucan Regenwurm Oligochaeta, http://www.schule-mehrsprachig.at/uploads/tx_inmemttm/Halkal%C4%B1.pdf, 6 Şubat 2018.
- URL-2,Biyologlar Halkalı Solucanlar, <http://biyologlar.com/halkali-solucanlar>, 6 Şubat 2018.
- URL-3,Hidrostatik Hareket Nedir?, <https://www.nedir.com/hidrostatik-iskelet>, 8 Şubat 2018.

- URL-4, Sklar, J., Meet the World's First Completely Soft Robot <https://www.technologyreview.com/s/603046/meet-the-worlds-first-completely-soft-robot/>, 26 Mart 2018.
- URL-5, Hill, J., 2016. Robot Octopus Points the Way to Soft Robotics With Eight Wiggly Arms, <https://spectrum.ieee.org/robotics/robotics-hardware/robot-octopus-points-the-way-to-soft-robotics-with-eight-wiggly-arms>, 17 Ağustos 2018.
- URL-6, Octopus-Inspired Robots Can Grasp, Crawl, and Swim. <https://www.youtube.com/watch?v=L7FEJJsVHRQ>, 17 Ağustos 2018.
- URL-7, Soft robotic glove puts control in the grasp of hand-impaired patients, <https://wyss.harvard.edu/soft-robotic-glove-puts-control-in-the-grasp-of-hand-impaired-patients/>, 17 Ağustos 2018.
- URL-8, A Modular Soft Robotic Gripper, <https://www.youtube.com/watch?v=Y5kZO8SSxVw>, 1 Eylül 2018.
- URL-9, Gören, A. Kontrol Sistemleri, <http://kisi.deu.edu.tr/aytac.goren/MAK3026/h5.pdf>, 1 Eylül 2018.
- URL-10, Sklar, J., Meet the World's First Completely Soft Robot <https://www.technologyreview.com/s/603046/meet-the-worlds-first-completely-soft-robot/> 26 Mart 2018.
- URL-11, Evcin, A., Polimer malzemeler, <http://blog.aku.edu.tr/evcin/files/2017/05/10-polimer-uygulamalar%C4%B1-polimer-borular.pdf>, 28 Nisan 2018.
- URL-12, Fiber-Reinforced Actuators, <https://softroboticstoolkit.com/book/fiber-reinforced-bending-actuators>, 28 Nisan 2018.
- URL-13, Technical data sheet for ELASTOSIL® M 4601 A/B, <https://www.amcsupplies.com.au/manuals/M4601-TDS.pdf>, 28 Ağustos 2018.
- URL-14, Dragon Skin Series Addition Cure Silicone Rubber Compounds, https://www.smooth-on.com/tb/files/DRAGON_SKIN_SERIES_TB.pdf, 28 Ağustos 2018.
- URL-15, Ecoflex Series Super-Soft, Addition Cure Silicone Rubbers, https://www.smooth-on.com/tb/files/ECOFLEX_SERIES_TB.pdf, 28 Ağustos 2018.
- URL-16, Cam Elyafı (Fiberglas), <http://www.fibercamelyaf.com/cam%20elyaf%20urunler.html>, 28 Ağustos 2018.
- URL-17, Tyvek solid, <http://www.dupont.com.tr/urunler-ve-hizmetler/construction-materials/tyvek-building-envelope/brands/tyvek-breather-membrane/products/tyvek-solid.html>, 2 Eylül 2018.
- URL-18, Kevlar Elyafı, <http://www.dupont.com.tr/urunler-ve-hizmetler/elyaflar-kumaslar-ve-dokunmamis-malzemeler/iplikler/brands/kevlar/products/dupont-kevlar-fiber.html>, 1 Eylül 2018.
- Wang, H., Totaro, M. & Beccai, L. (2018). Toward Perceptive Soft Robots: Progress and Challenges, *Advanced Materials*, 1800541 (1-17).
- Yap, H. K., Ang, B. W. K., Lim, J. H., Goh, J. C. H. & Yeow, C. H. (2016). A Fabric-Regulated Soft Robotic Glove with User Intent Detection using EMG and RFID for Hand Assistive Application, *International Conference on Robotics and Automation, IEEE, Sweden*, 3537-3542.
- Yap, H. K., Khin, P. M., Koh, T. Z., Sun, Y., Liang, X., Lim, J. H. & Yeow, C. H. (2017). A Fully Fabric-Based Bidirectional Soft Robotic Glove for Assistance and Rehabilitation of Hand Impaired Patients, *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2, 1383 - 1390.
- Yetkin, S. (2016). Application of Two-Dimensional Path Planning Algorithms For The Robot Fish, *Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 1-8.
- Yetkin, S., Özmen, K. G., Ay, M., Akpolat, Z. H. & Bal, C. (2017). FSI Analysis of Carangiform Three Dimensional Multi-Link Biomimetic Robotic Fish, *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 17(2), 825-833.
- Yi, J., Chen, X. & Wang, Z. (2018). A Three-Dimensional-Printed Soft Robotic Glove With Enhanced Ergonomics and Force Capability, *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3, 242-248.
- Yüzgeç, U., Büyüktepe, H. E. & Karakuzu, C. (2016). Kablosuz Eldiven Sistemi ile Kontrol Edilen Robot Kol Tasarımı, *Türkiye bilişim vakfı bilgisayar bilimleri ve mühendisliği dergisi*, 9, 35-42.



Zhang, H., Wang, M. Y., Chen, F., Wang, Y., Kumar, A. S. & Fuh, J. Y. H. (2017). Design and development of a soft gripper with topology optimization, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Canada, 6239 - 6244.

Zhu, M., Wang, Z., Hirai, S. & Kawamura, S. (2017). Design and Fabrication of a Soft-bodied Gripper with Integrated Curvature Sensors, 24th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, New Zealand.



Sezgisel Bulanık Kalite Fonksiyon Yayılımı ve Bir Uygulama

Intuitionistic Fuzzy Quality Function Deployment and an Application

Müge Bulut^{*1} , Ümit Sami Sakallı² 

¹Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği ABD, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 02/05/2020

Kabul / Accepted: 22/09/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Günümüzde hızla gelişmekte olan endüstriyel ürünlerdeki yenilikler, müşteri isteklerine cevap verebilmek, pazar koşullarına uyum sağlayabilme kabiliyeti ve rekabet açısından önemlidir. Müşteri ihtiyaç ve beklentileri, piyasada yer alan ürünler ve geliştirilmekte olan ürünler üzerinde büyük rol oynamaktadır. Kalite fonksiyon yayılımı, müşteri isteklerini dinleyerek ürün geliştirmede odaklanılması gereken teknik gereksinimlerin cevabını sunmaktadır. Bu araştırma, endüstriyel prizlerin ürün geliştirilmesi üzerine odaklanmaktadır. Çalışmada ürün geliştirme için bir araç olan kalite fonksiyon yayılımı modeli önerilmiştir. Çalışmanın amacı belirsizlik ortamında müşteri istekleri ve teknik gereksinimler arasındaki ilişkiyi en doğru şekilde incelemek ve ürün geliştirilmesi açısından odaklanılması gereken en önemli teknik gereksinimi ortaya koyabilmektir. Geleneksel kalite fonksiyon yayılımında uzman görüşlerini alma, müşteri istekleri önem derecesini ağırlıklandırma ve teknik gereksinimleri önem derecelerine göre sıralamada sınırlılıkları açısından eleştiriler yer almaktadır. Bu sınırlılıklar ile başa çıkabilmek ve sözel değişkenlerde belirsizliğin üstesinden gelebilmek için çalışmada müşteri istekleri ağırlıklandırılırken sezgisel bulanık AHP, müşteri istekleri ve teknik gereksinimlerin birbirleri ile ilişkileri incelenirken sezgisel bulanık VIKOR yöntemine başvurulmuş teknik gereksinimler yöntem sonucunda sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Ürün Geliştirme, Kalite Fonksiyon Yayılımı, Sezgisel Bulanık AHP, Sezgisel Bulanık VIKOR”

Abstract

Today, innovations in rapidly developing industrial products are important in terms of their ability to respond to customer requirements, to adapt to market conditions and competition. Quality function deployment provides the answer to the technical characteristics that should focus on product development by considering customer requirements. This research focuses on product development of industrial sockets. In the study, quality function deployment method, which is a tool for product development, was applied. The aim of the study is to examine the relationship between customer requirements and technical characteristics in the uncertainty environment in the most accurate way and to reveal the most important technical characteristics that should be focused on in terms of product development. There are criticisms in terms of their limitations in getting expert opinions, weighting the importance of customer requirements and ranking the technical requirements according to their importance in the spread of traditional quality function deployment. In order to deal with these limitations, intuitionistic fuzzy AHP, while investigating the relationship between customer requirements and technical characteristics, were listed as a result of the technical requirements applied to the intuitionistic fuzzy VIKOR method.

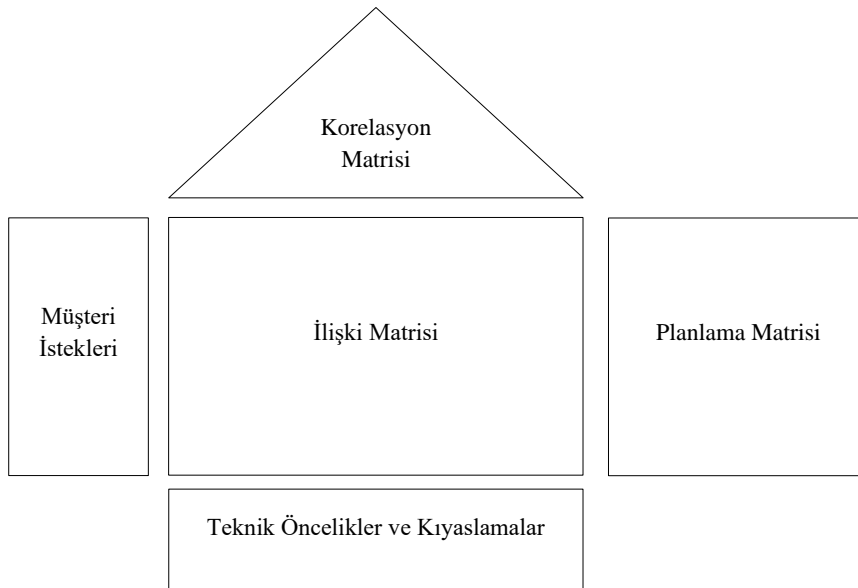
Key Words

“Product Development, Quality Function Deployment, Intuitionistic Fuzzy AHP, Intuitionistic Fuzzy VIKOR”

1. Giriş

Günümüzde hızla değişen, birbirine bağımlı duruma gelen pazar koşulları altında işletmeler ürün ortaya koyarken rekabetle de başa çıkabilme kabiliyeti göstermek durumundadır. Küreselleşmenin yarattığı rekabet ortamı ve değişim gösteren müşteri istekleri, işletmeleri daha iyi ürün sunmaya yönlendirmektedir. Bu yönelimle birlikte ürün geliştirme işletmeler için kaçınılmaz bir durum haline gelmiştir. Ürün geliştirme, yenilik fikrinden itibaren satın alma, mühendislik, imalat, dağıtım, pazarlama ve satış fonksiyonları arasında tekrarlanan bir süreçtir. Ürün geliştirme işletmelerin yaşam döngüsünün uzaması, yenilenmesi için temel faaliyetleri arasındadır. Otomotivden yazılıma kadar değişen endüstrilerde müşterileri için heyecan verici ürün geliştirebilmek müşteri odaklı işletmeleri daha avantajlı duruma getirmektedir. Yeniliklerin hızla arttığı piyasa koşulları ile birlikte müşterilerin sunulan ürün ve hizmete karşı beklentileri de artmaktadır. Ürün geliştirme sürecinde müşterilerin ne istediğini anlayabilmek, üründen beklenen faydalarının ne olduğunu belirleyebilmek önemli rol oynamaktadır. İşletmeler artan müşteri beklentileri karşısında mevcut olan ürün ve hizmetlerini geliştirmek için kalite iyileştirme yöntemlerine başvurumaktadırlar. Kalite fonksiyon yayılımı da temeline müşteri odaklılığı yerleştirmiş iyileştirme araçlardan biridir. Kalite fonksiyon yayılımı, Japonya sanayisinin taklit etme ve kopyalama yolundan ayrıldığı, özgünlük temelli ürün geliştirmeye gittikleri, 1960'larda Yoji Akao tarafından ortaya atılan bir yöntemdir (Akao ve Mazur, 2003). Kalite fonksiyon yayılımı, endüstride ürün geliştirme problemi için tercih edilen bir araçtır (Poel, 2007). Literatürde ürün geliştirme problemine yönelik, otomotiv camı (Feili vd., 2018), CNC makinesi ürün geliştirme (Collange ve Kongrasert, 2017), döner şalter ürün geliştirmesi (Vinodh ve Rathod, 2012), ambalaj filmi geliştirme (Pur vd., 2012), sürüş aynası geliştirme (Özcan ve Akman, 2011) gibi çeşitli ürünlerin geliştirmesi alanında kalite fonksiyon yayılımı çalışmaları sunulmuştur. Kalite fonksiyon yayılımı ayrıca seçim problemlerinde de yararlanılan bir yöntem olduğu görülmüştür. Azadnia ve Ghadimi (2018), Başkır (2017), Mesbah vd. (2015), Pasha ve Tavakoli (2015) tedarikçi seçiminde kalite fonksiyon yayılımından yararlanmışlardır. Bunun yanı sıra yalın araçların seçimi (Kumar ve Parameshwaran, 2018), ideal gaz yakıtı seçimi (Bilgen ve Akbaş, 2017), tesis yer seçimi (Kumar ve Kumanan, 2011) gibi seçim problemlerinde kalite fonksiyon yayılımının uygulanabilirliği görülmüştür.

Kalite fonksiyon yayılımının gerçekleştirmek istediği amaç, yöntemin ilk aracı olan kalite evi ile başlayarak müşteri isteklerinin hangi malzeme veya parça, organizasyonda yer alan hangi süreç ve üretim yöntemi kullanılarak kim tarafından, nasıl, nerede, ne zaman, hangi araçlarla, ne kadar karşılanacağını belirlemektir (Yenginol, 2008). Kalite evi matrisi, pazar araştırmaları ve piyasadaki diğer ürünlerle kıyaslamalar sonucunda elde edilen müşteri isteklerini, yeni veya iyileştirilecek bir ürün tasarımı için gerekli olan önceliklendirilmiş mühendislik özelliklerine dönüştürerek kalite fonksiyon yayılımının temel yapısını oluşturur. Kalite evi yaklaşımının genel yapısı Şekil 1'de gösterilmiştir. Geleneksel kalite fonksiyon yayılımında müşteri isteklerinin belirlenmesinin ardından bu isteklerin önem dereceleri bir ölçekle belirlenmelidir. Müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki sonucunda ulaşılan teknik gereksinim öncelikleri bağımsız puanlama yöntemi ile belirlenir (Franceschini ve Rosetto, 1998). Bağımsız puanlama yöntemi, ordinal bir ölçekte verilen bilginin kardinal olarak sunulmuş bir tanıtımdır. Ordinal bilgilerin bir kardinal ölçeğe dönüştürülmesi işlemi gelişigüzel bir işlemdir. Bu noktada ilişki matrisi katsayılarının ordinal bir ölçekten kardinal olana dönüştürülmesi tasarımcılar tarafından bir miktar tereddüt yaratması durumunda, farklı ilkelere dayanan bir toplama modeli olarak çok kriterli karar verme yöntemleri bu problem ile başa çıkılmasına izin vermektedir (Franceschini ve Rosetto, 1995). Kalite fonksiyon yayılımında çok kriterli karar verme yöntemlerinin kullanılmasını bir diğer avantajı ise müşteri istekleri ağırlığını hesaplarken çift yönlü karşılaştırma yaparak teknik gereksinimlerin yanlış sıralanmasının önüne geçmesidir (Huang vd., 2019). Çok kriterli karar verme problemlerinde kriterlerin belirgin oranlarla belirtilebilmesi için, oranları ve önem dereceleri kesin bir şekilde bilinmelidir. Fakat, gerçek hayatta karşımıza çıkan birçok karar verme durumları amaç ve kısıtlamaların kesin olarak bilinmediği bir ortamda gerçekleşir (Bellman ve Zadeh, 1970). 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından geliştirilen bulanık küme teorisi, dilsel değişkenler ile belirsiz ve öznel yargı içeren problemlerin tanımlanmasını sağlamaktadır. Bulanık mantık anlayışı, çok kriterli karar verme yöntemlerinde yer alan karar verici görüşlerini ve kalitatif verileri analiz etmeye daha eğilimli olduğu için son zamanlarda bu yöntemlerde sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır (Erginel vd., 2010).



Şekil 1. Kalite Evi

Geleneksel kalite fonksiyonunda müşteri istekleri ağırlığını, teknik gereksinimlerin yanlış sıralanmasına yol açabilecek şekilde çift yönlü bir karşılaştırma yapmadan belirlemesi, teknik gereksinimlerin önceliklendirilmesinde doğrusal toplama modelinin kullanılmasından dolayı karar vericilerin tercih durumlarının dikkate alınmaması (Huang vd., 2019) ve insan kararlarında meydana gelen belirsiz durumlara ilişkin çözüm sunabilmek için son zamanlarda bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri ile entegre edildiği çalışmaların önem kazandığı görülmüştür. Feili vd. (2018), çalışmalarında müşteri istekleri ağırlığını elde etmede bulanık ANP yönteminden yararlanmışlardır. Chen vd. (2017), güneş pilinin yeni ürün geliştirme problemine yönelik müşteri istekleri ve teknik gereksinim sayısını sınırlamak için bulanık DELPHI yöntemine başvurmuşlardır. Müşteri istekleri ile teknik gereksinimlerin kendi arasında karşılıklı bağımlılığı ve müşteri isteklerinin teknik gereksinimler üzerinde etkisini analiz etmek için bulanık DEMATEL yöntemi uygulanmıştır. Teknik gereksinimlerin önceliklerini elde etmek için bulanık ANP'ye başvurulmuştur. Zadrafi vd. (2018), İran'da film endüstrisi müşteri memnuniyetine yönelik sunulan bulanık QFD çalışmasında müşteri isteklerini TOPSIS yöntemi ile ağırlıklandırmıştır. Yücenur vd. (2020), küçük ev aletleri tasarımında teknik gereksinimlerin sıralanmasında bulanık VIKOR'dan yararlanmışlardır.

Kalite fonksiyon yayılımından bulanık küme teorisine başvurulmasıyla birlikte literatürde bulanık küme teorisinin uzantılarına da başvurulduğu görülmüştür. Atanassov tarafından tanımlanan sezgisel bulanık küme teorisinin kalite fonksiyon yayılımında yararlandığı ilk çalışma Wang vd. (2014) tarafından bilgi yönetim sistemi seçim problemine yönelik gerçekleştirilmiştir. Jian vd. (2016), web servisi seçim problemini sezgisel bulanık sayılarla ifade ettikleri kalite fonksiyon yayılımı uygulaması sunmuşlardır. Büyüközkan ve Uztürk (2019), akıllı buzdolabı tasarımı için karar vericilere daha esnek bir ortam yaratabilmek için aralıklı sezgisel bulanık kümelerden yararlanarak kalite fonksiyon yayılımı ile bütünleştirmişlerdir. Deveci vd.(2019), halk otobüsü işletmecilerinin yolcu taleplerini hizmet kalitesi yönelik aralık değerli sezgisel bulanık kalite fonksiyon yayılımı sunmuşlardır. Onar vd.(2016), iş istasyonu seçim problemine yönelik müşteri isteklerini tereddütlü bulanık AHP tekniği ile incelemişlerdir. Çalışmada uzmanların tereddüt durumlarını tereddütlü bulanık dilsel terim kümeleri ile yakalayarak yenilikçi bir yaklaşım sunmuşlardır. Dinçer vd. (2019), avrupa enerji yatırım politikalarının performans sonuçlarının değerlendirilmesine yönelik müşteri isteklerini tereddütlü bulanık AHP ile incelemişlerdir. Piengang vd. (2019), planlama ve programlama yazılımı seçiminde kalite fonksiyon yayılımına başvurarak kriter ağırlıkları bulanık AHP, kriterler ile alternatifler arasındaki ilişki bulanık VIKOR aracılığıyla sıralamıştır. Wang vd.(2017), elektrikli araçlara yönelik teknik gereksinimlerin önem derecesini elde etmede tereddütlü bulanık VIKOR tercih etmişlerdir. Li ve Song (2016), kompresör tabanlı hizmet tasarımına yönelik kaba VIKOR'dan yararlandıkları kalite fonksiyon yayılımı sunmuşlardır.

Bu çalışmada müşteri ifadeleri ve uzman görüşlerinin kesin olmayan ifadelerindeki tereddütlüğü ile başa çıkabilmek için sezgisel bulanık küme teorisinden yararlanılmıştır. Çalışmada müşteri istekleri önceliklendirilirken geleneksel kalite fonksiyonunda ordinal ölçeklerde ifade edilen müşteri isteklerinin sayısal bir ölçeğe çevrilirken oluşan hata ve tutarsızlıklarla başa çıkabilmek için, sezgisel bulanık AHP yönteminden yararlanılmıştır. Müşteri isteklerinin teknik gereksinimlere dönüştürülürken geleneksel kalite fonksiyon yayılımının dikkate almadığı karar vericilerin tercih durumlarını göz önünde bulundurabilmek için en önemli teknik gereksinimi elde etmede sezgisel bulanık VIKOR yöntemine başvurulmuştur. Literatürde kalite fonksiyon yayılımında sezgisel bulanık küme teorisi altında AHP ve VIKOR yöntemlerinin beraber kullanıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Çalışma beş kısımdan oluşmaktadır. İkinci kısımda sezgisel bulanık küme teorisi tanımları sunulmaktadır. Üçüncü kısımda önerilen sezgisel bulanık kalite fonksiyon yayılımına yer verilmiştir. Dördüncü kısımda önerilen sezgisel bulanık kalite fonksiyon yayılımının uygulanabilirliğini göstermek için, endüstriyel priz üreten bir işletmenin ürün geliştirmesi için uygulanan vaka çalışmasını sunar. Son bölümde uygulanan çalışma değerlendirilmiş ve ileride yapılabilecek çalışmalar tartışılmıştır.

2. Sezgisel Bulanık Küme Teorisi

L.A. Zadeh tarafından geliştirilen (Zadeh, 1965) bulanık küme teorisine göre kümenin elemanlarına 0-1 arasında değişen üyelik derecesi atamaktır. Ancak günlük hayatta, bir elemanın bir kümeye ait olma derecesi tanımlanabilir ama bu ait olma derecesi içinde ait olmama durumunu da içerir. Diğer bir ifadeyle, nesnenin kümeye üye olma derecesi konusunda belirsizlik ve tereddütler olabilir. Bu nedenle sezgisel bulanık kümeler tanımlanarak ve belirsizliği ifade edebilmek için üye olma derecesinin yanında bir de üye olmama derecesi ortaya konulmuştur (Davarzani ve Khorheh, 2013). Bir elemanın üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamı bire eşittir. Fakat gerçek uygulamalarda, üye olma ve üye olmama derecelerinin toplamının birden daha az olabilir. Bu nedenle, Atanassov bir elemanın bir kümeye üye olma derecesi, üye olmama derecesi ve tereddütlük derecesi (belirlenemezlik derecesi) ile ifade edilen ve bulanık küme teorisinin genelleştirilmiş bir şekli olan sezgisel bulanık küme teorisini geliştirdi (Atanassov, 1986). $X = \{x_1, x_2 \dots x_n\}$ sonlu bir evrensel küme olsun. X kümesindeki bir sezgisel bulanık küme A aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$A = \{(\langle x_j, \mu_A(x_j), \nu_A(x_j) \rangle, > | x_j \in X)\}$$

Şeklinde tanımlanır. Ve $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ ve $\nu_A: X \rightarrow [0,1]$ fonksiyonları sırasıyla x_j elemanın A kümesine üye olma ve üye olmama derecesini gösterir. Her $x_j \in X$ için

$$0 \leq \mu_A(x_j) + \nu_A(x_j) \leq 1$$

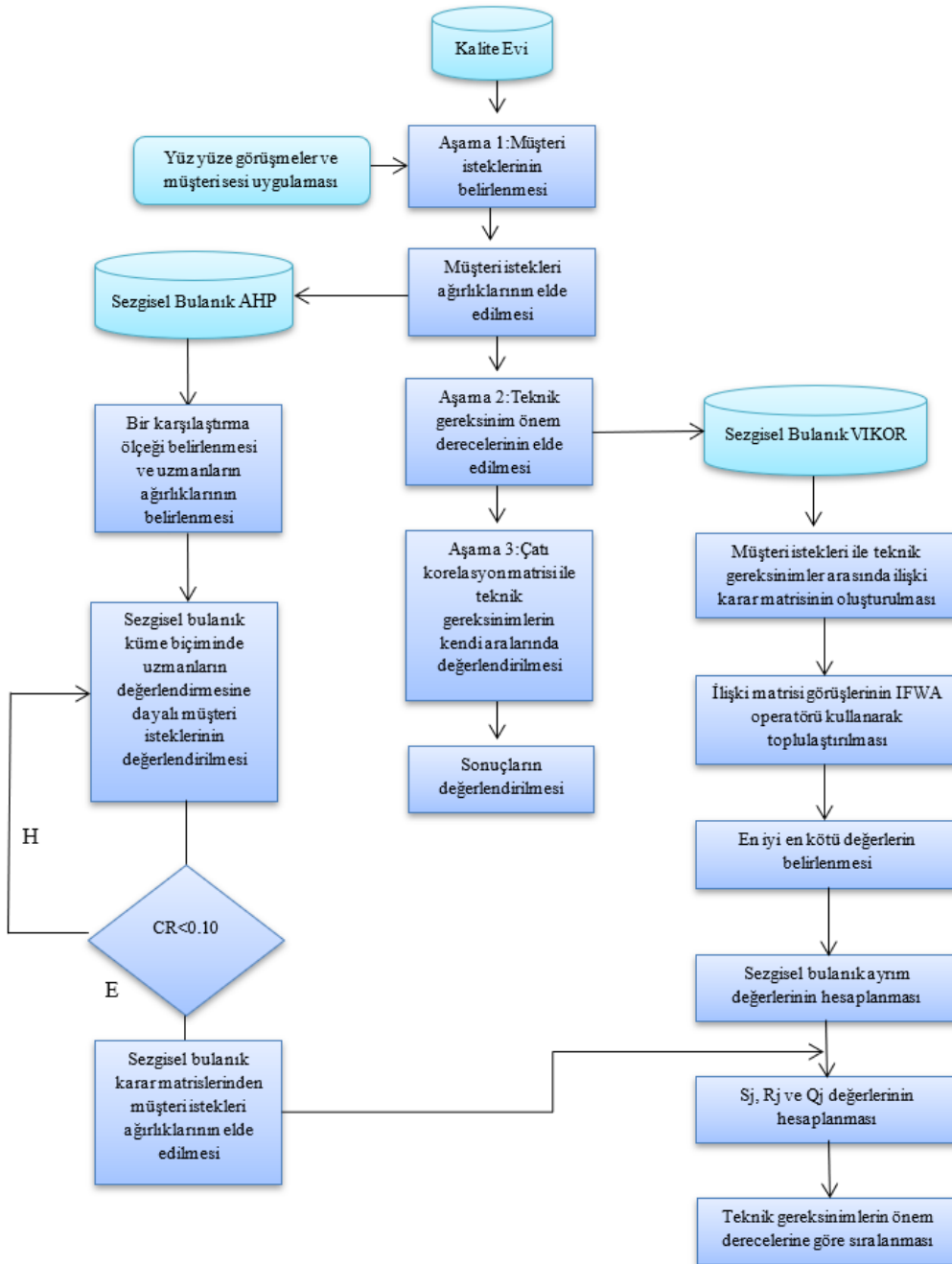
koşulu geçerlidir. $\pi_A(x_j) = 1 - \mu_A(x_j) - \nu_A(x_j)$ değeri x_j elemanın A kümesine sezgisel bulanık indeksidir (belirlenemezlik derecesi veya tereddütlük derecesi). Açık ki, tereddütlük derecesi her $x_j \in X$ için 0-1 arasında değişmektedir, yani

$$0 \leq \pi_A(x_j) \leq 1$$

Tereddüt derecesi belirli bir konu hakkında, bir uzmanın kararsızlığını ya da bilginin eksikliğini yansıtır. Bu nedenle, sezgisel bulanık kümelerde bilginin ifade edilmesi bulanık kümelere göre daha kolaydır.

3. Önerilen Kalite Fonksiyon Yayılımı

Bu çalışma, ürün geliştirme sürecinin kalite fonksiyon yayılımı ile detaylandırılması, değerlendirmelerin daha doğru ve tutarlı sonuçlar elde etmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve VIKOR yöntemlerinden yararlanılması, bu değerlendirmelerde bulanık küme teorisine başvurulmasıyla dilsel ifadeler nedeniyle kaynaklanan belirsizliği en aza indirilmesini hedeflemektedir. Önerilen Kalite Fonksiyon Yayılımı modeli akış şeması Şekil 2’de gösterilmiştir. Önerilen modelimizde tek bir matris inşa edilmiştir. Modelin ilk aşamasında, ürün geliştirme sürecinin başlangıcını oluşturan müşteri istekleri çeşitli müşteri sesi uygulamaları (anket, şikayet vs.) kullanılarak toplanır. Müşteri istekleri ağırlıklarının elde etmek için sezgisel bulanık AHP yöntemine başvurulur. İkinci aşamada müşteri isteklerini en iyi şekilde karşılayabilmek için geliştirilecek ürün üzerinde dikkate alınması gereken teknik gereksinimler uzmanlar tarafından belirlenir. Belirlenen teknik gereksinimlerin müşteri istekleri ile oluşturduğu ilişkiler sezgisel bulanık VIKOR yöntemi ile incelenir. Sezgisel bulanık AHP ile ulaşılan müşteri istekleri ağırlıkları teknik gereksinimlerin öncelik sıralaması olan S_j , R_j ve Q_j değerlerine girdi sağlanır. Çalışmanın üçüncü ve son aşamasında teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki korelasyonlar çatı matrisi oluşturularak incelenir.



Şekil 2. Önerilen Kalite Fonksiyon Yayılımı Modelinin Akış Şeması

3.1. Sezgisel Bulanık AHP

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), 1968'de Myres ve Alpert'in çalışmalarıyla ilk kez gündeme gelmiştir. Daha sonra 1977'de, Profesör Thomas Lorie Saaty tarafından geliştirilmiş ve karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır (Yaraloğlu, 2001). AHP, bir karar problemi üzerinde, önceden oluşturulmuş bir karşılaştırma ve puanlama skalası kullanarak, karara etki eden faktörler, kriterler ve alt kriterleri önem değerleri açısından birebir karşılaştırmalara dayanan bir sistemdir (Demirer,2017). Kalite fonksiyon yayılımı ve AHP kullanmanın temel avantajı, seçimleri fonksiyonel amacı yerine getirmedeki etkililik sırasına göre sıralama becerileridir. AHP birbiriyle ilişkili hedeflerin karşılanması gereken rakip seçenekler arasında ayrım yapar. AHP basit matematiksel formülasyonlara dayanmaktadır (Mayyas vd., 2011). Fakat AHP, insan düşünce sisteminin işleyişini tam olarak yansıtamamaktadır. Bu yüzden AHP, bulanık mantık anlayışıyla birleştirilerek hiyerarşik bulanık problemleri çözmek için geliştirilmiştir. Araştırmacılar tarafından ele alınan birçok bulanık AHP metodu vardır. Laarhoven ve Pedrycz 1983'te bulanık karşılaştırma yargılarını üçgen bulanık sayılarla ifade edildiği ilk bulanık AHP yöntemini önermiştir. Buckley (1985), Laarhoven ve Pedrycz'in bulanık AHP modelinde yer alan lineer denklemlerdeki sorunlarını dikkate alarak, bulanık ağırlıkların hesaplanmasında geometrik ortalama yöntemini ve bulanık oranlar için yamuk bulanık sayılar kullanmıştır. Chang (1996) tarafından geliştirilen yeni bulanık AHP yaklaşımında ikili karşılaştırma ölçeği için üçgensel bulanık sayılar önererek ve ikili kıyaslamaların sentetik kapsam değeri için kapsam analizi yöntemini kullanmıştır (Durdudiler, 2006). Literatürde bulanık küme teorisinin uzantısı olan sezgisel bulanık küme teorisi altında AHP yöntemi birkaç araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Sezgisel bulanık AHP ilk olarak Malek vd. tarafından 2006'da deprem hassasiyeti haritalaması üzerine sunulmuştur. Sadiq ve Tesfamariam (2009), AHP'deki muğlaklık ve iki anlamlı belirsizliği çevresel karar alma için sezgisel bulanık küme teorisinden yararlanarak incelemişlerdir. Abdullah, Sunadia ve Imran (2009), tereddüt derecesinin değerlerini sezgisel bulanık küme tercih ölçüm gösteriminin bir bileşeni olarak düşünmeden sezgisel bulanık küme üyelik fonksiyonu ve üye olmayan fonksiyonun iki gösterimini kullanan yeni bir AHP önermiştir. Feng vd. (2011), tüm karar bilgilerinin sezgisel bulanık değerlerle temsil edildiği sezgisel bulanık karşılaştırma matrisinin özvektörlerini sentezleyen sezgisel bulanık AHP'yi önermişlerdir. Abdullah ve Najib (2014), yeni bir ikili eşleştirme karşılaştırma matrisi değerlendirmesi tercih ölçeğine sahip yeni bir sezgisel bulanık AHP önermiştir. Bu yeni tercih ölçeği, tereddüt derecesinin değerlerini kullanarak matris değerlendirmesi için yeni bir tutarlılık testi önerilmesine neden olmaktadır. Tereddüt derecesine sahip yeni tercih ölçeği, uzmanların sezgisel Abdullah ve Najib (2014) tarafından sunulan sezgisel bulanık AHP adımları şu şekildedir.

Adım 1: Çok kriterli karar verme probleminin hiyerarşi yapısını oluşturulması.

Adım 2: Sezgisel bulanık AHP'nin çift yönlü karşılaştırma ölçeğini üçgensel sezgisel bulanık sayılar karar matrisinin tercih ölçeğiyle ölçeklendirilmesi. Tercih ölçeği Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. AHP tercihinin sezgisel bulanık kümeye ve karşılıklı formlarına dönüştürülmesi

Çiftler arası karşılaştırma tercihi	AHP tercih numarası	Üçgensel Sezgisel Bulanık Sayı Karşılığı	Karşı Üçgensel Sezgisel Bulanık Sayı
Eşit Önemli	1	(0,02 0,18 0,8)	(0,02 0,18 0,8)
Orta Değer	2	(0,06 0,23 0,7)	(0,23 0,06 0,7)
Biraz Önemli	3	(0,13 0,27 0,6)	(0,27 0,13 0,6)
Orta Değer	4	(0,22 0,28 0,5)	(0,28 0,22 0,5)
Güçlü Önemli	5	(0,33 0,27 0,4)	(0,27 0,33 0,4)
Orta Değer	6	(0,47 0,23 0,3)	(0,23 0,47 0,3)
Çok Güçlü Önemli	7	(0,62 0,18 0,2)	(0,18 0,62 0,2)
Orta Değer	8	(0,8 0,1 0,1)	(0,1 0,8 0,1)
Kesinlikle Önemli	9	(1 0 0)	(0 1 0)

Adım 3: Uzmanların ağırlıklarının belirlenmesi. Uzmanların önemi dilsel değişkenler olarak kabul edilir. Dilsel değişkenler için tanımlanan üçgensel sezgisel bulanık sayılar Tablo 2'de verilmiştir. Bu bilgiler ışığında, $D_k (\mu_k, \nu_k, \pi_k)$ k. uzmanın sezgisel bulanık bir sayı cinsinden değerlendirmesidir. Buna göre, k. uzmanın ağırlığı Eşitlik (1) ile hesaplanabilir (Boran vd., 2009).

$$\lambda_k = \frac{\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right)}{\sum_{k=1}^l (\mu_k + \pi_k \left(\frac{\mu_k}{\mu_k + \nu_k} \right))} \quad \sum_{k=1}^l \lambda_k = 1, k = (1, 2, \dots, l) \quad \text{Eşitlik (1)}$$

Tablo 2. Uzmanların önemi için dilsel değişkenler (Abdullah ve Najib, 2014)

Dilsel Değişkenler	Üçgensel Sezgisel Bulanık Sayılar
Çok Önemli	(0.90,0.05,0.05)
Önemli	(0.75,0.20,0.05)
Biraz Önemli	(0.50,0.40,0.10)
Önemsiz	(0.25,0.60,0.15)
Çok Önemsiz	(0.10,0.80,0.10)

Adım 4: Uzmanların görüşüne dayanan toplu sezgisel bulanık karar matrisi oluşturulması. $R^{(k)} = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$ k. uzmanın sezgisel bulanık karar matrisi olsun. $\lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n\}$ tüm uzmanların ağırlıkları olsun ve $\sum_{k=1}^t \lambda = 1 \in [0,1]$. Grup karar alma sürecinde, (Xu, 2007) tarafından önerilen sezgisel bulanık ağırlıklı ortalama (IFWA) operatörünü uygulayarak, toplu kararların bir araya getirilmiş sezgisel bulanık karar matrisi oluşturmak için tüm bireysel karar görüşlerinin grup görüşüne birleştirilmesi gerekir. Toplama Eşitlik (2) kullanılarak yapılır.

$$\begin{aligned}
 r_{ij} &= IFWA_{\lambda} (r_{ij}^{(1)}, r_{ij}^{(2)} \dots r_{ij}^{(t)}) \\
 &= \lambda_1 r_{ij}^{(1)} \oplus \lambda_2 r_{ij}^{(2)} \oplus \dots \oplus \lambda_t r_{ij}^{(t)} \\
 &= (1 - \prod_{k=1}^t (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}, \prod_{k=1}^t ((v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}), \prod_{k=1}^t (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \\
 &\prod_{k=1}^t ((v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}))
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Buradan

$$\begin{aligned}
 r_{ij} &= (\mu_{ij}, v_{ij}, \pi_{ij}), \mu_{ij} = 1 - \prod_{k=1}^t (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} \\
 v_{ij} &= \prod_{k=1}^t ((v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k}) \\
 \pi_{ij} &= \prod_{k=1}^t (1 - \mu_{ij}^{(k)})^{\lambda_k} - \prod_{k=1}^t ((v_{ij}^{(k)})^{\lambda_k})
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

ifade etmektedir.

Adım 5: Toplu sezgisel bulanık karar matrisinin tutarlılık oranını (C.R) hesaplanır. Toplu sezgisel bulanık matris, üçgensel sezgisel bulanık sayıların tutarlılık derecelerinde ifade etmekte tereddüt değeri olan $\pi(x)$ değerini içerdiğinden, genel tutarlılık değerini hesaplamak için Abdullah ve Najib (2014) yeni bir yöntem sunmuştur. Rastgele endekslerin (RI) değeri Saaty'den alınmıştır (Saaty, 1990). Tablo 3'de gösterilmiştir. Daha sonra yeni tutarlılık oranı Eşitlik (4)'te verilmiştir. Burada $(\lambda_{max} - n)$, her bir kriterin birleştirilmiş sezgisel bulanık matrisinde olan $\pi(x)$ değerlerinin ortalaması olduğunu varsayın. Burada n, matrisin boyutunu belirtir.

$$\text{Tutarlılık oranı, } C.R = \frac{(\lambda_{max} - n)/n - 1}{RI}
 \tag{4}$$

Tablo 3. Matris boyutlarının rastgele endeksleri

n	1-2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

C.R 0.10'u geçmezse kabul edilebilir (Ariff vd., 2008). C.R 0.10'dan büyükse, karar matrisi tutarsız olarak kabul edilmelidir. Tutarlılığın sağlanmasını sağlamak için karar matrisi yeniden yapılmalıdır.

Adım 6: Birleştirilmiş ağırlıklı sezgisel bulanık karar matrisinin sezgisel bulanık entropi ağırlıkları hesaplanması Eşitlik (5)'te gösterilmiştir (Abdullah ve Najib, 2014).

$$\bar{w}_i = -\frac{1}{n \ln 2} [\mu_i \ln \mu_i + v_i \ln v_i - (1 - \pi_i) \ln(1 - \pi_i) - \pi_i \ln 2]
 \tag{5}$$

Eşitlik (5)'te $\mu_i = 0, v_i = 0, \pi_i = 1$ değerleri aldığında $\mu_i \ln \mu_i = 0, v_i \ln v_i = 0, (1 - \pi_i) \ln(1 - \pi_i) = 0$ olur. Eğer $\mu_i = 1, v_i = 0, \pi_i = 0$ değerleri alırsa $\mu_i \ln \mu_i = 0, v_i \ln v_i = 0, (1 - \pi_i) \ln(1 - \pi_i) = 0$ olur.

Son olarak her bir IF matrisinin final entropi ağırlığı, aşağıdaki Eşitlik (6) kullanılarak tanımlanır:

$$w_i = \frac{1 - \bar{w}_i}{n - \sum_{j=1}^n \bar{w}_j}, \sum_{j=1}^n w_j = 1
 \tag{6}$$

3.2. Sezgisel Bulanık VIKOR

VIKOR yöntemi, karmaşık sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için geliştirilmiştir. Bu yöntem, çelişkili kriterler varlığında bir dizi alternatifin sıralanmasına ve seçilmesine odaklanır. “İdeal” çözüme özel “yakınlık” ölçüsüne dayanan çok kriterli sıralama endeksini sunar (Opricovic, 1998). VIKOR yönteminde kullanılan karar matrisi belirsiz ve kesin olmayan verileri içerdiğinde, VIKOR yönteminin bulanık bir uzantısı kullanılmalıdır. Literatürde (Wang vd., 2006) tarafından sıradan bulanık VIKOR yöntemi ve Devi (2011) tarafından sezgisel bulanık VIKOR ve Liao ve Xu (2013) tarafından tereddüt bulanık VIKOR geliştirilmiştir (Kahraman vd., 2019). Bu çalışmada kalite fonksiyon yayılımı için teknik gereksinimlerin Chatterjee vd. (2013) çalışmalarından uyarlanan sezgisel bulanık VIKOR yöntemi ile sıralanmıştır. Sezgisel bulanık VIKOR adımları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Teknik gereksinimler için ayrı sezgisel bulanık değerlerini grup sezgisel bulanık değerlerinde birleştirilmesi. Uzmanların ifadelerinin yardımıyla toplu sezgisel bulanık tercih ilişkisi matrisi oluşturulur. İlişki matrisi oluşturulurken Tablo 4’de verilen dilsel değişkenlerden yararlanır. Burada $R = (r_{ij}^{(k)})_{m \times n}$, teknik gereksinimler için k. uzmanın sezgisel bulanık karar matrisi olarak tanımlanır. Uzmanların ağırlıklarını kullanma Eşitlik (1)’de hesaplandığında uzmanların tek tek görüşleri Eşitlik (2) kullanılarak sezgisel bulanık karar matrisine birleştirilir.

Tablo 4. Teknik gereksinimlerin değerlendirilmesi için dilsel değişkenler

Dilsel Değişkenler	μ	ν	π
Aşırı Kötü (AK)	0	0,9	0,1
Çok Kötü (ÇK)	0,1	0,85	0,05
Kötü (K)	0,25	0,6	0,15
Orta Kötü (OK)	0,4	0,5	0,1
Orta (O)	0,5	0,45	0,05
Kısmen İyi (Kİ)	0,6	0,3	0,1
İyi (İ)	0,75	0,1	0,15
Çok İyi (Çİ)	0,9	0,05	0,05
Aşırı İyi (Aİ)	1	0	0

Adım 2: Pozitif ve negatif ideal çözümleri bulunur. Burada A^* , pozitif ideal çözüm olarak tanımlanır ve A^- , negatif ideal çözüm olarak tanımlanır. J_1 fayda kriterleri seti, J_2 maliyet kriterleri setini ifade eder.

$$A^* = (\tilde{r}_1^*, \tilde{r}_2^*, \dots, \tilde{r}_n^*) \tilde{r}_j^* = (\mu_j^*, \nu_j^*, \pi_j^*), j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Eşitlik (7)}$$

$$A^- = (\tilde{r}_1^-, \tilde{r}_2^-, \dots, \tilde{r}_n^-) \tilde{r}_j^- = (\mu_j^-, \nu_j^-, \pi_j^-), j = 1, 2, \dots, n \quad \text{Eşitlik (8)}$$

Buradan

$$\mu_j^* = (\text{Max}_i \{\mu_{ij}\} | j \in J_1), (\text{Min}_i \{\mu_{ij}\} | j \in J_2)$$

$$\nu_j^* = (\text{Max}_i \{\nu_{ij}\} | j \in J_1), (\text{Min}_i \{\nu_{ij}\} | j \in J_2)$$

$$\mu_j^- = (\text{Min}_i \{\mu_{ij}\} | j \in J_1), (\text{Max}_i \{\mu_{ij}\} | j \in J_2)$$

$$\nu_j^- = (\text{Min}_i \{\nu_{ij}\} | j \in J_1), (\text{Max}_i \{\nu_{ij}\} | j \in J_2)$$

Adım 3: Öklid mesafesi (Szmidi ve Kacprzyk, 2000) kullanılarak normalleştirilmiş sezgisel bulanık ayırım hesaplanır.

$$d(\hat{a}_j^*, \hat{r}_{ij}^*) = \sqrt{\frac{1}{2}((\mu_j^* - \mu_{ij})^2 + (\nu_j^* - \nu_{ij})^2 + (\pi_j^* - \pi_{ij})^2)} \quad \text{Eşitlik (9)}$$

$$d(\hat{a}_j^*, \hat{a}_j^-) = \sqrt{\frac{1}{2}((\mu_j^* - \mu_j^-)^2 + (\nu_j^* - \nu_j^-)^2 + (\pi_j^* - \pi_j^-)^2)} \quad \text{Eşitlik (10)}$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{d(\hat{a}_j^*, \hat{r}_{ij}^*)}{d(\hat{a}_j^*, \hat{a}_j^-)} \quad \text{Eşitlik (11)}$$

$$R_i = \text{Max}_{1 \leq j \leq n} \{w_j \frac{d(\hat{a}_j^*, \hat{r}_{ij}^*)}{d(\hat{a}_j^*, \hat{a}_j^-)}\} \quad \text{Eşitlik (12)}$$

Adım 5: Her teknik gereksinim için yakınlık katsayılarının derecesini hesaplanır.

$$Q_i = \alpha \frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} + (1 - \alpha) \frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad \text{Eşitlik (13)}$$

Buradan

$$S^* = \min_{1 \leq j \leq m} \{S_j\} \quad R^* = \min_{1 \leq j \leq m} \{R_j\}$$

$$S^- = \max_{1 \leq j \leq m} \{S_j\} \quad R^- = \min_{1 \leq j \leq m} \{R_j\}$$

α , maksimum grup fayda ağırlığı olmalıdır. Buna göre $(1 - \alpha)$ bireysel pişmanlık ağırlığıdır, $\alpha \in [0, 1]$.

Adım 6: S, R ve Q değerlerine göre teknik gereksinimler sıralanır. Üç sıralama listesi nihai sonucu temsil eder. Daha sonra, eğer aşağıdaki koşullar yerine getirilirse, uzlaşmacı çözüm olarak kabul edilir.

1. Kabul edilebilir avantaj : $Q_{\text{Teknik Gereksinim}(2)} - Q_{\text{Teknik Gereksinim}(1)} \geq \frac{1}{m-1}$, burada $Q_{\text{Teknik Gereksinim}(2)}$, Q_i listesindeki ikinci teknik gereksinim konumundadır.
2. Kabul edilebilir kararlılık : $Q_{\text{Teknik Gereksinim}(1)}$, S_i ve / veya R_i 'ye göre sıralandığında en iyisi olmalıdır.

Eğer ikinci koşul yerine getirilmezse, Teknik Gereksinim₍₁₎ ve Teknik Gereksinim₍₂₎'den oluşan set önerilir. Eğer birinci koşul yerine getirilmezse, Teknik Gereksinim₍₁₎, Teknik Gereksinim₍₂₎... Teknik Gereksinim_(m)'den oluşan set önerilir.

Buradan

$$\text{Teknik Gereksinim}_{(M)} = Q_{\text{Teknik Gereksinim}_{(M)}} - Q_{\text{Teknik Gereksinim}_{(1)}} < \frac{1}{m-1} \quad \text{Eşitlik (14)}$$

4. Uygulama

Önerilen Kalite Fonksiyonu Yayılım modeli priz üretimi yapan bir işletmede uygulanmıştır. Ağır sanayi koşulları altında çalışma ortamının koşullarına uygun ürün ve ekipman kullanmak işletmeler açısından büyük önem taşımaktadır. Endüstriyel prizler maden, mermer ocakları gibi ağır çalışma koşullarında kullanılan, yüksek dayanımları ile büyük akımları taşıyabilen ekipmanlardır. Bu ekipmanların gövde malzemesinde yaygın olarak polyamid plastik kullanılmaktadır. Pin (kovan) kısımlarından kullanılan iletken malzeme ise pirinçten oluşmaktadır. Endüstriyel prizler çalışma koşullarına göre prizin toz ve su geçirmezlik derecesini ifade eden IP44, IP45, IP67 gibi ana kategorilerden oluşmaktadır. Sayı ne kadar büyük olursa, toz ve su geçirmezlik performansı o kadar iyidir. Bu çalışma 125 amper, gövde malzemesi polyamid malzemedenden oluşan, IP67 sınıfına dahil, 380V-450V arasında çalışabilen uzatma prizi ürün geliştirilmesi üzerine odaklanmaktadır.

Priz ürün geliştirme için sunulan sezgisel bulanık kalite fonksiyonunda müşteri istekleri yüz yüze görüşmeler ve işletmenin sunmuş olduğu müşterinin sesi uygulaması sonucunda toplanılmıştır. Müşteri isteklerinin ve teknik gereksinimlerin önemini belirlemek için uzman görüşlerini tamamlamak için üretim müdürü, kalite mühendislerin oluşan 3 uzman seçilmiştir. Uzmanlarla mülakat sonucunda priz ürün geliştirme için Tablo 1'de gösterildiği gibi 5 müşteri isteği ve 9 teknik gereksinim tanımlanmıştır.

Tablo 5. Endüstriyel prize ait müşteri istekleri ve teknik gereksinimler

Müşteri İstekleri	Teknik Gereksinimler
Priz ve Kablo Bağlantısının Ayrılmaması	Rakor ve Kelepçe Sistemi
Fiş ve Priz Bağlantısının Yapışmaması	Klemens Vida Sistemi
Kapağın Kırılmaması	Conta Kalınlığı
Montajın Kolay Olması	Kovan Boyutu
Ortam Koşullarına Uyum Sağlaması	Krom-Nikel Miktarı
	Kovan Hammadde Cinsi
	Hammadde Cinsi
	Darbe Direnci
	Çeper Kalınlığı

Uzmanların ağırlıkları Tablo 2'deki dilsel değişkenler kullanılarak Eşitlik (1) uygulanmıştır. Uzmanların ağırlıkları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Uzmanların ağırlıkları

Uzman 1	Uzman 2	Uzman 3
Çok Önemli	Biraz Önemli	Önemli
0,4132	0,2423	0,3443

Aşama 1: Müşteri isteklerinin ağırlıklarının sezgisel bulanık AHP ile elde edilmesi

Müşteri istekleri önem dereceleri belirlenirken sezgisel bulanık AHP'den yararlanılmıştır. Uzmanlardan Tablo 1'deki dilsel değişkenlere göre her bir müşteri isteği karşılaştırması için ağırlık vermeleri istenmiştir. Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9'da uzmanların müşteri isteklerine ait ikili karşılaştırmaları verilmiştir.

Tablo 7. Uzman 1 için müşteri isteklerinin ikili karşılaştırmaların sezgisel bulanık sayılarla gösterilmesi

	Mİ-1			Mİ-2			Mİ-3			Mİ-4			Mİ-5		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
Mİ-1	0,02	0,18	0,8	0,13	0,27	0,6	0,33	0,27	0,4	0,33	0,27	0,4	0,62	0,18	0,2
Mİ-2	0,27	0,13	0,6	0,02	0,18	0,8	0,62	0,18	0,2	0,62	0,18	0,2	0,33	0,27	0,4
Mİ-3	0,27	0,33	0,4	0,18	0,62	0,2	0,02	0,18	0,8	0,13	0,27	0,6	0,33	0,27	0,4
Mİ-4	0,27	0,33	0,4	0,18	0,62	0,2	0,27	0,13	0,6	0,02	0,18	0,8	0,18	0,62	0,2
Mİ-5	0,18	0,62	0,2	0,27	0,33	0,4	0,27	0,33	0,4	0,62	0,18	0,2	0,02	0,18	0,8

Tablo 8. Uzman 2 için müşteri isteklerinin ikili karşılaştırmaların sezgisel bulanık sayılarla gösterilmesi

	Mİ-1			Mİ-2			Mİ-3			Mİ-4			Mİ-5		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
Mİ-1	0,02	0,18	0,8	0,18	0,62	0,2	0,13	0,27	0,6	0,62	0,18	0,2	0,62	0,18	0,2
Mİ-2	0,62	0,18	0,2	0,02	0,18	0,8	0,13	0,27	0,6	0,62	0,18	0,2	0,27	0,33	0,4
Mİ-3	0,27	0,13	0,6	0,27	0,13	0,6	0,02	0,18	0,8	0,62	0,18	0,2	0,18	0,62	0,2
Mİ-4	0,18	0,62	0,2	0,18	0,62	0,2	0,18	0,62	0,2	0,02	0,18	0,8	0,18	0,62	0,2
Mİ-5	0,18	0,62	0,2	0,33	0,27	0,4	0,62	0,18	0,2	0,62	0,18	0,2	0,02	0,18	0,8

Tablo 9. Uzman 3 için müşteri isteklerinin ikili karşılaştırmaların sezgisel bulanık sayılarla gösterilmesi

	Mİ-1			Mİ-2			Mİ-3			Mİ-4			Mİ-5		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
Mİ-1	0,02	0,18	0,8	0,18	0,62	0,2	0,33	0,27	0,4	0,33	0,27	0,4	0,62	0,18	0,2
Mİ-2	0,62	0,18	0,2	0,02	0,18	0,8	0,62	0,18	0,2	0,33	0,27	0,4	0,27	0,33	0,4
Mİ-3	0,27	0,33	0,4	0,18	0,62	0,2	0,02	0,18	0,8	0,27	0,13	0,6	0,62	0,18	0,2
Mİ-4	0,27	0,33	0,4	0,27	0,33	0,4	0,13	0,27	0,6	0,02	0,18	0,8	0,27	0,33	0,4
Mİ-5	0,18	0,62	0,2	0,33	0,27	0,4	0,18	0,62	0,2	0,33	0,27	0,4	0,02	0,18	0,8

Uzmanların görüşleri Eşitlik (2) kullanılarak toplulaştırılır. Toplulaştırılmış sezgisel bulanık karar matrisi Tablo 10 ve Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 10. 3 uzmana yönelik müşteri istekleri ile ilgili değerlendirmelerinin toplu sezgisel bulanık karar matrisleri

	Mİ-1			Mİ-2			Mİ-3			Mİ-4			Mİ-5		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
Mİ-1	0,02	0,18	0,8	0,16	0,44	0,401	0,29	0,27	0,444	0,416	0,245	0,339	0,62	0,18	0,2
Mİ-2	0,502	0,157	0,34	0,02	0,18	0,8	0,54	0,2	0,266	0,538	0,207	0,255	0,295	0,3	0,401
Mİ-3	0,27	0,263	0,467	0,2	0,425	0,373	0,02	0,18	0,8	0,33	0,19	0,48	0,421	0,29	0,292
Mİ-4	0,249	0,384	0,366	0,21	0,499	0,289	0,2	0,24	0,553	0,02	0,18	0,8	0,212	0,5	0,289
Mİ-5	0,18	0,62	0,2	0,31	0,293	0,401	0,35	0,35	0,295	0,538	0,207	0,255	0,02	0,18	0,8

Tablo 11. Toplu sezgisel bulanık matris

	μ	ν	π
Mİ-1	0,5690	0,0561	0,3748
Mİ-2	0,6595	0,0374	0,3029
Mİ-3	0,4639	0,0598	0,4761
Mİ-4	0,3411	0,1042	0,5545
Mİ-5	0,5225	0,0826	0,3948

Tablo 11’de verilen toplu sezgisel bulanık matrisin Eşitlik (4) kullanılarak tutarlılık oranı elde edilir. Tutarlılık oranı Eşitlik (15)’te verilmiştir. Müşteri isteği sayısı 5 olduğu için Tablo 3’e göre RI değeri 1,12 alınmıştır. Tutarlılık oranı 0,093898 elde edilmiştir. 0,1’den küçük olduğundan uzmanların değerlendirmelerinin tutarlı olduğu söylenebilir.

$$\frac{(0,3748+0,3029+0,4761+0,5545+0,3948)}{5} /_{1,12} = 0,093898$$

Eşitlik (15)

Tablo 10’da verilen birleştirilmiş ağırlıklı sezgisel bulanık karar matrisin 3 uzmana yönelik müşteri istekleri ile ilgili değerlendirmelerinin Eşitlik (5) ile entropi ağırlıkları ve Eşitlik (6) ile elde edilen toplam nihai entropi ağırlıkları Tablo 12’de verilmiştir. Elde edilen son ağırlıklara müşteri istekleri önem dereceleri ağırlıkları 0,20294 0,209180 0,19840 0,190970 0,19849 elde edilmiştir.

Tablo 12. Müşteri isteklerinin final entropi ağırlıkları

	Entropi Ağırlığı	Final Entropi
Mİ-1	0,1294	0,20294
Mİ-2	0,1027	0,20918
Mİ-3	0,1489	0,19840
Mİ-4	0,1808	0,19097
Mİ-5	0,1485	0,19849

Aşama 2: Teknik gereksinimlerin önem derecelerine göre sıralamasını sezgisel bulanık VIKOR ile belirlenmesi.

Müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkiler seçilen uzmanların görüşlerinden yararlanılır. İlişkiler incelenirken Tablo 4’te verilen dilsel değişkenlerden yararlanılır. Uzman görüşü altında müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki matrisi Tablo 13’te gösterildiği gibi elde edilmiştir.

Tablo 13. Müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki matrisi

Müşteri İstekleri/Teknik Gereksinimler	Rakor ve Kelepeç Sistemi	Klemens Vida Sistemi	Conta Kalınlığı	Kovan Boyutu	Krom-Nikel Miktarı	Kovan Hammadde Cinsi	Hammadde Cinsi	Darbe Direnci	Çeper Kalınlığı
Priz ve Kablo Bağlantısının Ayrılmaması	Aİ,Çİ,İ	Çİ,İ,Kİ	Çİ,Çİ,Ç,					P,OK,OK	
Fiş ve Priz Bağlantısının Yapışmaması	ÇK,K,OK	O,Kİ,İ	K,OK,OK	Çİ,İ,O	İ,İ,İ	OK,O,Kİ	Çİ,Aİ,İ	ÇK,ÇK,ÇK	
Kapağın Kırılmaması							İ,İ,İ	Çİ,İ,İ	
Montajın Kolay Olması	İ,Kİ,Kİ	Çİ,İ,Kİ							
Ortam Koşullarına Uyum Sağlaması	O,O,O	ÇK,K,OK	İ,Kİ,Kİ	K,K,K	O,OK,OK		O,O,O	İ,İ,O	Çİ,O,OK

Eşitlik (2) kullanılarak uzmanların görüşleri Tablo 14’te gösterilen toplulaştırılmış sezgisel bulanık karar matrisine dönüştürülür.

Tablo 14. Topluştırılmış sezgisel bulanık karar matrisi

	Priz ve Kablo Bağlantısının Ayrılmaması			Fiş ve Priz Bağlantısının Yapışmaması			Kapağın Kırılmaması			Montajın Kolay Olması			Ortam Koşullarına Uyum Sağlaması		
	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π	μ	ν	π
Rakor ve Kelepçe Sistemi	1	0	0	0,2511	0,6507	0,0981	0	0,9	0,1	0,6706	0,1905	0,1388	0,5	0,45	0,05
Klemens Vida Sistemi	0,7987	0,1096	0,0916	0,6269	0,2429	0,1301	0	0,9	0,1	0,7987	0,1096	0,0916	0,2511	0,6507	0,0981
Conta Kalınlığı	0,9	0,05	0,05	0,3420	0,5391	0,1188	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0,6706	0,1905	0,1388
Kovan Boyutu	0	0,9	0,1	0,7826	0,1260	0,0912	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0,25	0,6	0,15
Krom-Nikel Miktarı	0	0,9	0,1	0,75	0,1	0,15	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0,4435	0,4786	0,0777
Kovan Hammadde Cinsi	0	0,9	0,1	0,5007	0,4087	0,0904	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1
Hammadde Cinsi	0	0,9	0,1	1	0	0	0,75	0,1	0,15	0	0,9	0,1	0,5	0,45	0,05
Darbe Direnci	0,3420	0,5391	0,1188	0,1	0,85	0,05	0,8288	0,0750	0,0961	0	0,9	0,1	0,6825	0,1678	0,1495
Çeper Kalınlığı	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0	0,9	0,1	0,7826	0,1260	0,0912

Eşitlik (7) ve Eşitlik (8) kullanılarak pozitif ve negatif ideal çözümler bulunur Tablo 15'te gösterilmiştir.

Tablo 15. Pozitif ve negatif ideal çözümler

	A*			A-		
	μ	v	π	μ	v	π
Priz ve Kablo Bağlantısının Ayrılmaması	1	0,9	0,118833	0	0	0
Fiş ve Priz Bağlantısının Yapışmaması	1	0,9	0,15	0	0	0
Kapağın Kırılmaması	0,82880731	0,9	0,15	0	0,075092	0,0961005
Montajın Kolay Olması	0,7987288	0,9	0,138864	0	0,109625	0,0916462
Ortam Koşullarına Uyum Sağlaması	0,7826517	0,9	0,15	0	0,126053	0,05

Teknik gereksinimlerin Eşitlik (11), Eşitlik (12) ve Eşitlik (13) kullanılarak $S(A_i)$, $R(A_i)$ ve $Q(A_i)$ sıralamaları bulunur Tablo 16'da verilmiştir. $\alpha = 0,5$ alınmıştır.

Tablo 16. Teknik gereksinimlerin kullanılarak $S(A_i)$, $R(A_i)$ ve $Q(A_i)$ sıralamaları

	S(Ai)	R(Ai)	Q(Ai)	Önem Sıralaması
Rakor ve Kelepçe Sistemi	0,6189	0,1407	0,0200	1
Klemens Vida Sistemi	0,6204	0,1407	0,0276	2
Conta Kalınlığı	0,6506	0,1407	0,1754	3
Kovan Boyutu	0,6611	0,1502	0,5551	7
Krom-Nikel Miktarı	0,6543	0,1502	0,5216	5
Kovan Hammadde Cinsi	0,6762	0,1502	0,6292	8
Hammadde Cinsi	0,6604	0,1502	0,5516	6
Darbe Direnci	0,6615	0,1401	0,2088	4
Çeper Kalınlığı	0,7209	0,1547	1	9

Aşama 3: Teknik gereksinimler arasında oluşan korelasyonun belirlenmesi.

Müşteri isteklerine cevap vermek için uzmanlar tarafından tanımlanan teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki etkileşimleri pozitif veya negatif yönde olabilir. Yani bir teknik gereksinimde pozitif gelişme sağlanması, bir diğerini yine pozitif yönde ya da negatif yönde etkileyebilir. Korelasyon matrisi çelişkili ilişkilere dikkat çekerek hızlı çözümler üretmeye imkan verir. Bir teknik gereksinimi sağlamak için hangi teknik gereksinimden vazgeçmemiz gerektiğinin adaletli bir şekilde cevabını sunar (Franceschini, 2016). Çinpolat (2007)'in ortaya koyduğu korelasyon dereceleri ve bu derecelere ait semboller Tablo 17'de verilmiştir. Şekil 3'te priz ürün geliştirmesine yönelik üzerinde durulması gereken teknik gereksinimlerin kendi aralarında oluşturdukları korelasyon (çatı) matrisi verilmiştir.

Tablo 17. Korelasyon derecesi ve sembolleri (Çinpolat, 2007)

Korelasyon Derecesi	Sembol
Güçlü Olumlu İlişki	++
Olumlu İlişki	+
Olumsuz İlişki	-
Güçlü Olumsuz İlişki	--

Müşteri İstekleri/Teknik Gereksinimler	Müşteri İstekleri Önem Dereceleri	Rakor ve Kelepçe Sistemi	Klemens Vida Sistemi	Conta Kalınlığı	Kovan Boyutu	Krom-Nikel Miktarı	Kovan Hammadde Cinsi	Hammadde Cinsi	Darbe Direnci	Çeper Kalınlığı
Priz ve Kablo Bağlantısının Ayrılmaması	0,20294	Aİ,Çİ,İ	Çİ,İ,Kİ	Çİ,Çİ,Ç					P,OK,OK	
Fiş ve Priz Bağlantısının Yapışmaması	0,20918	ÇK,K,OK	O,Kİ,İ	K,OK,OK	Çİ,İ,O	İ,İ,İ	OK,O,Kİ	Çİ,Aİ,İ	ÇK,ÇK,ÇK	
Kapağın Kırılmaması	0,19840							İ,İ,İ	Çİ,İ,İ	
Montajın Kolay Olması	0,19097	İ,Kİ,Kİ	Çİ,İ,Kİ							
Ortam Koşullarına Uyum Sağlaması	0,19849	O,O,O	ÇK,K,OK	İ,Kİ,Kİ	K,K,K	O,OK,O K		O,O,O	İ,İ,O	Çİ,O,OK
Teknik Gereksinim Önem Dereceleri										
Sj Değeri		0,6189	0,6204	0,6506	0,6611	0,6543	0,6762	0,6604	0,6615	0,7209
Rj Değeri		0,1407	0,1407	0,1407	0,1502	0,1502	0,1502	0,1502	0,1401	0,1547
Qj Değeri		0,0200	0,0276	0,1754	0,5551	0,5216	0,6292	0,5516	0,2088	1
Teknik Önem Derecesi Sıralamaları		1	2	3	7	5	8	6	4	9

Çatı Korelasyonu:	++	+	--	-
	Güçlü Olumlu İlişki	Olumlu İlişki	Güçlü Olumsuz İlişki	Olumsuz İlişki

Şekil 3. Kalite Evi

Müşteri isteklerinin önem derecelerinin sezgisel bulanık AHP yöntemiyle elde edilmesinin sonucunda en önemli müşteri isteği fiş ve priz in yapışmamasıdır. Fiş ve priz in birbirine yapışma problemi priz in kovan kısmına su girmesi sonucu ortaya çıkabiliyor. Ayrıca kovan üzerindeki krom nikel miktarı da bu problem üzerinde rol oynamaktadır. Çünkü kovan kısmı korozyona uğrar. Korozyon sonucu akım iletkenliği azalır. Akım iletkenliğinin azalması da fiş ve priz in birbirine yapışmasına ve kovan koruyucu gövdesinin yanmasına neden olmaktadır. Fiş ve priz in yapışmaması müşteri isteğini takiben priz ve kablounun ayrılmaması (0,20294), ortam koşullarına uyum sağlaması (0,19849), kapağın kırılmaması (0,19840) ve montajın kolay olması (0,19097) öneme sahiptir.

Sezgisel bulanık VIKOR sonucunda müşteri isteklerini en iyi şekilde karşılamada üzerinde durulması gereken teknik gereksinimler rakor kelepçe sistemi, klemens vida sistemi, conta kalınlığı, krom nikel miktarı, hammadde cinsi, kovan boyutu, darbe direnci, kovan hammadde cinsi ve çeper kalınlığı olarak sıralanmıştır. En önemli teknik gereksinim olan rakor kelepçe sistemi, priz ile kablounun kenetlenmesini sağlayan içerisinde conta bulunan sistemin dıştan sıkılmasını sağlayan bir mekanizmadır. Rakor kelepçe sistemi kırılmalara, darbelerle karşı, direnç gösterecek bir iyileştirme yapılmalıdır. Ayrıca rakor kelepçe sisteminin vida mekanizmasında iyileştirmeye gidilmesi priz in olası düşmelerine karşı dayanıklılık göstermesini sağlayacaktır. Bu sistemde meydana gelebilecek problemler ürünün ortam şartlarına uyumunu ve iyi performans göstermesini etkilemektedir. Klemens vida sisteminin geliştirilmesi kablounun çekilerek kullanılması nedeniyle prizden ayrılması sonucu oluşabilecek elektrik iletimi aksaklıkları önenebilecek böylece çalışma ortamı verimi artacaktır. Conta kalınlığı teknik gereksinimi ürünün su geçirmezliğini etkilediği için iyileştirme çalışmalarında göz önünde bulundurulmalıdır. Darbe direnci üzerinde yapılacak iyileştirme çalışmaları ürünün ağır sanayi ve çalışma koşulları altında daha iyi performans göstermesini sağlayacaktır. Krom-nikel miktarı teknik gereksinimi üzerinde yapılacak çalışmalar, akım iletimini iyileştirecek, korozyona karşı dayanımını arttıracaktır. Seçilecek hammadde cinsinde geliştirmeye gidilmesi ürünün kullanıldığı ortam koşullarında oluşabilecek aşınmalara, kimyasal maddelere karşı direnç, sıcaklık farklarına karşı direnç sağlama özelliğini etkileyecektir. Akım iletimini sağlayan kovanların boyutu teknik gereksinimi iyileştirmesi ürünün yanma problemlerinin önüne geçmesini sağlayacaktır. Kovan hammadde cinsinde gerçekleştirecek iyileştirmeler yanma problemlerinin önüne geçerek ürün ömrünün artmasını sağlayacaktır. Ürünün dış bölmesini kaplayan çeper bölümünün kalınlığında iyileştirmeye gidilmesi, ürünün maruz kaldığı çarpma ihtimallerine karşı dayanım sağlayacaktır

Teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki korelasyon incelendiğinde, conta kalınlığının artırılması rakor kelepçe sisteminin güçlü olumlu yönde performans göstermesi yönünde bir etki yaratmaktadır. Krom nikel miktarı ile kovan boyutu arasında güçlü olumsuz bir korelasyon vardır. Krom nikel miktarı artırıldıkça kovan boyutu azalacaktır. Krom nikel malzemesi iletkenliği arttıran ve böylece yanma ihtimalini azaltan bir malzemedir. Bu malzemenin azalması kovan boyutunu azaltacaktır. Kovan boyutunun azaltılması veya artırılması iletkenliğin daha iyi olması ile ilgilidir. Krom nikel miktarı arttıkça iletkenliği arttıracak bu da kovan boyutunda artışa neden olmayacaktır. Kovan hammadde cinsinde yapılacak bir iyileştirme kovan boyutunu güçlü olumsuz yönde etkileyen bir korelasyon doğurmaktadır. Yine bunun nedeni iletkenlik ile ilgilidir. Hammadde cinsinden yapılacak bir iyileştirme ürünün darbeye gösterdiği direnci arttıracaktır. Çeper kalınlığı arttıkça darbe direnci de güçlü olumlu yönde artacaktır.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada endüstriyel priz ürün geliştirilmesi üzerine toplam kalite yönteminin araçlarından biri olan kalite fonksiyon yayılımını uygulanmıştır. Çalışmada müşterilerin ürüne yönelik istekleri yüz yüze görüşmeler ve işletmenin müşterileri ile iletişim kurduğu müşterinin sesi uygulamaları aracılığıyla elde edilmiştir. Müşteri istekleri önceliğini elde etmede çift ikili karşılaştırmaya başvurmak ve tutarlı sonuçlar alabilmek için karar vericilerinin fikir birliğine dayanan sezgisel AHP yöntemine başvurulmuştur. Sezgisel bulanık AHP sonucunda müşteri istekleri önem dereceleri sırasıyla fiş ve priz in birbirine yapışmaması, priz ve kablounun ayrılmaması, ortam koşullarına uyum sağlaması, kapağın kırılmaması ve montajın kolay olması olarak elde edilmiştir. Müşteri memnuniyetinin sağlanabilmesi ve ürün üzerinde yaşanan problemlerin azaltılabilmesi için müşteri istekleri, ürünü iyileştirme ve geliştirme çalışmalarında dikkat edilmesi gereken teknik gereksinimlerine dönüştürülmüştür. Müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasında meydana gelen ilişkiler karar vericilerin tercih davranışlarını göz önünde bulundurabilmek ve tam olarak elde edebilmek için sezgisel bulanık VIKOR yöntemine başvurulmuştur. Sezgisel bulanık VIKOR yöntemi ile teknik gereksinim önem sıralamaları rakor kelepçe sistemi, klemens vida sistemi, conta kalınlığı, darbe direnci, krom nikel miktarı, hammadde cinsi, kovan boyutu, kovan hammadde cinsi ve çeper kalınlığı olarak sıralanmıştır.

Önerilen sezgisel kalite fonksiyon yayılımı modelinde müşteri ve mühendislerin ürüne yönelik gereksinimlerinin ortaya çıkarılması, karar vericilerin kararlarında fikirlerinin bir araya getirilmesi, insan görüşlerinde oluşabilecek belirsiz ve kesin olmayan bilgilerle başa çıkabilmek hedeflenmiştir. Çalışmada sezgisel bulanık küme teorisi aracılığıyla klasik bulanık kümelerin ifade edemediği, karar verici görüşünün müşteri gereksinimi ve teknik gereksinimin sahip olduğu önem bilgisinde yetersiz kaldığı durumlar ortaya konulmuştur. Sezgisel AHP ve VIKOR yöntemleri ile ürünün yeniden üretim kararına ulaşmadan önce tutarlı, uzlaşmacı ürün gereksinimleri dönüşümü elde edilmiştir. Literatürde sezgisel bulanık küme teorisi altında AHP ve VIKOR yönteminin bir arada kullanıldığı kalite fonksiyon yayılımı bulunmadığı için gelecekteki çalışmalara yol gösterici niteliğindedir. Önerilen model ürün geliştirmenin yanı sıra hizmet iyileştirme çalışmalarına uygulanabilir, kalite fonksiyon yayılımının diğer fazlarına genişletilebilir.

Referanslar

- Abdullah, L., & Najib, L. (2014). A new preference scale of intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process in multi-criteria decision making problems. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 26(2), 1039-1049.
- Abdullah, L., Sunadia, J., & Imran, T. (2009). A new analytic hierarchy process in multi-attribute group decision making. *International Journal of Soft Computing*, 4(5), 208-214.
- Akbaş, H., & Bilgen, B. (2017). An integrated fuzzy qfd and topsis methodology for choosing the ideal gas fuel at wwtps. *Energy*, 125, 484-497.
- Akman, G., & Özcan, B. (2011). A fuzzy qfd approach to determine customer needs for driving mirror. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 19(10), 1-21.
- Ariff, H., Salit, M. S., Ismail, N., & Nukman, Y. (2008). Use of analytical hierarchy process (ahp) for selecting the best design concept. *Jurnal Teknologi*, 49(1), 1-18.
- Başkır, M. B. (2017). 4-Aşamalı bulanık kalite fonksiyon yayılımı yaklaşımı ile tedarikçi seçimi. *Verimlilik Dergisi*, (4), 81-110.
- Başkır, M. B. Y., & Öksoy, D. T. D. (2011). Bulanık kalite fonksiyon yayılımı yaklaşımının iyileştirilmesi ve uygulamaları, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi.
- Bellman, R. E., & Zadeh, L. A. (1970). Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science*, 17(4), 141-164.
- Bhuvanesh Kumar, M., & Parameshwaran, R. (2018). Fuzzy integrated qfd, fmea framework for the selection of lean tools in a manufacturing organisation. *Production Planning & Control*, 29(5), 403-417.
- Boran, F. E., Genç, S., Kurt, M., & Akay, D. (2009). A multi-criteria intuitionistic fuzzy group decision making for supplier selection with topsis method. *Expert Systems with Applications*, 36(8), 11363-11368.
- Brown, S. L., & Eisenhardt, K. M. (1995). Product development: Past research, present findings, and future directions. *Academy of management review*, 20(2), 343-378.
- Buckley, J. J., & Uppuluri, V. R. R. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. In *Uncertainty in Risk Assessment, Risk Management, and Decision Making*, 389-401. Springer, Boston, MA.
- Büyüközkan, G., & Uztürk, D. (2019). Smart fridge design with interval-valued intuitionistic fuzzy qfd. In *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems* 1170-1179, Springer, Cham.
- Chaghooshi, A. J., Khorasani, A., & Mesbah, M. (2015). Determine the correlation between supplier's evaluation criteria and customer's wants in automotive supply chain: by the approach of fuzzy-qfd and house of quality. *Global Journal of Management Studies and Researches*, 2(1), 48-59.
- Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy ahp. *European Journal of Operational Research*, 95(3), 649-655.
- Chatterjee, K., Kar, M. B., & Kar, S. (2013). Strategic decisions using Intuitionistic fuzzy vikor method for information system (is) outsourcing. *International Symposium on Computational and Business Intelligence*, 123-126.
- Çinpolat, S. (2007). Kalite fonksiyon göçerimi ve hizmet sektöründe uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Demirer, A. (2017). Güneş enerjisi santrali yer seçimi probleminin analitik hiyerarşi prosesi yardımı ile değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Beykent Üniversitesi.
- Deveci, M., Öner, S. C., Canitez, F., & Öner, M. (2019). Evaluation of service quality in public bus transportation using interval-valued intuitionistic fuzzy qfd methodology. *Research in Transportation Business & Management*, 100387.
- Dincer, H., Yüksel, S., & Martinez, L. (2019). Balanced scorecard-based analysis about european energy investment policies: A hybrid hesitant fuzzy decision-making approach with quality function deployment. *Expert Systems with Applications*, 115, 152-171.

- Durdudiler, M. (2006). Perakende sektöründe tedarikçi performans değerlemesinde ahp ve bulanık ahp uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Feili, H., Qomi, M., Farzooghi, A., & Lashgari, H. (2018). Identification of design requirements in automotive glass manufacturing using fuzzy qfd. *International Conference on Research in Engineering Science and Technology*.
- Feili, H., Qomi, M., Zadrafı, S., & Asadi, A. (2018). Assessment of design and customer requirements in cinema industry (highest-grossing films) using fuzzy qfd. *7th International Conference of Science and Engineering*.
- Franceschini, F. (2016). *Advanced quality function deployment*. CRC Press.
- Ghadimi, P. Azadnia, A. H., & Azadnia, A. H.. (2017). An integrated approach of fuzzy quality function deployment and fuzzy multi-objective programming to sustainable supplier selection and order allocation. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 11(1), 1-22.
- Huang, J., You, X. Y., Liu, H. C., & Si, S. L. (2019). New approach for quality function deployment based on proportional hesitant fuzzy linguistic term sets and prospect theory. *International Journal of Production Research*, 57(5), 1283-1299.
- Jian, S., Xiu-yan, P., Ying, X., Pei-Lei, W., & Na-ji, M. (2016). A new method combining qfd with intuitionistic fuzzy sets for web services selection. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 11(11), 107-118.
- Khorheh, M.A., & Davarzani, H., (2013). A novel application of intuitionistic fuzzy sets theory in medical science: Bacillus colonies recognition. *Artif. Intell. Research*, 2, 1-17.
- Kumar, K., & Kumanan, S. (2011). An integrated fuzzy qfd and ahp approach for facility location selection. *IUP Journal of Supply Chain Management*, 8(4), 31-41.
- Kutlu Gündoğdu, F., Kahraman, C., & Karaşan, A. (2019). Spherical fuzzy vikor method and its application to waste management. *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems*, 997-1005.
- Lee, A. H., Kang, H. Y., Lin, C. Y., & Chen, J. S. (2017). A novel fuzzy quality function deployment framework. *Quality technology & quantitative management*, 14(1), 44-73.
- Li, M., Jin, L., & Wang, J. (2014). A new MCDM method combining qfd with topsis for knowledge management system selection from the user's perspective in intuitionistic fuzzy environment. *Applied soft computing*, 21, 28-37.
- Li, X., & Song, W. (2016). A rough vikor-based qfd for prioritizing design attributes of product-related service. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.
- Liao, H., & Xu, Z. (2013). A vikor-based method for hesitant fuzzy multi-criteria decision making. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 12(4), 373-392.
- Mayyas, A., Shen, Q., Mayyas, A., Shan, D., Qattawi, A., & Omar, M. (2011). Using quality function deployment and analytical hierarchy process for material selection of body-in-white. *Materials & Design*, 32(5), 2771-2782.
- Mazur, G. H. & Akao, Y. (2003). The leading edge in qfd: Past, present and future. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(1), 20-35.
- Nilay Yücenur, G., Altun, G., & Erdem, M. Determining design attributes of a small household appliance using fuzzy vikor-based qfd method. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 272-284.
- Onar, S. Ç., Büyüközkan, G., Öztayşi, B., & Kahraman, C. (2016). A new hesitant fuzzy qfd approach: an application to computer workstation selection. *Applied Soft Computing*, 46, 1-16.
- Opricovic, S. (1998). Multi-criteria optimization of civil engineering systems. *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 2(1) 5-21.
- Piengang, F. C. N., Beauregard, Y., & Kenné, J. P. (2019). An aps software selection methodology integrating experts and decision-maker's opinions on selection criteria: A case study. *Cogent Engineering*, 6(1), 1594509.
- Pur, M. M., & Tabriz, A. A. (2012). SWOT analysis using of modified fuzzy qfd-a case study for strategy formulation in petrokaran film factory. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 41, 322-333.

- Rossetto, S. & Franceschini, F., (1995). Qfd: the problem of comparing technical/engineering design requirements. *Research in Engineering Design*, 7(4), 270-278.
- Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2009). Environmental decision-making under uncertainty using intuitionistic fuzzy analytic hierarchy process (if-ahp). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 23(1), 75-91.
- Silavi, T., Malek, M. R., & Delavar, M. R. (2006). Multicriteria map overlay in geospatial information system via intuitionistic fuzzy ahp method. In *Applied Artificial Intelligence*, 401-408.
- Szmidt, E., & Kacprzyk, J. (2000). Distances between intuitionistic fuzzy sets. *Fuzzy sets and systems*, 114(3), 505-518.
- Tavakoli, M., & Pasha, N. (2015). Integrating fuzzy quality function deployment and linear goal programming for supplier selection. *Uncertain Supply Chain Management*, 3(1), 1-10.
- Van De Poel, I. (2007). Methodological problems in qfd and directions for future development. *Research in engineering design*, 18(1), 21-36.
- Van Laarhoven, P. J., & Pedrycz, W. (1983). A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11(1-3), 229-241.
- Vinodh, S., & Rathod, G. (2012). Application of fuzzy logic-based environmental conscious qfd to rotary switch: A case study. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14(2), 319-332.
- Vongvit, R., Kongprasert, N., Fournaise, T., & Collange, T. (2017). Integration of fuzzy-qfd and triz methodology for product development. In *2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics*, 326-329.
- Wang, H., Qian, G., & Feng, X. (2011). An intuitionistic fuzzy ahp based on synthesis of eigenvectors and its application. *Information Technology Journal*, 10(10), 1850-1866.
- Wang, T. C., Liang, J. L., & Ho, C. Y. (2006). Multi-criteria decision analysis by using fuzzy vikor. *International Conference on Service Systems and Service Management 2*, 901-906.
- Wu, S. M., Liu, H. C., & Wang, L. E. (2017). Hesitant fuzzy integrated mcdm approach for quality function deployment: A case study in electric vehicle. *International Journal of Production Research*, 55(15), 4436-4449.
- Xu, Z. (2007). Intuitionistic fuzzy aggregation operators. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 15(6), 1179-1187.
- Yaralıoğlu, K. (2001). Performans değerlendirmede analitik hiyerarşi proses. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(1), 129-142.
- Yenginol, F. (2000). Yeni ürün geliştirmede müşteri istek ve ihtiyaçlarını teknik karakteristiklere dönüştürmeyi sağlayan bir yöntem: Kalite fonksiyon geçirimi. *Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*.
- Yenginol, F. (2008). Neden kalite fonksiyon" geçirimi" ? . *Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi*, 9(1), 7-15.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets, *Information and Control*, vol. 8. Google Scholar Digital Library, 338-353.



Sıcak Presleme Yöntemi ile Üretilen AA2024 ve AA7075 Esaslı %5 SiC Takviyeli Kompozit Malzemelerin Mikroyapı, Sertlik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Microstructure, Hardness and Corrosion Properties of AA2024 and AA7075 based 5% SiC Reinforced Composite Materials Produced by Hot Pressing Method

Hasan Karabulut ¹ , Kubilay Karacif ² , Mustafa Türkmen ³ 

¹Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 78050 Karabük, TÜRKİYE

²Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 19030 Çorum, TÜRKİYE

³Gebze Teknik Üniversitesi, Ulaşım Teknolojileri Enstitüsü, 41400 Kocaeli, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 07/05/2020

Kabul / Accepted: 08/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Bu çalışmada sıcak presleme yöntemi ile üretilen AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımı matrisli ve %5 SiC takviye içeren iki farklı kompozit malzemenin mikroyapı, sertlik ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Toz metalürjisi yönteminin kullanıldığı malzeme üretiminde AA2024 ve AA7075 alaşım tozlarına %5 SiC parçacık takviyesi yapılarak üç eksenli karıştırıcıda harmanlama işleminin ardından sıcak presleme yöntemi ile iki farklı kompozit malzeme elde edilmiştir. Sıcak presleme işlemleri 410 °C sıcaklıkta ve 45 MPa basınç altında gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı, yoğunluk, sertlik ve korozyon özellikleri belirlenmiştir. Mikroyapı incelemelerine göre, SiC parçacıkları, alüminyum matris içerisinde homojen olarak dağılım göstermiştir. AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzeme sertliğinin dolayısıyla mekanik dayanımının, AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemeye göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Fakat bu kompozit malzemenin tuzlu su ortamındaki korozyon dayanımı, AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemeye göre daha düşük olmuştur.

Anahtar Kelimeler

“AA2024, AA7075, Kompozit, Korozyon, Sertlik”

Abstract

In this study, microstructure, hardness and corrosion properties of AA2024 and AA7075 aluminum based composite materials reinforced with 5% SiC were investigated. The composite materials were produced by hot pressing method. Two different composite materials were obtained by using hot pressing method after blending in a three-axis mixer by using 5% SiC particle reinforcement to AA2024 and AA7075 alloy powders in the production of materials using powder metallurgy method. Hot pressing processes were carried out at 410 °C and 45 MPa pressure. Microstructure, density, hardness and corrosion properties of the composites were investigated. According to microstructure studies, it was observed that SiC particles showed homogeneous distribution in the aluminum matrix. AA7075 aluminum alloy based composite material had higher hardness and therefore mechanical strength than AA2024 aluminum alloy based composite material. However, the corrosion resistance of this composite material in salt water environment was lower than that of AA2024 aluminum alloy composite material.

Key Words

“AA2024, AA7075, Composite, Corrosion, Hardness”

1. Giriş

Saf alüminyum metali hafiflik, iyi iletkenlik gibi önemli avantajlara sahip olmasına rağmen mekanik dayanım açısından birçok uygulama için yeterli değildir. Alaşım elementleri ilavesi ile elde edilen alüminyum alaşımları daha iyi mekanik özelliklere sahip olmaktadır. Alüminyum alaşımlı matris ve çeşitli takviye elemanlarının makro boyutta bir araya getirilmesi ile üretilen alüminyum esaslı kompozit malzemeler, alüminyum alaşımlarına göre çok daha avantajlı özelliklere sahip olmaktadır. Hafiflik, yüksek dayanım, yüksek özgül dayanım, düşük termal genleşme katsayısı ve iyi aşınma direnci başlıca avantajlı özelliklerdir. Alüminyum esaslı seramik takviyeli kompozit malzemeler uçak, uzay, havacılık, askeri ekipman, taşıt imalatı gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Alüminyum esaslı kompozit malzemelerin üretimlerinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Döküm, infiltrasyon, sprey şekillendirme, haddeleme, ekstrüzyon ve toz metalürjisi başlıca kompozit malzeme üretim yöntemleridir. Üretim yöntemlerine göre kompozit malzemenin yapısal durumu değişmekte ve değişim sonucu malzeme özellikleri etkilenmektedir (Senthilvelan vd., 2013, Srivysa & Charoo 2018, Shorowordi vd., 2003, Yashpal vd., 2017, Fattah-alhosseini vd., 2016, Alaneme & Olubambi 2013, Saraswathi vd., 2006, Qiao vd., 2015, Katkar vd., 2011, Shanbhag vd., 2014, De Salazar vd., 1999, Bodukuri vd., 2016). Alümina, silisyum karbür, bor karbür, silisyum oksit, titanyum oksit, tungsten karbür, alüminyum nitrit ve titanyum karbür, alüminyum esaslı kompozit malzeme üretiminde kullanılan dayanımı yüksek takviye malzemeleridir [Alaneme & Olubambi 2013, Saraswathi vd., 2006, Qiao vd., 2015, Katkar vd., 2011).

Saf alüminyumun genel korozyon dayanımının iyi olduğu bilinmektedir. Alüminyum alaşımları ve alüminyum esaslı kompozit malzemelerin korozyon dayanımları saf alüminyuma göre daha düşüktür. Alüminyum alaşımlarının yapısında bulunan çeşitli alaşım elementleri ve alüminyum esaslı kompozit malzemelerin yapılarında bulunan takviye elemanları korozyon olayında olumsuz etki yapabilmektedir. Alüminyum alaşımlarındaki alaşım elementleri ve alüminyum esaslı kompozit malzemelerdeki takviye elemanları farklı elektrokimyasal özelliklerinden dolayı galvanik çiftler oluşturmaktadır. Saf alüminyumun korozyon dayanımını sağlayan yüzeyde oluşan pasif alüminyum oksit filmi, alüminyum esaslı kompozit malzemelerde takviye elemanları nedeniyle parçalanarak süresiz duruma gelebilmektedir (Verma vd., 2015, Hihara & Latanision 1994, Dobrzanski vd., 2005, Shimizu vd., 1995, Toptan vd., 2013, Saxena vd., 1993, Loto & Babalola, 2018).

Shimizu vd., (1995), SiC whiskers, karbon fiber ve Al₂O₃ fiber ile takviye edilmiş alüminyum esaslı kompozit malzemelerin korozyon özelliklerini inceledikleri çalışmada, çukur korozyonu potansiyelinin bu malzemelerde benzer olduğunu, çukur oluşumu sonucunda matris ile takviye malzemesi ara yüzeyinde boşlukların arttığını ve korozyon etkisinin fazla oluştuğunu belirtmişlerdir. Monticelli vd., (1997), SiC takviyeli ve Al₂O₃ takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerde gerilmeli korozyon çatlamasını araştırmışlar, matrise göre kompozit malzemelerin korozyon dayanımlarının daha düşük olduğunu, bu düşüşte matris ile takviye malzemesi ara yüzeyindeki gerilme yığılmasının etkili olduğunu bildirmişlerdir. Trzaskoma vd., (1990), SiC whiskers takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin korozyonunda çukur morfolojisini incelemişler, kompozit malzeme yüzeyindeki çukurların, monolitik alüminyum malzemelerden daha fazla ve yaygın olduklarını bildirmişlerdir. Bu çalışmaya göre, çukur gelişimi iki aşamada oluşmaktadır. İlk aşamada, metal atomlarının ilk çözülmesi ve çukurların açılması olmakta, ikinci aşamada çukurların büyümesi gerçekleşmektedir. Her iki malzemede, çukurlar metal matriste ikincil parçacıklarda başlamaktadır. Kompozit malzemede, monolitik alüminyuma göre daha fazla intermetalik faz oluşmakta, bunun sonucunda daha fazla çukur oluşmaktadır. Pardo vd., (2005), SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerde takviye oranının korozyona etkilerini inceledikleri çalışmada, çukur oluşumunun matris ile takviye malzemesi ara yüzeyinde ve intermetalik bileşikler ile matris ara yüzeyinde olduğunu, takviye malzemesi oranı arttıkça korozyon dayanımının azaldığını bildirmişlerdir. Matik & Tanatti (2017), sıcak ekstrüzyon ile ürettikleri AA7075 alüminyum matrisli kompozitlerin mikroyapı ve korozyon dayanımına ısı işlemlerinin etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmalarında % 5, 10, 15 ve 20 oranlarında SiC partikül ilave ederek AA7075 alaşımlı SiC takviyeli kompozitleri tek yönlü olarak 350 MPa basınç altında soğuk preslemişler, 480 °C'de 1 saat bekletildikten sonra 12 mm çaplı çubuklar halinde ekstrüze ettikleri numuneleri T6 ve T73 ısı işlemlerine tabi tutmuşlardır. Daha yüksek takviye oranı içeren numunelere göre %5 ve %10 SiC parçacık takviyesi içeren numunelerin matriste daha homojen bir dağılım sergilediği belirtilmiş, %15 ve % 20 gibi daha yüksek takviye oranlarında ise matriste homojen dağılımın azaldığı ve topaklanmaların oluştuğunu belirlenmiştir. Yapılan korozyon testlerinde, uygulanan T73 ısı işleminin kompozitlerin korozyon dayanımında önemli oranda bir artış meydana getirdiği ve en yüksek korozyon dayanımının %10 SiC partikül takviyeli kompozitlerde oluştuğu görülmüştür.

Bu çalışmada sıcak presleme uygulanarak toz metalürjisi yöntemi ile üretilen, %5 oranında SiC takviye malzemesi ile güçlendirilmiş, AA2024 ve AA7075 olmak üzere iki farklı alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin mikroyapı, yoğunluk, sertlik ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, iki farklı matris yapısına sahip alüminyum alaşım esaslı kompozit malzemelerin özellikleri kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme

Bu çalışmada toz metalürjisi yöntemi kullanılarak %5 SiC ile takviye edilmiş iki farklı alüminyum alaşımlı matris yapısına sahip kompozit malzemeler üretilmiştir. Bir grup numunede matris olarak AA2024 alüminyum alaşımı kullanılırken, diğer grup numunelerde AA7075 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Alüminyum alaşımları ortalama toz boyutları 100 µm altında, SiC toz

boyutları ise ortalama 10 µm altındadır. İki farklı alüminyum alaşımı matris tozları ve SiC takviye tozları ayrı ayrı olmak üzere 1 saat süre ile üç eksenli karıştırıcıda harmanlanarak homojen bir karışım elde edilmiş, sonrasında bu karışım tozlara 410 °C sıcaklıkta 45 MPa basınç altında DIEX marka cihazda vakum altında sıcak presleme işlemi yapılarak SiC takviyeli iki farklı alüminyum alaşımı esaslı kompozit numuneler elde edilmiştir. Matris malzemesi olan alüminyum alaşımları kimyasal bileşimleri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 1. AA2024 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (% Ağırlık)

Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Ti	Al
1,2-1,8	0,5	0,5	3,8-4,9	0,3-0,9	0,1	0,25	0,15	Kalan

Tablo 2. AA7075 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (% Ağırlık)

Mg	Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Ti	Al
2,1-2,9	0,4	0,5	1,2-2	0,3	0,18-0,28	5,1-6,1	0,20	Kalan

2.2. Mikroyapı ve Yoğunluk Çalışmaları

Numunelerin mikroyapısal karakterizasyonu için optik mikroskop çalışmaları yapılmıştır. Zımparalama, parlatma gibi standart metalografik hazırlık işlemleri sonrasında numunelerin mikroyapı görüntülerinin elde edilmesinde Nikon marka optik mikroskop kullanılmıştır. SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozit numunelerin deneysel yoğunlukları, Arşimet prensibine göre çalışan ve üzerinde 0,0001 gram hassasiyetli yoğunluk kiti bulunan elektronik bir terazi kullanılarak belirlenmiştir. Numunelerin teorik yoğunlukları karışım kuralına göre hesaplanarak relatif yoğunluklar bulunmuştur.

2.3. Sertlik Testleri

Matris olarak kullanılan iki farklı alüminyum alaşımının mekanik özelliklere etkisini belirlemek için numunelerin sertlikleri ölçülmüştür. Sertlik testleri, QNESS Q250M makro sertlik ölçüm cihazında Brinell yöntemi kullanılarak 2,5 mm çapında bilye ile 32,5 Kgf kuvvet uygulanarak yapılmıştır. Sertlik testleri öncesinde numune yüzeyleri zımparalama işlemi yapılarak ölçümlere hazırlanmış, sertlik sonuçları olarak çoklu ölçümün ortalaması verilmiştir.

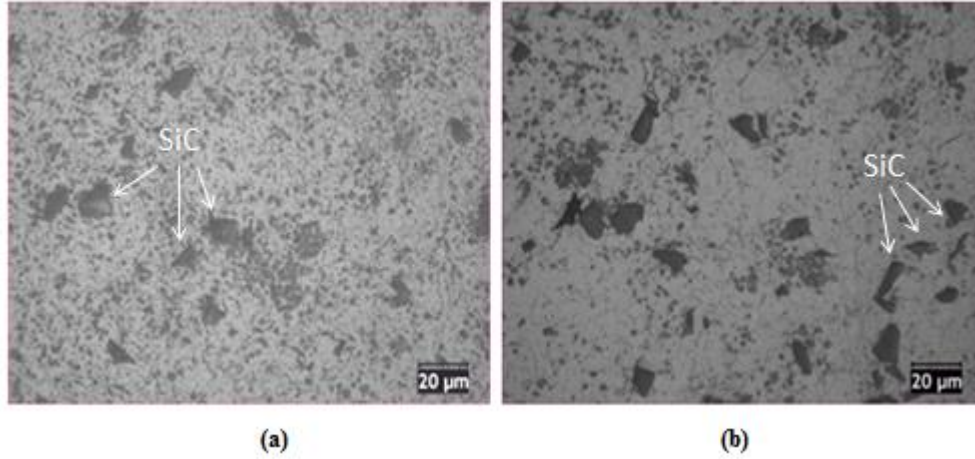
2.4. Korozyon Testleri

Numunelerin korozyon özelliklerini belirlemek için %3,5 NaCl ortamında elektrokimyasal korozyon testleri yapılmıştır. Korozyon çalışmalarında İvium marka korozyon test cihazı kullanılmıştır. Korozyon deneylerinde çalışma elektrotu haline getirilen kompozit numuneler ile birlikte platin karşı elektrot ve referans elektrot olarak doygun kalomel elektrot (SCE) kullanılmıştır. Korozyon testlerinde önce -2000 mV ile -300 mV aralığında iki potansiyel taraması yapılarak potansiyodinamik polarizasyon eğrileri elde edilmiş, bu eğrilerden uygun potansiyel aralıkları belirlenerek -1800 mV ile -600 mV aralığında tek yönlü potansiyel uygulanarak Tafel polarizasyon eğrileri elde edilmiştir. Potansiyel taraması hızı 1 mV/s olarak uygulanmıştır. Tafel polarizasyon eğrilerinden numunelerin korozyon potansiyelleri, korozyon akım yoğunlukları ve korozyon hızları belirlenmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

3.1. Mikroyapı ve Yoğunluk Sonuçları

%5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı esaslı ve AA7075 alüminyum alaşımının esaslı kompozit numunelerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 1’de verilmektedir. Her iki mikroyapı görüntüsünde de açık renkli bölgeler alüminyum alaşımı matris, koyu renkli parçacıklar ise SiC takviye elemanlarıdır. Optik mikroskop görüntülerine göre SiC takviye tozlarının parçacık boyutları 10 µm altındadır. Şekil 1’de görüldüğü gibi, bu çalışmada yapılan bir saatlik karıştırma süresiyle takviye elemanlarının matris içerisinde homojen bir dağılım sergilemekle birlikte, bazı bölgelerde çok az oranlarda topaklanmaların mevcut olduğu görülmektedir. Matik & Tanatti (2017) yaptıkları çalışmada, sıcak ekstrüzyon ile ürettikleri AA7075 matrisli SiC takviyeli kompozitlerde yüksek takviye oranı içeren numunelere göre %5 ve %10 SiC parçacık takviyesi içeren numunelerin matriste daha homojen bir dağılım sergilediğini, topaklanmaların daha düşük seviyelerde olduğunu belirtmişlerdir. Daha yüksek takviye oranlarında ise matriste homojen dağılımın azaldığı ve topaklanmaların arttığı bildirilmiştir. Bu çalışmada da SiC takviye oranı %5 gibi düşük oranlarda olduğu için kompozit malzemede meydana gelen topaklanma çok az seviyelerde olmuştur.



Şekil 1. %5 SiC takviyeli (a) AA2024 alüminyum alaşımı esaslı; (b) AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemelerin mikroyapı görüntüleri

Kompozit numunelerin yoğunluk değerleri Tablo 3'te verilmiştir. %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşım esaslı kompozit numunenin yoğunluğu $2,78 \text{ gr/cm}^3$, relatif yoğunluğu %98,90 olarak belirlenirken, %5 SiC takviyeli AA7075 alüminyum alaşım esaslı kompozit numunenin yoğunluğu $2,79 \text{ gr/cm}^3$, relatif yoğunluğu % 98,90 olarak belirlenmiştir. Her iki tip kompozit malzemede yoğunluk değerlerinin aynı değerlerde olmasında, sıcak presleme yapılan her iki kompozit için üretim aşamasında aynı şartların oluşturulmasının etkili olduğu söylenebilir. Her iki tip numunede de yaklaşık %1 seviyelerinde çok az gözenek bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre uygulanan sıcak presleme yöntemi ile yüksek yoğunluğa sahip, gözenek oranı çok düşük olan SiC takviyeli iki farklı alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemeler üretilebilmiştir.

Tablo 3. SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri

Kompozit Türü	Yoğunluk (gr/cm^3)	Relatif Yoğunluk (%)	Gözenek Oranı (%)
AA2024 + % 5 SiC	2,78	98,90	1,10
AA7075 + % 5 SiC	2,79	98,90	1,10

3.2. Sertlik Sonuçları

Numunelerin sertlik ve yoğunluk değerlerinin birlikte verildiği Tablo 4'de görüldüğü gibi, %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numune sertliği 101 HB iken, %5 SiC takviyeli AA7075 alüminyum alaşım kompozit numunenin sertliği 121 HB olarak belirlenmiştir. Alüminyum alaşımının sertlik özelliğine SiC partikül takviyesinin etkilerini görmek için SiC içermeyen aynı alüminyum alaşımının sertlik özellikleri Tablo 5'de (GTÜ Alüminyum Uygulama Araştırma Merkezi) verilmiştir. Bu tabloda, AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımının sertlik özelliklerinin uygulanan farklı ısıl işlemler ile nasıl değiştiği görülmektedir.

Tablo 4. SiC takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzemelerin yoğunluk ve sertlik sonuçları

Kompozit Türü	Yoğunluk (gr/cm^3)	Relatif Yoğunluk (%)	Sertlik (HB)
AA2024 + % 5 SiC	2,78	98,90	101
AA7075 + % 5 SiC	2,79	98,90	121

Tablo 5. AA2024 ve AA7075 Al alaşımlarının sertliklerine ısıl işlemlerin etkileri

Alaşım Türü	Isıl İşlem Türü	Sertlik (HB)
AA2024 Alaşımı	0	55
	T3	120
	T4	120
	T8	130
AA7075 Alaşımı	0	60
	T6	150
	T7	140

Yapmış olduğumuz çalışmada kullanılan kompozit numuneler, ısıl işlem görmemiş numuneler olduğu için, ısıl işlem görmeyen numuneler ile karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 5'de görülen herhangi bir ısıl işlem yapılmayan AA2024 alüminyum alaşımının sertlik

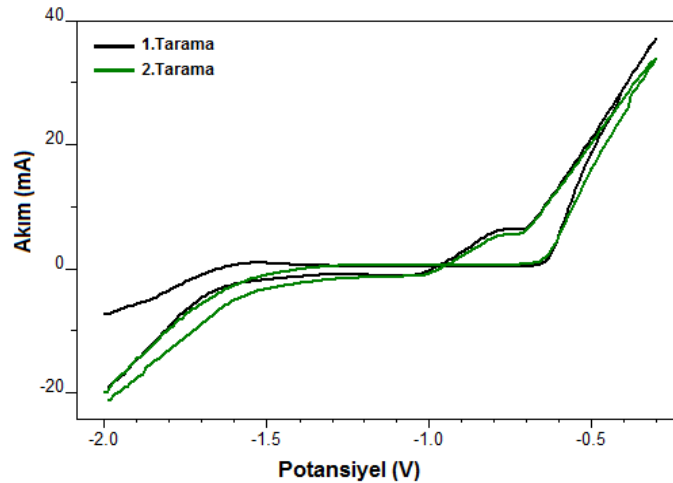
değeri 55 HB iken %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum esaslı kompozit malzemenin sertliği 101 HB olmuştur. Yine ısıtılmış AA7075 alüminyum alaşımının sertliği 60 HB değerinde iken %5 SiC takviyeli AA7075 alüminyum esaslı kompozit malzemenin sertliği 121 HB olarak belirlenmiştir. Bu değerler herhangi bir ısıtılmış işlem uygulanmamış AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımı için sertlik değerlerinin yaklaşık iki katı civarındadır. Yapılan bu çalışmayla AA2024 ve AA7075 alaşımlarının Tablo 5'te belirtilen ısıtılmış işlemler sonucunda elde edilen sertlik değerlerine %5 SiC ilavesiyle neredeyse yaklaşılmıştır. Bu durum, hem AA2024 hem de AA7075 alaşımına yapılan %5 SiC ilavesinin önemli oranda sertlik değerini artırdığını göstermektedir. SiC takviyeler mekanik dayanım özellikleri yüksek olan seramik esaslı malzemeler olup kompozit malzemenin dayanım ve aşınma dayanımı özelliklerini geliştirmektedir. Senthilvelan vd., (2013) karıştırma döküm yöntemi ile ürettikleri AA7075 esaslı farklı takviyeler içeren kompozit malzemelerin sertlik incelemelerinde benzer sonuçları bulmuşlardır.

Her iki numunede de aynı boyutlarda ve oranlarda SiC takviye kullanılmasına rağmen AA7075 alaşımının sertlik değerinde yaklaşık 20 HB seviyelerindeki artışın, bu alaşımın kimyasal bileşiminde bulunan farklı oranlardaki alaşım elementleri sebebiyle olduğu düşünülmektedir. AA7075 alüminyum alaşımında bulunan magnezyum, krom ve çinko gibi alaşım elementlerinin miktarları AA2024 alüminyum alaşımındaki miktarlara göre daha fazladır. Özellikle magnezyum ve çinko, havacılık endüstrisinde de tercih edilen yüksek dayanım istenilen alüminyum alaşımlarında kullanılan önemli alaşım elementlerindedir. Magnezyum ve çinko alaşım elementlerinin alüminyuma ilavesi ile elde edilen AA7075 alüminyum alaşımı yüksek mekanik dayanım kazanmaktadır.

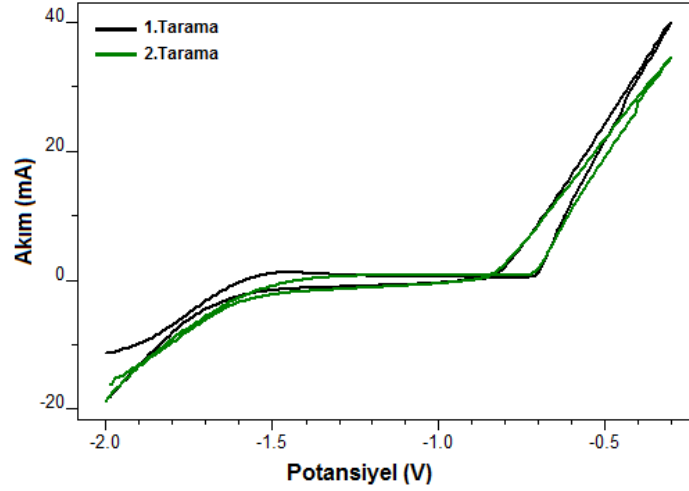
Toz metalürjisi yöntemi ile kompozit malzeme üretiminde matriste bulunan alaşım elementleri yanında mekanik alaşımlama süresi, kompozit malzeme takviye elemanlarının boyutu ve matris içerisinde dağılımı, yapıda bulunan gözeneklerin boyutu, morfolojisi, oranı gibi faktörler de kompozit malzeme sertliğini etkilemektedir (Çanakçı & Varol, 2012, Mahajan vd., 2015).

3.3. Korozyon Sonuçları

Malzemede korozyonun olmadığı katodik potansiyel bölgesi yani daha negatif olan potansiyel değerleri ile korozyonun gerçekleştiği anodik potansiyel bölgesi yani daha pozitif potansiyel değerleri arasında uygulanan potansiyel taraması sonucunda malzemede oluşan akım değişiminin görüldüğü potansiyodinamik polarizasyon eğrileri aşağıda verilmektedir. %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunenin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 2'de, %5 SiC takviyeli AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunenin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 3'te verilmektedir.



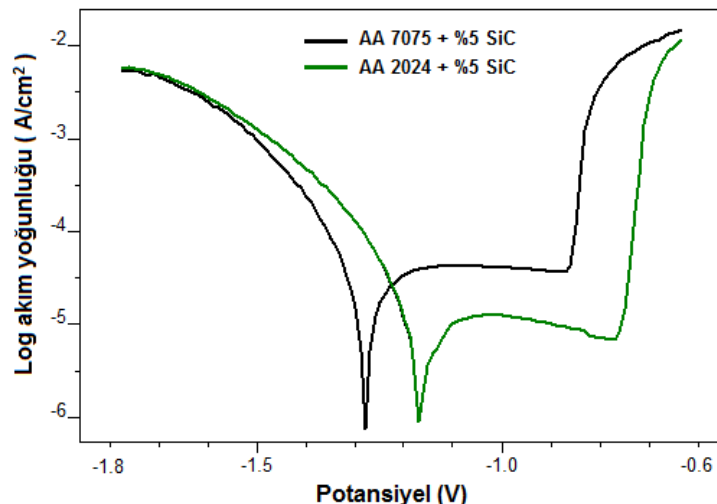
Şekil 2. %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunenin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri



Şekil 3. %5 SiC takviyeli AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunenin potansiyodinamik polarizasyon eğrileri

Şekil 2 ve Şekil 3'te potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinde iki farklı alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin -2000 mV ile -300 mV arasında uygulanan potansiyel taramalarında malzemelerdeki akım değişimleri görülmektedir. Bu eğrilerin elde edilmesi için yapılan potansiyodinamik polarizasyon uygulamasının amacı, katodik yönden anodik yöne doğru ve tekrar katodik yöne doğru uygulanan potansiyel sonucunda malzemede akım değişimini, malzemenin pasif olduğu korozyon olmayan veya çok yavaş olan potansiyel aralığını ve hangi potansiyel değerinde pasifliğin bozulduğunu görmektir. AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemede -2000 mV katodik potansiyel değerinden başlayarak pozitif yönde potansiyel artırıldığında -650 mV potansiyele kadar akım değerleri çok düşüktür, potansiyel pozitif yönde artırılmasına rağmen akım değerlerinde artış yoktur yani malzeme pasif davranışta. Alüminyum esaslı malzemelerde yüzeyde oluşan ince pasif özellikteki alüminyum oksit filmi korozyona karşı malzemeyi korumaktadır. Pasifleşme sonucu gerçekleşen korozyona karşı koruma olayı -650 mV değerine kadar devam etmekte, bu potansiyel değerinde pasif film bozularak malzemeyi koruma özelliğini kaybetmekte, bu potansiyelden sonra artırılan potansiyel ile birlikte malzemenin geçen akım hızla artmaktadır. Aynı pasifleşme olayı AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemede de görülmektedir. İki numunenin polarizasyon eğrilerindeki fark AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunede pasifliğin daha erken yani daha negatif potansiyellerde bozulmasıdır. Bu kompozit malzemede pasif alüminyum oksit filmi daha önce, 50 mV daha negatif potansiyelde yani yaklaşık -700 mV potansiyel değerinde bozulmuş ve bu değerde akımda hızlı artış başlamıştır. Her iki tip numunede tekrarlanan iki taramada eğriler üst üste oluşmuş yani akım değişimleri, elektrokimyasal davranışlar her iki taramada benzer olmuştur. Uygulanan en yüksek potansiyel değerinde yani 300 mV potansiyelde AA2024 alüminyum alaşımı kompozit malzemede akım değeri 35 mA iken AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunede 40 mA seviyelerinde yani daha yüksek olmuştur. Korozyon hücresinden geçen akımın fazlalığı korozyon hızının da fazlalığına işaret etmektedir.

%5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı esaslı ve AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri Şekil 4'de, bu eğrilerden elde edilen korozyon verileri Tablo 6'da verilmektedir.



Şekil 4. %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı ve AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunelerin Tafel polarizasyon eğrileri

Tablo 6. %5 SiC takviyeli AA2024 alüminyum alaşımı ve AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit numunelerin korozyon değerleri

Kompozit Malzeme	Korozyon Potansiyeli (mV)	Korozyon Akım Yoğunluğu (A/cm²)	Korozyon Hızı (mm/yıl)
AA2024 + %5 SiC	-1158	3,61.10 ⁻⁵	0,394
AA7075 + %5 SiC	-1275	9,32.10 ⁻⁵	1,017

Şekil 4’de verilen Tafel polarizasyon eğrileri ve bu eğrilerden elde edilen Tablo 6’daki veriler incelendiğinde AA7075 alüminyum alaşımı esaslı SiC takviyeli kompozit malzemenin korozyon potansiyeli -1275 mV iken AA2024 alüminyum alaşımı esaslı SiC takviyeli kompozit malzemenin korozyon potansiyeli -1158 mV olarak görülmektedir. Yani AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzeme 117 mV daha soy bir korozyon potansiyeline sahiptir. Bir malzemenin korozyon potansiyelinin daha soy yani daha pozitif yönde olması tek başına olmasa da korozyon akımı ile birlikte değerlendirildiğinde malzemenin korozyon dayanımının daha iyi olduğunun da bir göstergesidir. AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin korozyon akım yoğunluğu değeri 9,32.10⁻⁵ A/cm² iken AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin korozyon akım yoğunluğu 3,61.10⁻⁵ A/cm² değerindedir. Korozyon akım yoğunluğu değerleri, Tafel polarizasyon eğrilerinden elde edilen korozyon akımı değerlerinin çalışma elektrotları olan numunelerin açık yüzey alanlarına yani korozyona uğrayan yüzey alanlarına bölünmesi ile belirlenmiştir. Faraday Kanunlarına göre elektrokimyasal korozyon hücrelerinden geçen akım yoğunluğu ile korozyon çalışma elektrotunda korozyon nedeniyle çözünen madde miktarı arasında doğru orantı vardır. Yani korozyon akım yoğunluğu ne kadar fazla olursa çözünen madde miktarı ve dolayısıyla korozyon hızı daha fazla olmaktadır. Tablo 6’da görüldüğü gibi korozyon akım yoğunluğu daha düşük olan AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin korozyon hızı 0,394 mm/y iken, daha yüksek korozyon akım yoğunluğu olan AA7075 alüminyum esaslı kompozit malzemenin korozyon hızı daha yüksek olup 1,017 mm/y değerindedir. Bu sonuçlara göre AA7075 alüminyum esaslı kompozit malzemenin korozyon dayanımı AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin korozyon dayanımına göre daha düşük seviyelerdedir. Her iki tip kompozit malzemede de SiC takviye oranları, takviye boyutları, üretim parametreleri aynıdır, farklı olan parametre alüminyum matris kimyasal bileşimidir. AA7075 alüminyum esaslı kompozit malzemenin korozyon hızının fazla olmasında bu alaşımın yapısında bulunan ve mekanik özellikleri geliştiren Mg ve Zn alaşım elementlerinin etkili olduğu düşünülmektedir. AA 7075 alüminyum alaşımında bulunan Mg oranı AA2024 alaşımındaki orana göre yaklaşık iki kat, Zn oranı ise yaklaşık 20 kat daha fazladır. Mg ve Zn elementleri metallerin tuzlu su ortamında korozyon özelliklerine göre sıralandığı galvanik seride en aktif bölgededir. Yani bu iki element elektrokimyasal olarak oksitlenme reaksiyonları için çok aktif özellikte olup, korozif ortamlarda anodik davranış göstererek malzemenin korozyon olayını hızlandırmaktadır. AA7075 alüminyum esaslı kompozit malzemede bu iki alaşım elementinin varlığından dolayı korozyon hızının daha fazla olduğu ve bu nedenle korozyon dayanımının AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemeye göre daha düşük olduğu düşünülmektedir.

4. Sonuçlar

AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımı iki farklı matris yapısına sahip ve %5 SiC takviye içeren ve toz metalürjisi yöntemi ile üretilen iki farklı kompozit malzemenin mikroyapı, sertlik ve korozyon özelliklerinin incelendiği bu çalışmada genel sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmektedir.

1. Sıcak presleme yapılarak toz metalürjisi yöntemi ile AA2024 ve AA7075 alüminyum alaşımı esaslı %5 SiC takviyeli kompozit malzeme üretilmiştir. Mikroyapı incelemelerinde takviye malzemesinin matris içerisine homojen olarak dağıldığı görülmüştür.
2. Üretilen kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri çok yüksek oranlarda ve yaklaşık aynı değerlerde belirlenmiştir. Her iki tip kompozit malzeme de çok düşük oranlarda gözenek içermektedir.
3. AA7075 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin sertlik değeri, AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemenin sertliğine göre daha yüksektir. Bunun sebebi AA7075 alüminyum alaşımında daha yüksek oranlarda bulunan alaşım elementleridir.
4. AA2024 alüminyum alaşımı esaslı kompozit malzemeye göre, AA7075 alüminyum esaslı kompozit malzemenin korozyon hızı yaklaşık 2,5 kat daha yüksek seviyede olmuştur. Korozyon hızındaki bu artışta AA7075 alüminyum alaşımında daha yüksek oranlarda bulunan ve elektrokimyasal olarak çok aktif özellikte olan Mg ve Zn elementlerinin etkili olduğu düşünülmektedir.
5. Malzemelerin kullanım alanlarına göre, ortamın aşırı korozif olması durumunda AA2024 esaslı kompozit malzeme, AA7075 esaslı kompozit malzemeye göre daha uygun olacaktır.

Referanslar

- Alaneme, K.K. & Olubambi, P.A. (2013). Corrosion and wear behaviour of rice husk ash-alumina reinforced Al-Mg-Si alloy matrix hybrid composites. *Journal of Materials Research Technology*, 2, 188-194. doi.org/10.1016/j.jmrt.2013.02.005
- Bodukuri, A.K., Eswaraiyah, K., Rajendar, K. & Sampath, V. (2016). Fabrication of Al-SiC-B₄C metal matrix composite by powder metallurgy technique and evaluating mechanical properties. *Perspectives in Science*, 8, 428-431. doi.org/10.1016/j.pisc.2016.04.096
- Çanakçı, A. & Varol, T. (2012). Production and microstructure of AA2024-B₄C metal matrix composites by mechanical alloying method. *Uşak University Journal of Material Sciences*, 1, 15-22.
- De Salazar, J.M.G., Urena, A., Manzanedo, S. & Barrena, M.I. (1999). Corrosion behavior of AA6061 and AA7005 reinforced with Al₂O₃ particles in aerated %3.5 chloride solutions: Potentiodynamic measurements and microstructure evaluation. *Corrosion Science*, 41, 529-545. doi.org/10.1016/S0010-938X(98)00135-8
- Dobrzanski, L.A., Włodarczyk, A. & Adamiak, M. (2005). Structure, properties and corrosion resistance of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the Al₂O₃ ceramic particles. *Journal of Materials Processing Technology*, 162, 27-32. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2005.02.006
- Fattah-alhosseini, H., Naseri, M. & Alemi, M.H. (2016). Corrosion behavior assessment of finely dispersed and highly uniform Al/B₄C/SiC hybrid composite fabricated via accumulative roll bonding process. *Journal of Manufacturing Processes*, 22, 120-126. doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.03.006
- Hihara, L.H. & Latanision, R.M. (1994). Corrosion of metal matrix composites. *International Materials Reviews*, 39(6), 245-264. doi.org/10.1179/imr.1994.39.6.245
- Katkar, V.A., Gunasekaran, G., Rao, A.G. & Koli, P.M. (2011). Effect of the reinforced boron carbide particulate content of AA6061 alloy on formation of the passive film in seawater. *Corrosion Science*, 53, 2700-2712. doi: 10.1016/j.corsci.2011.04.023
- Loto, R.T. & Babalola, P. (2018). Effect of alumina nano-particle size and weight content on the corrosion resistance of AA1070 aluminum in chloride/sulphate solution. *Results in Physics*, doi: https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.07.025.
- Mahajan, G., Karve, N., Patil, U., Kuppan, P. & Venkatesan, K. (2015). Analysis of microstructure, hardness and wear of Al-SiC-TiB₂ hybrid metal matrix composite. *Indian Journal of Science and Technology*, 8, 101-105. doi.org/10.17485/ijst/2015/v8iS2/59081
- Matik, U. & Tanatti, K. (2017). Sıcak ekstrüze edilmiş AA7075/SiCp kompozitlerin sertlik ve korozyon direncine T6 ve T73 ısıtma işlemlerinin etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(4), 827-834.
- Monticelli, C., Zucchi, F., Brunoro, G. & Trabanelli, G. (1997). Stress corrosion cracking behaviour of some aluminium based metal matrix composites. *Corrosion Science*, 39(10), 1949-1963. doi.org/10.1016/S0010-938X(97)00088-7
- Qiao, Y., Qu, L., Zhang, X. & Zhang, H. (2015). Boron carbide composite ceramic preparation and corrosion behavior in simulated seawater. *Ceramics International*, 41, 5026-5031. doi: 10.1016/j.ceramint.2014.12.070
- Pardo, A., Merino, M.C., Merino, S., Viejo, F., Carboneras, M. & Arrabal, R. (2005). Influence of reinforcement proportion and matrix composition on pitting corrosion behaviour of cast aluminium matrix composites (A3xx.x/SiCp). *Corrosion Science*, 47, 1750-1764. doi.org/10.1016/j.corsci.2004.08.010
- Saraswathi, Y.L., Das, S. & Mondal, D.P. (2006). Influence of microstructure and experimental parameters on the erosion corrosion behavior of Al alloy composites. *Materials Science and Engineering A*, 425, 244-254. doi:10.1016/j.msea.2006.03.083
- Saxena, M., Modi, O.P., Prasad, B.K. & Jha, A.K. (1993). Erosion and corrosion characteristics of an aluminum alloy-alumina fiber composite. *Wear*, 169(1), 119-124. doi.org/10.1016/0043-1648(93)90397-5
- Senthilvelan, T., Gopalakannan, S., Vishnuvarthan, S. & Keerthivaran, K. (2013). Fabrication and characterization of SiC, Al₂O₃ and B₄C reinforced Al-Zn-Mg-Cu Alloy (AA 7075) metal matrix composites. *Advanced Materials Research*, 622, 1295-1299. doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.622-623.1295
- Shanbhag, V.V., Yalamoori, N.N., Karthikeyan, S., Ramanujam, R. & Venkatesan, K. (2014). Fabrication, surface morphology and corrosion investigation of Al 7075-Al₂O₃ matrix composite in seawater and industrial environment. *Procedia Engineering*, 97, 607-613. doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.289

Shimizu, Y., Nishimura, T. & Matsushima, I. (1995). Corrosion resistance of Al-based metal matrix composites. *Materials Science and Engineering A*, 198, 113-118. doi.org/10.1016/0921-5093(95)80065-3

Shorowordi, K.M., Laoui, T., Haseeb, A.S.M.A., Celis, J.P. & Froyen, L. (2003). Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al matrix composites: A Comparative study. *Journal of Materials Processing Technology*, 142, 738-743. doi.org/10.1016/S0924-0136(03)00815-X

Srivyas, P.D. & Charoo, M.S. (2018). Role of reinforcements on the mechanical and tribological behavior of aluminum metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 5, 20041-20053. doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.371

Toptan, F., Alves, A.C., Kerti, I., Ariza, E. & Rocha, L.A. (2013). Corrosion and tribocorrosion behaviour of Al-Si-Cu-Mg alloy and its composites reinforced with B₄C particles in 0.05 M NaCl solution. *Wear*, 306, 27-35. doi: 10.1016/j.wear.2013.06.026

Trzaskoma, P.P. (1990). Pit morphology of aluminum alloy and silicon carbide/aluminum alloy metal matrix composites. *Corrosion*, 46(5), 402-409. doi.org/10.5006/1.3585124

Verma, A.S., Sumankant, Suri, N.M. & Yashpal. (2015). Corrosion behavior of aluminum base particulate metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 2, 2840-2851. doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.299

Web.gtu.edu.tr/aluminyum/2016/02/08/aluminyum-alasimlarin-mekanik-ozellikleri/

Yashpal, K., Sumankant, Jawalkar, C.S., Verma, A.S. & Suri, N.M. (2017). Fabrication of aluminum metal matrix composites with particulate reinforcement. *Materials Today: Proceedings*, 4, 2927-2936. doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.174



Yaya Geçitlerinde Yaya-Yaya ve Yaya-Araç Etkileşimleri ile Diğer Faktörlerin Geçiş Hızına Etkisinin Mikro Düzey İncelenmesi

Micro-level Investigation of the Effects for Pedestrian-Pedestrian and Pedestrian-Vehicle Interactions and Other Factors on Crossing Speed in Pedestrian Crossings

Ayşe Ünal¹, Meltem Saphioğlu¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta TÜRKİYE

Başvuru/Received: 14/05/2020

Kabul / Accepted: 27/10/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Yaya geçitlerinin iyileştirilmesinde geçiş hızının hesaplanması önemlidir. Uygulamada, farklı yaya geçitlerinde farklı yaya geçiş hızlarının etkili olduğu görülmüştür. Tasarım hızlarının da yapılan çalışmalarda farklılık göstermesi, en uygun tasarımların sağlanması için yerel yaya geçiş hızları hesaplanması ihtiyacını desteklemektedir. Çalışmada, Mersin ili şehir merkezinde seçilen sinyalizasyonlu yaya geçidinde yaya hızlarını etkileyen faktörler mikro düzeyde incelenmiştir. 1868 yaya geçişi için yapılan istatistiksel analiz sonuçları; cinsiyet, yaş, grup davranışı, elinde yük durumu, telefonla meşguliyet, trafik ve yaya hacminin yaya geçiş hızları üzerinde etkilerini içermektedir. Ortalama geçiş hızı 1,14 m/sn hesaplanmıştır. Asıl araştırılan konu sinyal etkisi, yön faktörü ve yaya-araç etkileşim faktörleri istatistiksel yöntemlerle ve kümülatif yüzde geçiş hızı grafikleriyle incelenmiştir. Beklenilenin aksine kuralsız geçen yayalar ile açılı geçiş davranışı sergileyen yayaların, kurallı ve normal geçen yayalara göre düşük geçiş hızına sahip olduğu görülmüştür. Yaya geçidi tasarımında, veri toplanırken araç-yaya etkileşiminin göz önünde bulundurulması; yayaların çapraz ve kural dışı geçişlerinin azaltılması, korkuluklarının genişliğinin doğru ayarlanması gerekmekte olduğu hesaplarla ortaya konmuştur. Ek olarak gelecekte yapılacak çalışmalarda, yaya hızı üzerinde etkili olan yaya geçidi genişliğinin doğru tespitinin yapılması gerekliliği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Sinyalizasyonlu Kavşak, Yaya Hızı, Bağımsız t-testi, ANOVA, Araç-Yaya Etkileşimi”

Abstract

In improving pedestrian crossings, it is important to calculate the crossing speed. In practice, different average pedestrian crossing speeds can be effective in different pedestrian crossings. In the study, factors affecting pedestrian speeds at the selected signalized pedestrian crossing in Mersin city center were examined at a micro level. For the 1868 pedestrian crossing, the effects of gender, age, group behaviour, load condition in hand, telephone preoccupation, traffic and pedestrian volume on pedestrian crossing speeds were examined. The average crossing speed was calculated at 1.14 m/s. The actual subject studied was the signal effect, direction factor, and pedestrian-vehicle interaction factors studied by statistical methods and cumulative percentage pass rate graphs. Contrary to what is expected, pedestrians who exhibit angle crossing behavior with unregulated pedestrians have a lower crossing speed than canonical and normal passing pedestrians. In pedestrian crossing design, considering vehicle-pedestrian interaction while collecting data; It has been revealed by calculations that the cross and illegal crossings of pedestrians should be reduced and the width of the railings should be adjusted correctly

Key Words

“Signalized Intersection, Pedestrian Speed, Independent t-test, ANOVA, Vehicle-Pedestrian Interaction”

1.Giriş

Savunmasız yol kullanıcıları olarak bilinen yayalar, kazaya karıştıklarında her zaman ciddi şekilde etkilenen taraf olmuştur. Bu nedenle, karayolu trafiğinin güvenliğini artırmak için yayaların kaza riskini azaltmak önemlidir. Yayaları içeren kazaların büyük bir kısmı, motorlu taşıtların da bulunduğu araç-yaya çatışmalarının yaşandığı yaya geçitlerinde meydana gelmektedir. Ülkemiz karayolu ağında meydana gelen trafik kazalarında yaya yaralanmalarının yüzdesi %15.16 (bunların %61.30'i erkek, %38.70'i kadın yayalardan oluşmaktadır), ölümlerle sonuçlanan yaya kazaları yüzdesi ise %22.04 (bunların %72.61'i erkek ve %27.39'i kadın yayalardan oluşmaktadır)'tür (Akgüngör, 2007). Benzer olarak yapılan yurt dışı araştırmalarda da yaya ölüm riskinin erkekler için kadınlardan daha yüksek yüzdelik dilimlere sahip olduğunu göstermiştir (Malin vd., 2020). Yayaların sinyalizasyon ile kontrol edilen yaya geçitlerinde güvenli bir şekilde geçmeye teşvik edilmesi, bunun için de geçiş hareketlerinin uygun şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Yayaların karıştığı kazaların azaltılabilmesi, yaya geçidindeki yaya davranışları analiz edilerek ve buna göre yaya geçitlerindeki geçiş süre ve geometrileri tasarlanarak sağlanabilir. Yayaların belirli bir mesafeyi kat etme zamanları (yayaların yürüme hızı) kavşaklarda yaya ve araç geçişini etkileyen yapıların tasarımında önemli bir parametredir. Bu nedenle yaya geçidi geçiş hızı ve buna etki eden faktörleri doğru bir şekilde tespit etmek önemlidir.

Yaya hız davranışı ile ilgili yapılan çalışmalarda, makroskopik anlamda yaya hız tespiti ilk olarak Navin ve Wheeler (1969) ve Fruin (1971) tarafından gerçekleştirilmiş, daha sonra birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiştir. The Highway Capacity Manual (2010) 'a göre normal bir yaya geçidi tasarımı için yaya hızı 1.2 m/sn, yayaların %20'si orta yaş üzerinde ise yaya geçiş hızı 1.0 m/sn kabul edilmektedir. Manual of Uniform Traffic Control Devices (2009) 'e göre yaya geçiş hızı 1.07 m/sn iken, German Guidelines for Traffic Signals RiLSA (1992) en fazla 1.2 m/sn ile 1.5 m/sn (engelli veya yaşlılar için 1.0 m/s) arasında bir hız önermiştir. Daamen ve Hoogendoorn (2007) ise yapmış oldukları çalışmalarında, yaşlı erkek yayalar için ortalama 1.24 m/sn, yaşlı kadın yayalar için 1.18 m/sn ortalama geçiş hızı önermektedirler. Çin'de yapılan bir çalışmada tüm yayaların ortalama geçiş hızı 1.37 m/s olarak hesaplanmıştır (Ren vd., 2011). İzmir'de sinyalizasyonlu altı yaya geçidinde yapılan çalışmada yaya geçiş hızı 1.07 m/sn, yaşlı yaya oranının yüksek olduğu kavşaklarda bu değer 0.93 m/sn, Ankara'da yapılan çalışmada ise geçiş hızının 1.20 m/sn olarak alınması tavsiye edilmiştir (Önelçin, 2014; DüNDAR, 2016). Isparta'da sinyalizasyonlu yaya geçidinde yapılan bir diğer çalışmada ise geçiş hızı 0.88 m/sn hesaplanmıştır (Saphoğlu&Faisal, 2020).

Çalışmalarda ayrıca yaya hız davranışlarındaki farklılıkları cinsiyete ve yaşa göre incelemişlerdir. Erkek yayaların kadın yayalara göre daha yüksek geçiş hızına sahip oldukları hesaplanmıştır. Yaş ilerledikçe ise geçiş hızlarında düşüş söz konusu olmaktadır (Daamen&Hoogendoorn, 2007; Garber&Hoel, 2009; Granié vd., 2013; Ren vd., 2011; Asher vd., 2012; Chandra&Bharti, 2013; Önelçin, 2014; DüNDAR, 2016; Saphoğlu&Faisal, 2020). Erkek yayalar, kadın yayalara göre trafik kurallarını daha sık ihlal etme eğilimindedir ve riskli durumlarda geçme olasılıkları daha yüksektir (Rosenbloom vd., 2004). Genç yetişkinler ve ergen yayalar, diğer yaş grubundaki yayalara oranla trafik kurallarını daha çok ihlal etme eğilimindedirler (Diaz, 2002; Holland&Hill, 2007).

Yaya geçidinde yaya davranışları üzerinde etkili olduğu düşünülen grup davranışı, elinde yük durumu, telefonla meşguliyet durumları da araştırmacılar tarafından analiz edilmiştir. En az iki kişi birlikte hareket eden yayalar bireysel yayalara göre, elinde yük olan yayalar olmayanlara göre ve telefonla veya herhangi bir şeyle meşgul olan yayalar olmayanlara göre daha düşük geçiş hızlarına sahiptirler (HCM, 2010; Schwebel vd., 2012; Önelçin, 2014; DüNDAR, 2016; Muley vd., 2017). Bir diğer parametre araştırmasında ise Hamed (2001), yaya akımı arttıkça yaya geçidi geçiş bekleme sürelerinin azaldığını tespit etmiştir; yayaların diğer yayalara uyum sağlayarak birlikte kuraldışı, yolu geçmeye meyilli olduğu da tespit edilmiştir. Chu vd., (2004), trafik koşulları, karayolu özellikleri ve sinyal kontrolü özellikleri dahil olmak üzere yol ortamının geçiş davranışları üzerindeki etkilerini tartışmıştır. Tiwari vd., (2007) trafik sinyalinin bekleme süresi arttıkça, yayaların sinyali ihlal etme ihtimalinin daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Yaya geçitlerinde trafik kurallarına uyum oranlarının; geçiş mesafesi, sinyal zamanlaması, trafik polisinin varlığı ve yaya hacminin farklı etkilerine göre değişkenlik gösterdiği saptanmıştır (Ren vd., 2011).

Etkileşim faktörlerinden iki yönlü yaya-yaya çatışma etkileri de bazı araştırmacıların dikkatini çekmiş ve araştırma konusu olarak incelemişlerdir. Lam ve Lee (2008) ilk olarak Hong Kong'daki sinyalizasyonlu yaya geçitlerindeki çeşitli akım koşullarında yaya-yaya etkileşiminin yürüme süresi ve yürüme hızı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Teknomo (2006), sinyalizasyonlu yaya geçitlerindeki yaya akımlarının iki yönlü etkilerini ölçmek için kullanılan mikroskopik bir yaya simülasyon modeli geliştirmiştir.

Yayaların araçlarla olan etkileşimi sonucu geçiş hızında meydana gelen farklılıkta az sayıda araştırmacı tarafından irdelenmiştir (Lord, 1996; Cynecki, 1980; Alhajyaseen vd., 2013; Asona vd., 2015). Hem yayalara hem dönen araçlara aynı anda yeşil sinyalin yanması sonucu ortaya çıkan çatışma durumunda dönen araç-yaya çatışması dikkat çekicidir. Dönen araç-yaya çatışma şiddetinin değeri; yayalara geçiş hakkı verilen yeşil sinyal zaman süresince karşıdan karşıya geçen yaya hacmi ile çatışma durumu sergileyen taşıt hacminin çarpımı olarak ifade edilmiştir (Cynecki, 1980). Yapılan çalışmada sinyalizasyonlu kavşaklarda dönüş hareketi yapan taşıtlar ile yayaların etkileşimi trafik çatışma teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Üç kollu ve dört kollu kavşaklar ayrı ayrı ele alınmış çatışma durumları incelenmiş, üç kollu kavşaklarda daha fazla taşıt-yaya çatışması olduğu belirtilmiştir (Lord, 1996).

Kaynak incelemelerinde ilk olarak yaya geçidi geçiş hızı değerlerinin farklı bölgelerde farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun nedeninin farklı insan davranışları olduğu açıktır. İnsan davranışı ise sosyal, kültürel, çevresel ve daha birçok yönünden değişebilmektedir. Örneğin İzmir ve İstanbul illerinde yapılmış olan anket çalışmasında; yayanın cinsiyeti, yaşı, medeni durumu, yüksek eğitim seviyesi, dini, trafikte yaya olarak geçirdiği günlük saat ve katılımcıların yaya olarak yaralandığı son 5 yıl içinde ki kazaların sayısı hakkında bilgi toplanmıştır. Elde edilen bilgiler ile yaya güvenliği arasında %60 oranında bir ilişki tespit edilmiştir (Nordfjarn&Şimşekoğlu, 2013). Yine de yaya davranışının bölgesel, çevresel ve geometrik tasarımsal öncüllerine odaklanan çalışmalar yeterli değildir. Bu nedenle en uygun ve güvenli kavşak ve yaya geçidi tasarımı sağlayabilmek için yerel olarak da yaya geçidi hızları hesaplanmalıdır. Yayaların geçiş davranışı üzerinde fiziksel çevre (yol genişliği, kavşak türü), yol kullanıcıları değişkenleri (demografik özellikler) ve sosyal faktörler ayrı ayrı tespit edilmelidir. Yayaların geçiş hareketlerinin mikro düzeyde incelenmesi ve hızlarının etkileyen durumların irdelenmesi sağlanmalıdır.

Bu çalışmada ilk olarak, yaya geçidi geçiş hızının; bireysel özellikler, zaman değişimi, araç ve yaya hacmi gibi etkili faktörlerin Mersin ilinde seçilen kavşak yaklaşımı için değerlendirilmesi yapılmıştır. Bireysel özellikler cinsiyet, yaş, dikkat dağıtıcı unsurlar (cep telefonu ile konuşmak, yük taşımak ve bir çocuğun elini tutmak gibi), grup davranışı gibi faktörleri içerir. Zaman değişimi hafta içi-hafta sonu, gün ve günün saatinin etkisini ifade eder. Daha sonra, mikro düzey çalışmalarda yaya geçiş hızı üzerindeki etkisi araştırılmamış olan bazı parametrelere de bu çalışmada yer verilmiştir. Bu parametreler;

- Yayaların yaya geçidini normal olarak geçmesi veya yaya geçidi içinden veya dışından açılı bir şekilde geçmesinin yaya hızına etkisi,
- Yayaların yeşil sinyal sürede kurallı veya kırmızı sinyal sürede kuralsız bir şekilde hareketini tamamlamasının yaya geçiş hızı üzerindeki etkisi,
- Yayanın hareketine, yaya geçidinin kuzey veya güney yönünden başlaması durumunda yön faktörünün yaya geçiş hızına etkisi,
- Yayaların yaya geçidi geçişleri sırasında yayalarla, araçlarla veya her ikisiyle de etkileşime girdiği durumların yaya hızına etkisi analiz edilmiştir.

İstatistiksel yöntemler ve kümülatif yüzde grafiği analiziyle yorumlamalar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmada, ilgili faktörlerin yaya hızı üzerindeki etkileri incelenerek, Mersin ili şehir merkezinde seçilen kavşakta mikro düzey yaya davranış profili belirlenmiştir.

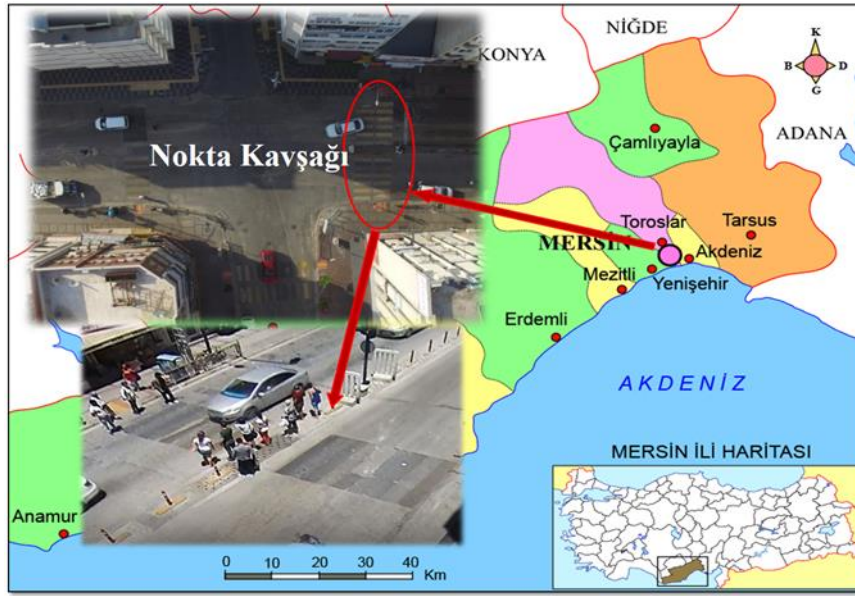
2. Materyal ve Metot

Akdeniz Bölgesi'nde yer alan, 919 594'i erkek, 920 831'i kadın bireylerin oluşturduğu toplam nüfusu 1 840 425 olan Mersin ili, Türkiye'nin nüfus bakımından en kalabalık illeri arasında 11. Sırada yer almaktadır (TÜİK, 2019). Çalışma kapsamında yayaların yaya geçidi davranışlarını ve yaya geçidi ortalama geçiş hızlarını etkileyen faktörler incelenmiştir. Bunun için 45. Kuvai Milliye Caddesi-İstiklal Caddesi kesişiminde (Nokta Kavşağı) yer alan dört kollu sinyalizasyonlu kavşağın en yoğun trafik ve yaya hacmine sahip doğu yönündeki kolu seçilmiştir.

Mersin ili, şehir merkezinde 2018 yılında dinamik kavşak sistemine geçmiş ve kamera sistemi ile araç trafiğini kontrol edebilmektedir. Araç yoğunluğuna göre sinyal süreleri güncellenmekte; araçların geçiş hakkı olduğunda yayalara dur, yayaların geçiş hakkı olduğunda araçlara dur sinyali yanmaktadır. İncelenen yaya geçidi, 12 m uzunluğunda ve 4 m genişliğinde orta refüj ile bölünmüş sinyal kontrollü yaya geçididir (Şekil 1). Gerekli yaya geçidi geometrik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yaya Geçidi Geometrik Özellikleri – Nokta Kavşağı, Mersin

<i>Kavşak İsmi</i>	<i>Kavşak Tipi</i>	<i>GenişlikxUzunluk</i>	<i>Şerit Genişliği</i>	<i>Kavşak Merkezine Uzaklık</i>	<i>Sinyalizasyona Uzaklık</i>
<i>Nokta Kav. Yaya Geçidi</i>	<i>Dört Kollu Sinyalizasyonlu</i>	4x12 m	3 x 4 m	12 m	3 m



Şekil 1. Çalışma Bölgesi- Nokta Kavşağı, Mersin

Yaya geçidi hareketleri; 06.07.2019 cumartesi günü sabah saat 9:00-10:00, öğle 13:00-14:00 ve akşam 17:00-18:00 arası bir saatlik ve 08.07.2019 pazartesi günü sabah saat 9:00-10:00, öğle 13:00-14:00, ve akşam 17:00-18:00 arası bir saatlik süreyle video kamera ile kaydedilmiştir. Hafta içi-hafta sonu ve aynı gün içerisinde farklı saat dilimlerinin yaya davranışları üzerindeki etkisini incelemek için kayıtların farklı zamanlarda ve pik saatlerde alınmasına dikkat edilmiştir.

Yayaların yaya geçidi boyunca davranışlarını ve etkili faktörleri belirlemek için 6 saatlik video kaydı ve 1868 ayrı geçiş analiz edilmiştir. Yayaların bazıları, gitmek istedikleri yön doğrultusunda yaya geçidi dışından çapraz geçişlerde bulunmuştur. Bu yüzden geçişler normal ve açılı geçiş olarak ayrı değerlendirilmiştir. Yayanın, geçişe başladığı kaldırımdan diğer kaldırıma adım attığında yaya geçidinde harcadığı süre, geçiş süresi olarak hesaplanmıştır. Yaya geçidi ortalama geçiş hızı; yayanın almış olduğu mesafeyi (m) yolu geçmek için harcadığı süreye (sn) bölerek m/sn cinsinden elde edilmiştir. Açılı geçişlerde de yayanın açılı olarak aldığı ortalama mesafe görüntülerden çıkarılarak geçiş hızı hesaplanmıştır.

Yaya geçidinin bulunduğu kesimde yol bölünmüş bir yol olduğu için yaya geçidi iki ayrı kesimde incelenmiştir. Harekete başlanılan kuzey yön kaldırımından orta refüje kadar ki aralık birinci kesim, orta refüjden hareketin tamamlandığı güney yönündeki kaldırıma kadar ki aralık ikinci kesim olarak değerlendirilmiştir. Yaya özellikleri doğrudan video kayıtlardan elde edilmiştir. İlk etapta yayanın cinsiyeti (erkek-kadın) ve yaşı (çocuk:7-12 yaş -genç yetişkin:13-24 yaş-yetişkin:25-64 yaş-yaşlı:65+ yaş) gruplandırılmış, sonrasında geçiş başlığı altında yayanın yaya geçidinden normal olarak mı yoksa açılı bir şekilde yaya geçidi dışından mı geçtiği hareket biçimi tanımlanmıştır. Daha uygun ve uygulanabilir istatistiksel veriler elde etmek için, yaya yaşı dört gruba ayrılmıştır. Sinyal durumu; yeşil ve kırmızı sinyalin hangisinde yayanın geçme davranışı gösterdiği, yayaların bireysel mi grup halinde mi yoksa çocuk ile birlikte mi geçtikleri tanımlanmıştır ancak her yaya geçiş hızı ayrı olarak hesaplanmıştır.

Yayaların geçişleri sırasında yaya, araç veya her ikisi ile de etkileşim yaşayıp yaşamadıkları; geçişler sırasında dikkat dağıtıcı unsur olarak telefonla ilgilenip ilgilenmedikleri ve ellerinde herhangi bir yük olup olmaması durumları da görüntülerden çıkarılmıştır. Yön faktörü etkisi (yayaların geliş yönü) de çalışma kapsamında incelenmiştir. Yayaların yaya geçidi sınırları içinde geçişlerini gerçekleştirip gerçekleştirmediği, özellikle yaya geçidi bölgesinde yer alan araç park edilme durumlarının ve yaya geçidinin korkuluk tarzı engellerle sınırlandırılmış olup olmamasının, yaya geçiş konumu üzerinde etkisi olup olmadığı da çalışmaya alınmıştır.

Geçiş hızlarının mikro düzeyde incelenebilmesi için yayaların geçişleri boyunca yönde 1,5'ar metre de bir olacak şekilde ortalama yaya hızları her bir yaya için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Burada amaç yaya-arac etkileşimi olduğu durumlarda yayaların ortalama hızlarındaki değişikliği tespit etmek, yaya hareketlerinin araçla karşılaştıkları durumda değişip değişmediğini gösterebilmektir. Bir başka deyişle yaya davranışlarını ortaya koymaktır. Etkileşimin ölçüsü, çalışmada grafiksel olarak yaya hızlarındaki değişiklikler şeklinde ifade edilmiştir. Bu değişiklikler video görüntülerinden incelenerek araçla etkileşim halinde olup olmadığı anlara göre değerlendirilmiştir. Yayaların yavaşlayıp hızlanma durumlarının veya ani hareketlerinin araç yaya etkileşiminden kaynaklanıp kaynaklanmadığı ortaya çıkarılmıştır. Video-kamera kaydının alındığı gün ve saatlerde motorlu taşıt yoğunluğu da birinci ve ikinci kesim için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Taşıt yoğunluğu bilgisi; yayaların geçiş hızları değerlendirilirken yorumlarda kullanılmıştır. Ölçülmüş olan ve görüntülerden

hassas bir şekilde elde edilen her parametrenin yaya geçiş davranışı ve hızı üzerinde ki etkisi bulgular bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Bu çalışmada birçok yapılmış yaya çalışmasına ek olarak (Önelçin, 2014; Antic vd., 2016; Dünder, 2016; Karataş&Yaman, 2018; Solmazer vd., 2020; Saphoğlu&Faisal, 2020); yayanın cinsiyeti, yaş grubu, grup davranışı, elinde yük bulunup bulunmaması, telefonla ilgilenip ilgilenmeme, yaya geçidini geçiş şekli, yayanın harekete başladığı yön, sinyal etkisi, yayanın yaya geçidini kullanırken karşıdan gelen yaya ile çatışması veya özellikle sağa dönen araç ile çatışması (karşılaşması) veya hiçbir etkileşime girmeme hali, taşı yoğunluğu ile yaya geçiş hızları arasında ki ilişki ve özellikle yaya geçidi bölgesinde yer alan araç park edilme durumlarının ve yaya geçidinin korkuluk tarzı engellerle sınırlandırılmış olup olmamasının yaya davranışlarına etkisi verileri birlikte incelenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Gözlemler sonucu elde edilen temel parametrelerin öncelikle geçiş hızı üzerindeki etkilerini istatistiksel ifade edebilmek için SPSS 17.0 yazılımı kullanılmıştır. İki seviyeli değişkenler ile geçiş hızı karşılaştırılmıştır. Bunun için bağımsız t-testi, ikiden fazla seviyeye sahip değişkenler için tek yönlü ANOVA, ikiden fazla seviyeye sahip değişkenlerin birbirleri üzerindeki etkisini de incelemek için, iki yönlü ANOVA analizi yapılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Tanımlayıcı İstatistikler

Değişken	Grup	Sayı (N)	Geçiş Hızı (m/sn)	
			Ortalama (μ) (m/sn)	Standart Hata
Bireysel Özellikler				
Cinsiyet	Kadın	836	1.108	0.186
	Erkek	1032	1.160	0.242
Yaş Grubu	Çocuk	88	1.218	0.238
	Genç Yetişkin	920	1.181	0.197
	Yetişkin	768	1.108	0.222
	Yaşlı	98	0.860	0.152
Telefonla Meşguliyet	Evet	156	1.106	0.168
	Hayır	1712	1.140	0.224
Elinde Yük Bulunması	Evet	392	1.051	0.189
	Hayır	1476	1.160	0.222
Grup Davranışı	Bireysel	1268	1.165	0.221
	Grup	512	1.093	0.207
	Eli Çocuklu	88	0.988	0.184
Zaman Faktörü				
Pazartesi	Sabah (09.00-10.00)	296	1.066	0.171
	Öğle (13.00-14.00)	404	1.194	0.259
	Akşam (17.00-18.00)	480	1.130	0.175
Cumartesi	Sabah (09.00-10.00)	124	1.168	0.196
	Öğle (13.00-14.00)	200	1.214	0.278
	Akşam (17.00-18.00)	364	1.089	0.204

3.1. Bireysel Özelliklerin Yaya Geçiş Hızına Etkisi

Seçilmiş yaya geçidinden toplamda 1032 erkek, 836 kadın tarafından geçişler gerçekleştirilmiştir. Erkek ve kadın yayaların geçiş hızlarını karşılaştırmak için bağımsız t-testi yapılmıştır. Erkek yayaların ortalama geçiş hızı $\mu=1.16$ m/sn; standart hata SH=0.24 ve kadın yayaların ortalama geçiş hızı $\mu=1.11$ m/sn; SH=0.19 elde edilen sonuçlarda anlamlı bir fark bulunmuştur (Sig=0.000 < 0.05). Bu sonuçlar, Mersin İli Nokta Kavşağı yaya geçidinde erkek yayaların kadınlardan fazla geçiş hızı sergilediklerini göstermektedir. Bu durum daha önce yapılmış olan yaya geçidi çalışmaları (Tarawneh, 2001; Montufar vd., 2007; Daamen&Hoogendoorn, 2007; Saphoğlu&Faisal, 2020) ile benzerlik göstermektedir.

Yaya geçidinde geçişler; 88’i çocuk, 920’si genç yetişkin, 768’i yetişkin ve 92’si yaşlı yayalar tarafından gerçekleştirilmiştir. Geçiş hızına yaş parametresinin etkisini araştırmak için tek yönlü ANOVA analizi yapılmıştır. Dört yaş grubu için de Sig=0.000 < 0.05 seviyesinde anlamlı bir etki göstermiştir. Farklı yaş gruplarında ki bireylerin geçiş hızları birbirlerinden farklılık göstermektedir. Bir başka deyişle, yaş parametresinin geçiş hızı üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

%95 güven aralığı ile yaş faktörünün ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olduğu tespit edildikten sonra bu farklılığın düzeyini belirlemek için çoklu karşılaştırma yapılmıştır. Çoklu karşılaştırma için Post-Hoc testlerinden Hochber’s GT2

Testi tercih edilmiştir. Hochber's GT2 testi, bizim çalışmamızda olduğu gibi, değişken alt grup örneklem sayılarının eşit olmadığı durumlarda kullanılan test çeşididir. Çoklu karşılaştırma testlerinden Hochber's GT2 istatistiği de Tukey testine benzeyen, ancak genişletilmiş t modülü (studentized maximum modulus) tabanında çalışan bir Post-Hoc türüdür (SPSS, 2002; Kayri, 2009). Yaş değişkeninin de alt grup örneklem sayıları arasında, farklılık söz konusu olduğu için çoklu karşılaştırma testlerinden Hochber's GT2 testi kullanılmıştır. SPSS analizi ile elde edilen karşılaştırma test sonucu Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çoklu Karşılaştırma - Hochber's GT2 Testi

(I) Yaş	(J) Yaş	Ort. Farklar (I-J)	Standart Hata	P	%95 Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
Çocuk	G.Yetişkin	0.037	0.023	0.488	-0.023	0.097
	Yetişkin	0.110*	0.023	0.000	0.050	0.170
	Yaşlı	0.358*	0.030	0.000	0.278	0.438
G.Yetişkin	Çocuk	-0.037	0.023	0.488	-0.097	0.023
	Yetişkin	0.073*	0.010	0.000	0.047	0.099
	Yaşlı	0.321*	0.022	0.000	0.263	0.380
Yetişkin	Çocuk	-0.110*	0.022	0.000	-0.170	-0.050
	G.Yetişkin	-0.073*	0.010	0.000	-0.099	-0.047
	Yaşlı	0.248*	0.022	0.000	0.189	0.307
Yaşlı	Çocuk	-0.358*	0.030	0.000	-0.438	-0.278
	G.Yetişkin	0.321*	0.022	0.000	-0.380	-0.263
	Yetişkin	-0.248*	0.022	0.000	-0.307	-0.189

Tablo 3'te Sig. sütununda yer alan değer < 0.05 olduğu için gruplar arasındaki fark anlamlıdır. Farkın anlamlı olduğu gruplar, ortalama farklar sütununa "*" işareti konularak tabloda belirtilmiştir. Örneğin; çocukların ortalama geçiş hızları ile yetişkinlerin ortalama geçiş hızları arasında (Yaş-Jyaş) 0.110 fark vardır ve aynı zamanda Sig=0.000 < 0.05 'dir. Bu nedenle fark anlamlıdır. Farkın eksi çıkması Yaş sütununda yer alan alt grubun ortalama geçiş hızının aynı grupta yer alan alt grubun ortalama geçiş hızından daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Çocuk ve genç yetişkin hız ortalamaları arasındaki farkın önem derecesi 0.05'ten büyük (Sig.=0.488) olduğu için anlamlı değildir, buna istinaden bu alt gruplar arasında önemli bir fark bulunmamaktadır.

Yaş ve cinsiyet parametrelerinin bağımlı değişken üzerinde ki etkisini ve birbirleri arasındaki etkileşimini de görmek için iki yönlü ANOVA Analizi yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Yaş ve Cinsiyet Parametre Etkilerinin İncelenmesi-İki Yönlü ANOVA

Parametreler	Tip III Karelerin Toplamı	df	Ortalama Kare	F	P	Etki Derecesi
Cinsiyet	1.410	1	1.410	34.080	0.000	1.000
Yaş	8.148	3	2.716	65.660	0.000	1.000
Cinsiyet*Yaş	0.524	3	0.175	4.219	0.006	0.860

İki yönlü ANOVA test sonuçlarına (Tablo 4) göre; bağımlı değişken üzerindeki etkisi araştırılan cinsiyet ve yaş tek başına, cinsiyet*yaş etkileşimi parametrelerinin hepsi Sig değeri < 0.05 şartını sağladığı için ortalama geçiş hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Son sütunda yer alan bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde ki etki oranını ifade eden etki derecesi sonuçları cinsiyet ve yaş parametresinin ayrı değerlendirilmesinde oldukça yüksek çıkmıştır. İki parametrenin birlikte hız üzerindeki etkisi, bağımsız değişkenlerin ayrı değerlendirmesine göre daha düşük (0.860) elde edilmiştir.

Yayaların, yaya geçidinden geçişleri sırasında telefonla ilgilenmelerinin geçiş hızları üzerindeki etkisini araştırmak için bağımsız t-testi yapılmıştır. Telefon ile meşgul olan 156 yaya ($\mu=1.11$ m/sn, SH=0.17) ve telefonla meşgul olmayan 1712 yaya ($\mu=1.14$ m/sn, SH=0.22) arasında ki karşılaştırma sonucu anlamlı bir fark bulunmuştur (Sig=0.000 < 0.05). Geçiş sırasında dikkati dağılmayan yayalar daha yüksek bir geçiş hızına sahiptir.

Yayaların, yaya geçidinden geçişleri sırasında elinde yük olmasının geçiş hızı üzerindeki etkisini araştırmak için yine bağımsız t-testi yapılmıştır. Elinde yük bulunan 392 yaya ($\mu=1.05$ m/sn, SH=0.19) ve elinde yük bulunmayan 1476 yaya ($\mu=1.16$ m/sn, SH=0.22) arasında ki karşılaştırma sonucu anlamlı bir fark bulunmuştur (Sig=0.018 < 0.05). Herhangi bir yük taşımayan yayaların geçiş hızı daha yüksek tespit edilmiştir.

Grup davranışının yayaların geçiş hızı üzerindeki etkisini araştırmak için; bağımsız değişkenin alt grubu ikiden fazla olduğu için tek yönlü ANOVA Analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda bireysel geçen 1268 yayanın hız ortalaması $\mu = 1.16$ m/sn, SH=0.22 bulunmuştur. Grup halinde geçen (en az iki kişi birlikte geçen yayalar) 512 yayanın $\mu = 1.10$ m/sn, SH=0.21, çocuğun elinden tutarak çocukla birlikte geçen 88 yayanın $\mu = 0.99$ m/sn SH=0.18 olarak bulunmuştur. Sig.= 0.000 < 0.05 olduğu için tüm alt gruplar arasında anlamlı bir farklılık bulunmaktadır. Çoklu karşılaştırma testi olarak Post-Hoc testlerinden Hochber's GT2 testi sonucu da tüm grupların birbirleri üzerinde etkisini gösteren Sig.= 0.000 < 0.05 olduğundan anlamlı farklar mevcuttur. Bireysel yayaların geçiş hızları yüksek çıkarken, elinde çocuk olan yayaların geçiş hızı en düşük olarak hesaplanmıştır.

Yukarıda; cinsiyet, yaş, grup davranışı, elinde yük olması durumu ve telefonla meşguliyetin geçiş hızı üzerinde ki etkileri istatistiki olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda tüm parametreler için Sig. değeri < 0.05 bulunarak geçiş hızı üzerinde anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir. Anlamlı olan bu farkta hangi parametrelerin daha etkili olduğunu tespit etmek için etki büyüklükleri hesaplanmıştır. Etki büyüklüğü (EB) anlamlı farklılığın ortaya konması için ilgilenilen sonuç değişkenine göre bir başka deyişle hız-bağımlı değişkenine göre, iki ortalama arasındaki beklenen farklılık olarak ifade edilmektedir (Hulley vd., 2001; Kılıç, 2014). ANOVA Analizi, grup davranışı ve yaşın alt grupları ikiden fazla olduğu için yapılmıştır. SPSS Kısmi Eta Kare değerini yani etki büyüklüğünü hesaplamaktadır. Alt grup sayısı iki olan parametrelerde ise, bağımsız t-testi yapılmıştır. Bunların etki büyüklüğünün hesaplanması için yaygın olarak kullanılan, Cohen tarafından geliştirilen, hesaplama (d) kullanılmıştır.

$$SS_{pooled} = \sqrt{(SS^2 \text{ grupA} + SS^2 \text{ grupB}) / 2} \quad (1)$$

$$EB = \frac{A \text{ grubunun ortalaması} - B \text{ grubunun ortalaması}}{\text{Harmanlanmış (pooled) standart sapma}} \quad (2)$$

Formül 1'de SS_{pooled} harmanlanmış standart sapma, SS grupA; A grubunun standart sapması, SS grupB; B grubunun standart sapması şeklinde ifade edilmektedir. Örnek olarak cinsiyet parametresinde erkek ve kadın iki alt grup yer almaktadır. Burada grupA erkek, grupB kadın yayaların standart sapması olarak alınmış ve harmanlanmış standart sapma Formül 1 ile hesaplanmıştır.

Formül 2'de EB; Etki büyüklüğünü, A grubunun ortalaması örnek olarak erkek yayaların geçiş hızı ortalamasını; B grubunun ortalaması ise kadın yayaların geçiş hızı ortalamasını ifade etmektedir.

Cohen etki büyüklüğü sonuçlarının yorumlanması için genel bir öneri olarak; etki büyüklüğü değerinin 0.2'den küçük olması durumunda zayıf, 0.5 olması durumunda orta ve 0.8'den büyük olması durumunda ise kuvvetli bir etki oluştuğunu ifade etmiştir (Hulley vd.,2001; Kılıç, 2014). Çalışma parametrelerinin hesaplanmış Etki büyüklükleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Parametrelerin Etki Büyüklükleri

Parametreler	Etki Büyüklüğü
Cinsiyet	0.255
Yaş	0.933
Grup Davranışı	0.534
Telefonla Meşguliyet	0.172
Elinde Yük Bulunması	0.536

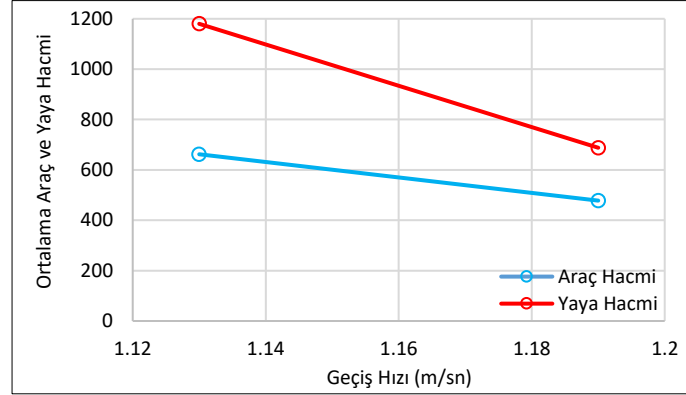
Tablo 5'te de görüldüğü üzere; geçiş hızı üzerinde en etkili parametre yaş sonrasında grup davranışı ve elinde yük bulunup bulunması olarak tespit edilmiştir. Cinsiyet ve telefonla meşguliyetin diğer üç parametre kadar etkisi tespit edilememiştir.

3.2. Günlük ve Saatlik Değişimlerin Yaya Geçiş Hızına Etkisi

Veriler hafta içi pazartesi sabah, öğle, akşam olmak üzere üç grupta elde edilmiştir. Sabah yaya geçidini kullanan 296 yayanın geçiş hızı $\mu = 1.07$ m/sn, SH=0.17, öğlen geçen 404 yayanın geçiş hızı $\mu = 1.19$ m/sn, SH=0.29 m/sn, akşam geçen 480 yayanın geçiş hızı $\mu = 1.13$ m/sn SH=0.18 bulunmuştur.

Veriler hafta sonu cumartesi sabah, öğle, akşam olmak üzere üç grupta elde edilmiştir. Sabah yaya geçidini kullanan 124 yayanın geçiş hızı $\mu = 1.17$ m/sn, SH=0.20, öğlen geçen 200 yayanın geçiş hızı $\mu = 1.21$ m/sn, SH=0.28, akşam geçen 364 yayanın geçiş hızı $\mu = 1.19$ m/sn, SH=0.20 olarak bulunmuştur. Aynı gün içinde farklı zamanlarda toplanan veriler arasında net yorum yapabilmek mümkün değildir. Fakat verilere bakıldığında sabah saatlerinde daha düşük geçiş hızı tespit edilmiştir. Akşam saatlerinde ise sabah ve öğle saatlerine göre hem hafta içi hem hafta sonu daha yüksek geçiş hızı hesaplanmıştır. Şekil 2'de araç ve yaya hacmine göre geçiş hızlarının değişimi görülmektedir. Hafta içi yaya hacmi ve araç hacmi hafta sonuna göre daha fazladır. Hafta içi ortalama geçiş hızı 1.13 m/sn bulunmuştur. Hafta sonu ise geçiş hızı 1.19 m/sn olarak hesaplanmıştır. Hafta içi yaya ve araç hacminin fazla olması, yaya hareketlerinin

kısıtlanmasına ve geçiş hızlarının azalmasına sebep olmuştur. Bu nedenle araç ve yaya hacminin de geçiş hızı üzerinde etkisi olduğu görülmüştür.



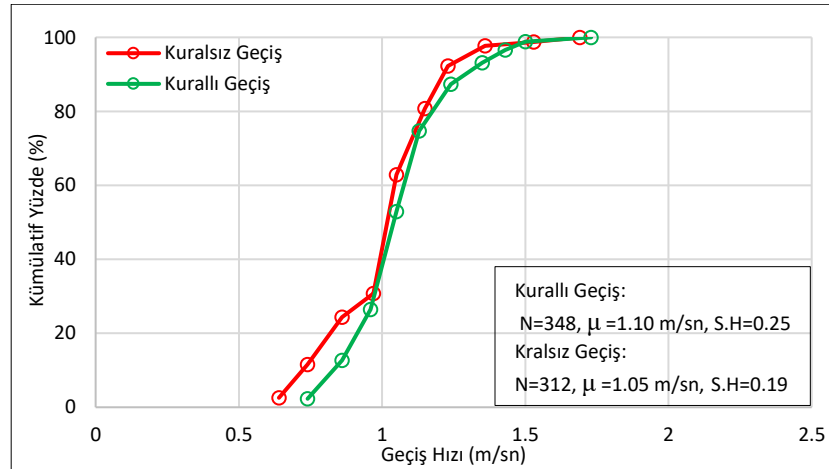
Şekil 2. Hafta içi ve Hafta sonu Araç ve Yaya Hacmine Göre Geçiş Hızı Grafiği

Temel istatistik yorumları sonunda asıl çalışma amacı için önemli olan sinyal etkisi, geçiş şekli davranışı ve etkileşim parametrelerinin yaya davranışı üzerinde ki etkileri, kümülatif yüzde geçiş hızı grafikleri çizilerek detaylı olarak incelenmiştir. Video kamera kayıtlarından görülmüştür ki özellikle bu üç parametre; yaya geçidi geçiş süresini ve hızını önemli derece de etkilemektedir.

3.3. Sinyal Durumunun Yaya Geçiş Hızına Etkisi

İncelenen kavşak kolu, orta refüj ile bölünmüş sinyal kontrollü olarak işletilmektedir. Bu yüzden sinyal etkisi iki yaya hareket yönü için de incelenmiştir. Yayanın hareketine başladığı kuzey yön kaldırımdan orta refüje geldiği aralık birinci kesim, orta refüjden karşı güney yön kaldırımına geçtiği aralık ikinci kesim olarak isimlendirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesi sonucu; bazı yayaların sinyale göre kurallı geçiş yaptıkları, bazı yayaların kuralsız geçiş yaptıkları tespit edilmiştir. Yaya geçidi boyunca yeşil sinyal süresinde hareketini tamamlayan yayalar kurallı geçiş yapmaktadırlar. Yaya geçidi boyunca kırmızı sinyal süresinde hareketini tamamlayan yayalar kuralsız geçiş yapmaktadırlar. Sinyal durumuna göre geçiş hızlarının kümülatif yüzde grafiği Şekil 3'te verilmiştir. Grafikte; yeşil sinyalde geçen yayalar yeşil, kırmızı sinyalde geçen yayalar kırmızı renk ile ifade edilmiştir. Kurallı ve kuralsız olarak ele alındığı için her iki kesimi de kırmızı veya yeşil sinyalde alan yayalar incelenmiştir diğer durumlar elimine edilmiştir.

Yapılan bağımsız t-testi analizi sonuçlarına göre; kurallı geçiş davranışı sergileyen 348 yayanın ortalama geçiş hızları 1.10 m/sn, SH=0.25 kuralsız geçiş davranışı sergileyen 312 yayanın ortalama geçiş hızları 1.05 m/sn, SH=0.19 olarak hesaplanmıştır.

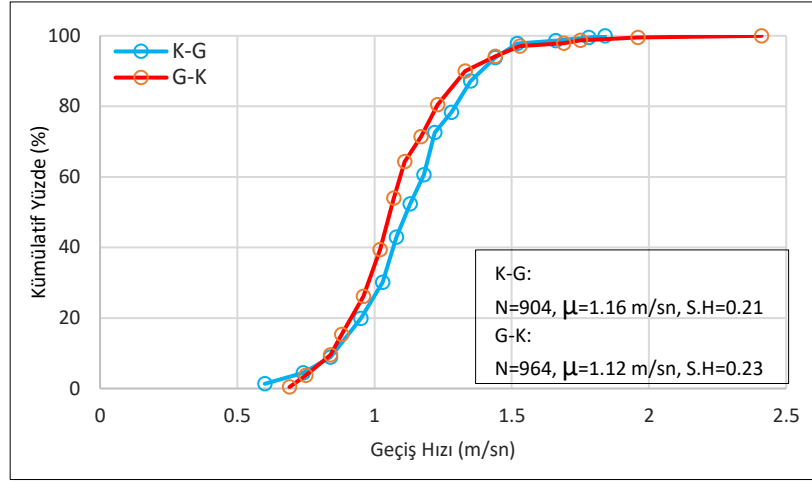


Şekil 3. Yaya Geçidi Sinyal Durumuna Göre Kümülatif Hız Grafiği

Yaya geçidinden kuralsız geçen yayaların daha düşük, kurallı geçen yayaların daha yüksek geçiş hızına sahip oldukları görülmektedir (Şekil 3). Bu durum, yayaların kırmızı ışık anında daha hızlı geçecekleri düşüncesine ters düşen dikkat çekici bir durumdur. Kuralsız geçişlerde yayalar daha fazla araçlarla etkileşim içerisine girmektedirler. Etkileşim sonucunda araç yol vermediği taktirde yaya geri adım atmakta veya aracın geçmesini beklemektedir. Tüm bu etkileşimlerin araç yolu içerisinde olması hem yaya hızını düşürmekte hem de yaya güvenliğini tehlikeye sokmaktadır.

3.4. Yaya Geçidinde Yön Faktörünün Geçiş Hızına Etkisi

Video kamera görüntü analizlerinde gözlemlenmiştir ki yaya geçidinin iki yönü için de yayalar farklı davranış sergileyebilmektedir. Bunu tespit edebilmek için ortalama geçiş hızı üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Yapılan Bağımsız t-testi sonucunda; kuzeyden güney yönüne geçen 904 yayanın ortalama geçiş hızı 1.16 m/sn, SH=0.21; güneyden kuzey yönüne doğru geçen 964 yayanın ortalama geçiş hızı 1.12 m/sn, SH=0.23 olarak hesaplanmıştır. Sig.=0.000 < 0.05 olduğu için gruplar arasında anlamlı bir fark vardır. Yani yön faktörü geçiş hızı üzerinde etkilidir. Yönle ilgili yaya geçidi geçiş hızlarının kümülatif yüzde grafiği Şekil 4'te verilmiştir.



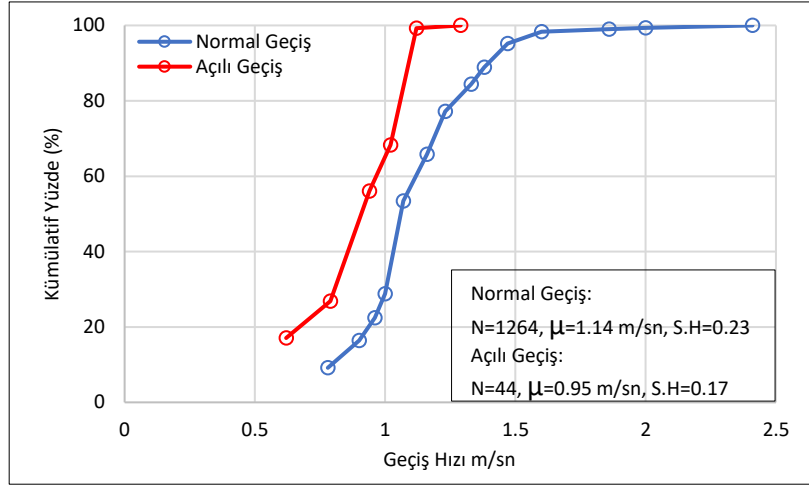
Şekil 4. Yön Faktörünün Geçiş Hızı Üzerine Etkisi

Güneyden kuzey yönüne hareket eden yayaların ortalama geçiş hızlarının diğer yöne göre daha az hesaplanmasının sebebi arazi üzerinde incelendiğinde, yaya geçidinin kuzey kesim kaldırımında yaya geçidi sınırlandırma elemanının bulunduğu görülmüş ve kısa süreli araç park durumları tespit edilmiştir. Bu durumların yaya hızlarında yavaşlama olarak etki ettiği düşünülmektedir. Yaya geçidinin kuzeyinde kaldırımında, yaya geçidinin bulunduğu mesafe haricinde demir korkuluklar mevcutken, yaya geçidinin güneyinde bulunan kaldırımında herhangi hareketi kısıtlayıcı eleman bulunmamaktadır. Bu nedenle Güney yönünden hareket eden yayaların hızları daha yüksek çıkmaktadır. Sonuç olarak yaya geçidi tasarlanırken yaya geçidi geometrisinde ek korkuluk yerleştirilmesinin yaya geçiş hızlarını etkilediği söylenebilir. Ayrıca kısa süreli de olsa yol kenarı araç park durumları, yaya geçiş hızını etkilemektedir.

3.5. Yayaların Geçişlerini Normal veya Açılı Yapmasının Geçiş Hızı Üzerine Etkisi

Yaya hareket verileri incelendiğinde, yayaların düz olarak yaya geçidinden geçebilmelerinin yanında, gitmek istedikleri yön doğrultusunda veya yaya geçidine gelmeden buldukları yerden açı yapacak şekilde iki türlü geçebildiği görülmüştür. Geçiş şeklinin de geçiş hızı üzerinde özellikle de geçiş süresi üzerinde etkili olduğu görüldüğü için bu parametrenin çalışma kapsamında incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Çalışma kapsamında yaya geçidi iki kesimde analiz edilmiştir.

Veriler incelenirken her iki yön için sadece karşıdan karşıya açılı geçenler ve sadece düz geçen yayaların verileri alınmış diğerleri elimine edilmiştir. Yapılan bağımsız t-testi sonucunda normal geçen 1264 yayanın ortalama geçiş hızı 1.14 m/sn, SH=0.23, açılı olarak geçen 44 yayanın ortalama geçiş hızı 0.95 m/sn, SH=0.17 olarak bulunmuştur. Sig.=0.000 < 0.05 olduğu için gruplar arasında anlamlı bir fark vardır. Geçiş şekline göre geçiş hızı kümülatif yüzde grafiği Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Geçiş Şeklinin Geçiş Hızı Üzerine Etkisi

Açılı geçen yayaların geçiş hızları düşük olurken geçiş süreleri de oldukça yüksek tespit edilmiştir. Çünkü video kamera görüntülerinin analizi sonucunda yayalar gitmek istedikleri yön doğrultusunda yaya geçidi dışından kural dışı hareket etmektedirler. Bu davranışları da sık sık araçlarla etkileşim içine girmelerine ve fazladan gecikmelere sebep olmaktadır. Araçlarla etkileşimleri sonucunda kendi güvenlikleri için dikkatli, hız yapmadan geçişlerini gerçekleştirmektedirler. Açılı geçiş davranışlarının, toplam geçiş süreleri de normal yaya geçidinden geçen yayaların toplam geçiş sürelerinden oldukça yüksek hesaplanmıştır. Açılı geçiş davranışı sergileyen yayaların geçiş sırasında mesafe ve zaman olarak her hangi bir avantajları olmadığı görülmüştür.

3.6. Etkileşim Faktörünün Yaya Davranışı Üzerindeki Etkisi

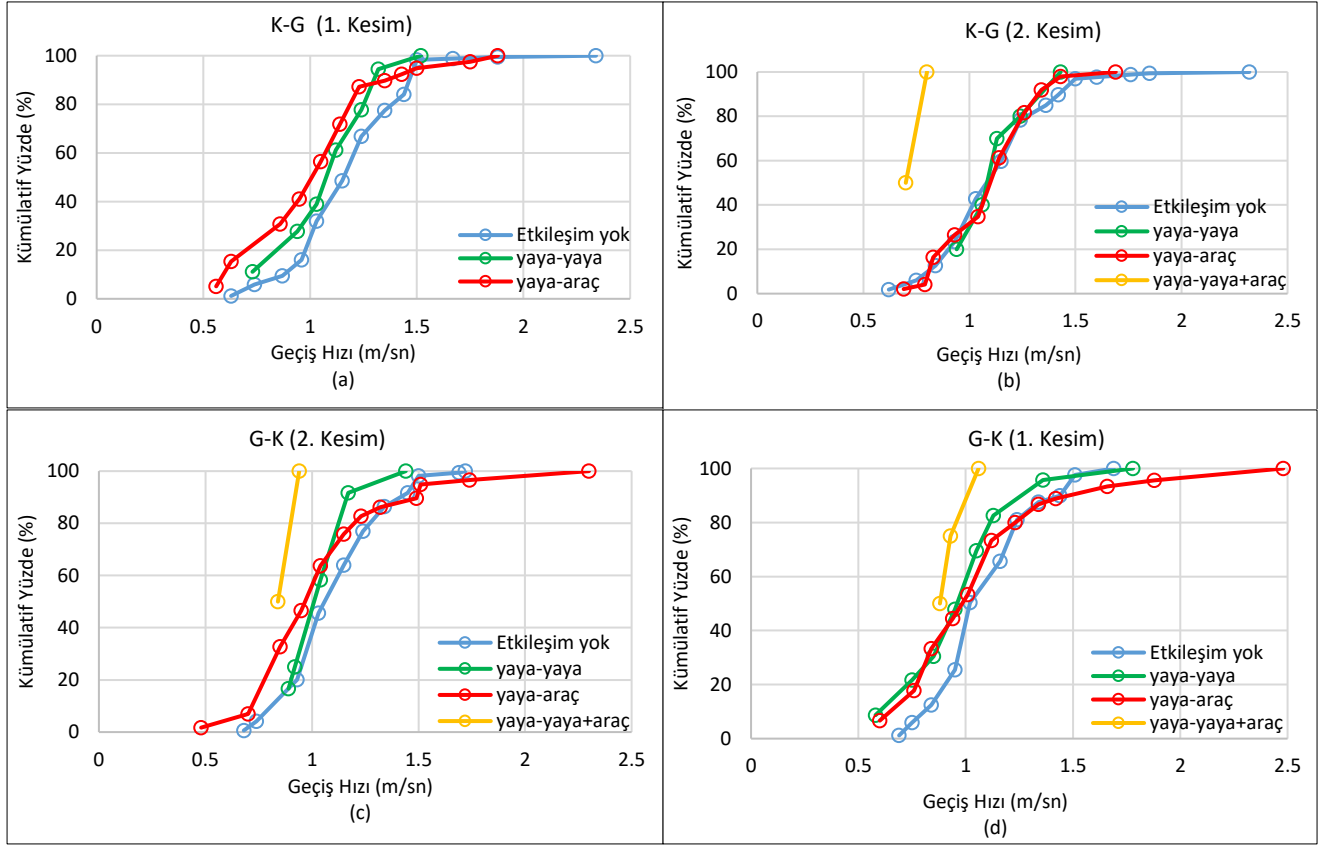
Kaynak incelemelerinde bahsedildiği şekilde yaya geçitlerindeki geçişlerde yaya-yaya etkileşimi ve yaya-arac etkileşiminin yaya hızı üzerinde etkisi önemlidir. Bu çalışmada da video kamera incelemelerinde etkileşime maruz kalan yayaların olumsuz etkilendiği (hızlarda yavaşlama, güvenlik nedeniyle durma veya hızlanma, yolunu değiştirme) gözlemlenmiştir. Yaya davranışları analizinde, bahsedilen etkileşim parametresinin incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Yaya geçidi iki kesime ayrılmış ve her kesimin ortalama hızı kendi içinde hesaplanmıştır. Çalışmada kuzey yön kaldırımından orta refüje kadar ki aralık birinci kesim, orta refüjden güney yönündeki kaldırıma kadar aralık ikinci kesim olarak isimlendirilmiştir. Video görüntülerinden yararlanarak meydana gelen durumlar analiz edilmiş, etkileşim dört grup altında değerlendirilmiştir. Hiç etkileşim içine girmeyen yayalar, karşılıklı yaya-yaya etkileşimi, yaya- araç etkileşimi ve bazı yayaların hem araç hem yaya ile de etkileşime girdikleri tespit edilmiştir. Etkileşim ve kesim bazında hesaplanan ortalama hız değerleri tablo 6'da verilmiştir. Etkileşimin hız üzerindeki etkisini gösteren kümülatif hız grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Etkileşimin Yaya Geçidi Kesim Bazında Ortalama Geçiş Hızı Üzerine Etkisi

Etkileşim	Kuzey-Güney Geçiş				Güney-Kuzey Geçiş			
	Birinci Kesim		İkinci Kesim		Birinci Kesim		İkinci Kesim	
	N	Ort.Hız	N	Ort. Hız	N	Ort.Hız	N	Ort.Hız
Etkileşim yok	67	1.20	664	1.15	676	1.13	676	1.15
Yaya - yaya	72	1.12	40	1.14	92	1.02	48	1.08
Yaya - araç	15	1.05	196	1.11	180	1.10	232	1.07
Yaya-yaya-arac	-	-	4	0.77	16	0.93	8	0.91

Tablo 6'daki değerler incelendiğinde, etkileşime maruz kalmayan yayaların daha yüksek geçiş hızına sahip olduğu görülebilir. Yaya-yaya etkileşimi; özellikle yaya hacminin fazla olduğu anlarda meydana gelmiştir. Yayalar bu durumda hareketlerinde hafif duraksamış, hız azaltmış veya doğrultu değiştirme davranışı sergilemiştir. Yaya-arac etkileşiminde; yayalar araçla etkileşim yaşadığı anda, kimi zaman durup aracın geçmesini beklemiş kimi zamansa koşarak araç gelmeden hareketini tamamlama eğilimine girmiştir. Yayaya göre durma ve koşma eylem davranışı farklılık göstereceği için yaya-arac etkileşiminde farklı hız değerleri elde edilmiştir. Yine de yaya-yaya etkileşimine göre daha düşük geçiş hızı hesaplanmıştır.



Şekil 6. Etkileşim Parametresinin Ortalama Geçiş Hızı Üzerine Etkisi

Araçların gelme yönü de yaya güvenliği için önemlidir. Yayanın rahat görüş açısı içindeki düz yoldan gelen araçlara yaya önlem alabilir ve yavaşlamadan hızlı bir geçiş yapabilir. Diğer tarafta ise, araçların sağa dönüş yaptığı kısımlarda yayanın sol-arkasından gelen araçlar, yaya güvenliği için oldukça tehlike arz etmektedir. Yaya-yaya-araç etkileşiminde her iki durumda söz konusu olduğundan daha fazla gecikme yaşanmış yani geçiş süresi artmıştır. Ortalama geçiş hızı oldukça düşük hesaplanmıştır.

K-G birinci kesimde (Şekil 6.a); etkileşimin olmadığı geçişlerde yaya geçiş hızları daha yüksek hesaplanmıştır. Burada araç geçişleri yaya görüş açısı içinde yer almaktadır. Ayrıca araçla etkileşim durumunda yaya hızı en düşüktür. G-K birinci kesimi (Şekil 6.d) ile K-G birinci kesimi (Şekil 6.a) aynı kesimde, farklı yönden gelen yaya hareketleridir ve aynı benzer davranışı sergilemektedirler. Fakat (Şekil 6.d) bir miktar hızlarda yavaşlama söz konusu olmuştur. Bunun sebebi olarak güneyden gelen yayaların yaya geçidi korkuluğu ile karşılaşmalarından meydana geldiği yorumu yapılabilir. K-G ikinci kesim (Şekil 6.b) ile G-K ikinci kesimde (Şekil 6.c) aynı bölgeyi ifade etmektedir ve yaya davranışları benzerdir. Fakat G-K yönü için araçlar yayaların görüş alanı dışında sol arka taraftan geldiği için yayaların daha kontrollü geçme ihtiyacını ortaya koymuştur. Bu durumda G-K yönünde hızların bir miktar yavaş olmasında neden olmuştur.

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma da ortalama geçiş hızı 1.14 m/s bulunmuştur. Çeşitli ülkelerde ve şehirlerde yapılan geçiş hızı çalışmalarıyla kıyaslandığında, daha düşük bir değer elde edilmiştir (Cresswell vd., 1978; Wilson&Grayson, 1980; Bennett vd., 2001; Tarawneh, 2001; Gates vd., 2006; Montufar vd., 2007; Daamen&Hoogendoorn, 2007; Ren vd., 2011; Marisamynathan&Perumal, 2014; Dünder, 2016). Türkiye'de farklı iller de yapılan bazı yaya geçiş hız çalışmalarına göre ise yüksek hesaplanmıştır (Saphoğlu&Faisal, 2020; Önelçin, 2014). Yine de TSE tarafından önerilen 1.4 m/s'lik hız değerinin oldukça altında olduğu görülmektedir.

Yaya geçiş hızını etkileyen faktörler (cinsiyet, yaş, grup davranışı, telefonla meşguliyet, elinde yük durumu) incelendiğinde istatistiksel olarak hepsinin geçiş hızı üzerinde anlamlı bir fark oluşturduğu görülmüştür. Erkeklerin, kadın yayalara; telefonla meşgul olmayanların, olan yayalara; elinde yük olmayanların, elinde yük olan yayalara; bireysel hareket edenlerin, grup halinde hareket eden yayalara göre daha yüksek geçiş hızına sahip oldukları görülmüştür. Yaş faktörü arttıkça da yaya hızında azalma meydana gelmiştir. Etki büyüklüklerinin hesaplanması ile cinsiyetin ve telefonla meşguliyetin diğer faktörler kadar geçiş hızını etkilemediği tespit edilmiştir. Bununla birlikte incelenen bireysel faktörlerin kendi içinde önem sıralamasına 'Cohen d' analizi ile bakıldığında en önemli etkinin yaş parametresi olduğu, sonrasında ise yaya grup davranışı ve elde yük olup olmaması durumu olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle, Mersin

ilinde yaya geçidi geometrileri ve yaya geçiş süreleri tasarlanırken, yaş parametresi öncelikli olmak üzere, yaya grup davranışı ve elinde yük bulunması parametrelerinin veri toplarken dikkate alınması, araçlar için oluşturulmuş dinamik sinyal sürelerine yaya güvenliğini artırıcı önlemler alınmasını destekleyecektir.

Hafta içi yaya ve araç hacminin fazla olması, yaya hareketlerinin kısıtlanmasına ve geçiş hızlarının azalmasına sebep olmuştur. Bu nedenle araç ve yaya hacminin de geçiş hızı üzerinde etkisi olduğu görülmüştür. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, veri temininin hafta içi günlerde ve farklı mevsim şartlarında alınması ayrıca yaya hacmiyle de ilişki kurulması, sinyal süresi iyileştirme çalışmalarında faydalı olabileceği düşünülmektedir.

Yaya geçidi hareketine başlanılan yönün etkisi de çalışma içerisinde yer almıştır. Güneyden kuzey yönüne hareket eden yayaların ortalama geçiş hızları daha düşük hesaplanmıştır. Bunun sebebi olarak; yaya geçidinin kuzey yönü kaldırımında yaya geçidi sınırlandırma elemanının bulunduğu görülmüş ve kısa süreli araç park durumları tespit edilmiştir. Bu durumların yaya hızlarını yavaşlattığı fark edilmiştir. Kavşak geometrisinin ve görüş açılarının yaya hızı üzerindeki etkisi tespit edilmiştir.

Çalışmada araç-yaya ve yaya-yaya etkileşim faktörlerinin de yaya geçiş hızları üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Etkileşime girmeyen yayalar daha yüksek geçiş hızına sahipken, araçlarla olan etkileşim daha çok gecikmeye sebep olmaktadır. Ayrıca araçlarla etkileşim, yaya güvenliği yönünden en tehlikeli olanıdır. Yayanın sol arkasından gelen araçlar (sağa dönen araçlar olduğunda) yayanın ani hareket değişimine (durma veya koşma) girmesine ve yayanın daha kontrol ihtiyacı geçmesine neden olmuş, geçiş hızını oldukça etkilemiştir.

Sinyal durumuna göre kurallı geçen yayaların kuralsız geçen yayalara göre daha yüksek geçiş hızlarına sahip oldukları görülmüştür. Sinyal süresi beklemek istemeyen sabırsız yayalar, kuralsız geçiş davranışı sergileyerek zamandan avantaj sağlayacaklarını düşünseler de bu durumun tersi söz konusu olmuştur. Beklenenin aksine kurallı geçişler zaman yönünden yayanın lehinedir ve dikkate değer bir çıkarımdır.

Geçiş şekline göre yayalar; yaya geçidinden normal geçebilmelerinin yanından buldukları yerden yaya geçidine kadar gelmeden açılı da geçebilmektedirler. Açılı geçişin yaya yönünden avantajlı olacağı düşünülse de geçişlerini daha fazla sürede tamamlamakta, daha fazla araç yolunda bulunmaktadır. Bu nedenle daha çok araçlarla etkileşim içine girmekte ve güvenliğini tehlikeye atmaktadırlar. Kümülatif yüzde grafikleri ile de ortaya konmuştur ki açılı geçişler de daha düşük geçiş hızları hesaplanmıştır.

Çalışma sonucunda, içsel dürtü ile hareket ettikleri düşünülen yayaların çevre ve yol geometrik etkileri ile hareket davranışlarının önemli ölçüde değiştiği görülmüştür. Ayrıca Mersin ili merkez kavşağında yapılan bu çalışmanın diğer illerdeki kavşaklarda yapılan çalışmalarla farklılık gösterdiği durumlar mevcuttur. Bu da yayaların davranışlarının bölgeden bölgeye, şchirden şchire farklılık gösterebileceği düşüncesini desteklemektedir. Bu nedenle gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı bölgelerden alınacak kavşak ve yaya hareket verileri yaya davranışlarının daha iyi analiz edilebilmesini sağlayabilir.

Yayaların yoğun olarak trafiğe dâhil olduğu kent merkezlerinde, savunmasız yol kullanıcısı olan yayaların güvenliğini ön planda tutmak, bu çalışmada olduğu gibi mikro düzeyde çalışmalar yapılarak tasarlanmalıdır. Böylece yeni yaya geçitlerinin tasarımında daha verimli ve sürdürülebilir kavşak yönetimi söz konusu olabilir.

Teşekkür

Mersin Ulaşım Daire Başkanlığı-Ulaşım Koordinasyon Merkezi'ne (UKOME), seçilen yaya geçidindeki video-kamera görüntülerinin alınmasında verdikleri destek için teşekkür ederiz.

Referanslar

Akgüngör, A.P. (2007). Road traffic accidents and safety programme in Turkey. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 14(2), 119-121.

Alhajyaseen W.K.M., Asano, M., Nakamura, H., & Kang, N. (2011). Gap acceptance models for left-turning vehicles facing pedestrians at signalized crosswalks. Presented at the 3rd International Conference on Road Safety and Simulation RSS2011, Transportation Research Board TRB, 16.

Alhajyaseen, W.K.M., Asano, M., & Nakamura, H. (2013). Left-turn gap acceptance models considering pedestrian movement characteristics. *Accident Analysis and Prevention*, 50, 175– 185.

Antic, P., Pesic, D., Milutinovic, N., & Maslac, M. (2016). Pedestrian behaviours: validation of the serbian version of the pedestrian behaviour scale. *Transportation Research Part F*, 41, 170- 178.

- Asano, M.I., Alhajyaseen, W.K.M., & Nakamura, H. (2015). Analysis and modeling of pedestrian crossing behavior during the pedestrian flashing green interval. *IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems*, 16(2).
- Asher, L., Aresu, M., Falaschetti, E., & Mindell, J. (2012). Most older pedestrians are unable to cross the road in time: a cross-sectional study. *Age Ageing*, 41(5), 690–694.
- Bennett, S., Felton, A., & Akçelik, R. (2001). Pedestrian movement characteristics at signalized intersections, 23rd Conference of Australian Institutes of Vehicles, Transportation Research Board.
- Chandraa, S., & Bhartib, A.S. (2013). Speed distribution curves for pedestrians during walking and crossing. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104, 660 – 66.
- Chu, X., Guttenplan, M., & Baltes, M.R. (2004). Why people cross where they do: The role of street environment. *Transportation Research Board of the National Academies*, 3–10.
- Cresswell, C., Griffiths, J.D., & Hunt, J.G. (1978). Site evaluation of a pelican crossing simulation model. *Traffic Engineering and Control*, 19, 546–549.
- Cynecki, M.J. (1980). Development of conflicts analysis technique for pedestrian crossings. *Transportation Research Record*, 743, 12–20.
- Daamen, W., & Hoogendoorn, S.P. (2007). Pedestrian free speed behavior in crossing flows. In *Traffic and Granular Flow*, Springer, Berlin, Germany, 299–304.
- Díaz, E.M. (2002). Theory of planned behavior and pedestrians' intentions to violate traffic regulations. *Transportation Research Part F*, 5(3), 169–175.
- Dündar, S. (2016). Analysis of pedestrian crossing speed - The case of İstanbul. ICE Publishing. doi:10.1680/jmuen.15.00036.
- Fruin, J.J. (1971). Designing for pedestrians: a level of service concept. *Highway Research Record*, 355, 1–15.
- Garber, N., & Hoel, L. (2009). *Traffic and highways engineering*, West Publishing Company, Virginia.
- Gates, T.J., Noyce, D.A., Bill, A.R., & Van, E.N. (2006). Recommended walking speeds for pedestrian clearance timing based on pedestrian characteristics. *Transportation Research Record*, 1982, 38–47.
- Granie, M.A., Pannetier, M., & Gueho, L. (2013). Developing a self-reporting method to measure pedestrian behaviors at all ages. *Accident Analysis and Prevention*, 50, 830–839.
- Hamed, M. (2001). Analysis of pedestrians behavior at pedestrian crossings. *Safety Science*, 38(1), 63–82.
- HCM, (2010). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board, National Research, Washington.
- Holland, C., & Hill, R. (2007). The effect of age, gender and driver status on pedestrians intentions to cross the road in risky situations. *Accident Analysis and Prevention*, 39(2), 224–237.
- Hulley, S.B., Cummings, S.R., Browner, W.S., Grady, D., Hearst, N., & Newman, T.B. (2001). Getting ready to estimate sample size: Hypotheses and underlying principles. In *Designing Clinical Research*, 2nd Ed. Lippincott Williams&Wilkins, 55–56.
- Karataş, P., & Yaman, H.T. (2018). Variability in Sidewalk Pedestrian Level of Service Measures and Rating. *Journal of Urban Planning and Development*, 144(4).
- Kayri, M. (2009). Araştırmalarda gruplar arası farkın belirlenmesine yönelik çoklu karşılaştırma (Post-Hoc) teknikleri, *Fırat University Journal of Social Science*, 19(1), 51–64.
- Kılıç, S. (2014). Etki büyüklüğü. *Journal of Mood Disorders*, 4(1).
- Lee, J.Y.S., & Lam, W.H.K. (2008). Simulating pedestrian movements at signalized crosswalks in Hong Kong, *Transportation Research Part A*, 42, 1314–1325.
- Malin, F., Silla, A., & Mladenović, M. N. (2020). Prevalence and factors associated with pedestrian fatalities and serious injuries: case Finland. *European Transport Research Review*, 12(1), 1–17.

- Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways, (2009). <http://mutcd.fhwa.dot.gov> (Erişim tarihi:10 Şubat 2020)
- Marisamynathan, P.V. (2014). Study on pedestrian crossing behavior at signalized intersections. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 1(2), 103-110.
- Montufar, J., Arango, J., Porter, M. & Nakagawa, S. (2007). The normal walking speed of pedestrians and how fast they walk when crossing the street. *Transportation Research Board Annual Meeting CD-ROM*.
- Muley, D., Kharbeche, M., Alhajyaseen, W.K.M., & Salem, M.A. (2017). Pedestrians crossing behavior at marked crosswalks on channelized right-turn lanes at intersections. *Procedia Computer Science*, 109, 233–240.
- Navin, F.D., & Wheeler, R.J. (1969). Pedestrian flow characteristics. *Traffic Engineering and Control*, 39, 30–36.
- Nordfjarn, T., & Şimşekoğlu, Ö. (2013). The role of cultural factors and attitudes for pedestrian behaviour in an urban Turkish sample. *Transportation Research Part F*, 21, 181–193.
- Önelçin, (2014). Sinyalize kavşaklarda yayaların karşıdan karşıya geçme davranışlarının incelenmesi ve yayaların güvenli aralık algılarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Ren, G., Zhou, Z., Wang, W., Zhang, Y., & Wang, W. (2011). Crossing behaviors of pedestrians at signalized intersections. *Transportation Research Record:Journal of the Transportation Research Board*, 2264, 65-73.
- RiLSA, (1992). Road and Transportation Research Association. Guidelines for Traffic Signals RiLSA.
- Rosenbloom, T., Nemrodov, D., & Barkan, H. (2004). For heaven's sake follow the rules: Pedestrians behavior in an ultra-orthodox and a non-orthodox city. *Transportation Research Part F*, 7(6), 395–404.
- Saphoğlu, M., & Faisal, A.R. (2020). Sinyal kontrollü ve kontrolsüz kesimlerde yayaların karşıdan karşıya geçiş davranışlarının değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 309-320.
- Schwebel, D.C., Stavrinou, D., & Byington, K.W. (2012). Distraction and pedestrian safety: how talking on the cell phone, texting and listening to music impact crossing the street. *Accident Analysis and Prevention*, 45, 266–271.
- Solmazer, G., Azık, D., Fındık, G., Üzümcüoğlu, Y., Ersan, Ö., Kaçan, B., Özkan, T., Lajunen, T., Öz, B., Pashkevich, A., Pashkevich, M., Mylona, V., Georgogianni, D., Krasniqi, E.B., Krasniqi, M., Makris, E., Shubenkova, K., Xheladini, G., (2020). Cross-cultural differences in pedestrian behaviors in relation to values: A comparison of five countries. *Accident Analysis and Prevention*, 138.
- SPSS for Windowa Paket Programı, 2002.
- Tarawneh, M.S. (2001). Evaluation of pedestrian speed in Jordan with investigation of some contributing factors. *Journal of Safety Research*, 32(2), 229–236.
- Teknomo, K. (2006). Application of microscopic pedestrian simulation model. *Transportation Research Part F*, 9, 15–27.
- Tiwari, G., Bangdiwala, T., Saraswat, A., & Gaurav, S. (2007). Survival analysis: Pedestrian risk exposure at signalized intersections. *Transportation Research Part F*, 10(2), 77–89.
- Türkiye İstatistik Kurumu, (2019), “Nüfus İstatistikleri Karayolu”, <http://www.tuik.gov.tr>.
- Wilson, D.G. & Grayson, G.B. (1980). Age-related differences in the road crossing behavior of adult pedestrians. *Transport Research Laboratory, Alexandria, VI, USA, Report LR 933*.



The New Screw Interpolations and Their Geometric Properties in the Dual Spherical Mechanisms

Hatice Kuşak Samancı¹ , Çetin Kuşçu² 

¹ Bitlis Eren University, Science and Art Faculty, Department of Mathematics, 13000 Bitlis / TURKEY

² Bitlis Eren University, Graduate Education Institute, Department of Mathematics, 13000 Bitlis / TURKEY

Başvuru/Received: 22/06/2020

Kabul / Accepted: 09/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Abstract

In this paper, some new Sclerp interpolation motions are defined in the dual spherical mechanisms by developing the Sclerp interpolation given by Ravani (1994). These new methods are the sequential Sclerp interpolation, fast dual spherical interpolation, and the fast screw linear interpolation and they will lead to some advantages to Sclerp interpolation. Also, the lengths between the joints in the spherical dual mechanisms are designed by Sclerp interpolation and the Blaschke frame of this dual spherical interpolation curve is analyzed. At the end of the study, a numeric example is given.

Key Words

“Dual Quaternion, Sclerp Interpolation, Fast Sclerp, Mechanism, Dual Space, Screw motion”

1. Introduction

An Irish mathematician Sir William Rowan Hamilton (1843) defines the mathematical statement of the *quaternion* which is an extension of the complex numbers as $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$ by the square structure comprising of one real and three imaginary terms $s + ix + jy + kz$ (Hamilton (1848), Hacısalihoğlu(1983), Vince (2011)). Because it can easily perform the rotational motion of a point in the space, the quaternions which have a non-commutative real algebra structure, have quite a wide range of application areas. Particularly, in such areas involving geometric motions as mechanics, kinematics, robotics, and physics, the quaternions have a very advantageous usage in terms of representation and process. Sheomake (1985) is the first person forming the SLERP interpolation between two quaternions. While Jafari et al. (2004) gave the linear and geometric SLERP interpolation definitions, Kremer (2008) gave the normalized linear interpolation definition. Hast et al. (2003) defined the fast incremental SLERP by using the orthogonalization step of Gram-Schmidt (Hast et al. (2003), Jafari et al.(2014), Kremer (2008), Hast et al. (2004), Sheomake(1985), Dam et al.(1998)). James (2006) considered the transition matrices of the transformations between the unit quaternions, rotation matrices, and Euler angles (Diebel (2006)). On the other hand, the dual numbers were firstly defined by W. Clifford (1873) such as $A = a + \varepsilon a^*$ where $a, a^* \in \mathbb{R}$ and $\varepsilon \neq 0, \varepsilon^2 = 0$. Since the early part of the 21st century, E. Study has analyzed the correlation between the dual points and directed line; thus, he has proven that a unit dual vector on a unit dual sphere corresponds to a directed line in the Euclidean-3 space. Afterward, Baky (2002) worked on some characterization of the spherical closed dual curves (Baky (2002)). Ravani et al. (1994) defined the geometric screw linear interpolation for the first time (Ge et al. (1994)). Smith (2013) carried on studies by using the dual quaternion interpolations. On the other hand, Kavan et al. (2006) conducted their studies depending on DLB and DIB interpolations (Smith (2013), Kavan et al. (2006)). Yaylı et al. (2012) defined the fast De-Moivre rule for the spline split quaternion interpolations, fast spherical linear interpolations, and the spherical linear interpolation in the Lorentzian sphere with the help of the Bezier algorithm (Ghademi et al. (2012)).

In our paper, the links of the dual spherical mechanism between the joints were formed with the help of dual Sclerp interpolation defined by Ravani (1994). Sequential Sclerp interpolation and some new alternative dual interpolation motions were first defined as mechanism motion in this generated dual spherical mechanism. We also identified fast Sclerp interpolation for the first time. Using the links of the dual spherical mechanism with the Blaschke frame, the invariants at each point were geometrically calculated. At the end of our study, several examples related to the subject were included. Consequently, we believe that the theoretical results we obtained from our study will contribute to researches in scientific studies such as computer graphics, mechanics, and robotics.

2. Materials & Method

In 1873, W.K. Clifford defined the number $A = a + \varepsilon a^*$ as a dual number where $a, a^* \in \mathbb{R}$ and $\varepsilon \neq 0, \varepsilon^2 = 0$. ε is assumed as a dual unit. Since the ring of the dual numbers isn't with zero divisors, ie. $\varepsilon a^* . \varepsilon b^* = 0$, the elements εa^* haven't an inverse. Therefore, the dual numbers do not indicate a field, they just show an algebra. The set of the dual numbers is denoted by

$$D = \{A = a + \varepsilon a^* : a, a^* \in \mathbb{R}, \varepsilon^2 = 0\}.$$

Definition 2.1. Let $A = a + \varepsilon a^*$ and $B = b + \varepsilon b^*$ be the dual numbers for $a, a^*, b, b^* \in \mathbb{R}$ and $\varepsilon^2 = 0$. The operators of these dual numbers are defined by

$$\text{Addition and Subtraction: } \mp : D \times D \rightarrow D, A \mp B = (a \mp b) + \varepsilon (a^* \mp b^*)$$

$$\text{Multiplication } \cdot : D \times D \rightarrow D, A \cdot B = ab + \varepsilon (ab^* + a^*b)$$

$$\text{Division } \div : D \times D \rightarrow D, \frac{A}{B} = \frac{a}{b} + \varepsilon \frac{a^*b - ab^*}{b^2}.$$

Also, the equality of two dual numbers is described by $A = B \Leftrightarrow a = b$ and $\varepsilon a^* = \varepsilon b^*$. Thus, the set of the dual numbers

$$D = \{A : A = a + \varepsilon a^* \quad a, \varepsilon a^* \in \mathbb{R}\} \text{ formed a commutative ring (Hacısalihoğlu(1983)).}$$

Definition 2.2. Let D be a dual number set. $(D^3 = D \times D \times D, +)$ is an abelian group and it represents a module on the D . Thus, the set D^3 is called a D - module. Furthermore, the ordered dual triples which are the elements of the module- D are called dual vectors.

Definition 2.3. Let $\mathbf{A} = \mathbf{a} + \varepsilon \mathbf{a}^*$ and $\mathbf{B} = \mathbf{b} + \varepsilon \mathbf{b}^*$ be the dual numbers where $\mathbf{a}, \mathbf{a}^*, \mathbf{b}, \mathbf{b}^* \in \mathbb{R}^3$ and $\varepsilon^2 = 0$. The inner and the cross product of the dual vectors are respectively described by

$$\langle \mathbf{A}, \mathbf{B} \rangle = \langle \mathbf{a}, \mathbf{b} \rangle + \varepsilon [\langle \mathbf{a}^*, \mathbf{b} \rangle + \langle \mathbf{a}, \mathbf{b}^* \rangle] \text{ and } \mathbf{A} \times \mathbf{B} = \mathbf{a} \times \mathbf{b} + \varepsilon (\mathbf{a} \times \mathbf{b}^* + \mathbf{a}^* \times \mathbf{b}).$$

Definition 2.4. Let $\mathbf{A} = \mathbf{a} + \varepsilon \mathbf{a}^*$ be a dual number where $\mathbf{a}, \mathbf{a}^*, \mathbf{b}, \mathbf{b}^* \in \mathbb{R}^3$ and $\varepsilon^2 = 0$. The norm of the dual vector is defined by $\|\mathbf{A}\| = \sqrt{\langle \mathbf{A}, \mathbf{A} \rangle} = \|\mathbf{a}\| + \varepsilon \frac{\langle \mathbf{a}, \mathbf{a}^* \rangle}{\|\mathbf{a}\|}$. Since $\|\mathbf{A}\| = 1$, the dual number \mathbf{A} is called a dual vector. Additionally, the set $S^2 = \{\mathbf{A} \in D^3 : \langle \mathbf{A}, \mathbf{A} \rangle = (1, 0)\}$ is called a unit dual sphere, (Hacısalıhoğlu(1983)).

Theorem 2.5. (E. Study Theorem) The dual points of the unit dual sphere which is proved the condition $\|\mathbf{A}\| = (1, 0)$ where $\mathbf{A} \neq (0, \mathbf{a}) \in D$ corresponds to the directed lines in the Euclid-3 space, (Hacısalıhoğlu(1983)).

Definition 2.6. Let the curve $X(t) = x(t) + \varepsilon x^*(t)$ be a dual curve on the dual unit sphere. The Blaschke frame of the dual curve

$$X(t) \text{ is described by } \mathbf{A}_1 = X(t), \mathbf{A}_2 = \frac{\mathbf{A}_1'}{\|\mathbf{A}_1'\|}, \mathbf{A}_3 = \mathbf{A}_1 \times \mathbf{A}_2 \text{ where } \langle \mathbf{A}_1, \mathbf{A}_1 \rangle = \langle \mathbf{A}_2, \mathbf{A}_2 \rangle = \langle \mathbf{A}_3, \mathbf{A}_3 \rangle = 1, \text{ and}$$

$\langle \mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2 \rangle = \langle \mathbf{A}_1, \mathbf{A}_3 \rangle = \langle \mathbf{A}_3, \mathbf{A}_2 \rangle = 0$. Since these inner product properties of the dual numbers are provided for the Blaschke frame, the lines $\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, \mathbf{A}_3$ show the perpendicular lines in the Euclidean-3 space, simultaneously and reciprocally. The center of the intersection point is the point \mathbf{A}_1 , and this point is called the tangent of the dual curve. Moreover, the line $\mathbf{A}_2 = \mathbf{A}(t)$ is called the normal mean of $\mathbf{A}(t)$ which is in the central point. The derivative formulas of the Blaschke frame are given by $\mathbf{A}_1' = P\mathbf{A}_2$, $\mathbf{A}_2' = -P\mathbf{A}_1 + Q\mathbf{A}_3$, $\mathbf{A}_3' = -Q\mathbf{A}_2$. The statements $P = p + \varepsilon p^* = \|\mathbf{A}_1'\|$ and $Q = q + \varepsilon q^* = \frac{\det(\mathbf{A}, \mathbf{A}', \mathbf{A}'')}{p^2}$ are called the

Blaschke integral invariants. The derivatives of $\int Pd(t)$ and $\int Qd(t)$ are the dual arc length between the dual curve $\mathbf{A}_1(t)$ and $\mathbf{A}_3(t)$, respectively, (Baky (2002)).

Let the set of the quaternion and the dual quaternions be denoted H and H_D , respectively.

Definition 2.7. The statement $Q = D + iX + jY + kZ$ is called a dual quaternion where $D = d + \varepsilon d_0^*$, $X = x + \varepsilon x_1^*$, $Y = y_2 + \varepsilon y_2^*$ and $Z = z_3 + \varepsilon z_3^*$ are the dual number coefficients and $i^2 = j^2 = k^2 = -1$, $jk = i$, $ij = k$, $ki = j$, $ji = -k$, $kj = -i$, $ik = -j$ are the dual quaternion bases. Namely, the components of the dual quaternion Q are composed of the dual numbers. When their scalar and vectorial parts are respectively denoted by S_{H_D} and \mathbf{V}_{H_D} , the statements become $S_{H_D} = s_q + \varepsilon s_{q^*} = D$ and $\mathbf{V}_{H_D} = \mathbf{v}_q + \varepsilon \mathbf{v}_{q^*} = iX + jY + kZ$. Besides, the other representation of the quaternion is in the form of $Q = q + \varepsilon q^*$ where $\varepsilon^2 = 0$, and $q, q^* \in H$ (Hacısalıhoğlu(1983)).

Definition 2.8. Let $M = M_0 + M_1i + M_2j + M_3k$, $P = P_0 + P_1i + P_2j + P_3k$ be two dual quaternions where $P, M \in H_D$. Thus, the two dual quaternions addition is defined by

$$+ : H_D \rightarrow H_D, \quad M + P = (M_0 + P_0) + (M_1 + P_1)i + (M_2 + P_2)j + (M_3 + P_3)k$$

The dual quaternions set $(H_D, +)$ is an abelian group due to the addition operator, (Hacısalıhoğlu(1983)).

Definition 2.9. If all components of a dual quaternion are zero, individually, this dual quaternion is called zero dual quaternion, (Hacısalıhoğlu(1983)).

Definition 2.10. If the reel and the dual parts of two dual quaternions are equal to each other, it is called equal two dual quaternions, (Hacısalıhoğlu(1983)).

Definition 2.11. Let $M = M_0 + M_1i + M_2j + M_3k$ be a dual quaternion where $\lambda \in R$ and $M_0, M_1, M_2, M_3 \in D$. The scalar multiplication of the dual quaternions is defined by

$$\odot: R \times H_D \rightarrow H_D, \\ (\lambda, M) \rightarrow \odot(\lambda, M) = \lambda \odot M = \lambda M_0 + \lambda M_1i + \lambda M_2j + \lambda M_3k, \text{ (Hacısalıhoğlu(1983)).}$$

Definition 2.12. Let $M = M_0 + M_1i + M_2j + M_3k$ be the dual quaternion where $M_0, M_1, M_2, M_3 \in D$. The conjugate of the dual quaternion M is defined by $\overline{M} = M_0 - M_1i - M_2j - M_3k$, (Hacısalıhoğlu(1983)).

Definition 2.13. Let $M = m + \varepsilon m^*$, $\hat{P} = p + \varepsilon p^*$ be two dual quaternions where $m, m^*, p, p^* \in H$. Then, the multiplication of the two dual quaternions is defined by $M \times P = m \times p + \varepsilon(m \times p^* + m^* \times p)$, (Hacısalıhoğlu(1983)).

Definition 2.14. Let $M \in H_D$ be a dual quaternion. The norm of the dual quaternion M is defined by

$$\| \cdot \|: H_D \rightarrow R, M \rightarrow \|M\| = \sqrt{\langle M, \overline{M} \rangle} = \sqrt{M_0^2} = |M_0|, \text{ (Hacısalıhoğlu(1983)).}$$

Definition 2.15 Let $M = m + \varepsilon m^* \in H_D$ be a dual quaternion where $m, m^* \in H$. The inverse of a dual quaternion M is

$$M^{-1} = \frac{1}{M} = \frac{(m - \varepsilon m^*)}{|m|^2} = \frac{\overline{M}}{\|M\|^2}. \text{ If } m = 0 \text{ in the dual quaternion } M, \text{ the dual quaternion is called pure dual quaternion, and}$$

the inverse of the pure dual quaternion is not computed, (Hacısalıhoğlu(1983)).

Definition 2.16. Let M and P be two dual quaternions. Divison of M by P is defined as follows:

If $M = Z_1P$ ($M = PZ_2$), multiply each side by P^{-1} from the right (left), (Hacısalıhoğlu(1983)).

Definition 2.17. Let $Q = D + iX + jY + kZ$ be a dual quaternion given by the dual number coefficients $D = d + \varepsilon d_0^*$,

$X = x + \varepsilon x_1^*$, $Y = y_2 + \varepsilon y_2^*$, $Z = z_3 + \varepsilon z_3^*$. Since the norm of a dual quaternion is one, then the dual quaternion is called unit

dual quaternion, and the set of the unit quaternions is denoted by H_{D1} . If the dual quaternion Q is a unit dual quaternion, the condition

$d^2 + a^2 + b^2 + c^2 = 1$ and $dd^* + aa^* + bb^* + cc^* = 0$ are provided. Moreover, the unit dual quaternion can be shown by

$\hat{Q} = \cos \theta + \hat{S}_0 \sin \theta$, as well. Here, we get $\cos \theta = D$, and $\sin \theta = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ where $\theta_1 = \theta + \varepsilon \theta^*$ is a dual-angle. Also, the axis of the unit dual vector

$$\hat{S}_0 = S_0 + \varepsilon S_0^* = \frac{iX + jY + kZ}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}}$$

yields a dual rotation. Therefore, the dual angle and the dual part become $\theta = \arccos(d)$ and $\theta^* = -\frac{d^*}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}}$,

respectively. The reel part and the dual part of the unit dual-axis are obtained as

$$S_0 = \frac{iX + jY + kZ}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \text{ and } S_0^* = \frac{iX^* + jY^* + kZ^*}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} + \frac{dd^*(iX + jY + kZ)}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}},$$

respectively, (Hacısalıhoğlu(1983)).

Definition 2.18. Let $P = \cos \hat{\theta} + \hat{S} \sin \hat{\theta}$ be a dual quaternion where $\hat{\theta}$ is a dual-angle and \hat{S} is a dual-axis. The De-Moivre rule of the dual quaternion P is defined by the formula $P^k = \cos(k\hat{\theta}) + \hat{S} \sin(k\hat{\theta})$, (Hacısalıhoğlu(1983)).

Definition 2.19. (The Screw Linear (Sclerp) Interpolation) In 2006, Kavan studied the screw linear interpolation, which is known as the abbreviation *Sclerp*, as an expanded form of the SLERP. Since the dual quaternion is used in the Sclerp screw linear interpolation, it consists of both the rotation and the translation motion. Therefore, the Sclerp interpolation curve is defined by

$$Sclerp(D_1, D_2; t) = D_1 \times \left(\cos t \frac{\alpha}{2} + \sin t \frac{\alpha}{2} u \right)$$

where $t\alpha$ shows the rotation angle and u is the translation on the screw axis, (Sheomake (1985), Smith (2013)).

Definition 2.20. (The Geometric Screw Linear Interpolation) The geometric screw linear interpolation is an interpolation between two unit dual vectors on the unit dual sphere, and this interpolation draws a dual curve on the dual big circle which is on the unit dual sphere. The geometric screw linear interpolation curve between the unit dual vectors B_0 , and B_1 is defined by

$$B(t) = L(B_0, B_1, t) = \frac{\sin(1-t)\phi}{\sin \phi} B_0 + \frac{\sin t\phi}{\sin \phi} B_1,$$

where the parameters $t \in [0, 1]$, (Ge et al.(1994)).

3.Main Results

In this study, the new definitions such as the sequential Sclerp interpolations, the fast dual interpolations, and the fast Sclerp are introduced in the dual spherical mechanisms located on a dual sphere. Besides, the computations of the invariants of the Blaschke frame of the dual spherical interpolation curves on the unit dual sphere are done.

Definition 3.1. (The Sclerp Interpolation) Let H_{D1} be the set of the dual quaternions and $Q_{(i-1)}, Q_i \in H_{D1}$ be two unit dual quaternions. The Sclerp interpolation of the unit dual quaternions $Q_{(i-1)}, Q_i$ for $t \in [0, 1]$ is yielded by

$$Q_{(i-1)i} = Q_{(i-1)} \frac{\sin((1-t)\phi)}{\sin \phi} + Q_i \frac{\sin(t\phi)}{\sin \phi}.$$

The angle ϕ between these two unit dual quaternions is a dual-angle, and this dual-angle is shown by $\phi = \phi + \varepsilon\phi^*$ where ϕ is the rotation angle and ϕ^* is the translation angle.

Definition 3.2. (The Sequential Sclerp Interpolation Method) Let $Q_{(i-1)}, Q_i \in H_{D1}$ be two unit dual quaternions, and the joints R_i be the unit dual-position vectors in a dual spherical mechanism. The Sclerp interpolation of the unit dual quaternions $Q_{(i-1)}, Q_i$ is computed by the equation $Sclerp(Q_{(i-1)}, Q_i, t) = Q_{(i-1)i}(t)$ for $t \in [0, 1]$. Also, the Sclerp interpolation where $t = 0.5$ is found by the equation $Sclerp(Q_{(i-1)}, Q_i, 0.5) = Q_{(i-1)i}(0.5)$. Here, the dual-angle between these two dual quaternions is computed by the equation $\cos \phi = Q_{(i-1)i}(0.5) \cdot Q_{i(i+1)}(0.5)$. Thus, the position vectors of the joints R_i are obtained by the equation $R_{i+1} = Q_{(i-1)i}(R_i)Q_{(i-1)i}^{-1}$. When this operation is done sequentially, the sequential Sclerp interpolation

$$R_{n+1} = Q_{(n-1)n} \dots Q_{23} Q_{12}^{-1} R_1 Q_{12}^{-1} Q_{23}^{-1} \dots Q_{(n-1)n}^{-1}$$

is obtained.

Definition 3.3. (An Alternative Sclerp Interpolation in the Dual Spherical Mechanisms) Let $Q_{(i-1)i}, Q_{i(i+1)} \in H_{D1}$ be two unit quaternions. A new interpolation motion can be defined by

$$Q_{(i-1)i(i+1)}(t) = Q_{(i-1)i} \frac{\sin((1-t)\phi)}{\sin \phi} + Q_{i(i+1)} \frac{\sin(t\phi)}{\sin \phi}$$

of the sequential interpolations $Q_{(i-1)i}$ and $Q_{i(i+1)}$ which are obtained by the Sclerp interpolation defined by the unit dual quaternions which are yielding the motion of a dual sphere mechanism for the value $t = t_0 \in [0, 1]$. Here, the dual-angle between the unit dual quaternions $Q_{(i-1)i}$ and $Q_{i(i+1)}$ is obtained by the equation $\cos \phi = Q_{(i-1)i} \cdot Q_{i(i+1)}$ where $t = t_0 \in [0, 1]$.

Definition 3.4. (The Design of the Links of the Dual Spherical Mechanisms Between the Joints by Sclerp) Let A_i and A_{i+1} be sequential unit dual-position vectors and ϕ be a dual angle between the dual vectors. The links between the two sequential unit dual-position vectors A_i and A_{i+1} in a dual spherical mechanism are computed by

$$Sclerp(A_i, A_{i+1}, t) = A_i \frac{\sin((1-t)\phi)}{\sin \phi} + A_{i+1} \frac{\sin(t\phi)}{\sin \phi} \text{ where } t \in [0, 1].$$

Theorem 3.5. (The Fast Dual Spherical Interpolation) Let $D_0, D_1 \in D$ be unit dual vectors and $\theta = \theta + \varepsilon\theta^*$ be a dual angle between these unit dual vectors. The interpolation

$$L_{fast}(D_0, D_1, t) = D_0 \cos(t\theta) + D_R \sin(t\theta)$$

is called fast dual spherical interpolation where $t \in [0, 1]$.

Proof. Using the dual spherical interpolation in Equation (9) for $t \in [0, 1]$, we get

$$L_{fast}(\mathbf{D}_0, \mathbf{D}_1, t) = \mathbf{D}_0 \frac{\sin((1-t)\theta)}{\sin \theta} + \mathbf{D}_1 \frac{\sin(t\theta)}{\sin \theta} = \mathbf{D}_0 \cos(t\theta) - \mathbf{D}_0 \frac{\cos \theta \sin(t\theta)}{\sin \theta} + \mathbf{D}_1 \frac{\sin(t\theta)}{\sin \theta},$$

where $\mathbf{D}_0, \mathbf{D}_1 \in \mathcal{D}$ be unit dual vectors and $\theta = \theta + \varepsilon\theta^*$ be a dual angle between these unit dual vectors. Then, with the help of the dual trigonometric identities $\mathbf{D}_0 \cdot \mathbf{D}_1 = \|\mathbf{D}_0\| \|\mathbf{D}_1\| \cos \theta = \cos \theta$, $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$ and $\sin \theta = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \theta}$, the statement

$\sin \theta = \sqrt{1 - (\mathbf{D}_0 \cdot \mathbf{D}_1)^2}$ is obtained. Thus, the dual interpolation equation

$$L_{fast}(\mathbf{D}_0, \mathbf{D}_1, t) = \mathbf{D}_0 \cos(t\theta) + \frac{\mathbf{D}_1 \sin(t\theta) - \mathbf{D}_0 \cos \theta \sin(t\theta)}{\sin \theta} = \mathbf{D}_0 \cos(t\theta) + \frac{\mathbf{D}_1 - \mathbf{D}_0 (\mathbf{D}_0 \cdot \mathbf{D}_1)}{\sqrt{1 - (\mathbf{D}_0 \cdot \mathbf{D}_1)^2}} \sin(t\theta)$$

is found. The statement

$$\mathbf{D}_r = \mathbf{D}_1 - \frac{(\mathbf{D}_0 \cdot \mathbf{D}_1)}{\|\mathbf{D}_0\|^2} \mathbf{D}_0 = \mathbf{D}_1 - (\mathbf{D}_0 \cdot \mathbf{D}_1) \mathbf{D}_0$$

is obtained by the Gram-Schmidt orthogonalization method. In addition, when taking the norm of this vector, the equation

$$\|\mathbf{D}_r\| = \sqrt{(\mathbf{D}_1 - (\mathbf{D}_0 \cdot \mathbf{D}_1) \mathbf{D}_0)^2} = \sqrt{1 - (\mathbf{D}_0 \cdot \mathbf{D}_1)^2}$$

is obtained. Then, when the notation $\mathbf{D}_R = \frac{\mathbf{D}_r}{\|\mathbf{D}_r\|}$ is used, the interpolation $L_{fast}(\mathbf{D}_0, \mathbf{D}_1, t)$ becomes

$$L_{fast}(\mathbf{D}_0, \mathbf{D}_1, t) = \mathbf{D}_0 \cos(t\theta) + \mathbf{D}_R \sin(t\theta).$$

This form of the dual spherical interpolation is called **fast dual spherical interpolation**. In this equation, when the angle $\theta = \theta + \varepsilon\theta^*$ is written by opening, the fast dual spherical interpolation can be defined by the equation

$$\begin{aligned} L_{fast}(\mathbf{D}_0, \mathbf{D}_1, t) &= \mathbf{D}_0 \cos(t\theta) + \mathbf{D}_R \sin(t\theta) \\ &= \mathbf{D}_0 \cos(t\theta) + \mathbf{D}_R \sin(t\theta) + \varepsilon t \theta^* (\mathbf{D}_R \cos(-t\theta) + \mathbf{D}_0 \sin(-t\theta)). \end{aligned}$$

Theorem 3.6. (The Fast Screw Linear Interpolation) Let $Q_0, Q_1 \in H_{D1}$ be the unit dual quaternions and $\theta = \theta + \varepsilon\theta^*$ be the angle between these quaternions. where. The interpolation between the unit dual quaternions Q_0 and Q_1 for $t \in [0, 1]$ is called **fast screw linear interpolation** by

$$Sclerp_{fast} = L_{fast}(Q_0, Q_1, t) = Q_0 \cos(t\theta) + Q_R \sin(t\theta)$$

where $Q_R = \frac{Q_r}{\|Q_r\|}$ and $Q_r = Q_1 - (Q_0 \cdot Q_1)Q_0$.

Proof. The Sclerp dual linear interpolation given by Ravani (1994) is written by the equation

$$L_{fast}(Q_0, Q_1, t) = Q_0 \frac{\sin((1-t)\theta)}{\sin \theta} + Q_1 \frac{\sin(t\theta)}{\sin \theta} = Q_0 \cos(t\theta) - Q_0 \frac{\cos \theta \sin(t\theta)}{\sin \theta} + Q_1 \frac{\sin(t\theta)}{\sin \theta},$$

where $t \in [0, 1]$. The dual-angle computation is done by the equation $Q_0 \cdot Q_1 = \|Q_0\| \cdot \|Q_1\| \cos \theta = \cos \theta$. By utilizing the dual trigonometric identity $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$, $\sin \theta = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \theta}$ is obtained. Thus, when the statement $\sin \theta = \sqrt{1 - (Q_0 \cdot Q_1)^2}$ is written in the interpolation equation, the equation

$$\begin{aligned} L_{fast}(Q_0, Q_1, t) &= Q_0 \cos(t\theta) + \frac{Q_1 \sin(t\theta) - Q_0 \cos \theta \sin(t\theta)}{\sin \theta} \\ &= Q_0 \cos(t\theta) + \frac{Q_1 - Q_0(Q_0 \cdot Q_1)}{\sqrt{1 - (Q_0 \cdot Q_1)^2}} \sin(t\theta) \end{aligned}$$

is founded. From editing the dual-angle $\theta = \theta + \varepsilon\theta^*$, the fast screw linear interpolation ($Sclerp_{fast}$) is demonstrated by the equation

$$\begin{aligned} L_{fast}(Q_0, Q_1, t) &= Q_0 \cos(t\theta) + Q_R \sin(t\theta) \\ &= Q_0 \cos(t\theta) + Q_R \sin(t\theta) + \varepsilon t \theta^* (Q_R \cos(-t\theta) + Q_0 \sin(-t\theta)). \end{aligned}$$

Theorem 3.7. (The Blaschke Frame of the Dual Spherical Interpolation Curve) Let $D_0, D_1 \in D$ be unit dual vectors. The dual points D_0 and D_1 which are taken from the unit dual sphere indicate two directed lines in the Euclidean 3-space due to the E. Study theorem. Let the dual-angle between the unit dual vectors D_0 and D_1 be $\phi = \phi + \varepsilon\phi^*$ where the angle ϕ yields the rotation, and ϕ^* yields translation. Taking the dual spherical interpolation of the unit dual vectors D_0 and D_1 , the unit dual spherical curve is formed by

$$A(t) = D(t) = L(D_0, D_1, t) = \frac{\sin((1-t)\phi)}{\sin \phi} D_0 + \frac{\sin(t\phi)}{\sin \phi} D_1,$$

where $t \in [0, 1]$. While the interpolation curve $D(t) = L(D_0, D_1, t)$ is a curve on the unit dual sphere, it corresponds to a ruled surface in the Euclidean 3-space due to E. Study theorem, as well. The Blaschke frame of the dual spherical interpolation curve $D(t)$ is defined by

$$A_1 = D(t) = \frac{\sin((1-t)\phi)}{\sin \phi} D_0 + \frac{\sin(t\phi)}{\sin \phi} D_1,$$

$$\mathbf{A}_2 = \frac{\mathbf{A}'_1}{\|\mathbf{A}'_1\|} = \pm \frac{1}{G} \left[-\cos((1-t)\phi) \mathbf{D}_0 + \cos(t\phi) \mathbf{D}_1 \right], \mathbf{A}_3 = \frac{1}{G} \mathbf{D}_0 \wedge \mathbf{D}_1,$$

where $G = \left[\cos^2((1-t)\phi) + \cos^2(t\phi) - 2\cos((1-t)\phi)\cos(t\phi)\cos\phi \right]^{1/2}$.

Proof. Let the first dual vector of the Blaschke frame be $\mathbf{A}_1 = \mathbf{D}(t) = \frac{\sin((1-t)\phi)}{\sin\phi} \mathbf{D}_0 + \frac{\sin(t\phi)}{\sin\phi} \mathbf{D}_1$. The norm of the vector

$$\mathbf{D}'(t) = \frac{-\phi \cos((1-t)\phi)}{\sin\phi} \mathbf{D}_0 + \frac{\phi \cos(t\phi)}{\sin\phi} \mathbf{D}_1$$

is obtained by the equation

$$\begin{aligned} \|\mathbf{D}'(t)\|^2 &= \left\| \frac{-\phi \cos((1-t)\phi)}{\sin\phi} \mathbf{D}_0 + \frac{\phi \cos(t\phi)}{\sin\phi} \mathbf{D}_1 \right\|^2 \\ &= \left| \frac{\phi^2}{\sin\phi} \left[\cos^2((1-t)\phi) + \cos^2(t\phi) - 2\cos((1-t)\phi)\cos(t\phi)\cos\phi \right] \right|. \end{aligned}$$

To make it simpler, when the abbreviation $G = \left[\cos^2((1-t)\phi) + \cos^2(t\phi) - 2\cos((1-t)\phi)\cos(t\phi)\cos\phi \right]^{1/2}$

is used, the equality $\|\mathbf{D}'(t)\| = \left| \frac{\phi}{\sin\phi} \right| G$ is written. Thus, the second vector of the Blaschke frame is obtained by

$$\mathbf{A}_2 = \frac{\mathbf{A}'_1}{\|\mathbf{A}'_1\|} = \pm \frac{1}{G} \left[-\cos((1-t)\phi) \mathbf{D}_0 + \cos(t\phi) \mathbf{D}_1 \right].$$

The third vector of the frame is computed by the equation

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_3 &= \mathbf{A}_1 \times \mathbf{A}_2 = \mathbf{D}(t) \times \frac{\mathbf{D}'(t)}{\|\mathbf{D}'(t)\|} = \frac{1}{\|\mathbf{D}'(t)\|} \left[\mathbf{D}(t) \times \mathbf{D}'(t) \right] \\ &= \left[\frac{\sin((1-t)\phi)}{\sin\phi} \mathbf{D}_0 + \frac{\sin(t\phi)}{\sin\phi} \mathbf{D}_1 \right] \wedge \left[\pm \frac{1}{G} \left\{ -\cos((1-t)\phi) \mathbf{D}_0 + \phi \cos(t\phi) \mathbf{D}_1 \right\} \right] \\ &= \frac{1}{G} \mathbf{D}_0 \wedge \mathbf{D}_1, \end{aligned}$$

from the cross product of the vectors \mathbf{A}_1 and \mathbf{A}_2 . One of the integral invariants of the Blaschke frame of the dual spherical interpolation is computed by $P = p + \varepsilon p^* = \|\mathbf{A}_1\| = \|\mathbf{D}'\| = \left| \frac{\phi}{\sin \phi} \right| G$. Then, the other one is computed by

$$Q = q + \varepsilon q^* = \frac{\det(\mathbf{A}, \mathbf{A}', \mathbf{A}'')}{P^2} \text{ where the second-order derivative equation is}$$

$$\begin{aligned} \det(\mathbf{A}, \mathbf{A}', \mathbf{A}'') &= \langle \mathbf{A} \wedge \mathbf{A}', \mathbf{A}'' \rangle = \langle \mathbf{D}(t) \wedge \mathbf{D}'(t), \mathbf{D}''(t) \rangle \\ &= \left\langle \begin{bmatrix} \frac{\sin((1-t)\phi)}{\sin \phi} \mathbf{D}_0 + \frac{\sin(t\phi)}{\sin \phi} \mathbf{D}_1 \\ -\phi^2 \cdot \left[\frac{\sin((1-t)\phi)}{\sin \phi} \mathbf{D}_0 + \frac{\sin(t\phi)}{\sin \phi} \mathbf{D}_1 \right] \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} \frac{-\phi \cos((1-t)\phi)}{\sin \phi} \mathbf{D}_0 + \frac{\phi \cos(t\phi)}{\sin \phi} \mathbf{D}_1 \end{bmatrix}, \right\rangle = 0, \end{aligned}$$

where $\mathbf{D}''(t) = -\phi^2 \mathbf{D}_0 = -\phi^2 \cdot \left[\frac{\sin((1-t)\phi)}{\sin \phi} \mathbf{D}_0 + \frac{\sin(t\phi)}{\sin \phi} \mathbf{D}_1 \right]$. Thus, the second invariant of the Blaschke frame is computed

$$\text{by } Q = \frac{\det(\mathbf{A}, \mathbf{A}', \mathbf{A}'')}{P^2} = 0.$$

4.Numeric Examples

Example 4.1. The unit dual vector corresponding to the line with the direction vector $\mathbf{a}_1 = (1,0,0)$ at the point $M_1(1,1,1)$ in the Euclid-3 space is demonstrated by $\mathbf{A}_1 = \mathbf{a}_1 + \varepsilon \mathbf{a}_1^* = (1,0,0) + \varepsilon(0,1,-1)$. Here, the moment \mathbf{a}_1^* is calculated by $\mathbf{a}_1^* = \mathbf{OM}_1 \wedge \mathbf{a}_1 = (0,1,-1)$. Then, when a line with the direction vector $\mathbf{a}_2 = (0,1,0)$ at the point $M_2(1,0,1)$ in the Euclid-3 space corresponds to the unit dual vector in the dual space, the dual vector is shown by $\mathbf{A}_2 = \mathbf{a}_2 + \varepsilon \mathbf{a}_2^* = (0,1,0) + \varepsilon(-1,0,1)$. Here, the moment \mathbf{a}_2^* is computed by $\mathbf{a}_2^* = \mathbf{OM}_2 \wedge \mathbf{a}_2 = (-1,0,1)$. The dual-angle between the unit dual vectors \mathbf{A}_1 and \mathbf{A}_2 is calculated by

$$\begin{aligned} \langle \mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2 \rangle &= \langle \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2 \rangle + \varepsilon (\langle \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2^* \rangle + \langle \mathbf{a}_1^*, \mathbf{a}_2 \rangle) = \cos \theta = \cos(\theta + \varepsilon \theta^*) \\ &= \cos \theta \mp \varepsilon \theta^* \sin \theta = 0 + \varepsilon 0. \end{aligned}$$

Here, the angle $\theta = \frac{\pi}{2}$ is obtained by the equation of $\cos \theta = 0$, and the angle $\theta^* = 0$ is obtained by the equation $\theta^* \sin \theta = 0$.

Thus, the dual-angle between the unit dual vectors \mathbf{A}_1 and \mathbf{A}_2 is found by $\theta = \frac{\pi}{2} + \varepsilon 0$. The equation of the Sclerp interpolation

between the unit dual vectors \mathbf{A}_1 and \mathbf{A}_2 is obtained by

$$\begin{aligned} Sclerp(\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, t) &= \mathbf{A}_1 \frac{\sin((1-t)\theta)}{\sin \theta} + \mathbf{A}_2 \frac{\sin(t\theta)}{\sin \theta} \\ &= (\sin((1-t)\frac{\pi}{2}), \sin(t\frac{\pi}{2}), 0) + \varepsilon((-\sin(t\frac{\pi}{2}), \sin((1-t)\frac{\pi}{2}), -\sin((1-t)\frac{\pi}{2}) + \sin(t\frac{\pi}{2})). \end{aligned}$$

The interpolation value at the point $t = 0.5$ is computed by

$$\begin{aligned} Sclerp(\mathbf{A}_1, \mathbf{A}_2, 0.5) &= (1, 0, 0) + \varepsilon(0, 1, -1) \frac{\sin 45^\circ}{\sin 90^\circ} + (0, 1, 0) + \varepsilon(-1, 0, 1) \frac{\sin 45^\circ}{\sin 90^\circ} \\ &= (\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}, 0) + \varepsilon(-\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}, 0). \end{aligned}$$

Example 4.2. Let's compute the Blaschke frame of the Sclerp interpolation

$$Sclerp(\mathbf{D}_0, \mathbf{D}_1, t) = \mathbf{D}(t) = \frac{\sin((1-t)\phi)}{\sin \phi} \mathbf{D}_0 + \frac{\sin(t\phi)}{\sin \phi} \mathbf{D}_1$$

which is defined by the unit dual vectors $\mathbf{D}_0 = (1, 0, 0) + \varepsilon(0, 1, -1)$ and $\mathbf{D}_1 = (0, 1, 0) + \varepsilon(-1, 0, 1)$ at the point $t = 0.5$. The dual-angle between the unit dual vectors \mathbf{D}_0 and \mathbf{D}_1 is $\theta = \frac{\pi}{2} + \varepsilon 0$. The first vector of the Blaschke frame is computed by

$$\mathbf{A}_1 = \mathbf{D}(t) = \frac{\sin((1-t)\phi)}{\sin \phi} \mathbf{D}_0 + \frac{\sin(t\phi)}{\sin \phi} \mathbf{D}_1 = (\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}, 0) + \varepsilon(-\frac{\sqrt{2}}{2}, -\frac{\sqrt{2}}{2}, 0).$$

The second dual vector of the Blaschke frame is obtained by

$$\mathbf{A}_2 = \frac{\mathbf{A}'_1}{\|\mathbf{A}'_1\|} = \pm \frac{1}{G} [-\cos((1-t)\phi) \mathbf{D}_0 + \cos(t\phi) \mathbf{D}_1] = (-\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2}, 0) + \varepsilon(-\frac{\sqrt{2}}{2}, -\frac{\sqrt{2}}{2}, \frac{2\sqrt{2}}{2})$$

where $G = [\cos^2((1-t)\phi) + \cos^2(t\phi) - 2\cos((1-t)\phi)\cos(t\phi)\cos\phi]^{1/2} = 1$. Finally, the third vector of the Blaschke frame is computed by the cross product of the dual vectors \mathbf{A}_1 and \mathbf{A}_2 as $\mathbf{A}_3 = \mathbf{A}_1 \times \mathbf{A}_2 = \frac{1}{G} \mathbf{D}_0 \wedge \mathbf{D}_1 = (0, 0, 1) + \varepsilon(1, -2, 1)$.

The integral invariants of the Blaschke frame of the dual spherical interpolation are

$$P = p + \varepsilon p^* = \left| \frac{\phi}{\sin \phi} \right| G = 90, \text{ and } Q = q + \varepsilon q^* = \frac{\det(\mathbf{A}, \mathbf{A}', \mathbf{A}'')}{P^2} = 0.$$

5. Conclusion

Quaternion interpolations have very important applications for many computer graphics in computer-aided geometric design (CAGD). Slerp interpolation, a curve fitting method between two quaternions and defined by Shoemake, is widely used in animation productions, and some other engineering fields. Thanks to the Slerp interpolation, a curve is formed from the geodesic curves of the sphere between the two quaternion points given on the greatest circles on the unit sphere. The Fast Slerp interpolation algorithm also has more advantages over Slerp interpolation. Similarly, interpolation of unit dual quaternions, called Sclerp, plays an important role in graphic design and the study of robotic motions. On the other hand, using quaternions in the spherical mechanism studies is one of the important topics studied in mechanical and robotic engineering. In this study, we theoretically generated a dual spherical mechanism and identified the links between the joints in the mechanism through Sclerp interpolations. Then, we defined for the first time the sequentially Sclerp and fast dual screw spherical interpolations as a special movement from these mechanism motions. The Blaschke frame of dual spherical interpolation curve was calculated using the E.Study theorem. In this way, Blaschke invariants at each point were calculated in the defined dual spherical mechanism. Since we bring a different perspective to the spherical mechanism, we think that this work will contribute to many scientific studies such as computer-aided geometric design, mechanism, and robotic studies.

References

- Baky R.A.A, (2002). An Explicit Characterization of Dual Spherical Curve. *Commun. Fac. Sci. Univ. Ank. Series A1*, 51(2):1-9.
- Dam E.B, Koch M, Lillholm M, (1998). *Quaternions, Interpolation and Animation*, Institute of Computer Science University of Copenhagen.
- Diebel J, (2006). *Representing Attitude: Euler Angles Unit Quaternions and Rotation Vectors*. Stanford University, California: 1-35
- Ge Q.J, Ravani B, (1994). *Geometric Construction of Bezier Type Motions*. ASME of Mechanical Design.
- Gezgin E, (2006). *Biokinematic Analysis of Human Arm*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknolojisi University İzmir Yüksek Teknolojisi Institue, İzmir.
- Ghademi R, Rahebi J and Yaylı Y,(2012). A Novel Approach for Spherical Spline Split Quaternion Interpolation Lorentzian Sphere Using Bezier Curve Algorithm. *Life Science Journal*, 9(4): 3394-3397.
- Ghademi R, Rahebi J and Yaylı Y, (2012). A Fast Method Based on DeMoivre for Spherical Linear Interpolation in Minkowski Space. *Advances in Applied Clifford Algebras*. 25(4), 863-873.
- Ghademi R, Rahebi J and Yaylı Y, (2012). A Fast Method Spherical Linear Interpolation in Minkowski Space. *Advances in Applied Clifford Algebras*. 25(4), 863-873.
- Hacısalıhoğlu HH, (1983). *The Theory of The Motion Geometry and Quaternions*. Gazi University, Ankara.
- Hamilton WR, (1848). On quaternions; or on a new system of imaginaries in algebra, *The London, Edinburg, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 33(219), 58-60.
- Hast A, Barrera T, Bengtsson E, (2003). Shading by Spherical Linear Interpolation Using De Moivre's Formula, *Proc. 11th Int. Conf. Central Europe on Computer Graphics*.
- Hast A, Barrera T, Bengtsson E, (2004). Incremental Spherical Linear Interpolation. In *The Annual SIGRAD Conference. Special Theme-Environmental Visualization*, 13:7-10. Linköping University Electronic Press.
- Jafari M, Molaei H, (2014). Spherical Linear Interpolation and Bezier Curves. *General Scientific Researches*, 2(1): 13-17.
- Kavan L, Collins S, O'Sullivan C, Zara J, (2006). *Dual Quaternions For Rigid Transformation Blending*. Trinity College Dublin, Tech.Rep. TCD-CS-2006-46.
- Kilit Ö, (2007). *Kinematic Analysis and Synthesis of Spherical Mechanisms*. Doctoral Dissertation, Ege University Institute of Science and Technology, İzmir.
- Kremer VE, (2008). *Quaternions and Slerp*. Department for Computer Science Universty of Saarbrücken.
- Kuşak H, Çalışkan A, (2011). About Dual Spherical Wrist Motion and Its Trajectory Surface as a Ruled Surface. *Mathematical and Computational Applications*, 16(1): 309-316, 2011.
- Sheomake K, (1985). *Animating Rotation with Quaternion Curves*. San Francisco, 19(3): 245-254.

Smith M, (2013). Applications of Dual Quaternions in Three Dimensional Transformation and Interpolation. Department for Computer Science and Software Engineering University of Canterbury, Christchurch, New Zeland.

Vince J, (2011). Quaternions for Computer Graphics. Bournemouth Universite, Bournemouth, UK.



Decision Trees in Large Data Sets

Zeynep Çetinkaya¹ , Fahrettin Horasan^{1*} 

¹Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Kırıkkale University, Kırıkkale, Turkey

Başvuru/Received: 03/07/2020 **Kabul / Accepted:** 17/12/2020 **Çevrimiçi Basım / Published Online:** 18/01/2020

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2020

Abstract

Data mining is the process of obtaining information, which is used to identify and define the relationships between data of different qualities. One of the important problems encountered in this process is the classification process in large data sets. Extensive research has been done to find solutions to this classification problem and different solution methods have been introduced. Some decision tree algorithms are among the structures that can be used effectively in this field. In this article, various decision tree structures and algorithms used for classification process in large data sets are discussed. Along with the definitions of the algorithms, the similarities and existing differences between them were determined, their advantages and disadvantages were investigated.

Key Words

“Decision trees, Decision tree algorithms, Big data sets, Scalable decision trees”

1. Introduction

Data mining is the process of obtaining unknown and valuable information based on existing data. It can also be defined as information discovery in databases (Aytekin et al., 2018). Large amounts of data and important information to be obtained from this large-scale data play an important role in the emergence of data mining (Han and Kamber, 2006). Data mining includes many methods and algorithms for information discovery. All of the transactions for the determination of relationships, changes and rules that are hidden in big data and difficult to detect are referred to as the data mining process. The most important goal of this process is to reach these logical rules in the fastest and most accurate way (Aytekin et al., 2018).

Data Warehouses are used for data mining techniques to work effectively and to give fast and accurate results. Data warehouses can be considered as well-defined databases. New databases created to minimize the problems that may arise in the processing of data in normal databases are called data warehouses. Only data to be used in the analysis are transferred to this new structure (Aytekin et al., 2018). It is an effective method that prevents data that can prevent analysis or cause false results by cleaning data inconsistencies, dirty data and noise. Data mining can also be defined as finding meaningful patterns and rules by analyzing large amounts of data on these data warehouses (Berry and Linoff, 1997)

Data mining includes lots of technic which are under development like statistics, database technology, neural networks, decision trees, artificial intelligence, machine learning, genetic algorithms and visual techniques. In addition, data mining is applied in many areas such as marketing, finance, banking, customer relations, production and health (Han and Kamber, 2006; Chein and Chen, 2008). The most common data mining techniques include classification and regression. In these two data analysis methods, grouping is made according to the logical rules sought in large data sets by using pre-classified samples. While the classification process is used to estimate categorical values, the regression process is the methods used in the estimation of continuous values. Decision trees are one of the main techniques used in these methods, which play a role in creating models that reveal important classes and predict future data trends. (Aytekin et al, 2018).

2. Decision Trees

Decision trees are a frequently used classification and regression technique because of their easy interpretation compared to other classification methods, their realization at lower costs, the ease of integration with databases and a good level of reliability (Chein and Chen, 2008). In addition, leaves shown as decision rules in decision trees can be easily interpreted by people working in this field and this method is used effectively in high dimensional data. (Chaudhuri et al., 1997).

In decision trees, classification processing is carried out in two steps: learning and classification. In the learning step, the so-called "training data set" is used, in which the results matched to the values are known. This training data is transmitted to decision tree classification algorithm and analyzed by algorithm for create the model. These models learned as a result of the analysis are defined as classification rules or decision trees. With the end of the learning process, the second step, the classification step, is started. In the classification step, the data set called "test data set" is used. This step is performed in order to determine the correctness of the created classification rules or decision tree. If accuracy is acceptable, rules or a decision tree can be used to classify new data (Özkeleş and Çamurcu, 2002; Çalış et al., 2014).

A decision tree has a real tree-like structure, starting with a variable called "root node", established in a hierarchical relationship. This root node can be divided into two or more branches within the framework of certain rules. With each branch created, certain classes are represented throughout a class or node that leaves the root node. In each branching-dividing process, a question is asked to the system and an answer is received regarding the range or class of the variable. Depending on the answer to this question, branching-dividing is carried out and new sub-nodes are created. After each new node created, a branching operation is performed again using the class or range of another variable. In each transaction, the split node is called "main node", and the nodes formed as a result of the split are called "lower node / leaf". This branching process continues until the classification ends or if it encounters a cutting rule (Nispet et al., 2009).

The most important point in the creation of a decision tree is to determine which criteria or attribute values will use for the branching in the tree will be performed. There are many approaches in the literature that can be used to make the right choice at this point. Some of the approaches used in determining the branching criteria; Gini index is seen as Towing rule (Swain and Hauska, 1977), Chi-Square probability table statistics and information gain & information gain rate.

Among the branching criteria, knowledge gain and knowledge gain rate method find more usage in studies than other methods. In this method, information theory consisting of entropy rules is used in order to determine which feature of the branching tree will be made. "Entropy" can be defined as the measure of irregularity or uncertainty of a system (Kavzoğlu and Çölkesen, 2010).

The concept of entropy is a concept used in many fields of science, the person who adapts this concept to information theory is known as Claude Shannon. (Shannon,1948) According to Shannon, if the probability of occurrence of A event is $P(A)$, the entropy value is expressed as $-\log_2 P(A)$ (Kacar et al., 2013.,Varçın er al., 2016). The more the value obtained using the entropy formula, the more uncertain and unstable the results are considered(). For this reason, it is desired that Entropy measure is at the minimum level in decision trees. Entropy is expressed as equation1:

$$Entropy = -\sum_{i=1}^n P_i \log_2(P_i) \quad (1)$$

Another important issue in the formation of decision trees is as much as the realization of the branching process. After the classification process, the structure of the decision tree is formed by organizing the training version to form clusters containing a single subclass. Therefore, a very large and complex tree structure emerges. In such cases, it may be possible to drop a subtree in the decision tree structure and replace it with a leaf. The process performed in these and similar ways is called "Pruning the Decision Tree" (Mingers, 1989).

Pruning is the removal the parts that do not affect the accuracy of the classification process from a decision tree. With this process, a simpler and easier to understand decision tree is obtained by reducing the complexities that may occur in the decision tree. Two methods are generally used to simplify the decision tree structure through pruning. The first of these two methods is called the "pre-pruning" method. In the pre-pruning method, pruning is performed simultaneously, while the tree structure is formed. The other method is the method called "last pruning" where pruning is done after the tree structure is created (Kavzoğlu and Çölkesen, 2010; Breiman et al., 1984).

"Decision Tree Algorithms" are separated from each other thanks to different ways to select root, knot and branching criteria (Bounsaythip and Rinta, 2001). Algorithms, the foundations of which are laid by the AID method, have been developed over time and various algorithms have been proposed to be used in decision trees. Some of these developed algorithms can be listed as AID, CHAID, CART, ID3, C4.5 and C5.0 (Akpınar, 2000).

2.1. AID Algorithm

Known as the first algorithm and first software created based on the decision tree structure is the AID (Automatic Interaction Detector) algorithm, was proposed in 1963 by experts named Morgan and Sonquist. AID is a decision tree method based on performing the best estimation in a classification process and finding-separating those with the strongest relationship between the independent variables. In the AID algorithm, the variables in the system are divided into two according to their value, forming the tree structure. The divisions that occur by dividing into two continue repeatedly until all variables are terminated. The independent variable type can be classifier and sorter. The difference between AID and regression analysis is that it does not provide reliable information about its significance among variables (Akpınar, 2000).

2.2. CHAID Algorithm

Another decision tree algorithm is the CHAID (ChiSquared Automatic Interaction Detector) algorithm. The CHAID algorithm, which has the purpose of classification and regression and also works on statistics, was developed by G. V. Kass in 1980 (Pehlivan, 2006, s. 11). CHAID algorithm is a technique that uses chi-square test instead of entropy or gini techniques used in other algorithms to select the optimum sections to be performed in tree formation. It is a frequently preferred algorithm today due to its ability to work on categorical and continuous variables, to divide the main mass which is intact as a whole with a strong iteration algorithm into stable sub-nodes, to divide each node in the tree into two or more than two subgroups, according to the structure of the data (Aytekin et al.,2018; Oğuzlar,

2014). The fact that the CHAID algorithm structure is out of certain assumptions allows this algorithm to be used as an alternative tree diagram to binary and multinomial logistic regression models (Oğuzlar, 2004; Akpınar, 2000).

Table 1. Decision Tree Algorithms

Algorithm	Advantages	Disadvantages
CHAID	<ul style="list-style-type: none"> - Performs classification using chi-square tests. - It forms tree structure with multiple branching. - For preliminary, pre-pruning process with chi-square test. - The number of branches varies according to the number of categories of the predictor. 	<ul style="list-style-type: none"> - It does not give acceptable results in continuous variables.
CART	<ul style="list-style-type: none"> -Gini index and Twoing criteria use for classify. - Pruning trees using a complex model predicted by cross-validation of parameters. - When the tested property has an unknown value, it looks for alternative values close to the results. -It can work with continuous target variables. 	<ul style="list-style-type: none"> -The data needs to be prepared in advance. -Allows binary classification operations only. -The success of the operation of the operation depends on the size of the tree's complexity.
ID3	<ul style="list-style-type: none"> -It has a very simple structure. -It is a simple process, it can be easily applied. -Work time increases only linearly with the complexity of the problem. 	<ul style="list-style-type: none"> -When working with continuous data and missing data, it does not give an acceptable result. -It requires more memory. -There are long call times. -There may be excessive learning (overfitting) or excessive classification.
C 4.5	<ul style="list-style-type: none"> - Faster than ID3 - Memory and computing efficiency are higher. - Information is used for classification and creates trees with multiple branches emerging from each node. -It can work with missing or continuous data. - Can use features with different weights. - Avoids overfitting the data. - It allows to determine how much the decision tree will be grown. 	<ul style="list-style-type: none"> -The formation of empty branches is observed. -Branches that are considered to be unimportant occur. -It is sensitive to noise.
C 5.0	<ul style="list-style-type: none"> -It works faster than C4.5. - Provides less memory usage than C4.5 when creating the rule sequence. -The created rule sets are easier to understand. -Uses information-based criteria for classification. - Gives information about noise and missing data. - Can make feature selection, estimate which qualities are relevant and which are not important in classification. - It provides cross validation and reduced error rate pruning opportunities. -Supports the improvement of the trees and provides more accuracy rates. -It brought solutions to the problem of overfitting. 	<ul style="list-style-type: none"> -For applications with very high numbers of situations, it may crash with a message such as segmentation error. -Using case weight does not guarantee that situations with higher weight of the classifier will be more accurate.

2.3. CART Algorithm

The CART (Classification and Regression Trees) algorithm was introduced into the literature of decision tree algorithms in a study by Breiman et al in 1984. In the CART algorithm, at each stage, the related cluster is separated

into two subsets which is more homogeneous than this cluster. In this separation process, while gini and twoing are used for categorical variables, calculations are made according to the least squares deviation index for continuous variables (Aytekin et al., 2018; Oğuzlar, 2004). In the CART algorithm, which can work with both categorical and continuous data types, a representative variable can also be assigned for missing values (Demirel and Giray, 2019).

The CART algorithm, which can be considered as an automated machine learning method, can work with relatively few inputs in complex structures. If there is a need pruning for a complex tree structure that occurs after splitting, pruning is started with the end of the splitting and is carried out from the tip to the root. In order to obtain the most successful decision tree in this algorithm, after each pruning process, the decision tree is evaluated with a randomly selected test data and the optimum tree structure is tried to be determined (Sezer et al., 2010; Oğuzlar, 2004).

2.4. ID3 Algorithm

The ID3 (Iterative DiChaudomiser3) algorithm was developed by J. Ross Quinlan (1979). This Decision tree algorithm is basically based on the conceptual learning system (CLS) algorithm. In cases where the training set contains too many records and there are many qualities, ID3 algorithm can be used in cases where a reasonable decision tree structure can be created with few calculations. ID3 is an algorithm with a recursive structure, it cannot operate on numerical attributes or in cases where there is missing data, nor does it perform any pruning while the tree structure is created or after it is created. Basically, this algorithm is used to classify categorical attributes into a tree structure (Aytekin et al., 2018; Hssina et al., 2014).

2.5. C 4.5 Algorithm

With the study published by J. Ross Quinlan in 1993, the C4.5 decision tree algorithm, which is accepted as an advanced version of the ID3 algorithm and set out to eliminate the missing sides of the ID3 algorithm, was created. In this algorithm, created to address the missing aspects of the ID3 algorithm, data sets containing missing data can be processed and pruning can be done in complex decision trees. The C4.5 algorithm can be used for attributes with continuous values. In addition, the C4.5 algorithm contains a 'gain rate' value different from ID3 and creates a classification decision tree by recursively dividing the data into subsets (Aytekin et al., 2018; Hssina et al., 2014; Yang and Chen, 2016).

2.6. C 5.0 Algorithm

The C5.0 algorithm was obtained by Quinlan by developing the C4.5 algorithm. The advantages of this algorithm, which can be performed using categorical variables, compared to the C4.5 algorithm; faster, less memory, more precise rules, the ability to give weights for variables and misclassification types, and to exclude variables that do not contribute to the tree's formation. It can also use memory more efficiently and does not require less learning time (Zhixian et al., 2009; Patil et al., 2012)

3. Decision Trees In Large Data Sets

Although the classification has been extensively studied in the past, the various techniques proposed for classification have not been well scaled for large data sets (Metha et al., 1996). However, the use of large data sets is important for increasing classification accuracy (Gehrke et al., 1998). Many of the existing algorithms have the limitation of training data fitting into memory. In the literature, there are algorithms developed to remove this constraint and creating more effective decision trees for classify. The first of these is the SLIQ algorithm and is specifically designed for scalability. Over time, new algorithms have been developed with the creation of the number of records that even the SLIQ algorithm can't handle. SPRINT has emerged as a method with effective parallelization that requires very little addition to the serial algorithm (Shafer et al., 1996). New algorithms have been developed such as ScalParC, RainForest, CLOUDS, BOAT, SPIES, etc. for complement and develop the missing aspects noticed in the SPRINT algorithm. Some of these algorithms will detailed mentioned in this section.

3.1. SLIQ Algorithm

The SLIQ algorithm, developed by Mehta, Agrawal and Rissanen researchers in 1996, can be used for classification in data sets with numerical and catagorical properties. This algorithm, supported by IBM Quest, divides the data set into segments using the pre-sorting technique when creating a decision tree in large data sets. In this algorithm, the sorting procedure is integrated with a broad tree growing strategy to ensure the classification of data sets resident on the disk. SLIQ also uses a cheaper and more compact tree pruning algorithm than other algorithms to achieve simplicity in complex tree structures. As a result of the combination of these techniques, SLIQ allows the data to scale and classify large data sets regardless of class, quality or number of samples.

One of the important advantage of the SLIQ algorithm is that it greatly reduces sequencing costs on nodes. SLIQ maintains a discrete order list called "class list" for each node, and each element in this list corresponds to a property in the data. Each created list element has a class tag. Since the SLIQ algorithm uses the width priority path when creating the decision tree, it creates multiple leaf-nodes simultaneously. While creating these nodes, it scans the class list that is properly sorted for each attribute and calculates the entropy value defined as the measure of irregularity or uncertainty for each value. After the entropy values are calculated, the best quality is selected for partition the data, and the decision tree structure is established by creating nodes. This process continues iteratively until the data is completely categorized.

The outstanding feature of the SLIQ algorithm compared to other classifiers is that it is fast and produces decision trees that give good results in short periods of time. For SLIQ, it can be said that it provides good scalability and performs well in large datasets containing a large number of samples and attributes (Mehta et al., 1996; Shafer et al., 1996).

3.2. Sprint Algorithm

Developed in 1996 by Shafer, Agrawal and Mehta, the SPRINT algorithm can work with very large data sets. The main goal of this algorithm is to avoid memory constraints by eliminating the relationships between the main memory size and the dimensions of the training data set. This algorithm, designed to easily parallelize while removing memory constraints, also features a fast and scalable algorithm. The SPRINT algorithm allows many different processors to work together on the same model to create a single consistent model.

SPRINT initially creates an "attribute list" consisting of an quality value, a class tag, and an array containing the record from which this value is obtained, for each property in the dataset. In large datasets if all of the data is not in memory, the generated attribute lists are kept on disk. The first list created using the training set appears as an attribute list of the root node of the classification decision tree. As the decision tree grows in line with the data, as the existing nodes are separated to create new sub-nodes, the attribute created for each node is also segmented and associated with the new sub-nodes that are created. When a created list of attributes is partitioned, the order of records in the new list created is always maintained, so the partitioned lists never require a reference again. (Shafer et al., 1996).

3.3. Sprint vs SLIQ

In order to work on large data sets, the technique of creating separate property lists using data is the first system proposed by the SLIQ algorithm. In the SLIQ algorithm, each entry in the generated list of features consists of an attribute value and an array; class labels are kept in a separate data structure, also referred to as the "class list" indexed with the created directory. Each entry in the class list has a pointer in addition to the class tag. The SLIQ algorithm does not have to rewrite these lists when splitting nodes while creating the decision tree, but if the records are reassigned to new nodes, the changing the pointer of the class list becomes necessary. Class lists are randomly created, if they are accessed frequently and updates are made, they must remain permanently in the memory for the entire processing time, resulting in serious performance drops. Also, the size of this class list grows in direct proportion to the size of the training set used, and given the situation, there will be limits on the size of the training set that can operate with the SLIQ algorithm.

The SPRINT algorithm uses different data structures than the SLIQ algorithm. The purpose of the SPRINT algorithm is to do correct classifying and effectively develop the classify operation, in datasets that are too large and difficult to process for any other algorithm. Data placement and workload balancing problems that should be taken into consideration in the classification process with any parallel algorithm can be easily solved using SPRINT. SPRINT is specially designed to eliminate dependency on data structures that are central or resident in memory; SPRINT algorithm is parallel naturally and efficiently to these design goals (Mehta et al., 1996; Shafer et al., 1996).

3.4. ScalParC Algorithm

The ScalParC algorithm is emerging as a new parallel formulation in classification methods based on decision tree structure. This algorithm, which is suitable for processing large data sets, was developed by Joshi, Karypis and Kumar in 1998, and this scalable algorithm has been shown to be scalable both in memory requirements and at runtime. The main data structures used in the ScalParC algorithm are to be listed briefly, distributed attribute lists are node tables and counting matrices.

ScalParC shows a structure that is carried out in stages, with 4 basic steps. The first of these stages is called "Find-Split-I" and at this stage the local count matrix is calculated for all continuous attribute value. To find the local counting matrix, a parallel prefix is applied in the Find-Split-I phase. It is designed to systematize the calculation of general counting matrices for all nodes created using a processor parallel reduction process for a categorical attribute. The second stage is called "Find-Split-II", in this phase it is decided whether a node needs further division using termination criteria. For nodes that need division, the optimum gini index is calculated. In continuous attributes, local list records are scanned to find the most suitable spread point. For a categorical attribute, the gini array is calculated by the processor, which was specified by the global count matrix in the previous stage. In order to find the best division criteria for each node, it uses a reduction operation that is parallel with this algorithm and has the best division state.

In the third phase, called the "Perform-Split-I" phase, the lists of attributes for the partitions are split, mixed buffers are created, and the distributed table of node is updated in accordance with the innovations that have occurred. Maintaining memory scalability is an important criterion at this stage. To meet this criterion, updating the node table can be performed in multiple steps. The last stage is called "Perform-Split-II" and at this stage, the lists of all the attributes that do not go through the split are divided by taking one attribute at all time. For each attribute value, the generated node table is queried using the query process. Node information collected after queries is added to the table for use in dividing the next attribute (Joshi et al., 1998).

3.5. Sprint vs ScalParC

Thanks to the design of the SPRINT algorithm, it allows effective parallelization of the splitting process when creating the decision tree. Also, with SPRINT, it is enough to list the qualities once. However, due to the parallel formulation recommended for the splitting stage, a clear scaling cannot be performed in both memory requirements and runtime. In the SPRINT algorithm, registration node mapping is collected from each processor and the required attribute table is created in all processors. At this stage, the communication load per processor is calculated as $O(N)$. The serial working time of a classifier is also calculated as $O(N)$. Therefore, the SPRINT algorithm cannot scale at run time. As the memory requirement per processor is found as $O(N)$ in the studies performed, it is considered as non-scalable in memory requirements. When the high levels of the decision tree obtained in the classification are reached, the size of the hash table is in line with the size of the training data set, and this table is found in each processor.

ScalParC has a scalable algorithm design in both runtime and memory requirements, with this advantage it is called "Scalable parallel classification". Like the SPRINT algorithm, ScalParC continuous attributes lists only once and uses a similar attribute list. The main difference between the two algorithms is that ScalParC uses a distributed attribute table to implement the division step. It enables the creation of a new parallel table with the communication system used to create this table and to access this table when necessary in the transactions. Studies in this case have shown that the total communication load in the algorithm does not exceed $O(N)$ and that the memory per processor required to apply this algorithm does not overrun $O(N/p)$. As a result of these studies, the scalability of the ScalParC algorithm has been proven both at runtime and in memory requirements. (Shafer et al., 1996; Joshi et al., 1998).

3.6. Rainforest Algorithm

The RainForest decision tree algorithm, created by Gehrke, Ramakrishnan and Ganti in 1998, is a unifying classifier framework that contains the scalability and central properties that determine the quality value of the tree aspects of other algorithms. Concretization of this genetic algorithm with certain algorithms in the literature (C4.5, CART, CHAID, ID3, SLIQ, SPRINT and QUEST) is easily realized. According to the SPRINT algorithm, which is accepted as a fast classification algorithm in the literature, the RainForest algorithm offers a performance increase of more than five times. However, the RainForest algorithm requires that a minimum main memory be initially maintained to maintain the necessary operations in proportion to the existing variable values. Given the main memory costs available for algorithms, this requirement is at a level that can easily be met in most, but not in all classification processes.

RainForest offers an important concept, referred to as the AVC set, which stands for Attribute-Value Class. The AVC set of the attribute of a particular n node is characterized by the number of data with different attribute values of a and different classes. The AVC group of a n node is a combination set consisting of all AVC sets that have a n node. With the definition of AVC sets, the RainForest algorithm manages to distinguish scalability problems in decision trees from the quality problems of the decision tree. In providing this situation, RainForest algorithm can reveal important observations with AVC set and AVC group. The first of these observations can be explained as follows, only with the AVC group of a particular node, for most decision tree creation algorithms, there is enough information to decide

whether the node is a leaf or a leafless decision node. Another observation is the determination of which tests should be used in this node. In the light of these observations, the RainForest algorithm has enabled a number of new algorithms to occur depending on how many AVC groups can be in memory.

The first algorithm proposed by RainForest emerges as the RF-Write algorithm. RF-Write algorithm assumes that existing AVC group data of the root node is stored on disks. In this algorithm, where the sub-nodes are created by applying the split selection method, The RF-Write algorithm reads all data in the database twice and works by writing all database data once for each level in the decision tree. This situation causes excessive time cost for the algorithm.

The second algorithm created by RainForest is called the RF-Reading algorithm. In this algorithm the basic logic is not to build the decision tree using a top-down approach, iteratively. The RF-Reading algorithm creates the tree iteratively by calculating the AVC groups belonging to all of the existing nodes that will be evaluated at the same level in the decision tree at the same time. However, the use of this method may cause the problem that AVC groups do not fit in memory with all nodes of the same level of the decision tree, this situation is depending on the size of AVC groups. As a result of the studies carried out as a solution to this problem, it was proposed to use multiple transitions as an alternative way to create a node level that computes a subset of each level AVC groups and successful results were obtained. Since the RF-Read algorithm does not reorganize the training data, it is necessary to first read a data to find out if this data corresponds to a node calculated in the AVC group. Therefore, in cases where AVC groups do not fit in the main memory, the RF-Read algorithm will show undesirable performance in terms of uptime.

Considering the problems encountered in these two algorithms, a third algorithm is proposed. This new algorithm, which is the result of combining RF-Read and RF-Write algorithms, emerges as a mixed strategy and is called "RF-Hybrid". Basically, the RF-Hybrid algorithm is treated like the RF-Read algorithm in cases where AVC groups belonging to all nodes at a certain current level fit into memory. When this situation cannot be realized, that is, when there is a situation where the AVC groups created in the decision tree of the nodes at the same level do not fit in the existing memory, the RF-Hybrid algorithm switches to the RF-Write algorithm structure as a working system. As a result of the studies on these algorithms, the RF-Hybrid algorithm, which was created as a mixed strategy, was found to be the best performing algorithm compared to other algorithms proposed in RainForest The fourth algorithm created based on the RainForest algorithm is called "RF-Vertical". However, this algorithm is basically designed to be used in situations where even an AVC group cannot be inserted into memory (Gehrke et al., 1998; Gehrke et al., 2000).

3.7. Clouds Algorithm

The CLOUDS algorithm, created by Alsabti, Ranka and Singh in 1998, is a decision tree algorithm based on sampling split points for numerical attributes. This algorithm significantly reduces the computational and input / output complexity of operations performed in large data sets compared to other classifier algorithms, while the decision produced maintains the accuracy values of the trees and the quality of the tree in terms of size. CLOUDS works by evaluating the division points for categorical attributes as in the SPRINT algorithm. However, the evaluation of the separation points for numerical properties is different from other algorithms, it describes the partitioning step for the separation of each internal node.

Basically, two new methods are presented for sampling division points with the Clouds algorithm, that is, for the sampling of the internal nodes in the classification phase. The first method is Sampling of Split points (SS). This method derives the separator from a limited number of split points. The second method is to estimate the Sampling Split Points by Estimation (SSE). This method uses gini values to predict to narrow the search field to find the value that will create the best split and improves SS. It is designed to derive the best or closest separator related to the Gini value. As a common feature of both methods, the gini index can be considered to be evaluated only in a subset of the dividing points along each numeric attribute.

Table 2. Decision Tree Algorithms In Large Data Sets

Algorithm	Advantages	Disadvantages
SLIQ	<ul style="list-style-type: none"> - Can work with large datasets and provides good scalability - It performs well in large datasets. - It performs the divisions by evaluating with Gini-Index. - SLIQ is more efficient than SPRINT in cases where class list fits into memory. 	<ul style="list-style-type: none"> - The class list size grows linearly with the number of training data. - SLIQ is well scaled only if there is enough memory for the entire class list available. - SLIQ loses validity for a dataset with more than a million entries.
SPRINT	<ul style="list-style-type: none"> - It is quite fast compared to Slq algorithm. - It provides effective parallelization of the division process. - Its continuous qualities enable it to be ranked at once. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cannot scale at runtime. - The running time per processor is calculated as $O(N)$. - Cannot scale in memory requirements for the application.
SCALPARC	<ul style="list-style-type: none"> - Can scale to both runtime and memory requirements. - Continuously only list attributes once. - The overall communication load of the algorithm does not exceed $O(N)$. - Run time per processor does not exceed $O(N/p)$. - The memory required for the application does not exceed $O(N/P)$. 	<ul style="list-style-type: none"> - If the number of processors increases too much, sudden jumps can occur in parallel running time of the algorithm.
RAINFOREST	<ul style="list-style-type: none"> - It provides 2-5 times faster performance than Sprint algorithm. - It can be applied with all known algorithms. - Uses available main memory to increase efficiency. - Separates scalability problems from decision tree quality problems. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requires a minimum main memory to be proportional to the dataset. - In the operating system, it is assumed that the AVC group of the root node fits in the main memory. - The number of training objects and runtime increases linearly for all RainForest algorithms
CLOUDS	<ul style="list-style-type: none"> - Calculation complexity is lower than other algorithms. - Preserves the accuracy and size of the trees created. - Uses computationally efficient methods to determine dividing points. - Reduces Input / Output requirements. 	<ul style="list-style-type: none"> - Assumes that no errors were made in the sampling process for the splitting operation.

In the Sampling of Split points (SS) method, the range value for each numerical property is divided into specific ranges using a computational technique, and these ranges are assumed to contain approximately the same number of points. The calculated gini index for numerical properties is evaluated within the created range limits. The minimum gini (gini min) values between all range limits of numerical properties are determined. Separation point, where the determined minimum gini value and the value of this strain are calculated, are used as separators. The SS method requires a pass through the dataset to derive the split point.

The Sampling Split Points by Estimation (SSE) method divides each numerical property into specific ranges and finds the minimum gini (gini min) value in the ranges, as in the Sampling of Split points (SS) method. It also estimates the lowest value (gini est) of the gini value for each created range. All ranges whose predicted gini est value is greater than the gini min value are eliminated to obtain a list of potential candidate ranges to be used in division (which can be considered as a kind of pruning). After this process, the gini index is evaluated at each different point in the range

in order to determine the separator in a range determined as candidate. This may require another transition over the entire dataset. (Alsabti et al., 1998).

3.8. Sprint vs Clouds

There are several options to efficiently improve data mining operations in large datasets, the first of which is the use of algorithms that reduce computation and input / output requirements, but essentially perform similar operations with other algorithms. Another option is to use algorithms that reduce computation and input / output requirements by making an approximate estimate of the actual process without causing significant loss of accuracy. CLOUDS is a classification algorithm shown in the second category. As a result of the studies, it has been shown that the CLOUDS algorithm gives as much accurate results as the SPRINT algorithm and has greatly superior calculation features. The approach put forward with the CLOUDS algorithm can provide more attractive alternatives than other classification algorithms, especially when an implicit optimization is required (Shafer et al., 1996; Alsabti et al., 1998).

4. Conclusion

One of the important problems encountered in the data mining process is the difficulties encountered in the classification process in large data sets. Different decision tree structures have been developed to overcome these classification difficulties. In this article, various decision tree algorithms used in large data sets are determined. In accordance with the design goals of decision tree-based classification algorithms, the general structures of these algorithms and their differences were investigated. As a result of this research, it has been seen that there are many practical applications used in classification of big data sets in data mining. It is observed that the studies for processing large data sets and eliminating the problems encountered during the process are still continuing. It can be said that the aim of these new studies is to overcome the shortcomings of the existing algorithms, find fast, effective new ways and create new accuracy tree algorithms with high accuracy.

Referanslar

- Akpınar, H. (2000). Veri Tabanlarında Bilgi Keşfi ve Veri Madenciliği, İ. U. İşletme Fakültesi Dergisi, C:29, s: 1-22.
- Alsabti, K., Ranka, S., Singh, V. (1998). CLOUDS: A Decision Tree Classifier for Large Datasets, Electrical Engineering and Computer Science.Paper 41.
- Aytekin, Ç., Sütçü, C.S., Özfıdan, U. (2018) Text Classification Via Decision Trees Algorithm: Customer Comments Case, The Journal of International Social Research, vol:11 ss:55.
- Berry, M.J.A., Linoff, G.S. (1997). Data Mining Techniques for Marketing, Sales, and Customer Relationship Management, First Edition, Wiley Publishing, 187-216.
- Bounsaythip, C., Rinta, R.E. (2001). Overview of Data Mining For Customer Behavior Modeling. VTT Information Technology Research Report. Ver 1. ss. 21.
- Breiman, L., Freidman, J.H., Olshen, R.A., Stone, C.J. (1984). Classification and Regression Trees, Monterey, CA: Wadsworth, 358 s.
- Chaudhuri, S., Fayyad, U., Berhardt, J. (1997). Scalable Classification over SQL Database, Technical Report MSR-TR-97-35, Microsoft Research.
- Chen, C. F., Chen, L. F. (2008) Data Mining to Improve Personnel Selection and Enhance Human Capital: A Case Study in High-Technology Industry, Expert Systems with Applications, vol. 34, p. 280-290.
- Çalış, A., Kayapınar, S., Çetinyokuş, T. (2014). Veri Madenciliğinde Karar Ağacı Algoritmaları ile Bilgisayar ve İnternet Güvenliği Üzerine Bir Uygulama, Endüstri Mühendisliği Dergisi cilt:25 sayı:3-4 s:2-19.
- Demirel, Ş., Y. Giray, S. (2019). Karar Ağacı Algoritmaları ve Çocuk İşçiliği Üzerine Bir Uygulama. Social Sciences Research Journal, 8 (4), 52-65.

- Gehrke, J., Ramakrishnan, R., and Ganti, V. (1998). Rainforest: A framework for fast decision tree construction of large datasets, VLDB, vol. 98, pp. 416–427.
- Gehrke, J., Ramakrishnan, R., and Ganti, V. (2000). Rainforest: A framework for fast decision tree construction of large datasets, Data Mining and Knowledge Discovery, 4, 127–162.
- Han, J., Kamber, M. (2006). Data Mining: Concepts and Techniques, Morgan Kaufmann, USA.
- Hssina, B., Merbouha, A., Ezzikouri, H., Erritali, M. (2014). A comparative study of decision tree ID3 and C4.5, International Journal of Advanced Computer Science and Applications.
- Joshi, M. V., Karypis, G., Kumar, V. (1998). ScalParC: A New Scalable and Efficient Parallel Classification Algorithm for Mining Large Datasets, Department of Computer Science University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455.
- Kavzoğlu, T., Çölkesen, İ. (2010). Classification of Satellite Images Using Decision Trees: Kocaeli Case, Electronic Journal of Map Technologies 2-1, 36-45.
- Mehta, M., Agarwal, R. and Rissanen, J. (1996) SLIQ: A fast scalable classifier for data mining, In Proc. of 5th International Conference on Extending Database Technology (EBDT).
- Mingers, J. (1989). An empirical comparison of pruning methods for decision tree induction”, Machine Learning, 4, 227–243.
- Nisbet, R., Elder, J. and Miner, G. (2009), Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications, Burlington: Elsevier, ISBN: 978-0-12-374765-5.
- Oğuzlar, A. (2004). CART Analizi ile Hane Halkı İşgücü Anketi Sonuçlarının Özetlenmesi, Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi, sayı 18, s. 79-90.
- Özekeş, S., Çamurcu, A. Y. (2002). Veri Madenciliğinde Sınıflama ve Kestirim Uygulaması, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, sayı 18, s. 1-17.
- Patil, N., Lathi, R., Chitre V., (2012), Comparison of C5.0 & CART Classification algorithms using pruning technique, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), ISSN: 2278-0181, Vol. 1 Issue 4.
- Pehlivan, G. (2006). CHAID Analizi ve Bir Uygulama. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE.
- Sezer, E. A., Bozkır, A. S., Yağız, S., Gökçeoğlu, C. (2010). Karar Ağacı Derinliğinin CART Algoritmasında Kestirim Kapasitesine Etkisi: Bir Tünel Açma Makinesinin İlerleme Hızı Üzerinde Uygulama, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, Kayseri.
- Varçın, F., Erbay, H., and Horasan, F. (2016). Latent semantic analysis via truncated ULV decomposition. 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), pp. 1333-1336.
- Shafer, J., Agarwal, R. and Mehta, M. (1996) SPRINT: A scalable parallel classifier for data mining, In Proc. of 22nd International Conference on Very Large Databases.
- Shannon, C. (1948). A Mathematical Theory of Communication, The Bell System Technical Journal. Vol:27. ss:379-423.
- Kacar, S., Eksi, Z., Akgul, A., and Horasan, F. (2013). MATLAB paralel hesaplama araç kutusu ile shannon entropi hesaplanması. 1st International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Sakarya, 765-773.
- Swain, P.H., Hauska, H. (1977). Decision tree classifier-design and potential, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 15, 142-147.

Yang, Y., Chen, W. (2016). Taiga: Performance Optimization of the C4.5 Decision Tree Construction Algorithm, Tsinghua Science and Technology, ISSN 1007-0214 06/11, pp 415–425 Vol. 21, N. 4.

Zhixian N., Zong L., Yan, Q., Zhao, Z. (2009), AutoRecognizing DBMS Workload Based on C5.0 Algorithm, College of Computer and Software, Taiyuan University of Technology.



14 Haziran 2020 Bingöl-Karlıova Depreminin Yığma Yapılara Etkisinin Değerlendirilmesi

Evaluation of the Effect of 14 June 2020 Bingöl-Karlıova Earthquake on Masonry Structures

İrfan Kocaman¹ , İlker Kazaz¹ 

¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25050 Yakutiye/Erzurum, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 06/07/2020

Kabul / Accepted: 27/10/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

14 Haziran 2020 tarihinde Kuzey Anadolu Fay hattı ile Doğu Anadolu Fayı birleşim bölgesinde, merkez üssü Bingöl-Karlıova (Enlem: 39.365N, Boylam: 40.714E) olan 5.7 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Doğu Anadolu Bölgesinin kırsal kesimlerinde ve şehir merkezlerinin muhtelif yerlerinde yapı stokunun büyük kısmı yığma binalardan oluşmaktadır. Bu yığma binaların büyük kısmı iyi harca sahip olmayan moloz duvarlardan meydana gelmektedir. Depremin etkisiyle düzlem içi ve düzlem dışı kuvvetlere maruz kalan bu duvarlar, düşük çekme dayanımları sebebiyle kolayca hasar görebilmektedirler. Bu çalışmada Kaynarınar, Dinarbey ve Elmalı köylerinde bulunan yığma binalarda meydana gelen hasar çeşitleri tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Bingöl-Karlıova Depremi, yığma yapılar, hasar değerlendirilmesi, düzlem içi davranış, düzlem dışı davranış”

Abstract

On June 14, 2020, a 5.7 magnitude earthquake occurred in the junction region of the North Anatolian Fault and East Anatolian Fault, the epicenter of which is Bingöl-Karlıova (Latitude: 39.365N, Longitude: 40.714E). Most of the building stock consists of masonry buildings in the rural areas of the Eastern Anatolia Region and in various parts of the city centers. Most of these masonry buildings consist of rubble walls that do not have a good mortar. These walls, which are exposed to in-plane and out-of-plane forces with the effect of the earthquake, can be easily damaged due to their low tensile strength. In this study, the types of damage occurring in masonry buildings in Kaynarınar, Dinarbey and Elmalı villages were determined.

Key Words

“Bingöl-Karlıova Earthquake, masonry structures, damage assessment, in-plane behavior, out-of-plane behavior”

1. Giriş

Ülkemiz, Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) ve Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS) gibi aktif fay hatları üzerinde bulunmaktadır. KAFS’nde meydana gelen 1939 ve 1992 Erzincan, 1999 Kocaeli ve Düzce Depremleri, DAFS üzerinde oluşan 1998 Adana-Ceyhan, 2003 Bingöl, 2010 Elazığ-Kovancılar, 2011 Van ve 2019 Elazığ-Sivrice depremleri bu fayların etkinliklerini göstermektedir (Akgül ve Doğan, 2020). DAFS ve KAFS’in birleştiği bölgede oluşan ve bu çalışmanın hazırlanmasına sebep olan bir diğer deprem ise 14 Haziran 2020 Bingöl-Karlıova depremidir.

Yığma yapılar, malzeme özellikleri ve yapım teknikleri sebebiyle deprem yüklerine karşı zayıftırlar. Bu durum kırsalda mühendislik hizmeti alamamış olan yapılarda kendini daha belli etmektedir. Yığma yapıların deprem ya da patlatmalar neticesinde görebileceği hasarları incelemek için bir çok araştırmacı çalışma gerçekleştirmiştir (Kocaman vd., 2019; Kazaz ve Kazaz, 2015). Akgül ve Doğan (2020) Ankara ili Altındağ ilçesinde bulunan yığma binaları ele almışlardır. Ele alınan binalarda risk analizleri gerçekleştirerek Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği çerçevesinde değerlendirerek, yığma binaların depreme karşı kritik bölgelerini/elemanlarını belirlemiştir.

Depremler sonrasında yapılarda meydana gelen hasarlar ve göçme mekanizmaları yurt içinden ve dışından farklı araştırmacılar tarafından değerlendirilmiş ve çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Decanini vd., (2004) Molise-İtalya’da 2002 yılında meydana gelen deprem sonrasında bölgede bulunan yığma yapıların hasar durumlarını incelemiştir. Ahmadzadeh ve Shakib (2004) 26 Aralık 2003’de İran-Bam’da meydana gelen M_w 6.6 büyüklüğündeki depremin bölgede bulunan yığma yapılar üzerindeki etkisini saha çalışmaları ile incelemiştir. Bayraktar vd. (2007) 25 ve 28 Mart 2004’de Erzurum-Aşkale’de meydana gelen depremde saha araştırması yaparak, bölgede bulunan yığma binalarda hasar çeşitlerini ve nedenlerini incelemiştir. Sayın vd. (2014), 2011’de Van’da meydana gelen depremden sonra kerpiç ve yığma binalardaki hasar çeşitlerini ve bölgedeki yapıların sorunlarını değerlendirmiştir. Yön ve Onat (2017) çalışmalarında bu çalışmanın da odağı olan DAFS ve KAFS’in birleştiği bölgede 3 Aralık 2015 tarihinde meydana gelen Bingöl-Kiğı depreminin Tunceli ilindeki yığma yapılara etkisini değerlendirmiştir. Oyguc ve Oyguc (2017) çalışmalarında 23 Ekim ve 9 Kasım 2011’de meydana gelen Van depremi sonrası Van şehir merkezinde bulunan yığma konutların sismik performanslarını incelemiştir. Çalışmalarında hasarların nedenini malzeme kalitesinin uygun olmayışı, işçiliğin kötü olması ve kırsal binalarda mühendislik hizmetinin almaması olarak belirtmişlerdir.

Bu çalışmada 14 Haziran 2020 tarihinde Bingöl-Karlıova’da meydana gelen depremin merkez üssüne en yakın üç yerleşim yeri olan Dinarbey, Kaynarıpınar ve Elmalı köyünde yer alan yığma binalar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Binalarda meydana gelen hasarlar çeşitlendirilerek bölgedeki yapı stoku üzerine değerlendirme gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Method

Bu çalışma; 14 Haziran 2020’de Bingöl-Karlıova’da meydana gelen depremin etkilediği köylerden Kaynarıpınar, Dinarbey ve Elmalı köylerinde yerinde yapılan incelemelere bağlı hasar tespiti ve değerlendirmesini içermektedir. Çalışma, yazarlar tarafından Bingöl-Karlıova depremi akabinde yapılan saha incelemeleri neticesinde değerlendirmeler içermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Bingöl-Karlıova Depremi Özellikleri

3.1.1. Yer hareketinin karakteristik özelliği

14.06.2020 günü, Türkiye saati ile 17:24’te merkez üssü Karlıova (Bingöl) olan M_w 5.7 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Yerin 8.00 km derininde meydana gelen bu depremin en yakın yerleşim birimi olan Bingöl ilinin Yedisu ilçesine bağlı Dinarbey köyüne uzaklığı 4.68 km’dir. (Tablo 1). Merkez üssüne en yakın il merkezleri ve uzaklıkları Tablo 2’de yer almaktadır. Ana şoktan, 16.06.2020 19:51’e kadar geçen zamanda, büyüklükleri 0.8 ile 5.6 arasında değişen 254 artçı deprem kaydedilmiştir (Şekil 1). İlk belirlemelere göre depremin belirgin süresi 15.04 saniyedir. (AFAD, 2020).

Tablo 1. Merkez üssüne en yakın yerleşim yerleri

İl	İlçe	Köy	Mesafe (km)
Bingöl	Karlıova	Dinarbey	4.68
Bingöl	Yedisu	Kaynarıpınar	4.70
Bingöl	Yedisu	Elmalı	6.34
Erzurum	Çat	Söbeçayır	8.45
Erzurum	Çat	Karabey	9.24

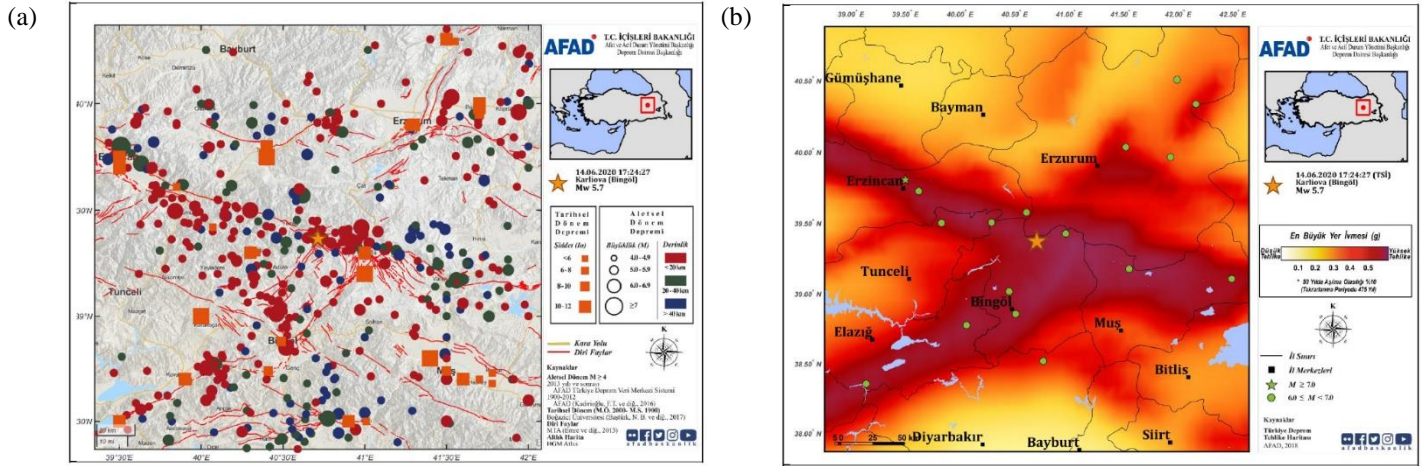
Tablo 2. Merkez üssüne en yakın il merkezleri

İl	Mesafe (km)
Bingöl	56.96
Erzurum	75.73
Muş	96.28
Tunceli	105.90
Bayburt	108.01

14-15 Haziran 2020 depremlerinin anaşok ve artçıları Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) birleşim bölgesinde, KAFZ'nun yaklaşık 77 km uzunluktaki Yedisu Fay Parçasının 15 km doğusunda meydana gelmiştir (AFAD, 2020).

3.1.2. Bölgenin Geçmiş Dönem Deprem Aktivitesi ve Deprem Tehlikesi

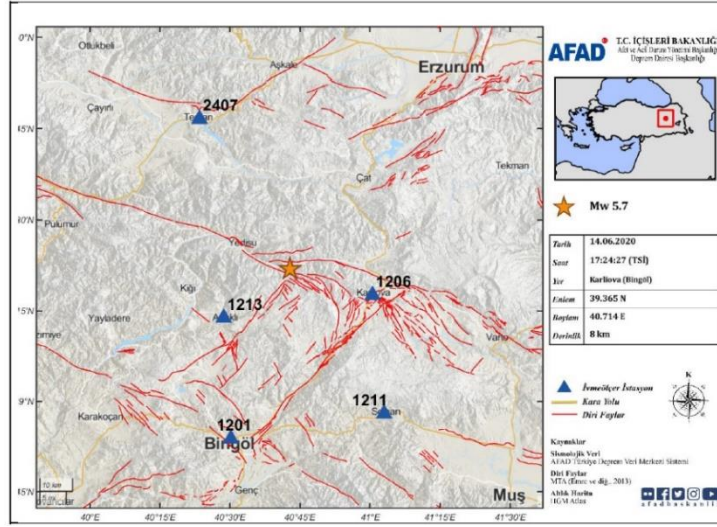
Bölgede son yüzyılda en büyüğü 7.9 olmak üzere M_w 4.0'dan büyük 489 adet deprem meydana gelmiştir (Şekil 1a). Ayrıca bahsi geçen bölgeye ait, 1900 yılı öncesi için, 94 adet depremin yer hareketi kaydı mevcuttur. Yedisu Fay Parçasında 1784 depremi (M_w 7.6) ve 27 km uzunluktaki Elmalı Dere Fay Parçası üzerinde 17 Ağustos 1949 (M_w 6.7) depremi olmuştur. 14-15 Haziran 2020 depremleri; 12 Mart 2005 (M_w 5.6), 14 Mart 2005 (M_w 5.8), 24 Mart 2005 (M_w 5.6) ve 6 Haziran 2005 (M_w 5.6) tarihli depremlerinde batısındaki Yedisu Fay Parçası ile Elmalı Dere Fay parçası arasında meydana gelmiştir (AFAD, 2020). Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre bölgenin tehlikesi Şekil 1b'de gösterilmiştir. Depremin meydana geldiği noktanın Türkiye Deprem Tehlike Haritasındaki PGA 475 yıl değeri 0.691g'dir.



Şekil 1. (a) Bölgenin tarihsel ve aletsel dönem deprem aktivitesi; **(b)** Türkiye Deprem Haritasına göre bölgenin deprem tehlikesi (AFAD, 2020)

3.1.3. Ölçülen İvme Değerleri

Yapılan değerlendirme sonuçlarına göre en büyük ivme, ana şok (M_w 5.7) için 1213 kodlu ivmeölçer istasyonunun Doğu-Batı bileşeninde 59.62 gal, en büyük artçı deprem (M_w 5.6) için ise 1206 kodlu ivmeölçer istasyonunun Doğu-Batı bileşeninde 62.76 gal olarak ölçülmüştür. Depremin merkez üssüne en yakın 5 ivmeölçer istasyonunun ölçtüğü ivme değerleri Şekil 2' de, istasyonlara ait bilgileri ise Tablo 3' de verilmiştir (AFAD, 2020).

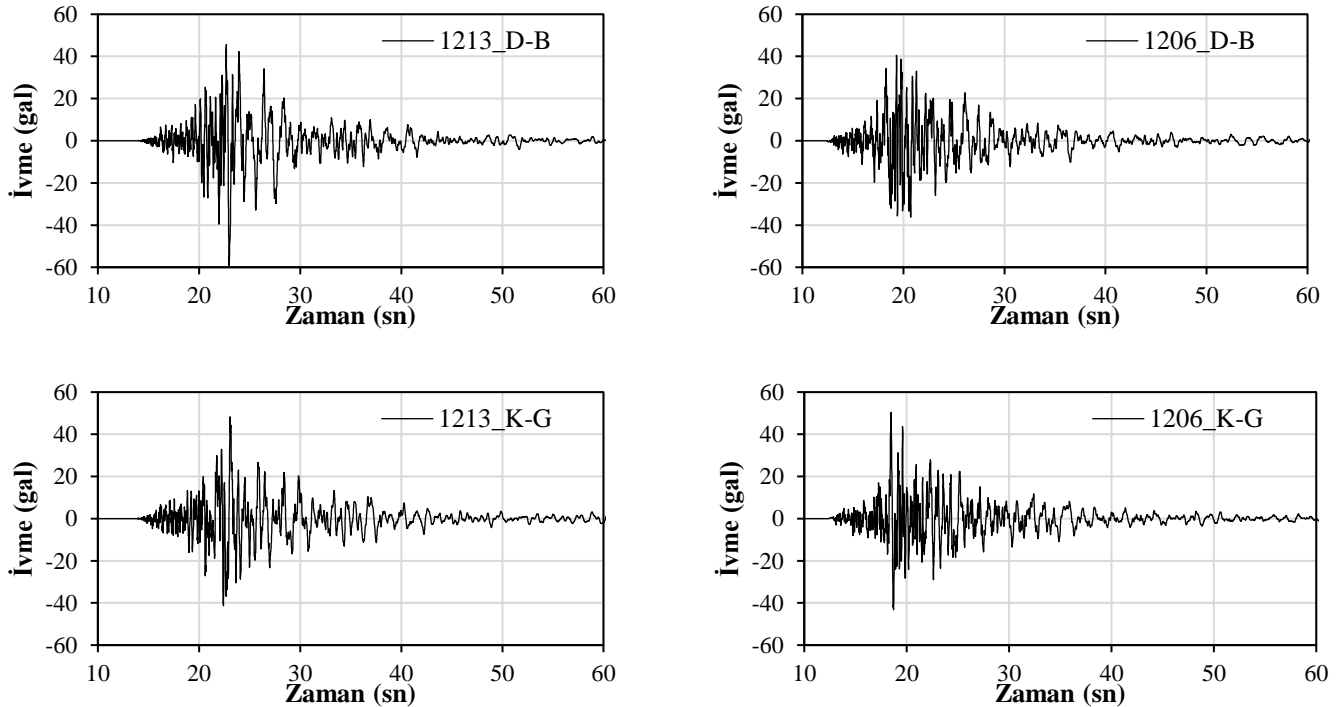


Şekil 2. Depremin merkezine en yakın 5 ivmeölçer istasyonları (AFAD, 2020)

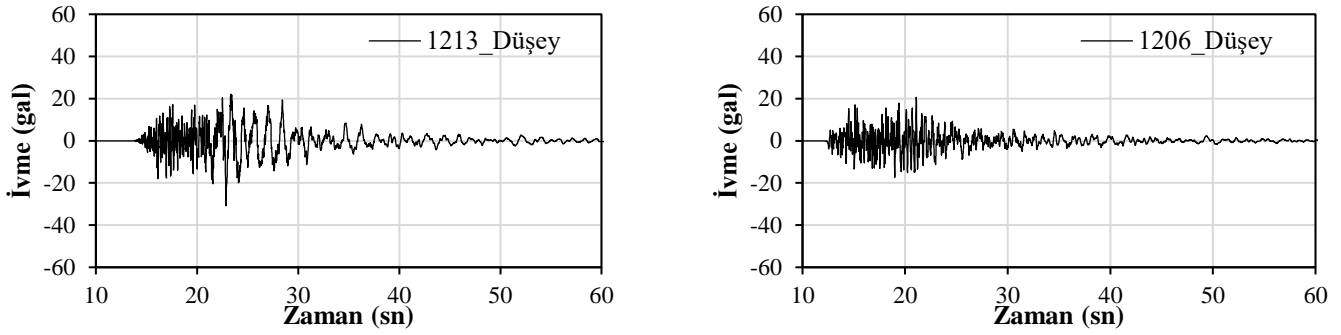
Tablo 3. Bölgedeki ivmeölçer istasyonlar ve ana şok ve en büyük artçı deprem için ölçülen ivme değerleri (AFAD, 2020)

İstasyon Kodu	İvme değerleri (gal)			Repi (km)	İvme değerleri (gal)			Repi (km)		
	K-G	D-B	Düşey		K-G	D-B	Düşey			
1213	M _w 5.7	48.28	59.62	30.86	25.22	M _w 5.6	38.29	37.86	28.10	27.48
1206		50.41	40.54	20.64	26.57		60.27	62.76	33.83	24.27
1211		9.174	15.76	7.741	52.98		13.08	15.26	5.42	51.90
2407		23.07	18.41	16.20	53.49		15.07	18.98	8.01	54.58
1201		7.93	11.50	5.32	55.11		10.21	9.035	4.43	56.29

Şekil 3'de ana şoka ait ivme kayıtlarının bileşenleri verilmektedir. 1213 numaralı istasyondan elde edilen kayıtlara göre en büyük ivme değeri Kuzey-Güney (K-G) bileşeni için 48.28 gal, Doğu-Batı (D-B) bileşeni için 59.62 gal ve Düşey bileşen için ise 30.86 gal'dır. 1206 numaralı istasyondan elde edilen kayıtlara göre en büyük ivme değeri Kuzey-Güney (K-G) bileşeni için 50.41 gal, Doğu-Batı (D-B) bileşeni için 40.54 gal ve Düşey bileşen için ise 20.64 gal'dır.

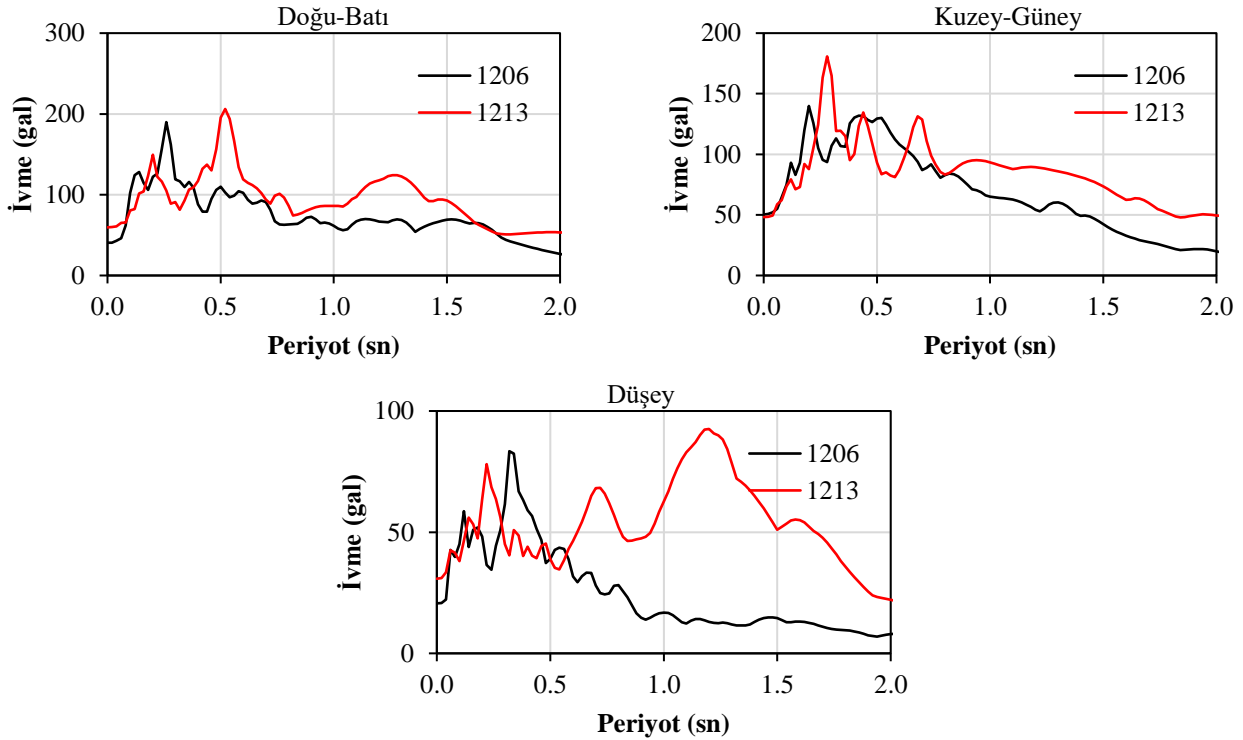


Şekil 3. 14 Haziran 2020 Karlıova-Bingöl depremi bileşenlerinin ivme kayıtları



Şekil 3 (devam). 14 Haziran 2020 Karlıova-Bingöl depremi bileşenlerinin ivme kayıtları

Her bir ivme bileşeninin ivme tepki spektrumlarının %5 sönüm oranlarına göre karşılaştırılması Şekil 4'de gösterilmektedir.

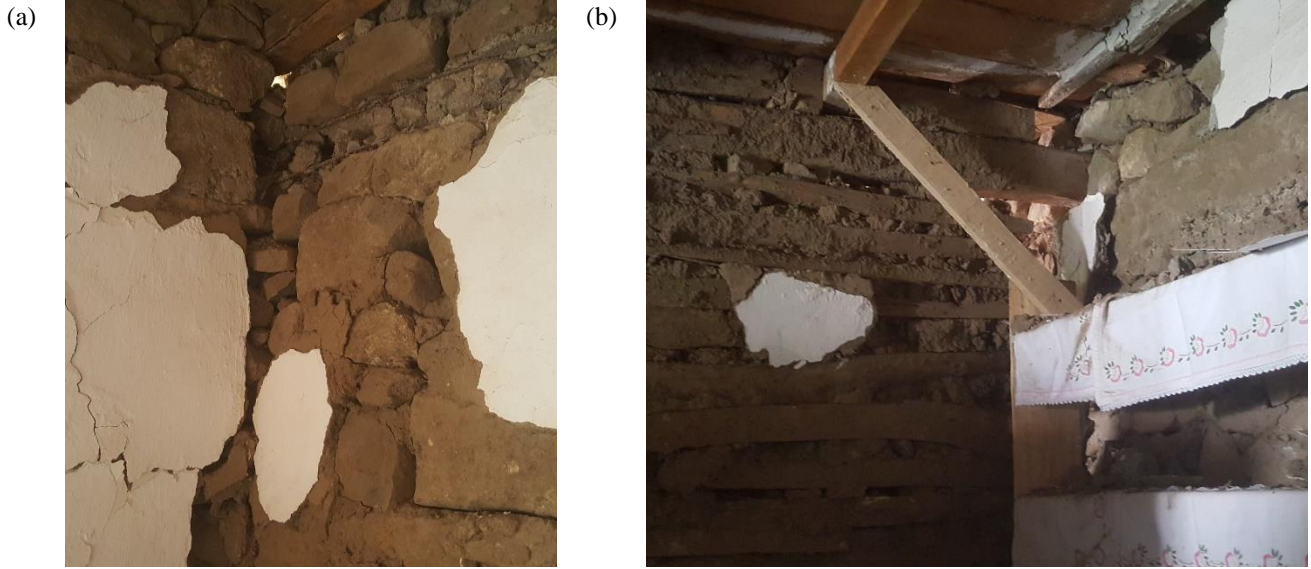


Şekil 4. Yer ivmesi kayıt bileşenlerinin ivme spektrumlarının %5 sönüm oranında gösterimi

3.2. Yapısal Hasarlar

Bölgedeki yığma yapılar genellikle bölgeden temin edilen moloz ve kesme taşlar kullanılarak inşa edilmiştir. Ayrıca bölgede az da olsa tuğla ve kerpiçten yapılan yapılara da rastlanmaktadır. Bölgedeki kerpiç yapıların az olması, yakın geçmişteki depremlerde kırsal yapıların yıkılması ve/veya ciddi hasar görmesi şeklinde açıklanabilir. Kaynarıpınar, Dinarbey ve Elmalı köylerinde bulunan ve genellikle tek katlı olarak inşa edilen geleneksel yığma yapılarda çeşitli seviyelerde hasar meydana gelmiştir.

Şekil 5'de birleşim yerlerinde oluşan hasarlar görülmektedir. Bölgedeki hasarlı yapılar gözlemlendiğinde taşıyıcı duvarların moloz olduğu örneklerde oldukça kısıtlı birleşimin olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5a). Ayrıca ev sahiplerinden alınan bilgilere dayanarak; yapıya sonrada eklenen bölme duvarların inşasında yapının taşıyıcı duvarları ile iyi bir birleşim sağlanamamasından dolayı hasar meydana gelmiştir. Şekil 5b'de sonradan eklenen yığma bölme duvar ile taşıyıcı duvarın birleşim yeri gösterilmektedir. Farklı tipolojideki yığma duvarların birleşim sorunu oldukça belirgindir.



Şekil 5. Birleşim bölgelerindeki ayrışma hasarları

Şekil 6’da kısa duvar etkisi ile meydana gelen hasarlar görülmektedir. Gözlem yapılan farklı köylerin coğrafi koşulları (eğimli arazi) sebebiyle yapıların belirli kısımları (arka) toprak dolguya maruz kalmaktadır. Kot farkından oluşan bu durum duvarların “kısa kolon” gibi çalışmasına sebep olmuştur. Bu duruma iyi bağlanmamış çatı örtüsü de eklenince, Şekil 6’da verilen hasarlar meydana gelmiştir.



Şekil 6. Kot farklı sebebiyle kısa duvar oluşmasına bağlı hasarlar

Şekil 7’de çatı-duvar birleşiminin yetersiz olduğu durumlarda meydana gelen hasarlar görülmektedir. Duvarların çatı birleşim yerlerine yatay hatılların konulmaması veya çatı elemanlarının duvar elemanları ile üstünkörü montajı duvarların birleşim bölgelerinde aşağı ve dışa doğru açılmasına sebep olmuştur.



Şekil 7. Çatı ve Duvarlar arasındaki yetersiz bağlantıdan kaynaklı hasarlar

Şekil 8’de Dinarbey Köyünün kullanılmayan köy okulunda duvarların maruz kaldığı düzlem içi kesme kuvvetlerine bağlı oluşan diyagonal deprem çatlakları oldukça net bir şekilde görülmektedir. Kesme kuvvetleri etkisiyle yığma duvarda, pencere boşluklarının kenarlarında ve çatı örtüsü ile duvarın birleşim bölgelerinde hasar meydana gelmiştir.



Şekil 8. Kayma davranışa bağlı hasar

Deprem bölgesindeki geleneksel yapı stoku moloz taş duvarlı toprak damlı yığma binalardır. Ancak son yıllarda iyileşen ekonomik şartlar ve devlet desteğiyle beraber bu iptidai binalar terkedilip yeni tek katlı betonarme binalar yapıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 9’da tamamen göçen ve yerel mimariyi temsil eden yapı görülmektedir. Arka planda hasar görmeyen yeni yapılar mevcuttur. İncelemelerin gerçekleştiği köylerde ve köylere bağlı mezralarda bu tipteki mimariye ve yapım tekniğine sahip binaların birçoğu ya tamamen yıkılmış ya da ağır hasar almış durumdadır. Bu binalarda yerleşimin olmaması köylerde can kaybı olmamasında önemli bir etkidir.



Şekil 9. Tamamen yıkılmış yığma binalar

Şekil 10’da saha gözlemlerinin yapıldığı köylerde inşaatı devam eden çok katlı betonarme bina verilmektedir. Bu binaların taşıyıcı elemanlarında herhangi bir hasarın olmadığı görülmüştür. Ancak şekilde de görüldüğü üzere betonarme binanın hemen yanında bulunan

yığıma binalar ya tamamen göçmüş ya da ağır hasar almış durumdadır. Kullanılan betonarme binaların bazılarında dolgu duvarlarda tipik diyagonal deprem çatlakları meydana gelmiştir.



Şekil 10. Betonarme binalarda hasarlar

Şekil 11’de bölgede deprem sırasında meydana gelen tek can kaybının olduğu jandarmaya ait gözetleme kulesi verilmektedir. Karakolda tip proje ile yapılan mevcut üç gözlem kulesi aynı mekanizma ile göçmüştür. İlk incelemelere göre kulenin tasarım hatası, kötü işçilik ve zayıf malzeme dayanımı sebebiyle göçtüğü düşünülmektedir.



Şekil 11. Betonarme gözetleme kulesinde meydana gelen hasar

4. Sonuç

14 Haziran 2020'de meydana gelen Bingöl-Karlıova depremi orta büyüklükte bir depremdir. Bu deprem Bingöl ili Karlıova ilçesinin Kaynarıpınar Köyünü, Bingöl ili Yedisu ilçesi Dinarbey ve Elmalı köyünü ve Erzurum İli Çat ilçesi Sobeçayır köyünü etkilemiştir. Orta büyüklükte böyle bir depremin, daha önce çok fazla yıkıcı depremin meydana geldiği bölgede bu denli hasara sebep olması, bölgedeki yığma yapı stokunun deprem performansının istenilen seviyede olmadığı göstermektedir. Kırsal kesimlerde bulunan yığma yapılar, yerel malzemeler kullanılarak inşa edilmiştir. Özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde mevcut kırsal yapı stokunun büyük bölümü ekonomik sebeplerden dolayı yapılar mühendislik hizmeti almadan ve düşük dayanıma sahip malzemelerde inşa edilmiştir. Kerpiç, tuğla, moloz veya yontma taş kullanılarak inşa edilen bu yapılarda bağlayıcı olarak çimento yerine toprak harçlar kullanılmıştır. Bu sebeple binalardaki taşıyıcı duvarların çekme dayanımları oldukça düşüktür.

Yığma duvarların bütünlüğünü sağlanması ve depremin oluşturacağı düzlem içi ve dışı kuvvetlere karşı koyabilmesi için yatay ve dikey hatıllar ile desteklenmesi gerekmektedir. Bölge mimarisinde bu hatıllar ahşap olarak kullanılmaktadır. Ancak ahşap hatılların bulunmadığı veya yetersiz ve düzensiz olduğu bina örnekleri oldukça fazladır. Aynı zamanda hatılların eksikliğinden dolayı binaların pencere ve kapı boşluklarından başlayarak duvarın dolgu kısımlarına ilerleyen kesme çatlakları meydana gelmiştir.

Bölgede hasar görülen geleneksel yığma binalar hali hazırda devam eden kamulaştırma politikaları kapsamında depreme daha dayanıklı betonarme binalara yerini bırakmalıdır. 28 Ocak 2020 Elazığ-Sivrice ve 14 Haziran Bingöl-Karlıova depremlerinden sonra yapılan saha çalışmalarında dikkati çeken en önemli husus deprem merkez üssüne çok yakın bölgelerde dahi düzgün ve modern malzemelerle inşa edilmiş bir-iki katlı yapıların depremi sorunsuz olarak atlattığı olduklarıdır. Depremlerde oluşan hasarı ve can kayıplarını en aza indirmek için kırsal alanlarda inşa edilen yapıların mühendislik hizmeti almasının ve yönetmeliklerin önerdiği şartları sağlayarak tasarlanmasının yegâne yol olduğu bu çalışmada önerilmektedir.

Referanslar

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2020). 14 Haziran 2020 Karlıova (Bingöl) M_w 5.7 Depremine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu. Deprem Dairesi Başkanlığı. Ankara.

Ahmadizadeh, M., Shakib, H. (2004). On the December 26, 2003, southeastern Iran earthquake in Bam region. *Engineering structures*, 26(8), 1055-1070.

Akgül, M , Doğan, O. (2020). 4 Nisan 2019 Elazığ-Sivrice Depreminin Yığma Yapılara Etkisinin Değerlendirilmesi. *International Journal of Engineering Research and Development* , 12 (1) , 265-277. DOI: 10.29137/umagd.621701

Akgül, M., Doğan, O. (2020). Altındağ/Ankara Özelinde Tipik Yığma Binaların Deprem Risklerinin 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi, *Engineering Sciences (NWSAENS)*,15(1), 1-14. DOI: 10.12739/NWSA.2020.15.1.1A0446

Bayraktar, A., Coşkun, N., Yalçın, A. (2007). Performance of masonry stone buildings during the March 25 and 28, 2004 Aşkale (Erzurum) earthquakes in Turkey. *Journal of performance of constructed facilities*, 21(6), 432-440.

Decanini, L., De Sortis, A., Goretti, A., Langenbach, R., Mollaioli, F., Rasulo, A. (2004). Performance of masonry buildings during the 2002 Molise, Italy, earthquake. *Earthquake Spectra*, 20(S1), S191-S220.

Kazaz, İ, Kazaz, E. (2015). İnşaat Kaynaklı Yer Sarsıntısının Tarihi Yapılara Etkisi, 5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Erzurum.

Kocaman, İ., İ. Kazaz, and E. Kazaz. (2020). Seismic load capacity of historical masonry mosques by rigid body kinetics, *International Journal of Architectural Heritage*, 14(6), 849-869, doi:10.1080/15583058.2019.1570389.

Oyguc, R., Oyguc, E. (2017). 2011 Van earthquakes: Lessons from damaged masonry structures, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001057.

Sayın, E., Yön, B., Calayır, Y., Gör, M. (2014). Construction failures of masonry and adobe buildings during the 2011 Van earthquakes in Turkey. *Structural Engineering and Mechanics*, 51(3), 503-518.

Yön, B., Onat, O. (2017). 3 Aralık 2015 Bingöl-Kığı depreminin Tunceli ilindeki yığma yapılara etkisinin değerlendirilmesi, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9 (1), 375-385.



Müşteri Memnuniyetinin Süreç Odaklı Değerlendirilmesi: Bir Çağrı Merkezinde Süreç Madenciliği Uygulaması

Process-Oriented Evaluation of Customer Satisfaction: Process Mining Application in a Call Center

Onur Doğan^{1,2} , Başak Ayyar³ , Gültekin Çağlı³ 

¹ İzmir Bakırçay Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 35665, İzmir, TÜRKİYE

² Veri Analitiği ve Mekansal Veri Modelleme Uygulama ve Araştırma Merkezi (VAM), 35665, İzmir, TÜRKİYE

³ Sakarya Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 54050, Sakarya, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 17/07/2020

Kabul / Accepted: 04/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2020

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2020

Öz

Firmaların varlıklarını sürdürebilmeleri için müşteri odaklı bir yaklaşım sergilemeleri büyük avantaj sağlamaktadır. Müşteriler artık kendisine sunulanı değil, beklentilerini karşılayan ürün veya hizmeti satın almaktadır. Bu sebepten dolayı firmalar müşterileri dinlemek, onların ihtiyaç ve beklentilerini karşılamak amacıyla çeşitli stratejiler izlemektedirler. Bu stratejik birimlerden birisi de firma ile müşteri arasında iletişimi sağlayan çağrı merkezleridir. Firmalar çağrı merkezleri ile müşterilerin sorunlarını çözerek memnuniyet düzeyini arttırmaya çalışırlar. Bununla birlikte, müşteri memnuniyetinin yönetilebilir, ölçülebilir ve karşılaştırılabilir olması için memnuniyet anketi uygulamaktadırlar. Bu çalışmanın amacı, müşteri memnuniyet anketlerinin de göz önüne alındığı süreç madenciliği yardımıyla müşteri memnuniyetinin değerlendirilmesidir. Firmanın IT sisteminde tutulan çağrı merkezi bölümüne ait 11 günlük (18 – 28 Mart 2019) tarihleri arasındaki 42185 olay günlüğü (event log) süreç madenciliği için kullanılmıştır. Öncelikle memnuniyet anketine katılan ve katılmayan müşterilerin sistem içindeki akışı çıkarılmıştır. Ardından ankete katılan müşteriler arasında 5 (çok memnunum) puan verenlerin ve diğer müşterilerin süreçleri incelenmiştir. Çalışmada ulaşılan sonuçlardan biri, çağrı sırasında bekletilen müşterilerin daha yüksek puan vermesidir. Bu sonuç müşterilerin bekletilmekten ziyade ihtiyacının karşılanmasına daha çok önem verdiğini göstermektedir. Bu açıdan çalışma, firmanın süreç odaklı yönetimine, süreç iyileştirme çalışmalarına, strateji çalışmalarına yol gösterebilecek özelliktedir.

Anahtar Kelimeler

“Süreç Madenciliği, Müşteri İlişkileri, Çağrı Merkezi, Şikayet Yönetimi, Hizmet Sektörü”

Abstract

It is a great advantage for companies to adopt a customer-oriented approach to survive. Customers purchase products or services that meet their expectations, they no longer purchase what is offered to them. Because of that, companies follow various strategies to listen to customers and meet their needs and expectations. One of these strategies is the call centers that provide communication between the company and the customer. Companies aim to increase the level of satisfaction by solving the problems of customers through call centers. Therefore, they conduct a satisfaction survey to ensure that customer satisfaction is manageable, measurable, and comparable. The study aims to evaluate customer satisfaction with the help of process mining, which also takes into account customer satisfaction surveys. The 42185 event logs of the 11-day (18 - 28 March 2019) of the call center department held in the company's IT system were used for process mining. First of all, the flow of the customers participating in the satisfaction survey and not participating in the system was discovered. Then, two flows was analyzed for the customers who scored 5 (very satisfied) among the surveyed customers and other customers. One of the results of the study is that the customers who are held during the call give higher scores. This result shows that customers are more concerned with meeting their needs than waiting. Therefore the information obtained as a result of the study is capable of guiding the company's process-oriented management, process improvement studies, and strategy studies.

Key Words

“Process Mining, Customer Relations, Call Center, Complaint Management, Service Sector”

1. Giriş

Günümüzde; ürün veya hizmet kalitesindeki çeşitliliğinin artış göstermesi, aynı özelliklere sahip ürün veya hizmetin ucuzlaması, sektördeki rekabetin kuvvetlenmesi yeni müşteriler kazanmayı ve var olan müşterilerin bağlılıklarını arttırmayı zorunlu kılmıştır. Firmaların, müşteri kazanmak için onları anlayarak ihtiyaçlarını doğru şekilde ve zamanında sunması gerekmektedir (Yavuz ve Leloglu, 2011). Araştırmalar, yeni kazanılan müşteriye ürün veya hizmet satışının; eski müşteriye ürün veya hizmet satmaktan beş katı daha maliyetli olduğunu ortaya çıkarmıştır (Kazan vd., 2012). Diğer taraftan müşteriler artık ihtiyaç ve isteklerine tam zamanında, hızlı ve çözüm odaklı yanıt almak istemektedirler. Bu nedenle işletmeler müşterilerini anlamak, onlara değer katan faaliyetlerde bulunmak ve onların firmayla olan bağlarını güçlendirmek için çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalardan biri çağrı merkezlerindeki şikayet yönetimidir.

İşletmeler ile müşteriler arasındaki iletişim köprüsü olan çağrı merkezleri, günün her saat diliminde, müşterinin seçtiği kanal aracılığıyla yetkili personel tarafından hizmet sunan birimlerdir (Sarıyer, 2007). Müşterilerin dilek, şikayet ve isteklerini telefon, e-posta gibi çeşitli yollarla firmaya bildirdikleri yer çağrı merkezleridir. Bu durum çağrı merkezleri ile müşteri ilişkileri yönetimi arasında birbirini etkileyen ve besleyen bir ilişkinin oluşmasına neden olmaktadır. Ayrıca müşteriden elde ettikleri geri bildirimlerle hizmetin veya ürünün daha kullanılabilir hale gelmesini sağlayarak, müşteri bağlılığının oluşumuna katkı da bulunurlar (Yavuz ve Leloglu, 2011). Çağrı merkezlerinde kullanılan teknolojinin gelişimine bağlı olarak, müşteri hizmetleri birimlerindeki personele; sürekli karmaşıklaşan ve insan müdahalesine ihtiyaç duyulan işlemler ulaşmaktadır. Bu sebeple son yıllarda, müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve onlara kaliteli hizmet sunabilmek için müşteri hizmetleri departmanlarındaki personel sayısının arttığı görülmektedir (Gümü, 2002).

Çağrı merkezinin performansı; müşteri hizmetlerindeki personellerin performansına ve çağrıyı yürütmenin kurallarına bağlıdır (Paprzycki vd., 2004). Çağrı merkezi personellerinin performansını değerlendirmek ve sistemi iyileştirmek için kriterlerden biri ACW (After Call Work) değeridir. ACW, personelin gelen bir çağrıyı sonlandırdıktan sonra diğer çağrıyı kabul etmesine kadar geçen süreyi ifade etmektedir. ACW süresinde personel tarafından müşterinin söz konusu problemi çözülmeye çalışılmaktadır. Sonuç olarak ACW süresi hizmet kalitesi konusunda şirkete bilgi vermektedir. Uygulanmayabilen firmada kabul edilen ACW değeri 9 saniyedir. Çağrı merkezi personeli ACW süresini beklemeden müşteri kabul ederse, bu durum sisteme “Çekildi” ifadesiyle yansımaktadır. Çağrı merkezi performans yönetiminde, çağrı merkezi müşteri memnuniyet oranı, çağrı merkezi ortalama işlem süresi, çağrı merkezi ortalama bekleme süresi, çağrı merkezi kaçan çağrı oranı, çağrı merkezi cevaplama oranı gibi performans kriterleri kullanılmaktadır.

Müşterilerin sunulan hizmetten memnun kalması, deneyim sırasındaki algısının, değerlendirmesinin ve psikolojik tepkisinin toplamıdır. Firmalardaki çalışanların davranışları, kişisel durumları ele alabilme yetenekleri müşteri memnuniyeti üzerinde kuvvetli bir etkiye sahip olmaktadır (Taşkın ve Taşkın, 2018). Müşteriler firmanın hizmet kalitesini, personelle olan etkileşimlerini değerlendirerek yapmaktadır. İnsanların psikolojik durumlarının ve algı düzeylerinin firma tarafından ölçülebilir hale getirilmesi oldukça zor bir durumdur. Müşteri, beklentisinden daha üstün bir hizmetle karşılaştığında çözüm bulunamasa bile memnun olmaktadır. Ancak müşterinin personel ile iletişimi olumsuz kurulmuş ise, bu müşteride memnuniyetsizliğe sebep olmaktadır. Bu durumda firma, müşteri memnuniyetini gerçekçi ve güvenilir düzeyde değerlendirememektedir.

Bu çalışma, müşteri memnuniyetinin çağrı sırasında gerçekleşen işlemlerle olan ilgisini ortaya koymaktadır. Bunun için çağrı aktiviteleri olay günlüklerini (event log) kullanarak süreç madenciliği uygulanmış ve sistem içindeki akış ortaya çıkarılmıştır. Öncelikle ankete katılan ve katılmayan müşterilerin süreç akışlarında farklılık olup olmadığı incelenmiştir. Ardından ankete katılan müşterilerin memnuniyet düzeyini gösteren puanlar dikkate alınarak yeni bir akış çıkarılmıştır. Çalışma iki temel araştırma sorusuna cevap aramaktadır.

- Çağrı sonunda ankete katılan ve katılmayan müşterilerin akışları arasında bir fark var mı?
- Çağrı sırasında izlenen akış ve harcanan süre, ankete katılan müşterilerin 5 puan (tam puan) vermesini nasıl etkilemektedir?

Çalışmanın bundan sonraki kısımları şöyledir: Bölüm 2’de, çağrı merkezleri ve süreç madenciliği konusunda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bölüm 3’te, süreç madenciliği yöntemi açıklanmıştır. Dördüncü bölüm uygulama bölümüdür. Çalışmada kullanılan veri seti tanıtılıp, verilerin temizlenme süreci anlatılmış ve süreç madenciliği sonuçları verilmiştir. Son bölüm, sonuçlar ve süreç iyileştirilme önerilerini içermektedir.

2. Literatür Araştırması

Standardizasyonu zor, stoksuz ve fiziksel olmayan hizmet sektörünün birçok özelliği analiz işlemlerini zorlaştırmaktadır (Jasmand vd., 2012). Çok boyutlu bir kavram olan hizmet kalitesi doğrudan müşteri memnuniyetini etkilediğinden, şirketler hizmetlerinin kalitesini arttırmalıdır (Davras ve Caber, 2019). Müşteri memnuniyetinin temeli, müşterilerin işletmeden ne beklediklerini anlamaktır. Müşteri ihtiyaçlarının doğru analiziyle şirketler, uygun hizmet seviyesini sağlayarak müşteri memnuniyetini artırır. Birçok faktörden etkilenebilecek karmaşık bir alan olan müşteri memnuniyeti için önemli hizmetler sunmaktadırlar (Chicu vd., 2019). Çağrı merkezlerinde müşteri memnuniyetine odaklanan birçok yöntem var.

Feinberg vd. (2002) çağrı merkezindeki müşteri memnuniyetinin operasyonel etkenleri üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucunda, müşteri memnuniyeti ve kritik değişkenler arasındaki ilişkiyi deneysel olarak değerlendirmişlerdir. Belirlenen kritik değişkenlerden yalnızca ilk temasta kapatılan görüşmelerin yüzdesi ve ortalama aramayı terk etme oranı değişkenlerinin, arayan memnuniyeti üzerinde belirleyici sebepler olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca çalışmaya katılım gösteren kurumların %74'ü, çağrı merkezi müşteri memnuniyet çalışmasını en az yıllık periyotlarda yürüttüklerini belirtmişlerdir (anketlerin %51'i mail, %44'ü telefon). Jaiswal (2008), çağrı merkezlerinde hizmet kalitesini ölçmek amacıyla kullanılan araçlar ile müşteri memnuniyetini araştırmıştır. Birgün vd. (2011) yaptıkları çalışmada; bir telekomünikasyon firmasının çağrı merkezi sürecini inceleyerek; müşteri memnuniyetini arttırmaya çalışmışlardır. Bu amaç doğrultusunda müşteri dikkate alınarak firmadaki problemler tespit edilmiştir. Ardından problemlerin çözümüne yönelik uygulamalar belirlenerek firmanın izleyeceği yol haritası oluşturulmuştur. Rendón vd. (2017) önerdikleri model ile çağrı merkezlerinde sorulara, şikayetlere ve isteklere zamanında yanıt verilmesi ve etkin hizmet sunumu faktörlerinin müşteri memnuniyetini çok etkilediğini belirlemişlerdir. Taşkın ve Taşkın (2018), müşteri beklentileri boyutlarının; çağrı merkezlerindeki müşteri memnuniyetine etkilerini araştırmışlardır. Çalışma bitiminde güvence, yetki ve uyarılma boyutlarının, müşteri beklentilerini istatistiksel açıdan anlamlı ve olumlu etkilediği sonucuna varılmıştır. Keskin vd. (2018) müşteri memnuniyetini sağlamak amacıyla söz konusu çağrı merkezinde gerçekleşen en uzun süreye sahip işlemi belirlemişlerdir. Bu işlemi, müşterilerin sesli yanıtlama sistemini kullanarak kendilerinin gerçekleştirmeleri önerilmiştir. Çalışmadaki öneri çağrı merkezinde uygulandığında, müşterilerin kuyrukta bekleme sürelerinde ortalama 6.48 saniyelik bir azalma meydana gelmiştir.

Paprzycki vd. (2004) veri madenciliği tekniklerinden yararlanarak; bir çağrı merkezindeki müşteri hizmeti memnuniyetinin kalite puanı ile iş ihtiyacı memnuniyetini tahmin edebilmek amacıyla, modeller oluşturmuşlardır. Çalışmalarındaki analizler sonucunda tarihin, temsilcilerin ve ürünlerin performans kalitesini etkileyen unsurlar olduğunu tespit etmişlerdir. Bu araştırma çağrı merkezi yönetim ekibine, çağrılara harcanan süreyi dengelemek yerine daha düşük kalitedeki ürünlere ve bireylere koçluk yapmalarını ve eğitimlere odaklanmalarını önererek performansı iyileştirebileceklerini önermektedir.

Süreç madenciliği, veri tabanlı analiz için kullanılabilir güncel bir tekniktir. Süreç madenciliği teknikleri, yürütülen ve saklanan olay günlükleri konusundaki temel prensibi nedeniyle gerçek süreçlerle ilgili gerçek iç görüler sağlayarak anlamlı çözümler üretebilir. Pek çok çalışmada, müşteri davranışlarını anlama (Dogan vd., 2019a; Dogan vd., 2019c; Fernández-Llatas vd., 2013), süreç odaklı sağlık problemlerini araştırma (Partington vd., 2015; Rovani vd., 2015; Dogan, 2015), insanlar arasındaki etkileşimi ortaya çıkarma (Van der Aalst ve Song, 2004) gibi çeşitli amaçlar için hizmet sektöründeki süreç madenciliği uygulamalarına odaklanıldı. Hizmet endüstrileri çoğunlukla insan merkezli olduğu için, iş süreçleri personel davranışlarından etkilenir (De Weerd vd., 2013). Wongvigran ve Premchaiswadi (2015) yaptıkları çalışma da çağrı merkezi operasyon verilerine, rol hiyerarşi madenciliği uygulayarak, müşterilerin en çok şikayet ettiği konulara ulaşmışlardır. Lamine vd. (2015) acil çağrı hizmeti süreçlerine, süreç madenciliği ve ayrık olay simülasyon tekniklerini uygulayarak; sürecin anahtar performans göstergelerinde iyileştirmeler yapmışlardır. Panpanich vd. (2015) çalışmalarında; çağrı merkezi verilerine sosyal ağ süreç madenciliği tekniklerini uygulayarak, çağrı merkezi bölümüyle bağlantı kuran müşterilerin davranışlarını keşfetmişlerdir. Bununla beraber, süreçteki dar boğazları ve mümkün personel hatalarının tespitini de yapmışlardır.

Bazı çalışmalar veri madenciliği tekniklerini kullanarak süreçte geçirilen müşteri deneyimini ihmal ederken, bazı çalışmalar basit anketlerle müşterinin memnuniyet seviyesini ölçmüş ancak memnuniyet seviyesine neyin sebep olduğunu ihmal etmişlerdir. Bu açıdan bakıldığında bu çalışma, süreç madenciliğinin müşteri memnuniyeti konusunda süreç odaklı bir analiz yöntemi olarak kullanılması yönüyle literatüre katkı sağlamaktadır.

3. Süreç Madenciliği

Süreç madenciliği geleneksel süreç yönetimi ile veri merkezli analiz teknikleri arasındaki bağlantıyı kurarak olay günlükleriyle kurgulanan süreçlerden ziyade gerçek süreçlerdeki problemleri saptamayı amaçlayan bir yöntemdir (Dogan vd., 2019a). Süreç madenciliğinin temel hedefi, gerçekte yaşanan süreçlerin keşfedilmesi, izlenilmesi ve o süreçlerde iyileştirmelerin yapılmasıdır. Her olay günlüğü, süreç içindeki faaliyetlerle ilgili zaman, kişi, maliyet gibi bilgileri içermektedir. İşletmeler olay günlüklerini ERP (Kurumsal Kaynak Planlama), CRM (Müşteri İlişkileri Yönetimi), SCM (Tedarik Zinciri Yönetimi) gibi IT (Bilişim Teknolojileri) sistemlerinden kolaylıkla temin edebilmektedir (Dogan vd., 2019a). Örnek bir olay günlüğü Tablo 1'de gösterilmiştir. Olay günlüğünde olması gereken üç temel özellik vardır: Olay No (Case ID), Zaman Bilgisi (Timestamp), Faaliyet (Activity). Kayıtlara, analizi yapılmak istenen ek bilgilerde eklenebilir. Ek bilgi olarak; süreci yürüten kaynak, olayların zaman gösterimi gibi örnekler verilebilir (Van der Aalst, vd., 2011). Dahili No çağrıyı cevaplayan personeli temsil ettiği için, ek özellik olarak bu araştırmaya dahil edilmiştir.

Tablo 1. Örnek olay günlüğü

Örnek ID	Olay ID	Özellikler				...
		Zaman	Faaliyet	Kaynak	Maliyet (TL)	
1	423512	05-10-2017:11.02	Şikayetin gelmesi	Dogan	150	...
	423513	06-10-2017:10.06	Ön değerlendirme	Deniz	200	...
	424214	11-10-2017:15.12	İlgili birime aktarma	Defne	50	...
	426515	12-10-2017:11.18	Şikayeti değerlendirme	Onur	200	...
	426516	12-10-2017:14.24	Müşteriye cevap verme	Dogan	150	...
	426521	05-10-2017:11.32	Şikayetin gelmesi	Defne	50	...
	426522	05-10-2017:12.12	İlgili birime aktarma	Defne	50	...
2	426524	05-10-2017:14.16	Şikayeti değerlendirme	Onur	200	...
	426525	15-10-2017:11.22	Şikayeti kapatma	Onur	200	...
	426527	19-10-2017:12.05	Ödeme yapma	Onur	200	...

Süreç madenciliğinin üç temel çeşidi vardır: süreç keşfi (process discovery), uyumluluk kontrolü (conformance checking) ve geliştirme (enhancement) (Van der Aalst, 2006). Süreç madenciliğinin birinci alanı keşif yapmaktır. Keşfi yapılması planlanan sürecin olay kayıtlarına dış müdahale yapılmaksızın, süreç modeli oluşturulur. İkinci alan ise uygunluk kontrolünün yapılmasıdır. Uygunluk kontrolünde, keşfedilen süreç modeli ile olması istenen süreç modeli karşılaştırılarak sapmalar tespit edilir. Süreç madenciliğinin üçüncü alanı iyileştirme çalışmalarıdır. Bu kısımdaki ana hedef, var olan süreç modelinin olay kayıtlarla elde edilen bilgiler ışığında sürecin geliştirilmesidir (Van der Aalst, 2011; Van der Aalst, vd., 2011). Süreç madenciliği algoritmaları, farklı stratejiler ile en uygun model bulmak için kullanılabilir (Alves, 2006; Dogan vd., 2019). Süreç keşfetme teknikleri ise algoritmaya dayalı teknikler, genetik süreç madenciliği ve bölge tabanlı süreç madenciliği şeklinde sayılabilir (Van der Aalst, 2006).

4. Uygulama

Bu çalışmada enerji sektöründeki bir firmanın müşteri ilişkileri süreci incelenmiştir. Veriler firmanın Abone Bilgi Yönetim Sisteminden (ABYS) çekilmiştir. Çalışmada 18.03.2019 – 28.03.2019 arasındaki 42185 çağrı aktivitesini içeren olay günlüğü kullanılarak süreç madenciliği uygulanmıştır. Uygulanan yöntemin adımları Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu çalışma 3 ana aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşama, firmanın ABYS veri setinin çekilmesini ve veri ön hazırlığını içermektedir. İkinci aşama, süreç madenciliğinin uygulanması aşamasıdır. Son aşama ise, müşteri memnuniyet anketine katılan ve katılmayan müşterilerin sistem içindeki süreç haritalarının görselleştirilmesidir.

4.1. Veri Ön Hazırlığı

Sistemden çekilen veriler, süreç madenciliğine uygun yapıda olmadığı için veri düzenleme işlemi yapılmıştır. Firmadan elde edilen veriler içerisinde, araştırma için varlığı herhangi bir fayda teşkil etmeyen bilgiler çıkarılmıştır. Aktivitelerin bitiş zamanından faydalanılarak verilerin başlangıç zamanları revize edilmiştir. Birçok IT sisteminde faaliyetlerle ilgili tek zaman (sadece başlangıç veya bitiş zamanı) bilgisi bulunmaktadır. Bu çalışmada bitiş zamanı, başlangıç zamanına çağrı hareket süresinin (ÇHS) eklenmesiyle elde edilmiştir. Başka bir hazırlık işleminde, aynı Arama No’ya sahip olaylardan ilkinden başlangıç zamanını, sonuncusundan da bitiş zamanını dikkate alarak tekrarlanan veriler çıkarılmıştır. Başlangıç ve Bitiş sütunları çağrı aktivitesinin başlama ve bitme zamanını ifade etmektedir. Faaliyet sütunu çağrı aktivitesi sırasında yapılan işlemleri anlatmaktadır. Dahili No sütunu çağrıya cevap veren personelin dahili telefon numarasını göstermektedir. Dahili No sütunu aynı zamanda personeli temsil etmektedir. MMP (müşteri memnuniyet puanı) sıfır olması, çağrı merkezine bağlanan müşterinin memnuniyet anketine katılmadığını göstermektedir. Müşteri memnuniyet anketi 1 – 5 aralığında cevaplanmaktadır.

Araştırma tarihi aralığında 333 müşteri çağrı merkezini kullanarak firma ile iletişime geçmiş ve ankete katılmıştır. Memnuniyet anketi kayıtları farklı bir sistemde saklanmaktadır. Müşteri aramalarını memnuniyet anketleriyle ilişkilendirmek için Arama No bilgisi kullanılmıştır. Ancak memnuniyet anketinde çağrı detayları yoktur. Sadece anket ile ilgili sonuçlar saklanmaktadır. Çağrının bitiş süresi ve anketin başlama süresi arasında bir ilişki kurularak iki veri tabanı Şekil 2’de gösterildiği gibi birleştirilmiştir.

4.2. Süreç Madenciliği

Bu aşamada müşteriler memnuniyet anketine katılanlar ve katılmayanlar şeklinde iki gruba ayrılmıştır. Buradaki amaç, müşterilerin ankete katılma durumuna göre süreç içindeki faaliyetlerinin açıklanmasıdır. Süreç akışlarında okların kalınlığı ve renklerin koyuluğu faaliyetlerin gerçekleşme sayıları arttıkça koyulaşmakta ve kalınlaşmaktadır. Şekil 3’te ankete katılmayan 7233 müşterinin sürece “Telefon Çaldı” faaliyetiyle başladığı; 5 müşterinin de “Operatör Cevaplamadı” şeklinde sürece başladığı görülmektedir. Personelin çağrıyı görmemesi veya cevapla tuşuna basmaması durumlarda, çağrı personel tarafından cevaplanamayabilir. Böyle durumlarda

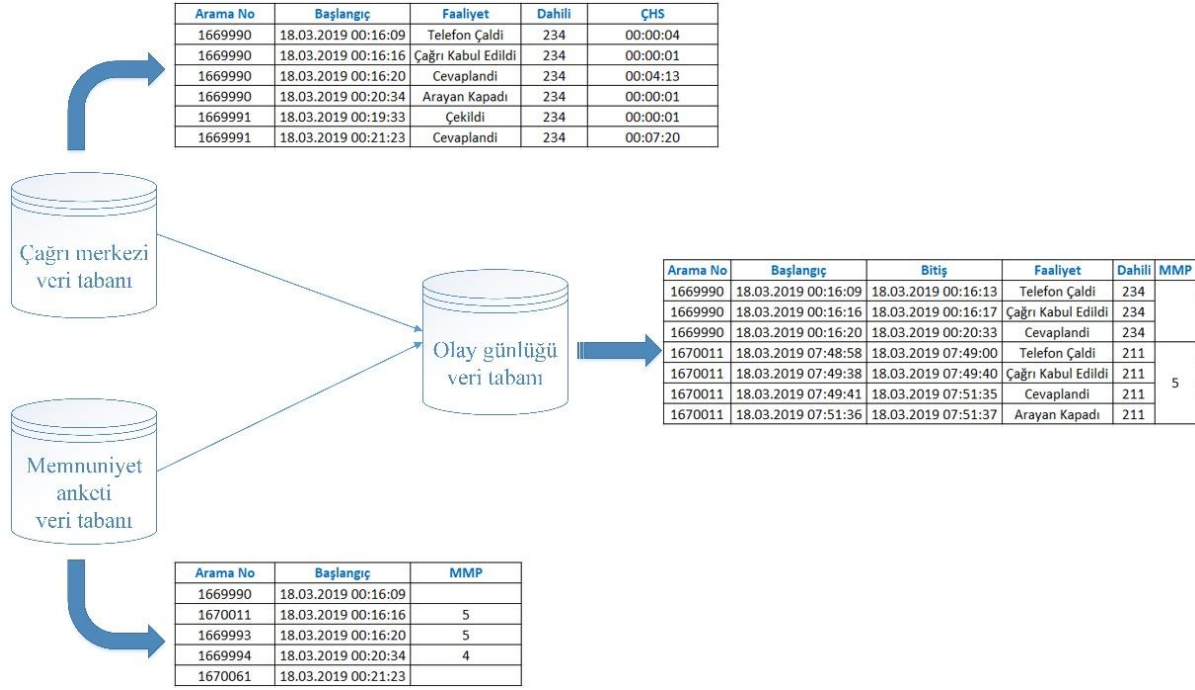
personel ilk fırsatta müşteriyi geri aramaktadır. “Operatör Cevaplamadı” olarak adlandırılan bu olayın gerçekleşmesi, personelin kullandığı bilgisayarın donanmasından ya da sistemsel bir problemten de meydana gelmektedir.



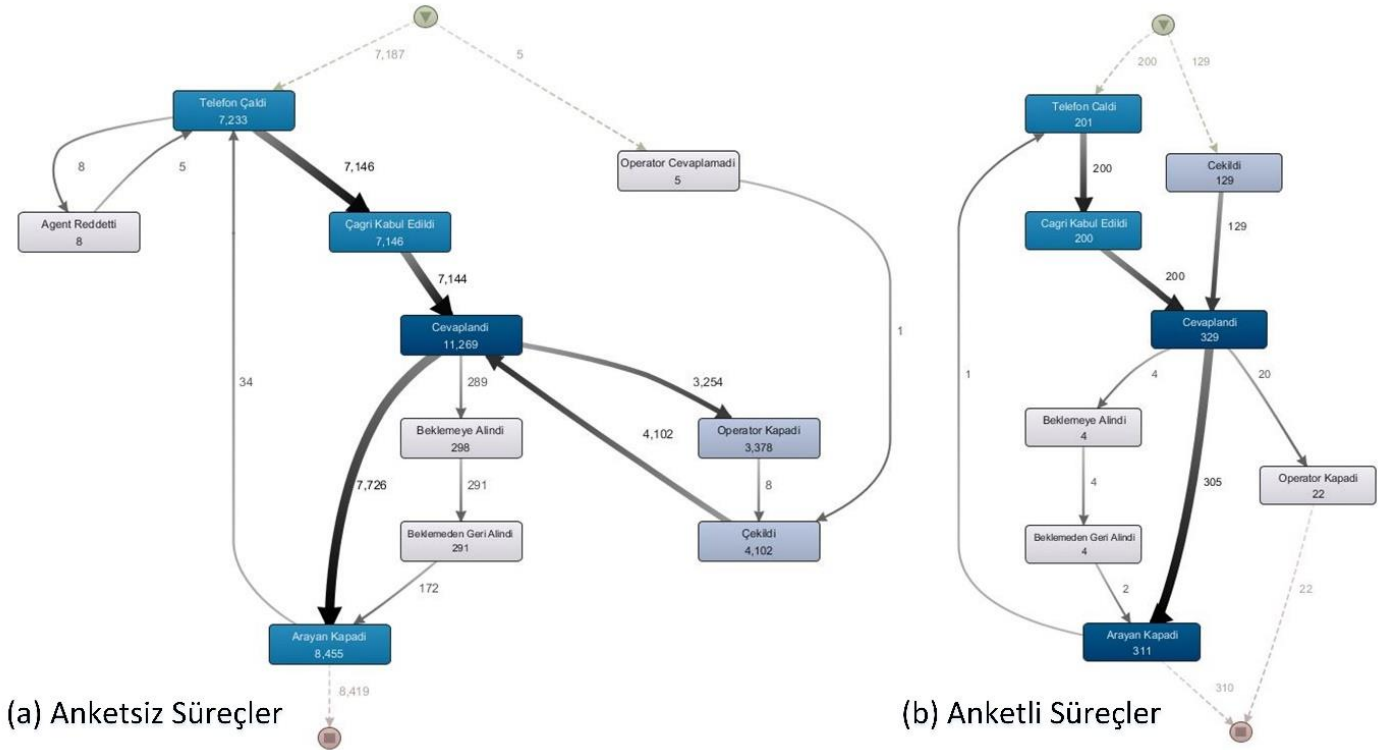
Şekil 1. Çalışma metodolojisinin aşamaları

Ankete katılım göstermeyen (Şekil 3a) müşterilerin baskın süreci şu şekildedir: “Telefon Çaldı, Çağrı Kabul Edildi, Cevaplandı, Arayan Kapadı”. Model incelendiğinde, 7233 müşterinin arama yapmasının ardından 8 müşterinin çeşitli sebeplerden personel tarafından reddedildiği ve reddedilen bu 8 müşteriden 5’inin yeniden aradığı görülmektedir. Hatalı işlem olarak değerlendirilen “Agent reddetti” faaliyetinden sonra üç müşteri tekrar arama işlemini gerçekleştirmemiştir.

Bir diğer dikkat edilmesi gereken akış: “Telefon Çaldı, Çağrı Kabul Edildi, Cevaplandı, Operatör Kapadı, Çekildi, Cevaplandı, Beklemeye Alındı, Beklemeden Geri Alındı, Arayan Kapadı”. Şekil 3a’da 11269 “Cevaplandı” faaliyetinden sonra 3378 adet “Operatör Kapadı” faaliyeti ile devam ettiği görülmektedir. Firmanın çağrı merkezleri konusunda personelleri için belirlediği bazı senaryolar mevcuttur. “Operatör Kapadı” faaliyeti de, “Çağrı bitmeden önce personel müşteriye yardımcı olabileceği konu olup olmadığını sorar ve eğer yok yanıtı alırsa personel çağrıyı kapatabilir” senaryosuna dayanmaktadır. “Çekildi” faaliyeti, çağrı merkezi personelinin 9 saniye ACW süresi beklemeden çağrının cevaplayarak müşteriyi kabul etmesini ifade etmektedir. Akışta yer alan bir diğer kritik faaliyet “Beklemeye Alındı” faaliyetidir. Gelen çağrılarda, personel müşterinin ihtiyacını karşılayacak bilgiye sahip değilse, konu ile alakalı yetkili bir kişiye danışır. Bu durumda çağrı beklemeye alınır ve bir müddet sonra çağrıya geri dönüş yapar. Bu durumda sisteme “Beklemeden Geri Alındı” şeklinde yansımaktadır. 8455 “Arayan Kapadı” faaliyetininin 34 tanesi “Telefon Çaldı” faaliyetine geri dönüş sürecine devam etmektedir.



Şekil 2. Farklı sistemlerdeki verilerin süreç madenciliği için birleştirilmesi

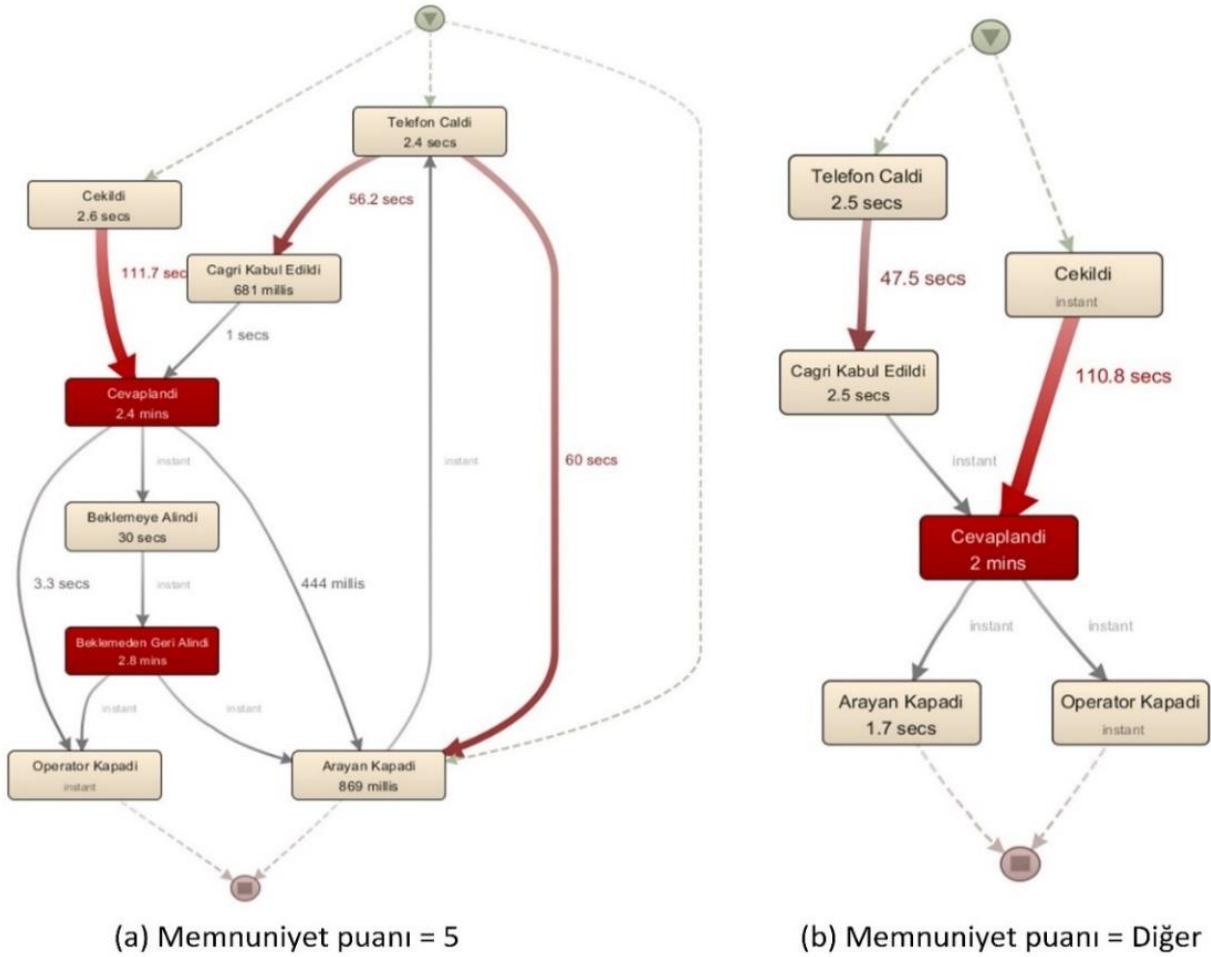


Şekil 3. Ankete katılan ve katılmayan müşterilerin keşfedilmiş süreç akışı

Şekil 3b, ankete katılan müşterilerin akışını göstermektedir. Şekil 3a'da olduğu gibi "Telefon Çaldı, Çağrı Kabul Edildi, Cevaplandı, Arayan Kapadı" süreci en çok tekrar eden akıştır. Ancak 201 örnek olay (case) "Telefon Çaldı" faaliyetiyle başlarken, 129 tanesi "Çekildi" faaliyetiyle başlamıştır. "Çekildi" faaliyeti müşterilerin ankete katılımını pozitif yönde etkilemektedir. Ankete katılmayı etkileyen başka bir faaliyet de, çağrının reddedilme durumudur. Ayrıca anketi cevaplayan müşterilerin sürecinde, "Operatör cevaplamadı" faaliyeti hiç gerçekleşmiştir.

Şekil 4 ankete katılan müşterilerin süreç modellerini göstermektedir. Şekil 4a sunulan hizmete 5 puan veren, Şekil 4b diğer puanları veren müşterilerin akışını göstermektedir. Faaliyetler arasındaki süreler (telefonun çalması ve çağrının kabul edilmesi arasındaki süre

gibi) veya faaliyetlerin gerçekleşme süreleri (çekildi veya çağrı kabul edildi faaliyetlerinin süreleri gibi) çok küçük olduğundan göz ardı edilmiştir. Bu nedenle bazı durumlarda faaliyetlerin (dikdörtgenlerin) koyu renkliliği veya okların kalınlığı anlamlı bir sonuç vermemektedir.



Şekil 4. Müşterilerin ortalama süre odaklı süreç akışı

Ortalama çağrı süreleri Şekil 4a için 3.8 dakika, Şekil 4b için 3.2 dakikadır. “Cevaplandı” faaliyeti, iki süreç modeli için de en büyük ortalamaya sahip işlemdir. Sadece 5 puan veren müşterilerin sistem içinde beklemeye alındığı ve ortalama 2.8 dakika beklediği görülmektedir. Tablo 2, ankete katılan müşterilerin istatistiğini göstermektedir. En büyük ortalama süreye sahip faaliyet, 5 puan veren müşterilerde “Beklemeden Geri Alındı” iken, 1-4 puan veren müşterilerde “Cevaplandı” faaliyettir. Çağrı süresi, 5 puan veren müşterilerde ortalama 144 saniye sürerken, 1-4 puan veren müşterilerde yaklaşık 2 dakika sürmüştür. Beklemeye alınma işlemi 1-4 puanlı süreç modelinde hiç görülmemişken, 5 puanlı süreç modelinde süre bakımından önemli bir yere sahiptir.

Tablo 2. Müşterilerin mevcut süreçlerinin incelemesi.

Ortalama Süreler	5 Puanlı Süreç Modeli	1-4 Puanlı Süreç Modeli
En Büyük	168 saniye	118.8 saniye
En Büyük Ortalamaya Sahip Faaliyet	Beklemeden Geri Alındı	Cevaplandı
Telefon Çaldı Faaliyeti	2.3 saniye	2.4 saniye
Çağrı Kabul Edildi Faaliyeti	1.1 saniye	1.1 saniye
Cevaplandı Faaliyeti	144 saniye	118.8 saniye
Beklemeye Alındı	37.5 saniye	0 saniye
Beklemeden Geri Alındı Faaliyeti	156 saniye	0 saniye

5. Sonuç ve İyileştirme Önerileri

Bu çalışma çağrı merkezi süreçlerinin süreç odaklı olarak değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Bu amaçla IT sisteminde tutulan çağrı merkezi olay günlükleri süreç madenciliği için girdi olarak kullanılmıştır. Süreç madenciliği iki araştırma konusu için kullanılmıştır. i) memnuniyet anketine katılan ve katılmayan müşterilerin süreç haritalarının farklı olup olmadığı, ii) müşterilerin harcadıkları sürenin

ankete verilen memnuniyet puanlarına olan etkisi. Böylece müşterilerin memnuniyet anketine katılma durumu ve daha yüksek memnuniyet oranı için, firmada deneyimlenen süreç arasında bağlantı kurulmaya çalışılmıştır.

“Operatörün cevaplamadı” ve “Arayan kapadı” faaliyetinden sonra müşterinin tekrar araması memnuniyet anketlerini yanıtlamama nedeni olabilir. Her iki durum da müşteri açısından istenmeyen durumdur ve tepki olarak ankete katılmayı reddetmiş olabilirler. Müşterilerin aynı problem için mi farklı problem için mi aradığı bilinmediğinden, bu konu için çözüm önerisi sunmak kolay değildir. Personelin çağrı sırasında hata yapması (“Agent Reddetti” gibi) müşteri bu süreçten memnun kalmamaktadır ve ankete de katılım göstermemektedir. Gelen çağrılarda, personel müşterinin ihtiyacını karşılayacak bilgiye sahip değilse, konu ile alakalı yetkili bir kişiye danışır. Bu durumda çağrı beklemeye alınır ve bir müddet sonra çağrıya geri dönüş yapar. Bu durumda sisteme “Beklemeden Geri Alındı” şeklinde yansımaktadır. Firma keşfedilen bu süreçte çağrı merkezinde görev alan personeline eksik gördükleri alanlarda bilgi veya eğitim desteği sağlayarak iyileştirme yapılabilir.

Memnuniyet anketinden 5 puan alan süreçlerin ortalama süresi 3.8 dakika iken; memnuniyet anketinden 5’ten daha az puan alan süreçlerin ortalama gerçekleşme süresi 3.2 dakikadır. Ortalama sürenin yüksek olmasının sebeplerinden biri “Beklemeye alındı” ve “Beklemeden geri alındı” faaliyetleridir. Genel olarak müşteri, beklentisinin ve ihtiyacının hızlı bir şekilde karşılanmasını istemektedir. Ancak sonuçlara göre ortalama süresi uzun olan süreçler müşteriden 5 puan almıştır. Müşteriler beklemeye alındıkları çağrılarda, firmanın söz konusu problemlerini çözüme ulaştırmaya daha fazla çabaladığını düşünerek, kendisiyle daha fazla ilgilenildiği ve kendisine değer verildiği sonucuna varabilir. Dolayısıyla memnuniyet anketinde 5 puan vermiş olabilir. Diğer bir deyişle, müşteri için önemli olan firma tarafından probleminin çözülmesidir. Müşterilerin aldıkları hizmetten memnuniyet düzeyleri şöyle özetlenebilir: Müşterinin alacağı hizmetten beklentisi olumsuz ancak deneyimlediği hizmet olumlu olduğunda, firma müşterisinin yaşadığı deneyimden yüksek memnuniyet düzeyini elde edecektir. Bununla beraber müşterinin beklentileri olumlu ancak deneyimlediği hizmet olumsuz olduğunda, firma müşteriden düşük düzeyde memnuniyet elde eder.

Personelin müşteriye karşı tutumunun ve iletişiminin memnuniyeti etkileyen kritik bir etmendir. Ancak verilerde personelin iletişimi gibi kayıt altına alınamayan olaylar vardır. Bu durum da çalışmanın bir kısıtıdır.

Referanslar

- Alves, A. K. (2006). Genetic process mining, , PhD thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands.
- Birgün, S., Öztepe, T., & Şimşit, Z. T. (2011). Bir Çağrı Merkezinde Müşteri Şikayetlerinin Düşünce Süreçleri İle Değerlendirilmesi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Akademik Arşiv, 9, 265-275.
- Chicu, D., del Mar Pàmies, M., Ryan, G., & Cross, C. (2019). Exploring the influence of the human factor on customer satisfaction in call centres. BRQ Business Research Quarterly, 22(2), 83-95.
- Davras, Ö., & Caber, M. (2019). Analysis of hotel services by their symmetric and asymmetric effects on overall customer satisfaction: A comparison of market segments. International Journal of Hospitality Management, 81, 83-93.
- De Weerd, J., Schupp, A., Vanderloock, A., & Baesens, B. (2013). Process Mining for the multi-faceted analysis of business processes—A case study in a financial services organization. Computers in Industry, 64(1), 57-67.
- Dogan, O. (2018). Process mining for check-up process analysis. IIOABJ, 9(6), 56-61.
- Dogan, O., Bayo-Monton, J. L., Fernandez-Llatas, C., & Oztaysi, B. (2019a). Analyzing of gender behaviors from paths using process mining: A shopping mall application. Sensors, 19(3), 557.
- Dogan, O., Fernandez-Llatas, C., & Oztaysi, B. (2019b). Process mining application for analysis of customer’s different visits in a shopping mall. In International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems (pp. 151-159). Springer, Cham.
- Dogan, O., Martinez-Millana, A., Rojas, E., Sepúlveda, M., Munoz-Gama, J., Traver, V., & Fernandez-Llatas, C. (2019c). Individual Behavior Modeling with Sensors Using Process Mining. Electronics, 8(7), 766.
- Feinberg, R. A., Hokama, L., Kadam, R., & Kim, I. (2002). Operational determinants of caller satisfaction in the banking/financial services call center. International Journal of Bank Marketing.
- Fernández-Llatas, C., Benedi, J. M., García-Gómez, J. M., & Traver, V. (2013). Process mining for individualized behavior modeling using wireless tracking in nursing homes. Sensors, 13(11), 15434-15451.
- Gümüş, M. (2002). Günümüzün gelişen sektörü çağrı merkezleri. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2), 134-141.

- Jaiswal, A. K. (2008). Customer satisfaction and service quality measurement in Indian call centres. *Managing Service Quality: An International Journal*.
- Jasmand, C., Blazevic, V., & De Ruyter, K. (2012). Generating sales while providing service: A study of customer service representatives' ambidextrous behavior. *Journal of Marketing*, 76(1), 20-37.
- Kazan, H., Ergülen, A., & Çoruhlu, N. (2012). Banka çağrı merkezlerinde bekleme ve müşteri ilişkiler yönetimi: bir kamu bankası uygulaması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(1), 251-268.
- Keskin, G. A., Çolak, M., & Kostak, G. K. (2018). Bir çağrı merkezindeki bekleme sürelerinin kuyruk modelleri ile iyileştirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 55-68.
- Lamine, E., Fontanili, F., Di Mascolo, M., & Pingaud, H. (2015). Improving the management of an emergency call service by combining process mining and discrete event simulation approaches. In *Working Conference on Virtual Enterprises* (pp. 535-546). Springer, Cham.
- Panpanich, P., Porouhan, P., & Premchaiswadi, W. (2015). Analysis of handover of work in call center using social network process mining technique. In *2015 13th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT & Knowledge Engineering 2015)* (pp. 97-104). IEEE.
- Paprzycki, M., Abraham, A., Guo, R., & Mukkamala, S. (2004). Data mining approach for analyzing call center performance. In *International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems* (pp. 1092-1101). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Partington, A., Wynn, M., Suriadi, S., Ouyang, C., & Karnon, J. (2015). Process mining for clinical processes: a comparative analysis of four Australian hospitals. *ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS)*, 5(4), 1-18.
- Rendón, C. M. C., Vásquez, A., Benjumea-Arias, M., & Valencia-Arias, A. (2017). Proposed Model for Measuring Customer Satisfaction with Telecommunications Services. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 8(2), 15-15.
- Rovani, M., Maggi, F. M., De Leoni, M., & Van Der Aalst, W. M. (2015). Declarative process mining in healthcare. *Expert Systems with Applications*, 42(23), 9236-9251.
- Sarıyer, N. (2007). Çağrı merkezi tüketici profili: banka çağrı merkezlerinde bir uygulama. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 473-493.
- Van der Aalst, W. M. P. (2016) *Process mining: Data science in action* (2nd Edition), Berlin: Springer-Verlag.
- Van der Aalst, W. M. P. (2011). *Process mining: Discovery, conformance and enhancement of business processes*, Berlin: Springer-Verlag, 2011.
- Van der Aalst, W. M. P., Adriansyah, A., Alves de Medeiros, A. K., Arcieri, F., Baier, T., Blickle, T., Bose, J. C., Van den Brand, P. ve diğerleri. (2011). *Process mining manifesto*, Berlin: Springer-Verlag.
- Van der Aalst, W. M. P., & Song, M. (2004). Mining social networks: Uncovering interaction patterns in business processes. In *International conference on business process management* (pp. 244-260). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Wongvigran, S., & Premchaiswadi, W. (2015). Analysis of call-center operational data using role hierarchy miner. In *2015 13th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT & Knowledge Engineering 2015)* (pp. 142-146). IEEE.
- Taşkın, D., & Taşkın, Ç. (2018). Çağrı Merkezi Hizmetlerinde Müşteri Beklentisi Boyutlarının Müşteri Tatmini Üzerindeki Etkisinin PLS-Sem İle Ölçümü. *Journal Of Business Research Turk*, 10(1), 465-481.
- Yavuz, U., & Leloglu, H. (2011). Müşteri ilişkileri Yönetimi'nde Çağrı Merkezlerinin Yeri: Çağrı Merkezi Örneği. *Journal of Graduate School of Social Sciences*, 15(1), 11-24.



Ti-6Al-4V Titanyum Alaşımının Delinmesinde Ön Delik Uygulamasının İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Pre-Hole Application on Machinability in Drilling of Ti-6Al-4V Titanium Alloy

Selçuk Yağmur¹ , Muharrem Pul² 

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 06500 Ankara, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 18/07/2020

Kabul / Accepted: 11/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Bu çalışmada endüstride çok yaygın olarak kullanılan ve talaşlı işleme operasyonları uygulanan Ti-6Al-4V titanyum alaşımının delinmesinde ön delik delmenin işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla soğutma kanallı kaplamasız karbür matkap ile delme deneyleri yapılmıştır. Deney parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (60, 75, 90, 108 m/dak) ve sabit ilerleme miktarı (0,20 mm/dev) seçilmiştir. Deneyler sırasında ilerleme kuvveti, kesme momenti ve kesme bölgesindeki sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ayrıca delinmiş yüzeylere ait pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda kesme hızının artmasıyla ilerleme kuvvetinin, kesme momentinin ve sıcaklık değerlerinin genel olarak azaldığı görülmüştür. Kesme hızındaki değişimler yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde çok fazla değişmeye neden olmamıştır. Ön delik uygulaması yapılan numunelerde ilerleme kuvveti, moment, sıcaklık ve yüzey pürüzlülük değerleri daha düşük çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Ti-6Al-4V, Delme, İlerleme kuvveti, Moment, Sıcaklık, Yüzey Pürüzlülüğü”

Abstract

In this study, the effect of pre-hole drilling on machinability properties of Ti-6Al-4V titanium alloy, which is widely used in the industry and machining operations are investigated. For this purpose, drilling tests were done with uncoated carbide drill with cooling channel. Four different cutting speeds (60, 75, 90, 108 m/min) and constant feed rate (0.20 mm/rev) were selected as test parameters. During the tests, the feed force, shear moment and temperature values in the shear region were measured. In addition, roughness values of the drilled surfaces were determined. As a result of the evaluation of the obtained data, it was seen that the cutting force, cutting moment and temperature values generally decreased with increasing cutting speed. Changes in cutting speed did not cause much change on surface roughness values. In the pre-hole samples, the feed force, moment, temperature and surface roughness values were lower.

Key Words

“Ti-6Al-4V, Drilling, Feed force, Moment, Temperature, Surface Roughness”

1. Giriş

Titanyum (Ti) alaşımları, sahip oldukları yüksek dayanım ağırlık oranları, mükemmel korozyon dirençleri, düşük elastisite modulleri ve biyouyumluluk özellikleri nedeniyle uzay, biyomedikal, otomotiv ve petrol endüstrisi başta olmak üzere daha birçok endüstri dalında geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Değişik özellikleri olan bu alaşımlar içerisinde, endüstrideki %60'lık kullanım oranıyla, en büyük payı Ti-6Al-4V titanyum alaşımı oluşturmaktadır (Kıvak ve Şeker 2012). Ti alaşımları çeliğin yarı ağırlığında olmasına rağmen çelikten daha dayanıklıdır. Bu özelliği sayesinde havacılık ve uzay sanayinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle çelik ile karşılaştırıldığında, %60 oranında daha hafif olmasının yanında daha dayanıklı olması ve bio-uyumluluğu nedeniyle sağlık alanında çok önemli kullanım sahası bulmuştur. Kemik plakaları, kol ve bacak mafsalsı elemanları, protezler ve diş implantları sağlık sektöründeki kullanımı için örnek olarak verilebilir. Ti-6Al-4V, 1954 senesinde Titanyum içerisindeki α fazını dengelemek üzere %6 Al ve β fazını dengelemek üzere %4 V eklenmesi ile ilk olarak bulunmuştur. Ti-6Al-4V α - β titanyum alaşımı, titanyum alaşımları içinde en yaygın kullanılan çeşittir. Ti-6Al-4V uzay ve medikal sanayilerinde %80, bu sanayi dallarının dünya çapındaki kullanımında ise %50'den fazla paya sahiptir (Uzun ve ark. 2017).

Talaşlı imalattaki enerji sarfıyatı maliyetleri üretilen parçaların birim maliyeti üzerinde önemli bir yer tutmaktadır. İşleme sırasında takım tezgahının harcadığı güç kullanılan elektrik enerjisini, kesici takımın işleme sırasındaki maruz kaldığı kesme kuvvetleri ise harcanan gücü doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla talaşlı imalattaki operasyonların şekli ve kullanılan yöntemleri üzerine yapılan araştırmalar giderek önem kazanmaktadır. Ti-6Al-4V titanyum alaşımları genel olarak dolu kütük malzeme şeklinde temin edildikten sonra farklı imalat yöntemleri kullanılarak işlenmekte ve şekil verilmektedir. Diğer metallerde olduğu gibi Ti alaşımlarına şekil verilmesinde kullanılan en önemli yöntemlerden birisi de talaş kaldırma işlemidir. Talaş kaldırarak işleme yöntemleri içerisinde ise en büyük payı delik delme işlemleri almaktadır. Delik delme en önemli talaş kaldırma operasyonlarından ve talaşlı üretim işlerinin yaklaşık olarak %33'ünü kapsamaktadır. Ayrıca talaşlı işleme operasyonlarında harcanan toplam zamanın %25'i delik delme işlemleri olarak geçmektedir. Talaş kaldırma işlemlerinde daima temel amaç maliyetleri azaltmak ve verimliliği yükselterek optimum işleme koşullarını sağlamak olmuştur (Meral ve ark. 2011). Ti ve alaşımları üstün özellikleri nedeniyle birçok uygulama için çekicidir. Bununla birlikte, işlenmesi zor malzemeler olarak kabul edilirler. Ti için uygun maliyetli delme işlemlerinin geliştirilmesi ve/veya mevcut olan işlemlerin maliyet etkinliğinin artırılması arzu edilir (Zhang ve ark. 2008). Dolayısıyla endüstrinin pek çok alanında kullanılan Ti-6Al-4V alaşımının delinmesi üzerine yapılan araştırmalar önem kazanmıştır. Bu araştırmalarda farklı işleme parametreleri ile yapılan delik delme işlemlerinde, kesici takımların performansları ve Ti-6Al-4V alaşımının işlenebilirlik davranışları incelenmiştir. Aşağıda konuyla ilgili farklı çalışmalar yer almaktadır.

Çelik ve Kılıçkap (2018) yaptıkları çalışmada titanyum alaşımlarının delinmesinde zorluklarla karşılaşıldığını ifade etmişlerdir. Titanyum alaşımlarının düşük termal iletkenliği nedeniyle iş parçası/takım ara yüzeyinde yüksek sıcaklıkların meydana geldiğini ve yüksek dayanıma sahip olan bu alaşımların delinmesinde yüksek kesme kuvvetleri ile karşılaşıldığına işaret etmişlerdir. Rahim ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, Ti6Al4V alaşımının yüksek hızlı delme işlemlerinde (HSD) kaplamasız karbür takımın delme performansını incelemişlerdir. Çeşitli kesme koşullarında itme kuvveti, tork, titreşim, talaş oluşumu ve delinmiş yüzeyin yüzey bütünlüğü gibi işleme davranışları değerlendirilmiştir. Sonuçlar kesme hızı ve ilerleme değerinin işleme davranışlarını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Parida (2018) çalışmasında, Ti-6Al-4V'nin delinmesinde malzeme maliyeti ve süreden tasarruf için bir 3D FEM simülasyon modeli ortaya koymuştur. Bu model itme gücü, tork, efektif gerilme ve delici uç sıcaklığını incelemek için DEFAS yazılımı ile çeşitli kesme ve ilerleme hızları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmaya göre, matkap ucu sıcaklığı ilerleme hızı aralıklarının artmasıyla artmıştır. Kesme hızındaki artış, ısı yumuşama nedeniyle iş parçasının sertliğini azalttığı için, matkap ucunda düşük sıcaklık gözlenmiştir. Daha iyi yüzey kalitesi yüksek kesme hızında ve düşük ilerleme hızında gözlenmiştir. Guu ve ark. (2012) çalışmalarında, titanyum alaşımının hassas delinmesindeki gerilme yığılması için ideal işleme parametrelerini belirlemek amacıyla Taguchi tabanlı bir deney tasarımı kullanılmıştır. Hassas delinmiş deliklerde gerilme yığılmasının özellikleri sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile analiz edilmiştir. Gerilme yığılmasını etkileyen kritik parametrelerin ideal seviyelerini ve önem sırasını belirlemek için sinyal-gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Çalışmadaki kritik kontrol parametrelerinin, dönme hızı (rpm), ilerleme hızı (mm/dak), kesme sıvısı ve matkap tutma uzunluğu (mm) olduğu görülmüştür. Li ve Shih (2007) yaptığı çalışmada, ticari olarak saf titanyumun delme işleminde takım sıcaklığının üç boyutlu ve geçici dağılımı, ters ısı transfer yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Eğik kesme analizi kullanılarak, itme kuvveti, tork ve sürtünme ısı miktarı hesaplanmıştır. Matkap üzerindeki sıcaklık dağılımı sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlenmiş ve deneysel ölçümlerle doğrulanmıştır. 12,7 mm delik boyunda, 0,025 mm ilerlemede, 24,4 m/dak ve 73,2 m/dak kesme hızlarında matkabın tepe sıcaklığı, 480°C ve 1060°C'ye ulaşmıştır. Delme zamanına karşı delme sıcaklığının sürekli artması gözlenmiştir. Li ve ark. (2007) Ti-6Al-4V alaşımı üzerinde; 4 mm çaplı WC-Co spiral uçlu matkap ile 183 m/dak kesme hızında (MRR) yüksek verimli delme ve deneyleri yapmıştır. Kesme hızı, ilerleme ve soğutma sıvısı miktarı da dahil olmak üzere, takım malzemesi ve geometrisi ile delme işlemindeki parametrelerin matkap ömrü, itme kuvveti, tork, enerji ve talaş formu üzerindeki etkisini değerlendirilmiştir. Uzun kesme ömrü ve iyi delik yüzey pürüzlülüğü elde etmek için kesme hızı ve ilerleme arasındaki dengenin çok önemli olduğu vurgulanmıştır. Elmagrabi ve ark. (2008) çalışmalarında, Ti -6Al-4V titanyum alaşımı üzerinde kaplamasız ve kaplamalı karbür kesici takımlar ile kuru işleme şartlarında frezede delme deneyleri yapılmıştır. Deneysel testler 50, 80 ve 105 m/dak kesme hızlarında, 1, 1,5 ve 2 mm'lik kesme derinliğinde ve 0,1, 0,15 ve 2 mm/rev ilerleme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Takım ömrü ve yüzey kalitesi kalitesi, kesici takımın performansını belirleyen faktörler olmuştur. PVD kaplı karbür takımın, azami 11,5 dakikalık takım ömrü ile daha iyi takım ömrüne sahip olduğu görülmüştür. Sharif ve Rahim (2007) çalışmalarında titanyum alaşımı Ti-6Al4V'yi delerken kaplamasız W/Co ve TiAlN – PVD kaplı karbür helisel matkapların performansı incelenmiştir. Soğutma sıvısı kullanarak delik açarken kesme hızının takım aşınması, takım ömrü ve deliğin yüzey kalitesi üzerinde

etkili olduğu bildirilmiştir. Test edilen tüm kesme hızlarında, TiAlN kaplı matkap ucunun, takım ömrü ve yüzey kalitesi açısından kaplamasız matkap uygulamasından önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiği ifade edilmiştir. Shetty ve ark. (2014) çalışmalarında, Ti-6Al-4V'nin kuru delme işlemi sırasında işlenebilirliğini incelemiştir. Deneylerde, Ti-6Al-4V delik kalitesi ve talaş tipi için uygun delme koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, Ti-6Al-4V alaşımının delinmesinde iyi yüzey kalitesi ve minimum talaş kalınlığının elde edilmesinde temel etkenin yüksek kesme hızı olduğu, asgari çapak için ise düşük kesme hızının etkili olduğu ifade edilmiştir. Yüksek kesme hızlarında, takım ile iş parçası arasında küçük temas uzunluğu nedeniyle kesme sıcaklığının arttığına işaret edilmiştir. Bu durumda, takım-iş parçası arayüzünde düşük sürtünme sonucunda, sürtünme katsayısı değerinin azalabileceği söylenmiştir. Bu faktörlerin yüzey kalitesine katkı sağladığına işaret edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada ise literatürden farklı olarak ön delik delinmiş Ti-6Al-4V alaşımı ile delinmemiş Ti-6Al-4V alaşımı üzerinde tek ilerleme ve beş ayrı kesme hızı değeri seçilerek delik delmek deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında ve sonrasında yüzey pürüzlülük değerleri, kesme momenti, itme kuvveti, ve delme bölgesi sıcaklığı ölçülerek kaydedilmiştir. Elde edilen veriler ile ön delikli ve deliksiz Ti-6Al-4V alaşımı işlenebilirlik yönünden mukayese edilerek değerlendirilmiştir.

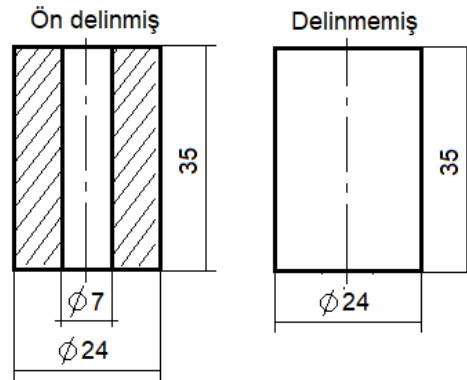
2.Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada özellikle uzay, biyomedikal, otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılan ISO 5832-3 standardında dövme titanyum alaşımı Ti-6Al-4V (Grade 5) kalite malzeme kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemenin fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo1. Titanium Ti-6Al-4V (Grade 5) malzemesinin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi

Fiziksel özellikler	Değer	Kimyasal içerik	Değer
Çekme Mukavemeti (MPa)	950	C %	0,08 max.
Akma Mukavemeti (MPa)	880	V %	3,5-4,5
Uzama %	14	N %	0,05 max.
Elastite Modülü (GPa)	113,8	Al %	5,5-6,75
Yoğunluk (g/cm ³)	4,43	Fe %	0,30 max.
Sertlik (HRC)	36	O %	0,20 max.
Ergime Sıcaklığı (°C)	1604-1660	H %	0,015 max.
Beta Trans. Sıcaklığı (°C)	980	Ti %	Kalan

Deneylerde iki farklı delik tipi kullanılmıştır. Delik tipleri; dolu numune ve ön delik delinmiş numune olarak belirlenmiştir. Ön delikli numuneler deneylerde uygulanacak çapın % 50'si oranında 7 mm çapındaki matkapla boydan boya delinmiştir. Şekil 1'de deneylerde kullanılan numunelerin ölçüleri verilmiştir.



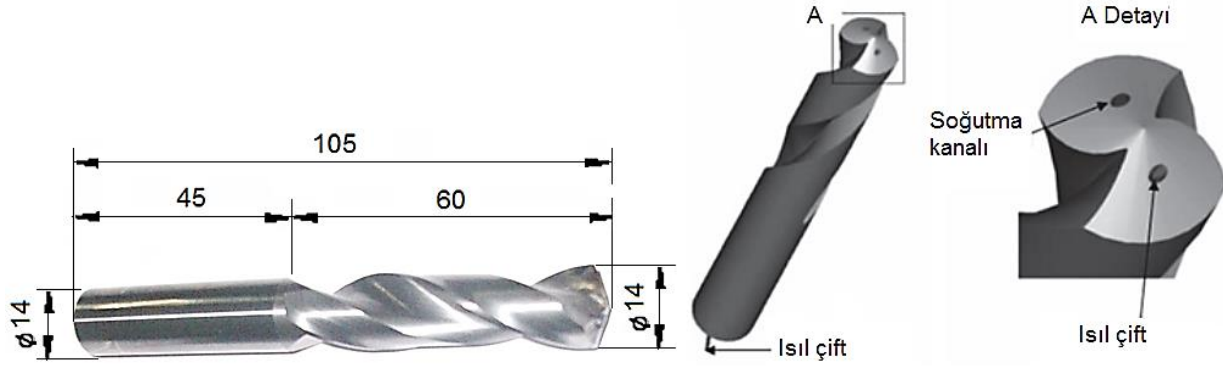
Şekil 1. Deney numunesi ölçüleri

Deneyler Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde bulunan Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. CNC Dik işleme merkezinin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Deneysel kullanılan tezgahın teknik özellikleri

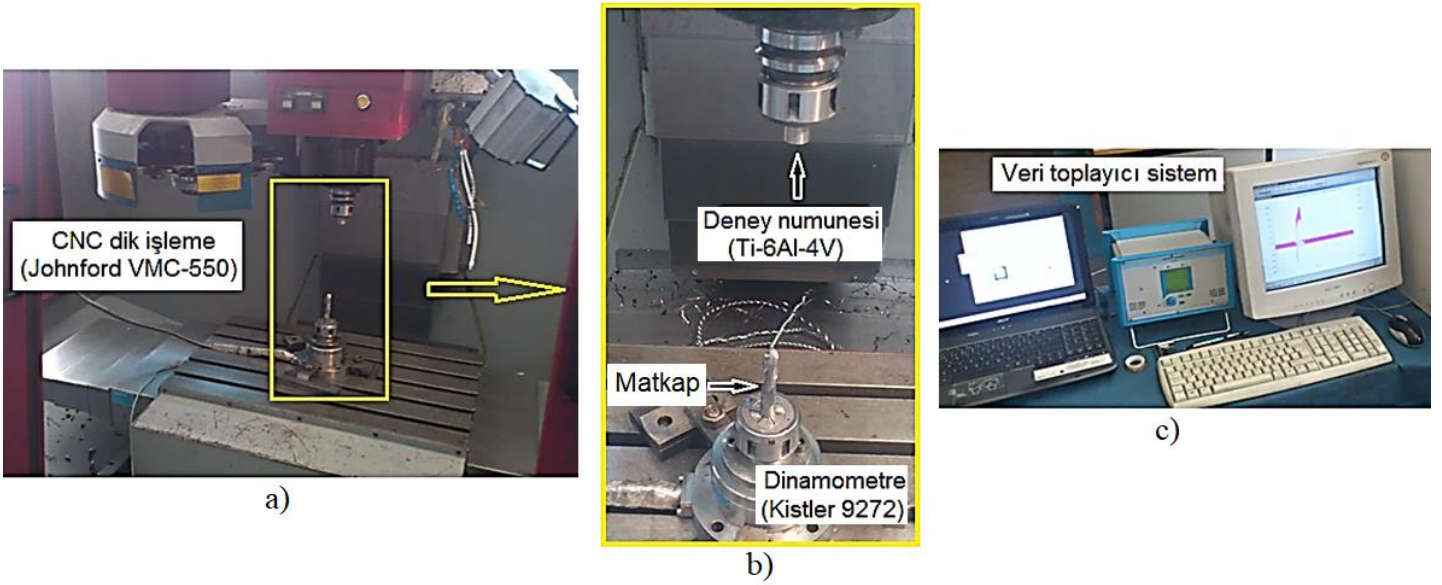
Özellik	Değer
Tezgah gücü	5 kW
Maksimum devir sayısı	8000 dev/dak
X, Y, Z eksenleri	600 mm, 500 mm, 600 mm
Hassasiyet	0,001 mm
İşletim sistemi	Fanuc

Çalışmada DIN 6537 standardında K25 kalite kaplamasız helisel karbür soğutma kanallı matkaplar kullanılmıştır. Kullanılacak matkap çapı 14 mm olarak belirlenmiştir. Matkap çapının $\varnothing 14$ mm olması ile, matkabın kesici kısmındaki sıcaklığın ısı çifti ile ölçülebilmesinde ısı çiftinin soğutma kanallarından rahat geçebilmesi dikkate alınmıştır. Deneysel kullanılan matkapların ölçüleri ve biçimi Şekil 2’de, fiziksel özellikler Tablo 3’te verilmiştir.

**Şekil 2.** Deneysel kullanılan karbür helisel matkap (Yağmur ve ark. 2013)**Tablo 3.** Deneysel kullanılan matkapların mekanik ve termal özellikleri

Tip	K25 grade (Kaplamasız)
Yoğunluk (gr/cm^3)	14,6
Basma Dayanımı (MPa)	5000
Young Modülü (GPa)	590
Poisson Oranı	0,22
Termal İletkenlik (W/mK)	70
Termal genişleme katsayısı ($10^6/\text{K}$)	5,6

Delme deneylerinde kesme parametreleri olarak 60 m/dak, 75 m/dak, 90 m/dak, 108 m/dak olmak üzere dört farklı kesme hızı ve 0,20 mm/dev sabit ilerleme miktarı seçilmiştir. Bu kesme parametreleri kesici takım firmasının Titanyum malzemelerin işlenmesi için önerdiği değerler arasından seçilmiş ve ön deneyler ile nihai kesme parametreleri belirlenmiştir. Delme işlemlerinde birim zamanda kaldırılan malzeme miktarı (talaş debisi) sabit olduğu için kesme derinliği (mm) otomatik olarak sabit seçilmiştir. Kesme kuvvetlerinin ve momentin deneysel olarak belirlenmesi için üç kesme kuvveti bileşenini (F_x , F_y , F_z) ve momenti (M_z) aynı anda ölçme kapasitesine sahip, kuartz kristal esasıyla çalışan Kistler 9272 tipi dinamometre ve Kistler 5070 tipi amplifier kullanılmıştır. Kesme bölgesi sıcaklığının ölçülmesi için -200 °C ile 1200 °C arasındaki sıcaklıkları ölçebilen K tipi bir ısı-çifti kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümlerinin bilgisayar aktarılabilmesi için PICO marka 8 kanallı data logger kullanılmıştır. Delik yüzeylerinin pürüzlülük miktarlarını belirlemek amacıyla, ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerlerini ölçmek üzere Mahr Perthometer M1 portatif yüzey pürüzlülük aparatı kullanılmıştır. Her yüzeyden 5 farklı yerden yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Şekil 4’te delme deneylerinin yapıldığı dik işleme merkezi ve düzeneğinin fotoğrafı verilmiştir.

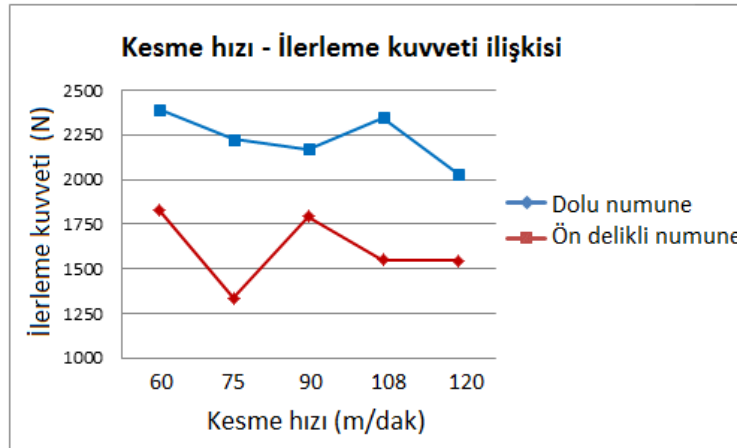


Şekil 4. Deneş düzeneği a) Dik işleme merkezi, b) Numune ve kesici takım c) Veri toplayıcı sistem

3. Bulgular ve tartışma

İlerleme kuvvetlerinin değeriendirilmesi

Delme deneyleri sırasında dinamometre ile ölçülerek kaydedilen ilerleme kuvvetlerini gösteren grafik Şekil 5'te verilmiştir.

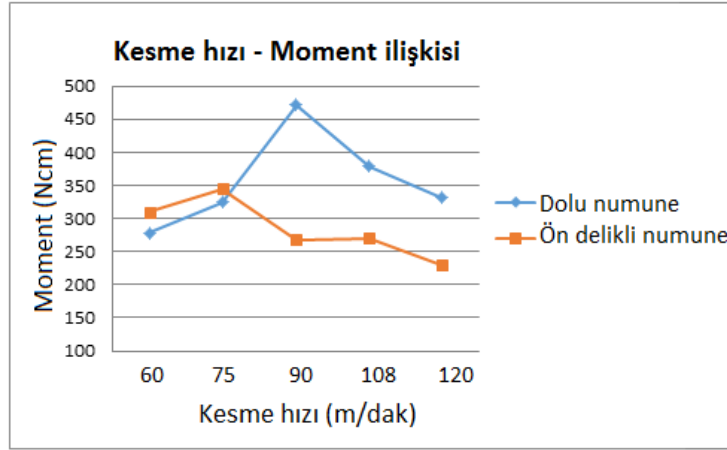


Şekil 5. Kesme hızına göre ilerleme kuvveti

Şekil 5'te verilen grafik incelendiğinde genel olarak artan kesme hızı ile birlikte ilerleme kuvvetlerinde bir düşüş meydana gelmiştir. Kesme hızındaki artışın ısı yumuşama ile birlikte daha rahat talaş kaldırmaya sebep olması ile birlikte kesme kuvvetlerinde düşüş söz konusu olmuştur. Artan kesme hızları ile birlikte kesme kuvvetlerinin düşmesi beklenen bir sonuçtur. Her ne kadar artan kesme hızları ile birlikte kesme bölgesi sıcaklığının düştüğü görülsede aslında ölçülen kesme bölgesi sıcaklığının düşmesi talaş tahliyesi ile ilişkilendirilerek belirtilmiştir. Bu sebeple kesme hızlarının artması ile birlikte ilerleme kuvvetlerinin düşmesi beklenen bir durumdur (Yağmur ve ark. 2013). İki numune tipi incelendiğinde ise ön delikli numuneler ile yapılan deneylerde bütün parametrelerde elde edilen ilerleme kuvveti değeri dolu numunelerde elde edilen değeri daha düşük olduğu görülmektedir. Ön delik delinmemiş numunelerde talaş miktarının fazla olması kesme işlemi esnasında talaş kaldırmak için gereken kuvvetin artmasına atfedilebilir.

Kesme momentlerinin değeriendirilmesi

Delme deneyleri sırasında dinamometre ile ölçülerek kaydedilen moment değeri gösteren grafik Şekil 6'da verilmiştir.

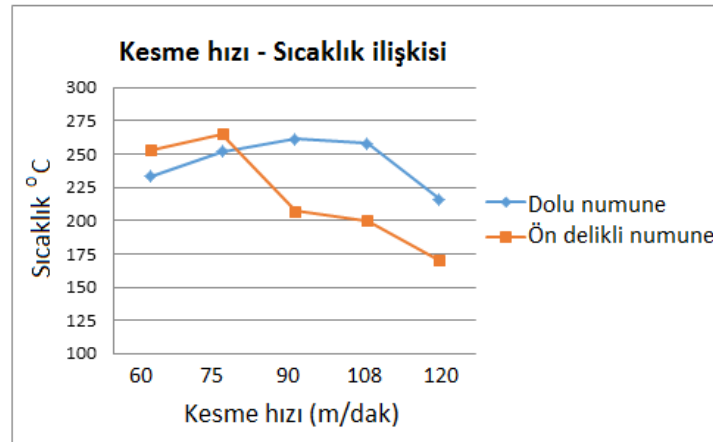


Şekil 6. Kesme hızına göre kesme momenti

Şekil 6’da verilen grafik incelendiğinde ilerleme kuvvetinde meydana gelen değişikliklere benzer bir durum olduğu görülmektedir. Genel olarak kesme hızının artması kesme momentini düşürmüştür. Yine ilerleme kuvvetinde olduğu gibi ön delikli numunelerde meydana gelen moment değerleri genel olarak dolu numunelerde meydana gelen değerlerden düşük olduğu görülmüştür. Ön delikli numunelerde moment değerlerinin düşmesi, delme işlemi sırasındaki talaş hacminin azalmasıyla, kesici takım ucuna tesir eden kuvvetlerinde azalmasıyla açıklanabilir.

Kesme Bölgesi Sıcaklığının Değerlendirilmesi

Delme deneyleri esnasında kesme bölgesinden ölçülerek kaydedilen sıcaklık değerlerini gösteren grafik Şekil 7’de verilmiştir.

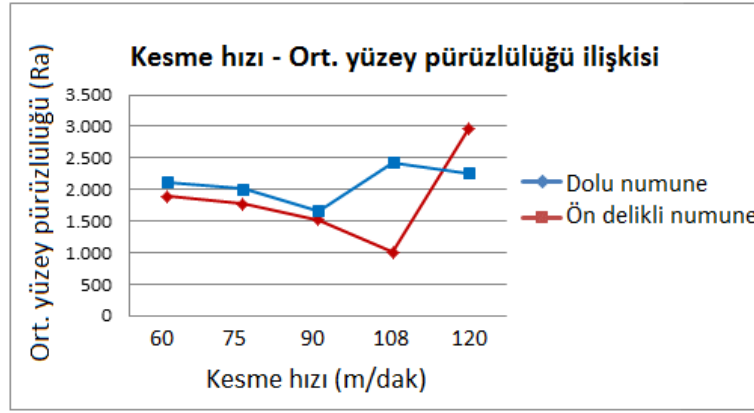


Şekil 7. Kesme hızına göre kesme bölgesi sıcaklığı

Şekil 7’deki grafik incelendiğinde özellikler ön delikli numunelerde kesme hızının artması kesme bölgesi sıcaklığını düşürmüştür. Dolu numunelerde ise kesme hızının artması kesme bölgesi sıcaklığını arttırırken bir istisna olarak 120 m/dak kesme hızında kesme bölgesi sıcaklığında bir düşüş meydana gelmiştir. Benzer sonuçlar Yağmur ve ark. (2013) çalışmasında ortaya koyulmuştur. Genel olarak özellikle tormalama ve frezeleme gibi talaşlı imalat işlemlerinde kesme hızının artışının kesme bölgesi sıcaklığında artışa sebep olması beklenir. Fakat delik delme işleme bu iki işleme göre farklılık gösteren tarafları vardır. En önemli farkı talaş kaldırma işleminin kapalı bir ortamda gerçekleşiyor olmasıdır. Bu sebeple delme işlemlerinde meydana gelen talaşın dış atmosferle karşılaşmasından önce delik içerisinde delinen malzemenin cidarları ile kesici takımla bir süre temasta kalmaktadır. Talaş tahliyesinin kolaylaşması malzeme cidarı ve kesici takımın talaşın temas süresini azaltacaktır. Talaşlı imalatta kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklığın %80’ninin talaş ile uzaklaştırıldığı bilinen bir gerçektir. Özellikle ön delikli numunelerle yapılan deneylerde artan kesme hızları ile birlikte talaş tahliyesinin daha kolay olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple işlem sırasında kesme bölgesi sıcaklığı artsa bile, bu sıcaklığın %80’lik kısmının talaş ile uzaklaştırılması sonucunda kesme bölgesi sıcaklığında düşüş meydana gelmesi muhtemel bir sonuçtur. Parida (2018) yaptığı çalışmada, kesme hızındaki artışın ısı yumuşama ile birlikte iş parçasının sertliğini azalttığını ve matkap ucunda düşük sıcaklık gözlemlendiğini ifade etmiştir.

Delik yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesi

Delinmiş yüzeylerin profilometre ile ölçülerek kaydedilen ortalama pürüzlülük değerlerini gösteren grafik Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Kesme hızına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü

Şekil 8’de verilen grafik incelendiğinde özellikle ön delikli numunelerde artan kesme hızları beklendiği gibi ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini olumlu yönde etkilerken 120 m/dak kesme hızında bir artış meydana gelmiştir. Bu değişikliğin sebebinin tahliye olan talaşın yüzeye sürtünmesi olduğu düşünülmektedir. Genel olarak ön delikli numunelerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri beklenen şekilde dolu numunelerde meydana gelen değerlere nazaran daha düşük çıkmıştır. Shetty ve ark. (2014) yüksek kesme hızlarında, takım ile iş parçası arasında küçük temas uzunluğu nedeniyle kesme sıcaklığının artarak takım-işparçası arayüzündeki sürtünme katsayısı değerinin azalabileceğini ifade etmiştir. Azalan sürtünme katsayısının da yüzey kalitesine katkı sağladığı işaret edilmiştir. Parida (2018) çalışmasında ise daha iyi yüzey kalitesinin yüksek kesme hızında ve düşük ilerleme hızında gözlemlendiği belirtilmiştir.

4.Sonuçlar

Ti-6Al-4V titanyum alaşımı malzemelerle yapılan delme deneyleri ile kesme hızının ilerleme kuvveti, kesme sırasında meydana gelen moment, kesme bölgesinde oluşan sıcaklık ve delik yüzey pürüzlülüğü üzerindeki tesirinin incelendiği çalışmadan çıkarılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Delik delme operasyonunda kesme hızındaki değişimlerin işleme parametrelerini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.
- Kesme hızının artmasıyla birlikte ilerleme kuvveti, kesme momenti ve kesme bölgesinde oluşan sıcaklık değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
- Delinen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinde kesme hızının değişimiyle kayda değer farklılıklar oluşmamıştır. Ön delikli numunede 120 m/dak kesme hızında meydana gelen ani yükselme, takım-delik yüzeyi arasına sıkışarak sürtünen talaş oluşumuna atfedilmiştir.
- Bu çalışmada ele alınan işlenebilirlik parametreleri dikkate alındığında, ön delikli numunelerden daha düşük kesme değerleri elde edilmiştir. Bu durumda harcanan enerji, delik yüzey kalitesi ve dolaylı olarak ta takım ömrü açısından ön delik işleminin avantajlı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Referanslar

Çelik, Y.H. ve Kılıçkap, E. (2018). “Titanyum Alaşımlarından Ti-6Al-4V’nın İşlenmesinde karşılaşılan zorluklar: Derleme. GU J Sci, Part C, 6, (1), 163-175.

Elmagrabi, N., Che Hassan C.H., Jaharah A.G., Shuaeib, F.M. (2008). High speed milling of Ti-6Al-4V Using coated carbide tools. European Journal of Scientific Research, 22, (2), 153-162.

Guu, Y.H., Deng, S., Ti-Kunang Hou, M., Hsu, C.H., Tseng, K.S. (2012). Optimization of machining parameters for stress concentration in micro drilling of titanium alloy. Materials and Manufacturing Processes, 27, 207-213.

Kıvak, T. ve Şeker, U. (2012). Ti-6Al-4V Alaşımının delinmesinde kaplama malzemesi ve kesme şartlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi. International Iron & Steel Symposium, Karabük, Türkiye, 855-860.

Li, R., Hegde, P., Shih, A.J. (2007). High-throughput drilling of titanium alloys. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 47, 63-74.

- Meral, G., Sarıkaya, M., Dilipak, H. (2011). Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27, (4), 332-338.
- Parida, A.K. (2018). Simulation and experimental investigation of drilling of Ti-6Al-4V Alloy. International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, xxx 1-9.
- Rahim, E.A., Kamdani, K., Safian Sharif, S. (2008). Performance Evaluation of Uncoated Carbide Tool in High Speed Drilling of Ti6Al4V. Journal of Advanced Mechanical Design Systems, and Manufacturing, 2, (4), 522-531.
- Rui Li, R., & Shih, A.J. (2007). Tool Temperature in Titanium Drilling. Journal Of Manufacturing Science And Engineering, 129, 740-749.
- Sharif, S., & Rahim, E.A. (2007). Performance of coated-and uncoated-carbide tools when drilling titanium alloy-Ti-6Al4. J. Mater. Process. Tech., 185, (1), 72-76.
- Shetty, P.K., Shetty, R., Shetty, D., Rehaman, N.F., Jose, T.K. (2014). Machinability study on dry drilling of titanium alloy Ti-6Al-4V using L9 orthogonal array. Procedia Mater. Sci., 5, 2605-2614.
- Uzun, G., Yaşar, S.A., Korkut, İ. (2017). Ti-6Al-4V Alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine ve delik kalitesine etkisinin incelenmesi. Karaelmas Fen ve Müh. Derg. 7, (2), 469-475.
- Yağmur, S., Acır, A., Şeker, U., Günay, M., (2013). Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme bölgesindeki sıcaklığa etkisinin deneysel incelenmesi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 28, No 1, 1-6.
- Zhang, P.F., Churi, N.J., Pei, Z.J., Treadwell C. (2008). Mechanical drilling processes for titanium alloys: a literature review. Machining Science and Technology, 12, (4), 417-444.



Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Algoritmalarını Kullanarak Hisse Senedi Fiyat Tahmini

Using Machine Learning and Deep Learning Algorithms for Stock Price Prediction

Seher Arslankaya¹, Şevval Toprak¹

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 54050, Sakarya, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 20/07/2020

Kabul / Accepted: 10/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Günümüzde borsalar gözde bir dinamik yatırım aracıdır. Ancak bu dinamik yatırım aracı aynı zamanda ülkenin içinde bulunduğu durumdan, siyasetten, ülkeler arası izlenen politikalardan ve ülkenin sanayisinden büyük oranda etkilenmektedir. Bütün bu risklere karşın yatırımcı bu alanda yapmak isteyen yatırımcılar belli tahminlerde bulunmaktadır. Bu tahmin de geçmiş verilerden faydalanarak yapılmaktadır. Bunun nedeni olağanüstü durumlar dışında borsa hareketlerinin büyük oranda tahmin edilebilirliğindedir. Tahminlerin daha tutarlı olması için bazı tahmin sistemleri kurulabilir. Bu sistemlerde geleneksel tahmin yöntemlerinin yanı sıra yapay zeka yöntemleri de kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan tahmin sistemlerinde yapay zeka yöntemlerinin geleneksel tahmin yöntemlerinden daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni yapay zeka yöntemlerinin bir hafızası olmasıdır. Bu çalışmada makine öğrenmesi yöntemlerinden Polinom Regresyon ve Random Forest Regresyon ve derin öğrenme yöntemlerinden ise Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN) ve Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM) yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en iyi sonucu Random Forest Regresyon modeli, en kötü sonucu ise Polinom Regresyon modeli vermiştir.

Anahtar Kelimeler

"Hisse senedi fiyat tahmini, Polinom regresyon, Random forest regresyon, Tekrarlayan sinir ağı, Uzun-kısa süreli bellek"

Abstract

Today, stock markets are a favorite dynamic investment method. However, this dynamic investment method is also greatly influenced by the situation in the country, politics, policies pursued across countries and the industry of the country. Despite all these risks, investors who want to invest in this area make certain predictions. This estimate is made by making use of historical data. The reason for this is that the stock market movements are highly predictable except for extraordinary situations. Prediction systems can be created to make the forecasts more consistent. These systems have started to use artificial intelligence methods as well as traditional forecasting methods. It has been observed that artificial intelligence methods give better results than traditional prediction methods. This is because it has a memory of artificial intelligence methods. In this study, Polynomial Regression and Random Forest Regression from machine learning methods and Recurrent Neural Networks (RNN) and Long-Short Term Memory (LSTM) from deep learning methods were used. According to the results obtained, the Random Forest Regression model was given the best result and the Polynomial Regression model was given the worst result.

Key Words

"Stock price prediction, Polynomial regression, Random forest regression, Recurrent neural networks, Long-short term memory"

1. Giriş

Günümüzde finansal zaman serileri ile ilgili doğru gelecek değer tahminleri yapabilmek yatırımcılar için son derece önemlidir. Özellikle borsalar bireysel ve kurumsal yatırımcılar için önemli bir kazanç kapısı halini almıştır. İnsanlar buradan kazanç elde etmek için belli riskleri alarak hisse senedi alım satımlarına karar verir ve kâr elde etmeye çalışırlar. Yatırım kararlarının en doğru şekilde verilmesi riski azaltacağından ve kâr elde etme olanağını artıracığından önemlidir. Kararları vermek için hisse senetlerinin geçmişteki değerlerinin durumuna bakılır ve bu değerlerden gelecek değerleri tahmin edilir. Burada geçmiş değerlerden faydalanılmasının nedeni borsa hareketlerinin olağanüstü durumlar dışında öngörülebilir olmasıdır. Hisse senedi fiyatlarının anlık olarak değişen yapısı nedeniyle fiyatlardaki değişimin tutarlı tahmin edilebilmesi için tahmin sistemleri geliştirilmesi yatırımcıların doğru kararlar verebilmelerini sağlayacaktır (Özer vd., 2017; Baek&Kim, 2018; Sakarya&Yılmaz, 2019).

Yatırımcılar hisse senedi yatırım kararlarını verirken iki tür analizden faydalanabilirler. Bunlardan biri hisse senetlerinin gerçek değerlerini, ülkenin politik durumunu, sanayinin ve ekonominin performans göstergelerini kapsayan temel analizdir. Diğeri ise geçmiş değerleri ve işlem hacimleri gibi piyasa hareketlerini baz alarak hisse senetlerinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılan teknik analizdir. Teknik analizlerde amaç gerçek verilerin tahmini değildir. Bunun yerine gelecekte mümkün olabilecek davranış kalıpları ve eğilimleri hisse senedi grafikleri yardımıyla tahmin edebilmektir. Bunun nedeni hisse senetlerinin politik değişimler, yatırımcı hareketleri ve ekonominin genel durumları gibi birçok faktörden önemli derecede etkilenmesidir (Pabuçcu, 2019; Raşo&Demirci, 2019).

Bu tahmin sistemleri için daha önceden kullanılan geleneksel yöntemlerin dışında yapay zeka yöntemleri de kullanılmaya başlanmıştır ve yapay zeka yöntemlerinin kullanım oranı geleneksel yöntemlere göre çok daha fazladır. Yapay zekanın gelişmiş hesaplama yeteneklerine sahip olmasından dolayı doğrusal olmayan tahmin problemlerinde daha verimli sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır. Bunun nedeni yapay zekanın aynı insan beyni gibi bir hafızasının olmasıdır. Başka bir deyişle geçmiş verilerden tahmin için kullanılacak bilgilerin seçimini yapabilme yeteneğinin var olmasıdır. Yapay zekanın içindeki yöntemler hafıza yapıları, kullanılacak katman sayıları ve kullanıldığı alanlar olarak farklılık gösterir (Kutlu&Badur, 2009; Vijh vd., 2020).

Bu çalışmada Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T. A. Ş.'nin 01.01.2014-01.06.2020 tarihleri arasındaki günler için hisse senedi fiyatlarının kapanış değerlerinden yararlanarak tahmin işlemi yapılmıştır. Bunun için makine öğrenmesi yöntemlerinden Polinom Regresyon modeli ve Random Forest Regresyon modeli, derin öğrenme yönteminden ise RNN ve LSTM yöntemleri Python 3.7 programlama dili yardımıyla Spyder (Anaconda3) editöründe uygulanmıştır. Kullanılan bu 4 yöntemin sonuçlarına göre aralarından hisse senedi fiyat tahmininde kullanılacak en iyi yöntemin bulunması amaçlanmıştır.

Çalışmanın bu aşamadan sonraki bölümleri; benzer çalışmalardan örneklerin verildiği ikinci bölüm, çalışmada kullanılan veri seti ve çözüm yöntemlerinin anlatıldığı üçüncü bölüm, uygulamanın verildiği dördüncü bölüm, uygulamanın istatistik analizinin yapıldığı beşinci bölüm ve sonuç ve bulguların verildiği altıncı bölümden oluşmaktadır.

2. Literatür Taraması

Borsa hareketleri için yatırımcıların ihtiyaç duyduğu tahmin yöntemleri olarak kullanılan geleneksel yöntemlerden ve yapay zeka modellerini içeren çalışmalardan bu bölümde bahsedilmiştir. Çalışmalara bakıldığında yapay zeka yöntemlerinin geleneksel yöntemlerden daha doğru sonuçlara ulaştırdığı görülmüştür.

Bahadır (2008) borsa gelecek değer tahmin çalışmasında Bayes teoremini ve yapay sinir ağlarını (YSA) kullanmıştır. Çalışmada New York Borsası (NYSE) bünyesinde bulunan ETF'ler incelenmiştir. Çalışmayı gerçekleştirmek için iki yöntem kullanılmıştır. Birinci yöntem belirli bir uzmanlık alanındaki kişilerden derlenen bilgilerle Bayes karar modeli üzerine bir uzman sistem modeli oluşturmaktır. Teknik analiz yöntemleriyle veriler test edilmiş ve en iyi sonucu bulmak için kurallar belirlenmiştir. İkinci yöntem olan YSA modelinde ise NeuroDimension firmasının NeuroSolutions programı birden fazla ağla ve birçok parametre ile çözümü gerçekleştirip en iyi sonucu bulanı tespit etmek amaçlanmıştır. Sonucunda yapay sinir ağlarının uzman sisteme göre daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Kutlu & Badur (2009) tarafından İstanbul Menkul Kıymetler Borsası (İMKB) 100 Endeksi için yapılan çalışmada YSA kullanılmıştır. Test sonuçlarından elde edilen bilgiler basit hareketli ortalamalar yöntemiyle kıyaslanmıştır. Çalışmanın sonucunda elde edilen kurallara göre YSA'nın bu konuda ümit verici olduğunu söylemişlerdir. Moralı (2011) İMKB 100 Endeksi ile altın fiyatları, faiz oranı, bankalar arası çift taraflı işlem miktarı ve USD günlük kapanış değerleri gibi piyasa değişkenlerini kullanarak modellemeler yapmıştır. Bu tahmin modellerini zaman serileri için Bütünleşik Otoregresif Hareketli Ortalama (Autoregressive Moving Average Model-ARMA), nümerik arama modelleri için Newton yöntemini ve YSA yöntemlerinden de Geri Yayılım algoritmasını kullanarak gerçekleştirmiştir. Bu üç yöntemle yapılan tahminlerin hata değerleri bulunmuş ve korelasyon analizleri yapılmıştır. Bunların sonucunda hata değeri en az ve korelasyon değeri en yüksek çıkan tahmin yöntemi YSA olmuştur. Çalışkan & Deniz (2015) tarafından Borsa İstanbul (BIST) 30'daki hisse senetleri için YSA ile günlük tahmin yapılmıştır. Yapılan tahminlerin Ortalama Mutlak Hatası (MAE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE) bulunmuştur. Tahminlerin başarı oranı %58 olarak bulunup YSA'nın genel anlamda BIST 30 tahminlerinde bulunabileceği sonucu çıkartılmıştır. Özer vd. (2018) gelişmekte olan 4 ve gelişmiş olan 4 olmak üzere 8 ülkenin hisse senetlerinin haftalık kapanış değerlerini kullanarak bulanık mantık ve YSA yöntemleriyle tahminde bulunup aralarından

en iyi sonucu veren yöntemi bulmayı amaçlamışlardır. Bu çalışmada iki yöntemin de yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Dayı (2018) İMKB’de işlem gören imalat şirketlerinin 1991-2010 yılları arasındaki hisse senedi verilerini kullanarak statik ve dinamik YSA yöntemleriyle tahminler yapmış ve gerçek değerleriyle karşılaştırmıştır. İki YSA türünün de kabul edilebilir başarıda sonuçlar verdiği ancak statik YSA’nın dinamik YSA’dan daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Hiransha vd. (2018) çalışmalarında Çok Katmanlı Algılayıcılar (Multilayer Perceptron-MLP), RNN, LSTM ve Evrimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network-CNN) yöntemlerini kullanmışlardır. Hindistan Ulusal Borsası (NSE) ve NYSE’nin günlük kapanış fiyatları tahmin edilmiştir. Tahmin sonuçları karşılaştırıldığında CNN’in diğer yöntemlere göre daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür. Baek & Kim (2018) geçmiş verilerle tahmin verileri arasındaki aşırı uyumu önlemek ve değer tahmini yapabilmek için iki modüllü bir LSTM yaklaşımı sunmuşlardır. Veri olarak S&P 500 (ABD Borsa Endeksi) ve Kore Birleşik Hisse Senedi Fiyat Endeksi 200 (KOSPI 200) kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda yeni modelin tahmin sonuçlarının çok iyi bir düzeyde olduğunu ortaya koymuşlardır. Kim & Won (2018) Otoresif Koşullu Değişken varyans (GARCH) ve LSTM yöntemlerini birleştirerek yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Oluşturdukları yeni yaklaşımı kullanarak KOSPI 200 endeks verilerinin üzerinde uygulama yapmışlardır. Bunun yanında GARCH, üstel GARCH, Üstel Ağırlıklı Hareketli Ortalama, Derin İleri Beslemeli Sinir Ağı (Deep Feedforward Network-DFN) ve LSTM yöntemlerini de uygulayıp analizlerini yapıp mevcut metodolojiyle yeni yaklaşımlarını karşılaştırmışlardır. Sonucunda ortaya koydukları yeni yaklaşımın iyi bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Sakarya & Yılmaz (2019) BIST 30 endeksinin tahmini için belli değişkenler kullanarak bu çalışmayı gerçekleştirmiştir. Verilere, verilerdeki gürültüleri temizlemek için öncelikle Dalgacık Dönüşümü uygulanmıştır. Bu işlemin çıktılarına ve değişkenlere denetimsiz eğitilmiş yığın otokodlayıcılar uygulanmıştır. Bu aşamanın çıktılarına ise LSTM uygulanmıştır. Çalışma sonucunda tahminlerin %80 oranında doğru sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Pabuççu (2019) çalışmasında BIST 100 endeksinin tahmini için YSA, Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine-SVM) ve Navie Bayes olmak üzere üç farklı makine öğrenmesi yöntemi kullanmıştır. Çalışma sonunda bu üç yöntemin performansları değerlendirilmiş ve üçünün de sonucu birbirine çok yakın olmakla birlikte en iyi sonucu YSA modelinin verdiği gözlemlenmiştir. Kantar (2019) BIST 100 endeksinin 2009-2019 tarihleri arasındaki aylık verilerini kullanarak ARMA ve YSA ile tahmin yapmıştır. Burada bağımlı değişken olarak BIST100 ve bağımsız değişkenler ise makroekonomik değişkenler olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda YSA modelinin ARMA modelinden çok daha iyi bir sonuç verdiği ortaya konulmuştur. Akşehir & Kılıç (2019) Çoklu Lineer Regresyon (Multiple Linear Regression-MLR), Karar Ağaçları (Decision Tree) ve Random Forest yöntemlerini kullanarak banka hisse senetlerinin fiyatları ile ilgili tahmin çalışması yapmışlardır. Çalışma sonucunda üç yöntemin de sonuçları birbirine yakın ve kullanılabilir durumda çıkmıştır. Çınaroğlu & Avcı (2020) Türk Hava Yolları şirketinin 2015-2018 yılları arasındaki BIST 100 ve BIST Ulaştırma endekslerini, petrol ve dolar fiyatlarını girdi olarak kullanarak günlük hisse senedi değerlerini YSA ile tahmin etmişlerdir. Çalışmanın sonunda YSA tahminlerinin gerçek değerlere çok yakın olduğu görülmüştür. Alhnaity & Abbod (2020) çalışmalarında FTSE 100 (Londra Borsa endeksi), S&P 500 ve Nikkei 225 (Tokyo Mevki Kıymetler Borsası endeksi) endekslerinin gelecek gün borsa kapanış değerlerini bulmayı amaçlamışlardır. Destek Vektör Regresyon (Support Vector Regression-SVR), Ensemble Ampirik Mod Ayırıştırma (Ensemble Empirical Mode Decomposition-EEMD), Genetik Algoritma (Genetic Algorithm-GA), RNN, Geriye Yayılımlı Sinir Ağları (Backpropagation Neural Network-BPNN) ve Ağırlık Ortalaması (Weight Average-WA) yöntemlerine dayalı üç aşamalı yeni bir hibrit model geliştirmişlerdir. Yeni yaklaşımı oluşturan her yöntemle ayrı ayrı tahmin işlemi yapıp yeni yaklaşımın sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yeni yaklaşımın sonuçlarının diğer yöntemlerin sonuçlarına göre daha kesin sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Vijh vd. (2020) birbirinden farklı sektörlerde faaliyet gösteren beş şirketin bir sonraki gün borsa kapanış fiyatını tahmin etmek için YSA ve Random Forest yöntemlerini kullanmışlardır. Girdi olarak borsa açılış fiyat değerleri, gün içindeki en yüksek değerler, gün içindeki en düşük değerler ve borsa kapanış değerleri kullanılmıştır. Tahminlerin doğruluğunu analiz etmek için Ortalama Karekök Hata (RMSE) ve MAPE metrikleri kullanılmıştır. Metrik hesaplama sonuçlarının düşük değerler olduğu, bu nedenle de YSA ve Random Forest yöntemlerinin hisse senedi kapanış fiyatlarını tahmin etmeye uygun yöntemler olduğu görülmüştür.

3. Materyal ve Metot

Bu bölümde çalışma içerisinde kullanılan veri seti, yöntemler ve bu yöntemleri uygulamak için Python 3.7 programlama dilinde yararlanılan kütüphanelerin/yardımcı paketlerin uygulamada kullanım aşamaları anlatılmıştır. Bu çalışmada Python 3.7 programlama dilinin kullanılmasının nedeni, bu programın içinde bulunan kütüphaneler/yardımcı paketler ile yapay zeka problemlerinin çözümü için gerekli adımların uygulanmasında kolaylık sağlamasıdır. Veriler üzerindeki işlemlerin ve kontrol edilebilirliğin kolay olması nedeniyle veritabanı olarak Excel 2013 kullanılmıştır.

3.1. Veri Seti

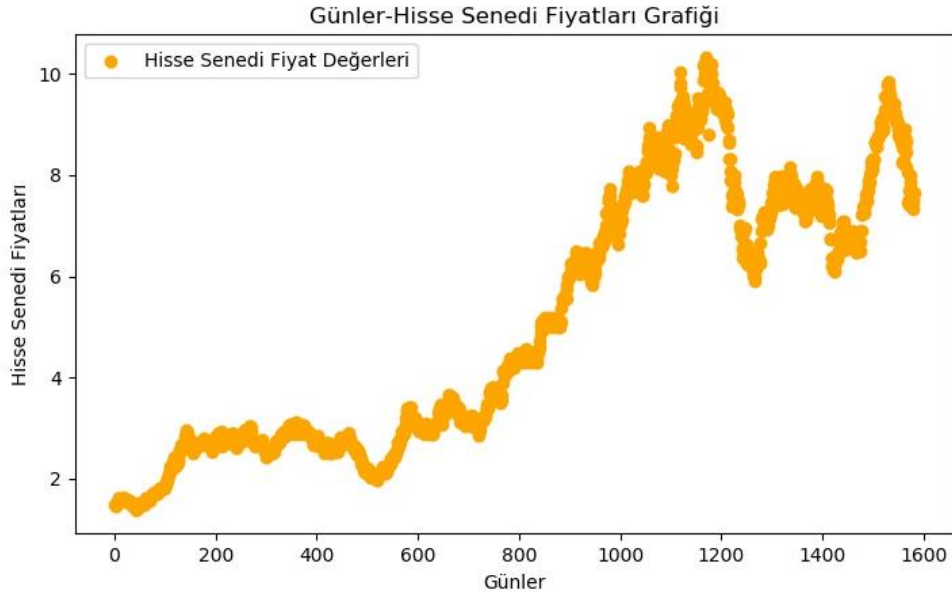
Bu çalışmada kullanılan veri seti bağımsız değişken olarak günlerden ve bağımlı değişken olarak Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.’nin 01.01.2014 - 01.06.2020 tarihleri arasındaki hisse senedi fiyatlarının borsa kapanış değerlerinden oluşmaktadır. Veriler <https://tr.investing.com/> adresinden alınmıştır. Toplam veri sayısı belirtilen tarihler arasındaki hafta sonlarında ve diğer tatil günlerinde borsanın kapalı olması nedeniyle 1619 adettir. Veri setinden ilk 5 ve son 5 veri olmak üzere toplam 10 veri Tablo 1’de örnek olarak gösterilmiştir. Tablo 2’de ise veri setindeki değişkenler ve bunların aralıkları verilmiştir. Veriler Şekil 1’de grafik olarak görselleştirilmiştir.

Tablo 1. Veri Setinden Örnek Değerler

Günler	Hisse Senedi Kapanış Fiyatları
1	1.48
2	1.45
3	1.47
4	1.5
5	1.51
...	...
1615	8.06
1616	8.15
1617	8.11
1618	8.05
1619	8.13

Tablo 2. Veri Setindeki Değişkenlerin Değer Aralıkları

Veri Seti Değişkenleri	Aralıklar	
	Alt Değer	Üst Değer
Günler	1	1619
Hisse Senedi Kapanış Fiyatları	1.37	10.32

**Şekil 1.** Günler-Hisse Senedi Fiyatları Grafiği

3.2. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, matematik ve istatistik biliminden yararlanarak verilerin üzerinde yapılan işlemlerden çıkarımlarda bulunarak tahminler yapan sistemlerin bilgisayarlarla modellenmesidir. Model, mevcut veri seti ve kullanılan algoritmayla oluşturulur. Makine öğrenmesi, modellerden maksimum performansı elde etmek üzere kullanılır ve öğrenme türleri üç gruba ayrılır. Bunlar:

- Gözetimli Öğrenme (Supervised Learning) : Bu öğrenme şeklinde girdiler ve çıktılar arasında eşleme yapan fonksiyon regresyon veya sınıflandırma yöntemleriyle oluşturulur. Eğitim verileri hem girdileri hem de çıktıları içerir.
- Gözetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning) : Bu öğrenme yönteminde bilinmeyen bir yapı tahmin edilir. Giriş verisinin sınıfı belirsizdir.

- Takviyeli Öğreme (Reinforcement Learning) : Bu öğrenme şekli girdilerin çevreleriyle etkileşerek ödül denilen geri bildirimlerini maksimum seviyeye çıkarıp en uygun hareket tarzını bulmayı amaçlar bu yönüyle diğer öğrenim türlerinden farklıdır (Şafak, 2017).

Bu çalışmada gözetimli öğrenme yöntemlerinden Polinom Regresyon modeli ve Random Forest Regresyon modeli veriler üzerinde uygulanmıştır.

3.2.1. Polinom regresyon modeli

Gerçek hayat problemlerinde lineer ve çoklu lineer regresyonda olduğu gibi bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olmayabilir. Böyle durumlarda lineer regresyon çeşitleri gibi doğrusal olmayan ve derecesinde değişiklikler yapılarak verilere en uygun hale getirilebilecek regresyon modellerinden birisi Polinom Regresyon modelidir. Şekil 1’de verilen grafikte verilerin eğrisel olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle çalışmada kullanılan veriler için Polinom Regresyon modelinin uygun olduğu görülmüştür.

Polinom Regresyonla tahmin yöntemi Python 3.7 programlama dilinde Pandas, Numpy, SciKit-Learn, ve Matplotlib kütüphanelerini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Adımları şu şekildedir:

- Adım 1-Verilerin okunması: Veritabanında bulunan veriler Pandas kütüphanesi yardımıyla okunup bir değişkene atanır.
- Adım 2- Verilerin düzenlenmesi: Veri setinin içinden kullanılacak özellikler sütun olarak değişkenlere atanır ve oluşturulmuş her değişken Numpy kütüphanesi ile iki boyutlu hale getirilir. Gözlem verileri Matplotlib kütüphanesindeki grafik özelliği kullanılarak bir grafik üzerinde gösterilir.
- Adım 3- Verilerin ön hazırlığının yapılması: SciKit-Learn kütüphanesinden kullanılan Preprocessing modülüyle tahmini yapılacak verilerden bağımsız değişkene polinom özellikleri kazandırılır. Burada yeni yapılandırılacak polinom değerlerinin kaçınıcı dereceden bir polinom olacağına bilgisi verilir.
- Adım 4- Tahmin işleminin yapılması: SciKit-Learn kütüphanesinden tahmin için Linear_model modülünden LinearRegression sınıfı eklenir. Tahmin işlemi bağımsız değişkenin ön hazırlıktan geçmiş haliyle lineer regresyon modeliyle yapılır. Tahmin değerlerinin oluşturduğu fonksiyon gözlem değerlerinin bulunduğu grafiğe Matplotlib kütüphanesi yardımıyla yerleştirilir.

3.2.2. Random forest regresyon modeli

Random Forest modeli hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde kullanılabilen bir makine öğrenmesi yöntemidir. Random Forest Regresyon modelinin çalışma mantığı karar ağaçları yapısına benzer. Veri seti rassal olarak küçük parçalara ayrılıp karar ağaçlarını oluşturur. Tahminleme aşamasında ise veri setinden oluşmuş karar ağaçlarının tahminlerinin ortalaması alınır. Bu çalışmada Random Forest Regresyon modelinin kullanılmasının nedeni, bu modelin eğitim sırasında kullanılan geçmiş verileri ezberleme (overfitting) sorununun büyük oranda önüne geçmiş olması, veri türünün zaman serisi şeklinde olması ve başarılı sonuçlar veren bir yöntem olmasıdır (Akşehir&Kılıç, 2019).

Random forest regresyonla tahmin yöntemi Python 3.7 programlama dilinde Pandas, Numpy, SciKit-Learn ve Matplotlib kütüphanelerini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Adımları şu şekildedir:

- Adım 1-Verilerin okunması: Veritabanında bulunan veriler Pandas kütüphanesi yardımıyla okunup bir değişkene atanır.
- Adım 2- Verilerin düzenlenmesi: Veri setinin içinden kullanılacak özellikler sütun olarak değişkenlere atanır ve oluşturulmuş her değişken Numpy kütüphanesi ile iki boyutlu hale getirilir. Gözlem verileri Matplotlib kütüphanesindeki grafik özelliği kullanılarak bir grafik üzerinde gösterilir.
- Adım 3- Random Forest algoritmasının oluşturulması: SciKit-Learn kütüphanesinin farklı ya da aynı algoritmaları tekrar tekrar gerçekleştiren Ensemble modellerinden RandomForestRegressor sınıfı seçilir. Burada oluşturulması istenilen ağaç sayısı ve algoritmanın aynı değerlerle her çalıştığında farklı sonuçlar ortaya çıkarmasını engelleyen bir rastgelelik durum değişkeni verilir. Bu sınıf bir değişkene atanır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler sınıfın atandığı değişkene fit edilir.
- Adım 4- Tahmin işleminin yapılması ve grafik üzerinde gösterilmesi: Tahmin işlemi RandomForestRegressor sınıfının atandığı değişkendeki yatay ekseninde yer alan günlere göre tahmin edilir. Gözlem değerleri ve tahmin değerleri Matplotlib kütüphanesi yardımıyla grafikte gösterilir.

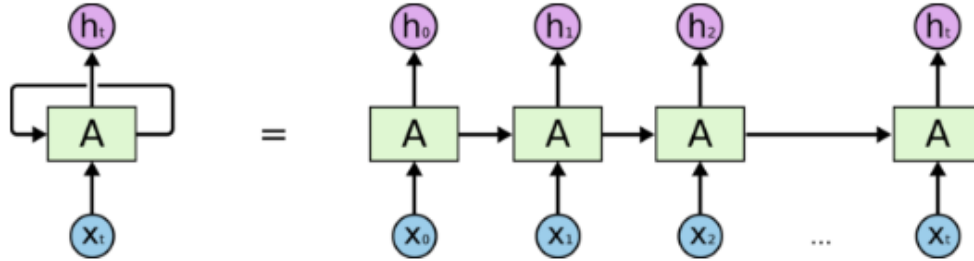
3.3. Derin Öğrenme

Derin öğrenme, sinir ağları algoritmalarından diğerlerine göre daha yeni olan bir türdür ve derin sinir ağlarını eğitir. Makine öğrenmesinin alt dallarından biridir. Bir ya da daha fazla girdisi olan, içerisinde çok sayıda katman bulunan ve en son bir ya da daha fazla çıktısı olan bir algoritmadır. Her katmanda kendisinden önceki bilgileri birleştirir ve bunlardan kompleks ve anlamlı sonuçları olan değerler üretir. Bu yönüyle diğer sinir ağları algoritmalarından daha tutarlı ve güçlüdür. Derin öğrenme de makine öğrenmesinin bir alt dalı olduğundan aynı onun gibi denetimli ve denetimsiz öğrenme modellerine sahiptir. Derin öğrenme modelleri, kaynaklardaki verilerin özelliklerini göz önüne alarak ve bunları gizli katmanlarında öğrenerek farklı veri dönüşüm aşamalarından meydana gelmektedir (Sakarya&Yılmaz, 2019).

Derin öğrenme, çok sayıda sahip olduğu gizli katmanla gelişmiş bir sinir ağıdır ve görüntü işleme, doğal dil işleme, el yazısı tanıma, çoklu sınıflandırma, regresyon problemleri, ses tanıma, zaman serisi tahminleri gibi birçok alanda etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

3.3.1. Tekrarlayan sinir ağı

RNN dışarıdan gelen yeni bilginin yanında bir önceki birimin çıktısını bir sonraki birimde girdi olarak kabul edip bir döngü oluşturan bir yapay sinir ağı sınıfıdır. Bu sınıftaki ana düşünce bilgileri sıralı olarak kullanmaktır. RNN modellerinde alt katmanlardan ve bir önceki adımın çıktılarının girdi olarak kullanılmasıyla aktivasyon değerlerini hesaplayan gizli katmanlar kullanılır. Bu kendini yineleme özelliğini mevcut çıktılarla ilgili kararları yeni verilerle geçmişteki verileri birleştirerek sağlar. Çıktı üretildikten sonra kopyalanıp tekrar RNN'in giriş kısmına iletilir. Bu bilgi yeni girdilerde kullanılır. RNN yapıları yeni girdilerle işlem yapabilmek için hafızalarını kullanırlar ancak bu hafıza kısa süreli bir hafızadır (Hiransha vd., 2018; Mittal, 2019; Sakarya&Yılmaz, 2019).



Şekil 2. RNN'nin Genel Yapısı (Mittal, 2019)

Şekil 2'de RNN'in genel yapısı gösterilmiştir. Öncelikle ağı bir X_0 girdisi girer ve işlemler sonucunda h_0 olarak çıkar. Bir sonraki adımda girdi olarak yeni bir bilgi olan X_1 ve bir önceki adımın çıktısı olan h_0 girer. Yeni adımda ise yeni girdi olarak X_2 ve bir önceki adımın çıktısı olan h_1 girer. Bu işlemler bu şekilde kendini yineler (Mittal, 2019).

RNN ile tahmin yöntemi Python 3.7 programlama dilinde Pandas, Numpy, SciKit-Learn, Matplotlib, Pydot, Graphviz ve Keras kütüphanelerini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Adımlar aşağıda verilmiştir.

- Adım 1-Verilerin okunması: Veritabanında bulunan veriler Pandas kütüphanesi yardımıyla okunup bir değişkene atanır. X bir veri seti olmak üzere bu veri setinin her bir elemanı x_i olsun ve bu X veri seti bir A kümesinde gösterilsin.
 $A = \{x_i \in X\} \quad i=1,2,\dots, n$
- Adım 2-Verilerin Düzenlenmesi: Veri setinin içinden kullanılacak özellikler sütun olarak değişkenlere atanır ve oluşturulmuş her değişken Numpy kütüphanesi ile iki boyutlu hale getirilir. Gözlem verileri bir grafik üzerinde gösterilir.
- Adım 3-Verilerin ön hazırlığının yapılması: SciKit- Learn kütüphanesinden Preprocessing modülünden veri setini normalize etmek için MinMaxScaler sınıfı eklenir. Bu sınıf bir değişkene atanıp normalize işlemiyle verilerin hangi değerler arasına gireceği belirtilir.
- Adım 4- Eğitim kümesinin ve test kümesinin oluşturulması: Eğitim kümesi geçmiş verilerin öğrenildiği yani ağın eğitilmesi için seçilen verilerin bulunduğu kümedir. % t tüm veriler içinden eğitim kümesini oluşturan kısmın değeri olsun. Eğitim kümesinin veri sayısı Denklem 1'de gösterilmiştir.

$$EKVS = n * t/100 \quad (1)$$

Test kümesi, eğitim kümesinin dışındaki verileri kapsayan kümedir. Denklem 2'de verilmiştir.

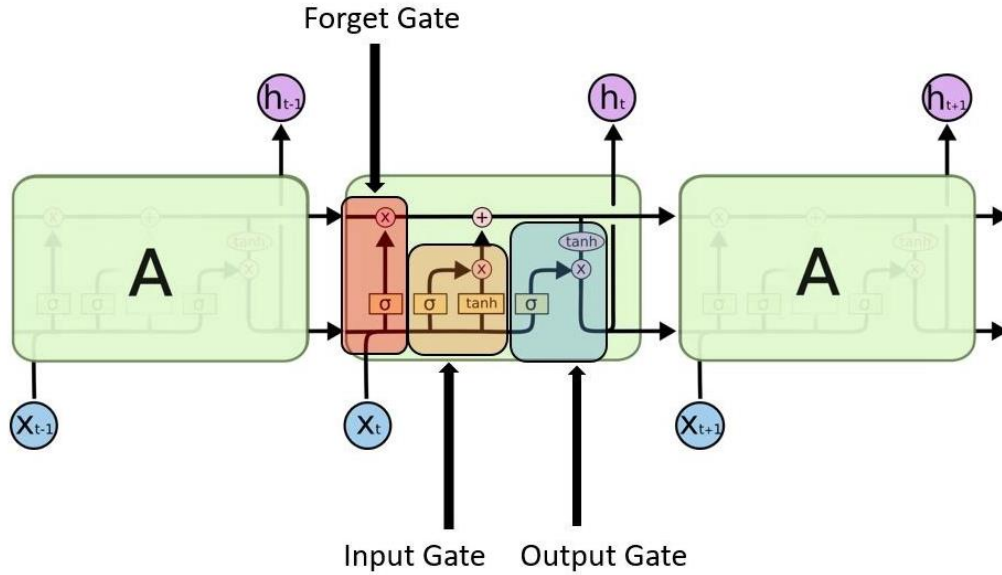
$$TKVS = n - EKVS \quad (2)$$

- Adım 5- Eğitim ve test setinin tahmin metodunun belirlenmesi: Eğitim seti iki farklı dizi oluşturacak şekilde ikiye ayrılır. Tahmin için sabit bir adım değeri belirlenir. Bu sabit değer kadar veri birinci diziye atanır. Bir sonraki veri ise tahmin edilip diğer diziye aktarılır. Bu şekilde bütün eğitim verileri tahmin edilir. Aynı işlemler test verisi için de gerçekleştirilir.
- Adım 6- RNN yapısının oluşturulması ve görselleştirilmesi: Derin öğrenme yapısının oluşturulabilmesi için Keras Kütüphanesinden model türlerinden verileri zaman serisi olduğu için Sequential sınıfı ve SimpleRNN, Dense ve Dropout katman türleri eklenir. Bu sınıf bir değişkene atanır ve sınıfın içinde yapıda kullanılacak katmanlar, bu katmanların sayısı, katmanlardaki blok sayısı ve özellikleri verilir. Oluşturulan ağ yapısı Pydot ve Graphviz yardımcı paketleri yardımıyla görselleştirilir.
- Adım 7- Tahmin işleminin gerçekleştirilmesi: Eğitim ve test verileri Sequential sınıfının atandığı değişkenle tahmin işlemini gerçekleştirir. Tahmin işlemlerinden sonra veriler normalize halde bulduklarından normal yapılarına geri döndürülüp gözlem değerleri, eğitim tahmin değerleri ve test tahmin değerleri Matplotlib kütüphanesi yardımıyla grafikte gösterilir.

3.3.2. Uzun-kısa süreli bellek

Tekrarlayan sinir ağlarının bir alt dalı olan LSTM, RNN'deki mevcut sorunları ortadan kaldırma amacıyla geliştirilmiştir. Bir LSTM yapısında giriş, çıkış ve unut olmak üzere üç kapı bulunmaktadır. Bu kapıların görevleri sırasıyla yazma, okuma ve sıfırlamadır. Hücre durumlarında gerçekleşen değişiklikler anlatılan üç kapı tarafından kontrol edilmektedir. Hücelere iletilecek bilgilerin seçimi, çıktı olarak bu bilgilerin ne kadarının nasıl kullanılacağı gibi seçimlerin gerçekleşmesini sağlayan kapı mekanizmalarını da sisteme ekleyerek RNN'deki mevcut sorunların çözülmesi sağlanmıştır. LSTM kapılarından giriş kapısının görevi belleğe eklenecek bilgiler kontrol etmek, unut kapısının görevi eski bilgilerin ne kadarının yeni verilere taşınacağını kontrol etmek, çıkış kapısı ise bellekte bulunan bilgilerin ne kadarının çıktı aşamasında kullanılacağını kontrol etmektir (Sakarya&Yılmaz, 2019).

Şekil 3'te LSTM hücresinin yapısı ve kapıları verilmiştir. Burada t anındaki girdi verisi x_t ve bir önceki hücreden gelen çıktı verisi (t anındaki hücre için girdi) h_t 'dir. Öncelikle t anındaki girdi olan x_t ve bir önceki adımın çıktısı olan h_{t-1} unut kapısına gelir. Bu değerlere göre unut kapısı x_t girdisine ve h_{t-1} çıktısına göre bir karar verir. Bir önceki hücreden gelen bilgi miktarı durum bilgisi mevcut t anındaki hücrede kontrol edilir. Girdi kapısında, bellek hücresine bir önceki hücreden gelen h_{t-1} ve x_t olarak yeni gelen bilginin ne kadarının kullanılacağına karar verilir. Bu bilgilerin kullanılıp kullanılmayacağı 0 ve 1 çıktılarında anlaşılır. Karar 0 ise bilgileri kullanılmaz, 1 ise bilgiler kullanılır. Çıktı kapısı ise bir çıktı olup olmayacağına karar verir. Çıktı kapısı da h_{t-1} ve x_t girdilerini alır ve girdi kapısında olduğu gibi 0 veya 1 şeklinde bir çıktının olup olmayacağına karar verir. t anındaki hücre durumu bir sonraki hücreye geçerken ($t+1$ anı) $t-1$ ve t anlarındaki bilgilerin toplamı olmaktadır (Kim&Won, 2018; Sakarya&Yılmaz, 2019).



Şekil 3. LSTM Hücre Yapısı ve Kapıları (Mittal, 2019)

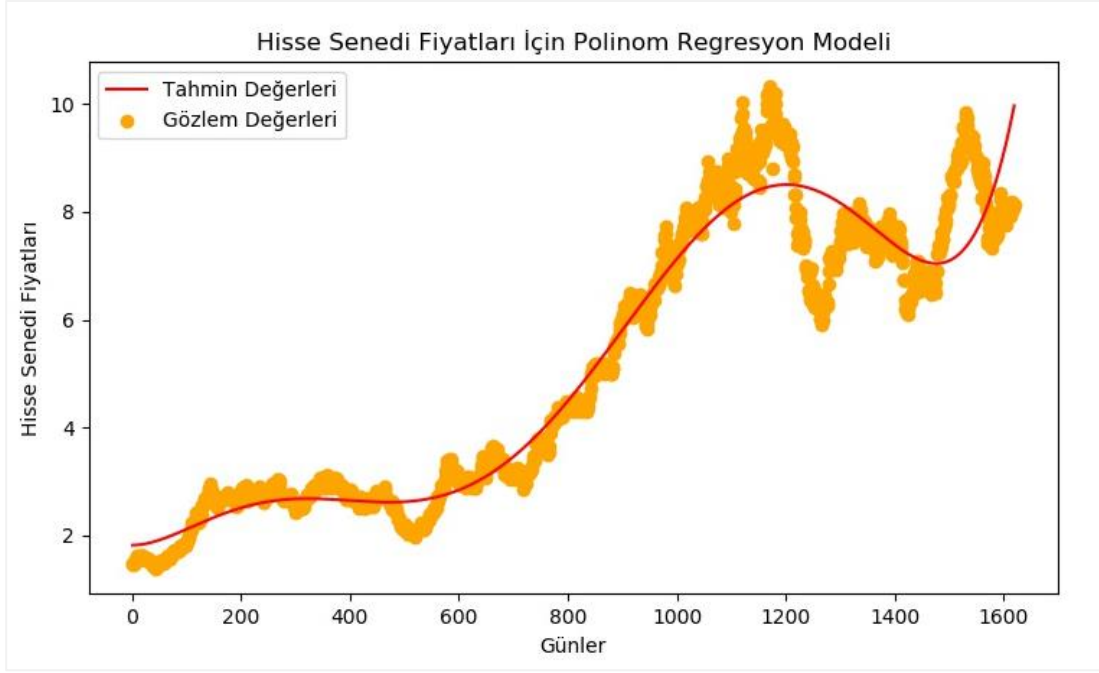
LSTM ile tahmin yöntemi Python 3.7 programlama dilinde Pandas, Numpy, SciKit-Learn, Matplotlib, Pydot, Graphviz ve Keras kütüphanelerini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bütün adımları RNN çözüm yönteminin adımlarıyla aynıdır. Tek farkı RNN ağı oluşturma adımında eklenen katmanlardan SimpleRNN'in yerine LSTM ağı oluşturulduğundan LSTM katmanının seçilmesidir.

4. Uygulama

Bu çalışmanın veri seti, günler ve Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T. A. Ş.'nin hisse senedi fiyatlarının borsa kapanış değerlerinden oluşmaktadır. Çözüm yöntemi olarak makine öğrenme algoritmalarından Polinom Regresyon ve Random Forest Regresyon ve derin öğrenme algoritmalarından RNN ve LSTM yöntemleri kullanılmıştır. Amaç bu dört farklı tahmin yönteminden hangisinin hisse senedi fiyat tahmini konusunda daha iyi sonuçlar verdiğini bulmaktır.

4.1. Polinom Regresyon Modeli

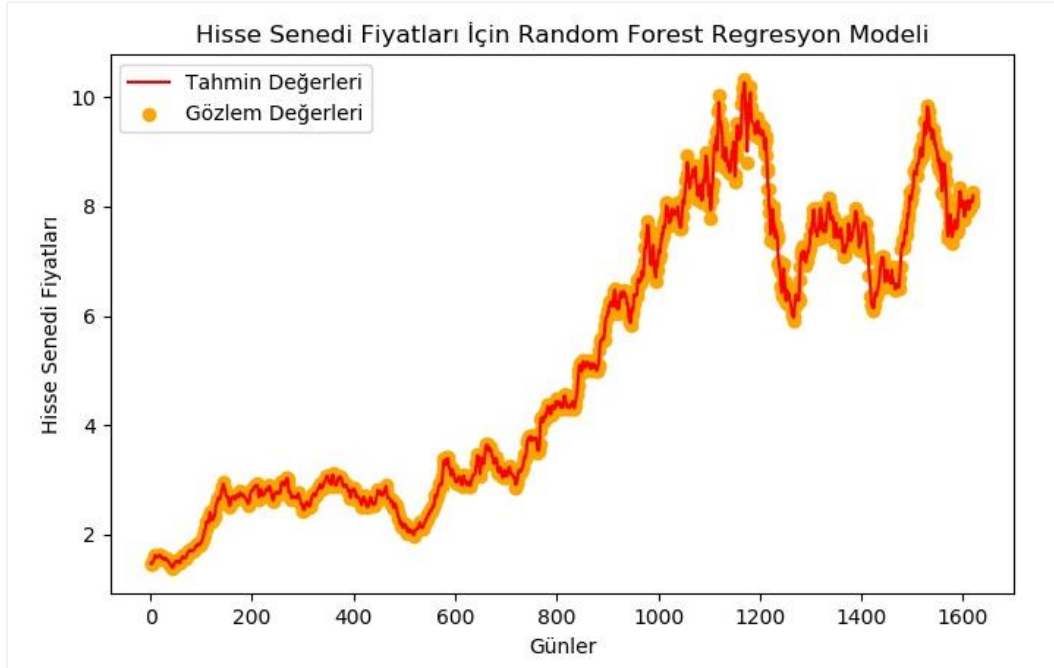
Verilere en uygun polinom fonksiyonunun derecesini bulmak için çok sayıda deneme yapılmıştır. Oluşturulan tahmin fonksiyonlarından gözlem değerlerine en uygun polinomun 6. dereceden bir polinom olduğu görülmüştür. Şekil 4'te Polinom Regresyon için gözlem ve tahmin değerlerinin grafik olarak görselleştirilmiş hali verilmiştir.



Şekil 4. Polinom Regresyon Modelinin Hisse Senedi Fiyat Tahmin Grafiği

4.2. Random Forest Regresyon Modeli

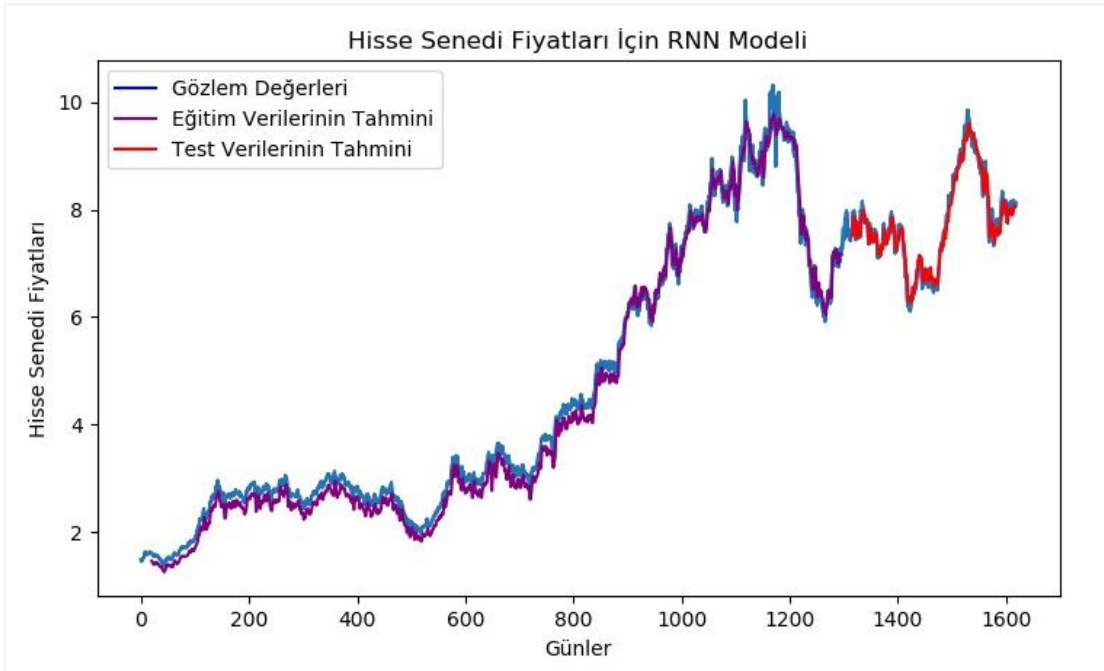
SCiKit-Learn kütüphanesinin tekrarlanan algoritmalar modülünden çağırılan RandomForestRegressor sınıfına belirlenen karar ağacı sayısı 100 ve rassallık durumu 0 olarak belirlenmiştir. Karar ağacı sayısının seçiminde farklı sayılarda karar ağaçları oluşturulup denenmiştir. Karar ağacı sayısı azaldıkça tahmin değerlerinin gözlem değerlerinden uzaklaştığı, daha fazla sayıda karar ağacı oluşturulduğunda işlem süresinin uzadığı ve hata değerlerinde anlamlı bir fark olmadığı görülmüştür. Şekil 5'te Random Forest Regresyon için gözlem ve tahmin değerlerinin grafik olarak görselleştirilmiş hali verilmiştir.



Şekil 5. Random Forest Regresyon Modelinin Hisse Senedi Fiyat Tahmin Grafiği

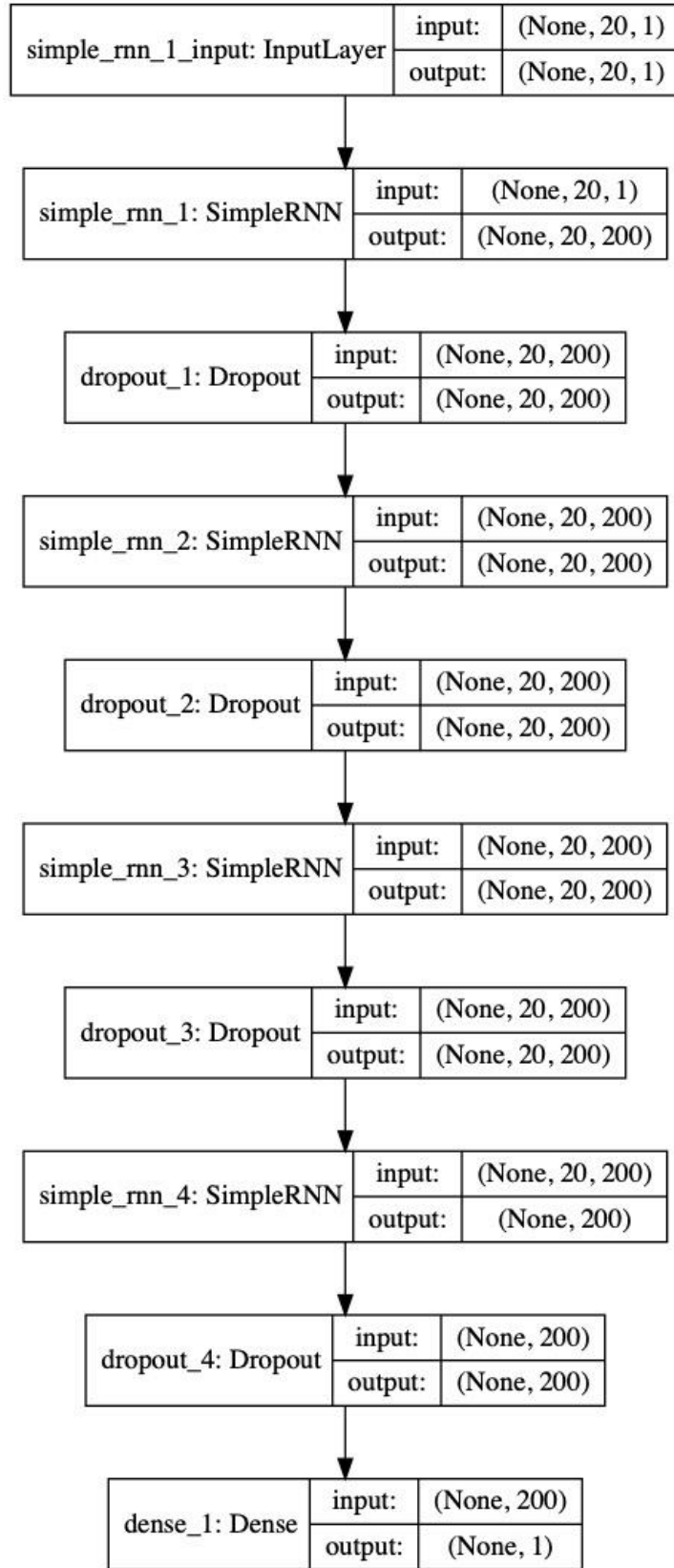
4.3. Tekrarlayan Sinir Ağları Modeli

Veriler normalize edilmiştir. Eğitim ve test kümesini belirlemek için Denklem 1 ve Denklem 2 kullanılmıştır. Veri setinin %80'ini (Denklem 1) test kümesinde kalan % 20'si (Denklem 2) test kümesinde yer almaktadır ve adım değeri 20 olarak belirlenmiştir. RNN ağı toplam 5 katmandan oluşmaktadır. İlk 4 katmanda blok sayısı 200 olarak verildiğinde tahmin değerlerinin mevcut verilere göre anlamlı tahminler ürettiği görülmüştür. Bu nedenle blok sayısı 200 olarak belirlenmiştir. Blok sayısının 200'den fazla belirlenmesi sonucunda tahminlerde anlamlı bir fark görülmemiş ve işlem süresi uzamıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak tanh fonksiyonu kullanılmıştır. Bunun nedeni bu fonksiyonun $[-1,1]$ aralığında değerler alabilmesidir. Alabileceği değer sayısının fazla olmasının hızlı öğrenmeye katkısı da yüksek olmaktadır. Eşik değeri 0.2 olarak seçilmiştir. Bu değer aşırı uydurma sorununun önüne geçilmek için yapılmıştır ve RNN katmanlarına bağlıdır. Son katmanda bir tane çıktı verileceği için blok sayısı 1 olarak verilmiştir. Ağın iyileştirme fonksiyonu (optimizer) "adam (momentum)" olarak seçilmiştir. Bu iyileştirme metodunda öğrenme değeri (learning rate) ve bunun artış değerleri verilebilmektedir. Bunun dışın iyileştirme için seçilen kayıp fonksiyonu (loss function) değerini göz önüne alır ve öğrenme değerini revize eder. RNN ağı için kayıp fonksiyonu Ortalama Karesel Hata (MSE) olarak belirlenmiştir. En iyi sonuç tekrar sayısı (epoch) 250 olarak verildiğinde ve bir parti içindeki veri sayısı (batch size) 32 olarak verildiğinde elde edilmiştir. Bu parti değeri aynı anda kaç verinin ele alınıp ileri ve geri yayılım algoritmasının uygulanacağını göstermektedir. Şekil 6'da RNN modeli için gözlem ve tahmin değerleri grafik ile görselleştirilmiştir.



Şekil 6. RNN Modelinin Hisse Senedi Fiyat Tahmin Grafiği

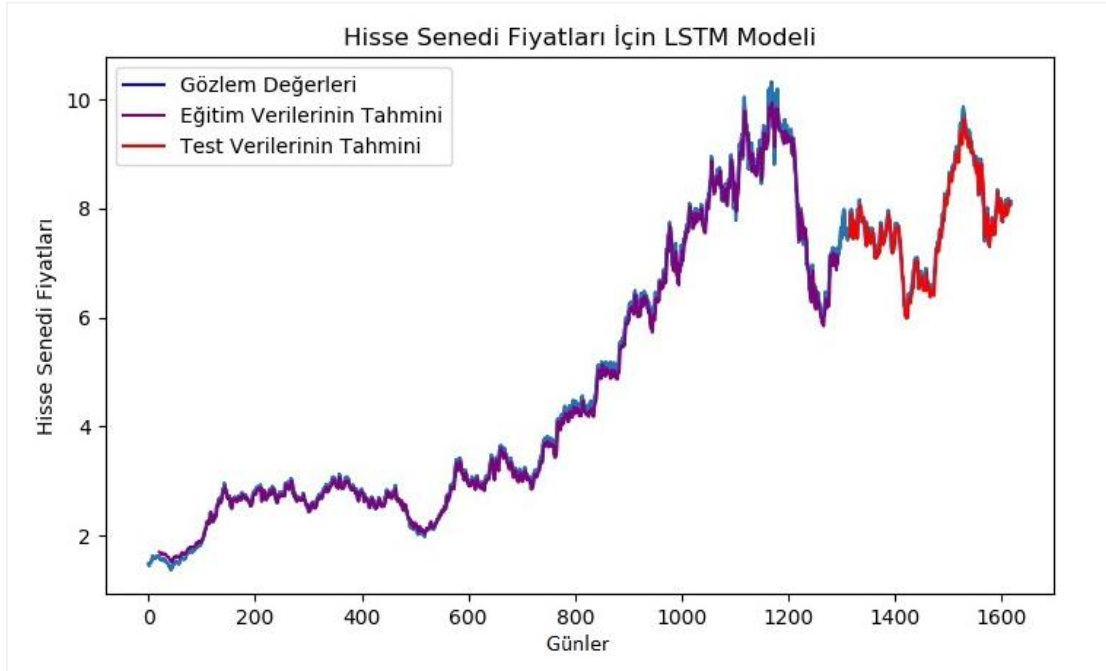
RNN modelinin ağ yapısı Şekil 7'de verilmiştir. Ağ yapılarında giriş katmanı ayrı bir katman olarak sayılmaz. "simple_rnn_1_input:InputLayer", RNN ağının girdi katmanıdır. 20 adım sayısıdır ve blok sayısı 1'dir. Giriş katmanının girdisi (input) de çıktısı (output) da aynı değerleri alır. Bir sonraki katmanın (simple_rnn_1:SimpleRNN) girdi değeri giriş katmanının çıktı değeriyle aynıdır. Çıktı değeri ise daha önce belirlenen sabit adım değeri (20) ve birinci katmanın blok sayısı olan 200'dür. "dropout_1: Dropout" katmanı eşik değerin veriliği katmanıdır ve her RNN katmanına bağımlı olan bir Dropout katmanı vardır. Bu nedenle algoritmayı Python 3.7 programlama dilinde yazarken Dropout katmanı için herhangi bir blok değeri yazılmamış olmasına rağmen bağlı olduğu RNN katmanının çıktısıyla Dropout katmanının girdisi ve çıktısı aynı değerlere sahiptir. "simple_rnn_4:Simple RNN" katmanı son katmandan bir önceki katman olduğu için girdisi diğer RNN katmanlarıyla aynıdır ancak çıktısında adım değeri görülmemektedir. Son katmanda (dense_1:Dense) ise girdisi bir önceki katmanın çıktısıyla aynıdır ancak çıktısı Dense katmanında sadece bu katman için belirlenmiş olan blok sayısı 1 görülmektedir.



Şekil 7. RNN Modelinin Ağ Yapısı

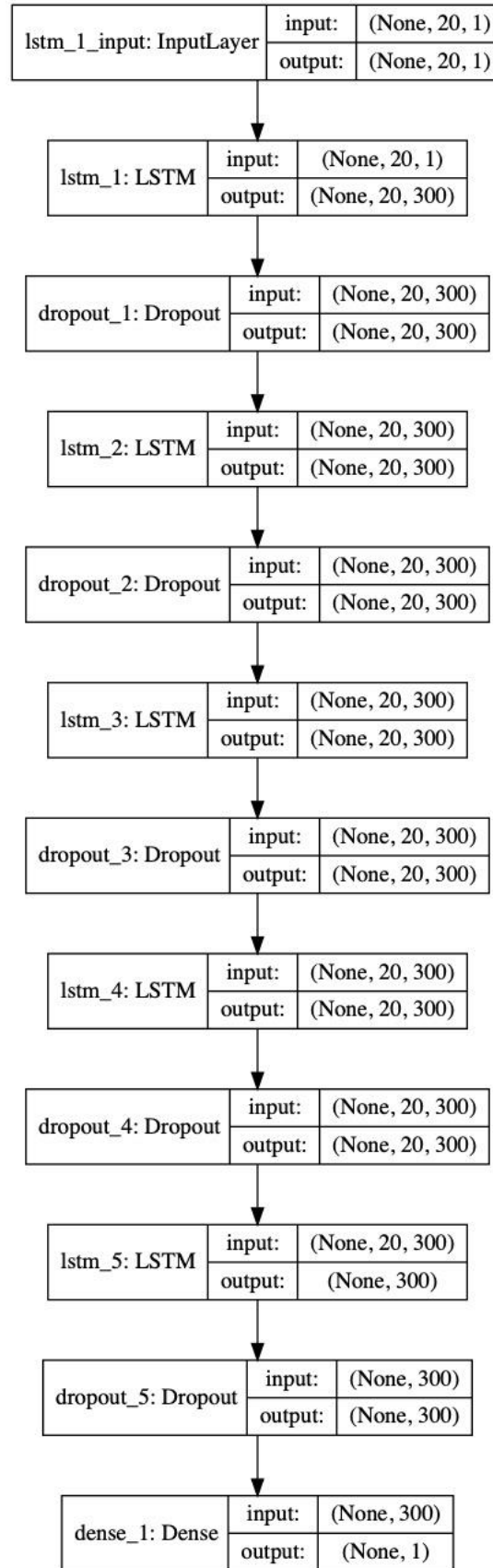
4.4. Uzun-Kısa Süreli Bellek Modeli

Veriler normalize edilmiştir. Eğitim ve test kümesini belirlemek için Denklem 1 ve Denklem 2 kullanılmıştır. Veri setinin %80'ini (Denklem 1) test kümesinde kalan % 20'si (Denklem 2) test kümesinde yer almaktadır ve adım değeri 20 olarak belirlenmiştir. LSTM ağı toplam 6 katmandan oluşmaktadır. İlk 5 katmanda blok sayısı 300 olarak verildiğinde tahmin değerlerinin mevcut verilere göre anlamlı tahminler ürettiği görülmüştür. Bu nedenle blok sayısı 300 olarak belirlenmiştir. Blok sayısının 300'den fazla belirlenmesi sonucunda tahminlerde anlamlı bir fark görülmemiş ve işlem süresi uzamıştır. Eşik değeri 0.2 olarak seçilmiştir. Bu değer aşırı uydurma sorununun önüne geçilmek için yapılmıştır ve LSTM katmanlarına bağlıdır. Son katmanda bir tane çıktı verileceği için blok sayısı 1 olarak verilmiştir. Ağın iyileştirme fonksiyonu "adam" olarak seçilmiştir. LSTM ağı için kayıp fonksiyonu MSE olarak belirlenmiştir. En iyi sonuç tekrar sayısı 250 olarak verildiğinde ve bir parti içindeki veri sayısı 32 olarak verildiğinde elde edilmiştir. Bu parti değeri aynı anda kaç verinin ele alınıp ileri ve geri yayılım algoritmasının uygulanacağını göstermektedir. Şekil 8'de sinir ağı için gözlem ve tahmin değerleri grafik ile görselleştirilmiştir.



Şekil 8. LSTM Modelinin Hisse Senedi Fiyat Tahmin Grafiği

LSTM modelinin ağ yapısı Şekil 9'da verilmiştir. "lstm_1_input:InputLayer", LSTM ağının girdi katmanıdır. Adım sayısı 20 olarak belirlenmiştir ve blok sayısı 1'dir. Giriş katmanının girdisi (input) de çıktısı (output) da aynı değerleri alır. Bir sonraki katmanın (lstm_1:LSTM) girdi değeri giriş katmanının çıktı değeriyle aynıdır. Çıktı değeri ise daha önce belirlenen sabit adım değeri (20) ve birinci katmanın blok sayısı olan 300'dür. "dropout_1: Dropout" katmanı eşik değerini veriliği katmandır ve her LSTM katmanına bağımlı olan bir Dropout katmanı vardır. Bu nedenle algoritmayı Python 3.7 program dilinde yazarken Dropout katmanı için herhangi bir blok yazılmamış olmasına rağmen bağlı olduğu LSTM katmanının çıktısıyla Dropout katmanının girdisi ve çıktısı aynı değerlere sahiptir. "lstm_5:LSTM" katmanı son katmandan bir önceki katman olduğu için girdisi bir önceki LSTM katmanının çıktısıyla aynıdır ancak çıktısında adım değeri görülmemektedir. Son katmanda (dense_1:Dense) ise girdisi bir önceki katmanın çıktısıyla aynıdır ancak çıktısı Dense katmanının blok sayısı olarak belirlenmiş olan 1 görülmektedir.



Şekil 9. LSTM Modelinin Ağ Yapısı

5. İstatistiksel Analiz

Çözüm yöntemi olarak kullanılan dört tahmin yönteminden elde edilen tahmin değerlerini ve gerçek değerleri kullanarak analizler yapıp sonuçları karşılaştırılıp verilere en uygun çözümün bulunması gerekmektedir. Bu çalışmada sonuçların analizi için hata metriklerinden Ortalama Kareysel Hata (Mean Square Error-MSE), Ortalama Karekök Hata (Root Mean Square Error-RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error-MAE) yararlanılmak üzere seçilmiştir. Bu hata metrikleri zaman serileri verilerinde gerçek verileri ve tahmin değerlerini karşılaştırmada ve yorumlamada sıkça kullanılan analiz yöntemlerindedir. MSE değeri denklem 3'te, MAE değeri denklem 4'te ve RMSE değeri denklem 5 ve 6'da verilmiştir (Alhnaity&Abbod, 2020).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (6)$$

SciKit-Learn kütüphanesinden metrics metodu seçilerek MSE ve MAE hata değerleri bulunabilmektedir. Metodun içindeki değerler kullanıldığında RMSE değerinin bulunması için Math kütüphanesinden sqrt fonksiyonu seçilmiştir.

Yukarıda verilen Denklem 3, Denklem 4 ve Denklem 5 kullanılarak Tablo 3'teki makine öğrenmesi algoritmalarının hata değerleri gösterilmiştir. Makine öğrenmesi algoritmalarının metrik hata değerlerine bakıldığında Random Forest Regresyon modelinin hata değerlerinin çok düşük değerler olduğu görülmüştür. MSE hata değeri % 0,14 ile en düşük hata değerini gösterirken RMSE hata değeri % 3,7 ile en yüksek hata değerini göstermektedir. Polinom Regresyon için bakıldığında ise hata değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. MSE hata değeri % 44 ile en düşük hata değerini verirken RMSE hata değeri % 66 ile en büyük hata değerini vermiştir. İki yöntem karşılaştırıldığında Random Forest Regresyon modelinin tahmin sonuçlarının Polinom Regresyona göre çok daha iyi bir düzeyde olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Hata Metrik Değerleri

Algoritmalar	Hata Metrikleri		
	MSE	MAE	RMSE
Polinom Regresyon	0.44	0.46	0.66
Random Forest Regresyon	0.0014	0.024	0.037

SciKit-Learn kütüphanesindeki metrics metoduyla MSE ve MAE değerleri bulunduktan sonra RMSE değerini bulabilmek için Math kütüphanesindeki sqrt fonksiyonu (Denklem 6) kullanılmıştır. Derin öğrenme algoritmalarının hata değerlerinin sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir. RNN modelinin eğitim kümesinin sonuçlarına bakıldığında en düşük hata değerinin % 7 ile MSE ve en yüksek hata değerinin % 20 ile RMSE olduğu görülmüştür. RNN modelinin test kümesinin hata değerlerine bakıldığında MSE'nin % 9 ile en düşük hata değeri ve RMSE'nin % 23 ile en yüksek hata değeri olduğu görülmüştür Eğitim kümesi ile test kümesi karşılaştırıldığında Eğitim kümesinin hata değerlerinin test kümesinin hata değerlerinden daha iyi olduğu görülmüştür. LSTM modelinin eğitim kümesinin sonuçlarına bakıldığında en düşük hata değerinin % 1,9 ile MSE ve en yüksek hata değerinin % 13 ile RMSE olduğu görülmüştür. LSTM modelinin test kümesinin hata değerlerine bakıldığında MSE'nin % 3 ile en düşük hata değeri ve RMSE'nin % 17 ile en yüksek hata değeri olduğu görülmüştür Eğitim kümesi ile test kümesi karşılaştırıldığında Eğitim kümesinin hata değerlerinin test kümesinin hata değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. RNN'in ve LSTM'in metrik hata değerlerine bakıldığında algoritmalarının sonuçlarının çok yakın olduğu ancak LSTM modelinin sonuçlarının daha iyi olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Derin Öğrenme Yöntemlerinin Hata Metrik Değerleri

Algoritmalar		Hata Metrikleri		
		MSE	MAE	RMSE
RNN Sinir Ağı	Eğitim Kümesi	0.07	0.19	0.20
	Test Kümesi	0.09	0.21	0.23
LSTM Sinir Ağı	Eğitim Kümesi	0.019	0.09	0.13
	Test Kümesi	0.03	0.14	0.17

6. Sonuç

Bu çalışmanın amacı Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T. A. Ş.'nin hisse senedi fiyatlarının borsa kapanış değer tahminlerinin makine öğrenmesi yöntemlerinden Polinom Regresyon ve Random Forest Regresyon, derin öğrenme yöntemlerinden ise RNN ve LSTM algoritmalarıyla gerçekleştirip, hisse senedi fiyat tahmini için başarılarını değerlendirmektir. Algoritmalar Python 3.7 programlama dilinde Spyder (Anaconda3) editörü kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma veritabanı olarak kullanılan Excel 2013'te bulunan günlerin ve hisse senedi kapanış fiyatlarının oluşturduğu veri setiyle gerçekleştirilmiştir. Veri sayısı toplam 1619 adettir. Tahmin sonuçlarının başarısının istatistik analizi MSE, MAE ve RMSE hata metriklerinden faydalanarak yapılmıştır.

Hisse senedi fiyatlarının borsa kapanış değerleri tahmini için kullanılan makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri kendi aralarında değerlendirilmiştir. Makine öğrenmesi modellerinden Polinom Regresyon için hata değerlerine bakıldığında, bu değerlerin % 44 ve % 66 arasında değiştiği görülmüştür. Random Forest Regresyon için bakıldığında ise hata değerleri % 0,14 ve % 3,7 arasında değişmektedir. Bu iki makine öğrenmesi modelinin hata değerleri karşılaştırıldığında Random Forest Regresyon modelinin Polinom Regresyon modeline göre çok daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Derin öğrenme modellerinden RNN modelinin eğitim kümesi için hata değerlerine bakıldığında, bu değerlerin % 7 ve % 20 arasında değiştiği görülmektedir. RNN modelinin test kümesi için hata metriklerinin sonuçlarına bakıldığında hata değerlerinin % 9 ve % 23 arasında değiştiği gözlemlenmektedir. LSTM modelinin eğitim kümesi için hata değerlerine bakıldığında bu değerlerin % 1,9 ve % 13 arasında değiştiği, test kümesine bakıldığında ise hata değerlerinin % 3 ve %17 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. İki yöntemin de hata değerleri karşılaştırıldığında üç metrik için de LSTM modelinin hata değerlerinin RNN modelinin hata değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Her iki model için de eğitim kümelerinin hata değerlerinin test kümelerinin hata değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin eğitim kümelerinin tüm verinin % 80'ini, test kümelerinin ise tüm verinin % 20'sini oluşturması olduğu düşünülmektedir.

Modellerin hata değerlerine göre başarı durumları sıralandığında sırasıyla Random Forest Regresyon modeli, LSTM modeli, RNN modeli ve Polinom Regresyon modeli olduğu görülmektedir. Hisse senedi fiyatlarını etkileyecek diğer borsa hareketlerinin veriye dahil edilmesiyle ve veri sayısının artırılmasıyla modellerin daha doğru ve güvenilir sonuçlar çıkarabileceği düşünülmektedir.

Referanslar

- Akşehir, Z. D., & Kılıç, E. (2019). Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Banka Hisse Senetlerinin Fiyat Tahmini. Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi.
- Alhnaity, B., & Abbod, M. (2020). A New Hybrid Financial Time Series Prediction Model. Engineering Applications of Artificial Intelligence.
- Baek, Y., & Kim, H. Y. (2018). ModAugNet: A New Forecasting Framework for Stock Market Index Value with An Overfitting Prevention LSTM Module and A Prediction LSTM Module. Expert Systems with Applications.
- Bahadır, İ. (2008). Bayes Teoremi ve Yapay Sinir Ağları Modelleriyle Borsa Gelecek Değer Tahmini Uygulaması.
- Çalışkan, M. M., & Deniz, D. (2015). Yapay Sinir Ağlarıyla Hisse Senedi Fiyatları ve Yönlerinin Tahmini. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi.
- Hiransha, M., Gopalakrishnan, E. A., Menon, V. K., & Soman, K. P. (2018). NSE Stock Market Prediction Using Deep-Learning Models. Procedia Computer Science.
- Kantar, L., (2019). Bist100 Endeksinin Yapay Sinir Ağları ve Arma Modeli İle Tahmini. 23. Finas Sempozyumu— Marmara Üniversitesi İşletme Fakültesi. İstanbul: Gelişim Üniversitesi.
- Kim, H. Y., & Won, C. H. (2018). Forecasting the Volatility of Stock Price Index: A Hybrid Model Integrating LSTM with Multiple GARCH-Type Models. Expert System with Applications.
- Kutlu, B., & Badur, B. (2009). Yapay Sinir Ağları İle Borsa Endeksi Tahmini.
- Mittal, A. (2019, Ekim 12). towards data science: <https://towardsdatascience.com/understanding-rnn-and-lstm-f7cdf6dfc14e>
- Moralı, T. (2011). İMKB 100 Endeksinin Yapay Sinir Ağları ve Newton Nümerik Arama Modelleri ile Tahmini ve Sonuçların Karşılaştırılması.

Özer, A., Sarı, S. S., & Başakın, E. E. (2017). Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağları ile Borsa Endeks Tahmini: Gelişmiş ve Gelişmekte Olan Ülkeler Örneği.

Pabuçcu, H. (2019). Borsa Endeksi Hareketlerinin Makine Öğrenme Algoritmaları İle Tahmini. Bayburt. azure.microsoft.com: <https://azure.microsoft.com/tr-tr/overview/what-are-private-public-hybrid-clouds/>

Raşo, H., & Demirci, M. (2019). Predicting the Turkish Stock Market BIST 30 Index using Deep Learning. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi.

Sakarya, Ş., & Yılmaz, Ü. (2019). Derin Öğrenme Mimarisi Kullanarak BİST30 İndeksinin Tahmini. European Journal of Educational & Social Sciences .

Şafak, H. İ. (2017, Aralık 9). <https://medium.com/>: <https://medium.com/t%C3%BCrkiye/makine-%C3%B6%C4%9Frenmesi-nedir-20dee450b56e>

Vijh, M., Chandola, D., Tikkiwal, V. A., & Kumar, A. (2020). Stock Closing Price Prediction Using Machine Learning Techniques. Procedia Computer Science.



1500 V DC Beslemeli Raylı Sistemlerde Dinamik Reaktif Güç Probleminin DKS ile Çözümü

Solution of Dynamic Reactive Power Problem in 1500 V DC Supply Rail Systems with DCS

Mehmet Taciddin Akçay

¹ Istanbul Metropolitan Municipality, Directorate of Rail Systems, Istanbul, TURKEY

Başyuru/Received: 29/07/2020 **Kabul / Accepted:** 09/12/2020 **Çevrimiçi Basım / Published Online:** 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Elektrik güç sistemlerinde kaynaktan üretilen gücün etkin bir şekilde yüke aktarılması ana hedeftir. Bunun için kaynaktan çekilen görünür gücün tamamının aktif güç olması gerekmektedir. AC şebeke tarafından sağlanan güç sinusoidal dalga şekline sahip yüksek güç faktörüne sahip bir yapıda olsa da yük tarafında reaktif güç unsurları bulunmaktadır. Bu durum şebeke tarafında ve sistemin genel performansına problem ortaya çıkaracağı için açığa çıkan bu reaktif gücün kompanze edilmesi gerekmektedir. Raylı sistemler elektrifikasyon sistemi bünyesinde birçok alt sistemi barındıran kompleks bir yapıya sahip olduğu için bu durumda dinamik bir reaktif güç problemi ortaya çıkmaktadır. İşletme özelliklerine göre sistemin davranışı ve aktif hale gelen yükler değiştiği için dinamik koşullara göre reaktif güç kompanze edilmektedir. Bu çalışmada 1500 V DC beslemeli raylı sistemlerde dinamik reaktif güç probleminin DKS (Dinamik Kompanzasyon Sistemi) ile çözümü yapılmıştır. DKS için üretilen algoritma verilerek benzetimi yapılan sistem analiz edilmiştir. Üretilen güç faktörü düzeltilmesi model üzerinden anlatılırken tasarlanan bu cihazın sisteme bağlanmasından sonra elde edilen başarı önceki durumla karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“DC, Dinamik, DKS, Güç, Reaktif”

Abstract

In electrical power systems, the main goal is to effectively transfer the power generated from the source to the load. For this, all of the apparent power provided from the source must be active power. Although the power supplied by the AC mains has a high power factor structure with sinusoidal waveform, there are reactive power elements on the load side. This reactive power must be compensated since this will cause problems on the network side and the overall performance of the system. Since rail systems have a complex structure that includes many subsystems within the electrification system, a dynamic reactive power problem arises in this case. Reactive power is compensated according to the dynamic conditions since the behavior of the system and the activated loads change according to the operating characteristics. In this study, dynamic reactive power problem was solved with DCS (Dynamic Compensation System) in 1500 V DC powered rail systems. By giving the algorithm created for DCS, the simulated system was analyzed. When the power factor correction produced is explained on the model, the success achieved after connecting this device to the system is given in comparison with the previous situation.

Key Words

“DC, DCS, Dynamic, Power, Reactive”

1. Giriş

Elektrik güç sistemlerinin optimize edilerek kaynağa ulaşacak enerjini daha etkin kılınması problemi gelişen teknoloji ile birlikte yeni çözümlerle ortaya çıkmaktadır. Gün geçtikçe big data erişiminin yaygınlaşması ile yapay zeka ve machine learning uygulamaları kullanılarak işletmelerdeki bir çok probleme çözüm bulunabilmektedir. Gelişen teknoloji ile alışılmış yaygın ekipman çözümlerinin yerini dinamik ve çağın şartlarına uygun koşullarda sağlanan öneriler almaktadır. Elektrik güç sistemlerinde çeşitlere elektrik karakteristiklere sahip ekipmanlar kullanıldığı için kaynak geriliminin sinusoidal yapısını koruması kompleks bir problem haline gelmiştir. Özellikle sisteme ilave edilen ve birbirinden çok farklı elektriksel karakteristiğe sahip yüklerin ortaya çıkardığı bu durumun şebekeye önemli etkileri olmaktadır. Raylı sistem elektrifikasyon sistemi devresine bağlı bir çok ekipman bulunurken bunlardan bazıları sürücüler, eviriciler, doğrultucular, motorlar, UPS'ler, aküler ve frekans konvertörler olarak sıralanabilir. Raylı sistem elektrifikasyon sisteminde kullanılan enerjinin % 50'sini araç teknolojisinin içeren cer gücü oluşturmaktadır. Bu durumdan dolayı işletmede araç hareketininin konfigürasyonunu etkileyen durumların sisteme etkileri önemli etkiye sahiptir. Özellikle yolcu talebinin karşılanması, cer besleme sisteminin kapasitesi, işletmesel özel nedenler (makineci yeterliliği) bu durumlardan bazılarıdır. Tüm sisteme bağlı birçok alt sistem aktif olduğu için sistemin elektriksel analizinde dinamik çalışma koşullarının olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durum reaktif güç kompanzasyonu problemini raylı sistem özelinde kompleks bir sorun olduğunu gösterirken sistemin elektriksel davranışının net bir şekilde çıkarılması gerekliliğini vurgulamaktadır. Enerji üretim merkezlerinin yük sahasının yakınına yerleştirmek genellikle mümkün olmamasından ötürü, gerilim kontrolü ve enerji iletim kapasitesini arttırmak için pratikte reaktif güç kompanzasyonu ile ilgili yöntemler uygulanmaktadır (Doğruer vd., 2019). Son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmeler kapasitör pil ile reaktif güç kompanzasyonu sisteminin eksikliklerinin giderek kapandığını göstermiştir (Pavleka vd., 2019). Kompanzasyon için üretilen reaktif gücün ihtiyaç noktasına en yakın bölgeye yerleştirilmesi sistemin verimi açısından büyük önem arz etmektedir (Bayındır vd., 2007).

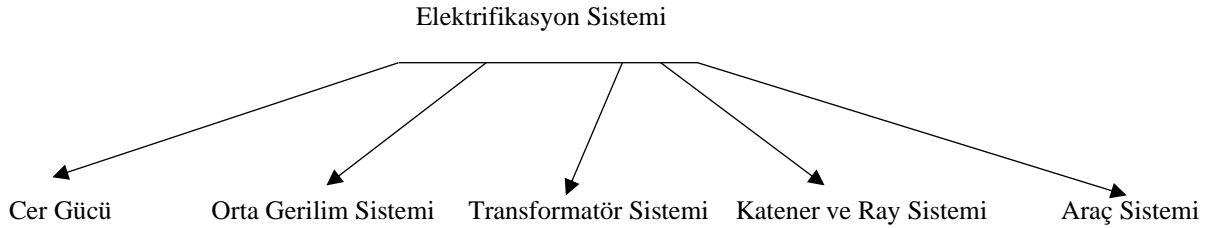
Raylı sistemlerde reaktif güç kompanzasyonu için çeşitli teknolojiler kullanılmakta olup hattın yapısına, elektrifikasyon sisteminin özelliklerine göre çeşitli çözümler uygulanabilmektedir. İşletme performansı için hattı etkileyen tüm kayıplar minimize edilmelidir (Liudvinavičius, 2017). Kayıpların azaltılmasında reaktif güç ve gerilim kontrolü büyük öneme sahiptir (Güngüneş vd., 2019). İletim hattı ve şebekedeki kayıpların azaltılması kablo kesitlerinin, ölçme elemanlarının ve koruma devrelerinin maliyetlerini azaltarak sistemi optimize etmektedir (Gani vd., 2015). Raylı sistemlerde eski ve yeni hatlarda kullanılan araçlarda tristör bazlı doğrultucuların kullanılması sistemden sinüs olmayan akımların çekilmesine neden olmaktadır (Raimondo vd., 2012). Reaktif güç kullanımının aşırı artışı diğer taraftan iletim hattının kapasitesinin azalmasına sebep olmaktadır (Arunprasanth vd., 2013). Raylı sistemlerde olası harmonik bozulmalara ise doğrusal olmayan yükler olan Cer sistemlerindeki kontrol ekipmanları, darbeli doğrultucular, aydınlatma sistemlerinde kullanılan cihazlar neden olmaktadır (Fidan vd., 2018). Oluşan harmoniklerin ise kompanzasyon sistemi üzerinde sistemin ömrünün kısalması gibi olumsuz etkileri bulunmaktadır (Tunçalp & Sucu, 2006). Harmonikler enerji kalitesini düşürürken yarı iletken teknolojisi kullanan cihazların bozulmalara olan duyarlılığını etkilemektedir (Kürker vd., 2018). Demiryollarında işletme anında sürekliliğin sağlanabilmesi ve herhangi bir arıza ya da kesinti durumu yaşanmaması açısından gerilim kararlılığı çok önemlidir (Akçay & Kocaarslan, 2019). Halihazırda işletme altında bulunan hatların büyük kısmında kendi OG altyapısını bünyesinde barındıran sistemler tercih edildiği için kapasitif reaktif güç miktarı önemli seviyelere çıkmaktadır. İşletme altında araç hareketiyle birlikte motorların aktif edilmesiyle endüktif reaktif güç tüketimi artarken toplam tüketilen reaktif gücün durumu değişkenlik gösterebilmektedir. Özellikle istasyon sayısının ve hat uzunluğunun fazla olduğu raylı sistem hatlarında kapasitif reaktif güç derecesi ciddi seviyelerde seyir etmektedir. Şebekeye verilen reaktif güç değerinin artması ise hattan çekilen akımın artarak işletme maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Elektrik Piyasası Müşteri Yönetmeliği'ne göre işletmelerin reaktif güç miktarlarının limitleri belirlenmiş olup bu sınırın dışına çıkanların ceza ile karşılaşacağı belirtilmiştir. Enerji kaynaklarının sınırlı ve hızla tükeniyor olmasından dolayı güç sistemlerinin verimli kullanılması gerekmektedir. Alternatif akım şebekesinin kalitesi, gerilim ve frekans sabitliği, güç faktörünün 1'e yakınlığı, faz gerilim ve akımlarının dengeli olması, enerji sürekliliği ve harmoniklerin sınırlandırılması ile ölçülmektedir (Ay vd., 2003). Şebeke iletim kayıplarının azaltılması ve enerji kaynaklarının kullanımında verimin artırılması için reaktif güç miktarının azaltılması çok önemlidir. Reaktif güç miktarının azaltılması için güç faktörü değerinin 1'e eşit olması ya da mümkün olduğu kadar 1'e yaklaştırılması gerekmektedir. Güç faktörü (PF) aktif gücün (P) görünür güce (S) oranı olup idealde 1 olması beklenmektedir. Alternatif akımda yükler omik, endüktif ve kapasitif olmak üzere üç başlıkta incelenmektedir. Endüktif yükte akım gerilimin yük açısı kadar gerisinde iken Kapasitif yük durumunda akım gerilimin ilerisinde olmaktadır (Sezer vd., 2020). Demiryolu araçlarında bulunan cer motorlar endüktif yükün oluşmasına neden olmaktadır (Kaleybar & Farshad, 2016).

Gerilim (V) ve akım (I) arasında kalan açının kosinüsüne güç faktörü denilirken bu katsayı reaktif güç katsayı olarak kullanılmaktadır (Vardar vd., 2010). Yüksek güç tüketimine sahip ve hızlı devreye girip çıkan alt sistemlerin güç faktörünün düzeltilmesi geleneksel elektromekanik kompanzasyon sistemleri ile çözülmesi mümkün olmamaktadır (Çötel & Aydoğmuş, 2007). Raylı sistemler yüksek güç tüketimine ve dinamik bir davranışa sahip olduğu için kompanzasyon sisteminin de dinamik bir sistem olması gerekmektedir. Literatürde statik tristörlü kompanzasyon, PLL kontrol yöntemi kullanılarak elde edilen kompanzasyon, geleneksel yöntemlerle kullanılan mekanik anahtarlamalı kompanzasyon, yapay sinir ağları tabanlı reaktif güç kompanzasyonu, statkom tabanlı kompanzasyon, Pasif filtreleme elemanları kullanılarak kompanzasyon, uyarlamalı bulanık-PI Denetim Esaslı dinamik senkron kompanzasyon ile kompanzasyon sistemi gibi çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ancak literatürde hassas örnekleme zamanı kullanılarak özgün bir algortima yardımıyla dinamik kompanzasyon çözümü içeren bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada 1500 V DC beslemeli raylı sistemlerde dinamik reaktif güç probleminin DKS ile çözümü geliştirilen algoritma ile devre modeli üzerinden yapılmıştır. Kullanılan model ile dinamik bir yapı oluşturularak endüktif ve kapasitif durumlar için hassas ve etkin bir çözüm elde edilmiştir.

Bu makalenin 2. bölümünde DKS sistemi için önerilen model ve modelin yapısını oluşturmak için kullanılan yöntem anlatılmıştır. 3. bölümde elde edilen benzetim sonuçları sunulmuş ve elde edilen başarı tablo ile gösterilmiştir. Son bölümde ise makalenin değerlendirilmesi detaylı olarak irdelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Raylı sistem elektrifikasyon sistemi çeşitli bileşenlerden oluşmakta olup bu bileşenler elektriksel yükleri oluşturmaktadır. Bu yükler endüktif ya da kapasitif değer alabilmektedir. Şekil 1 ile raylı sistem elektrifikasyon sisteminin sistem ve alt sistemler olarak şematiği gösterilmektedir.



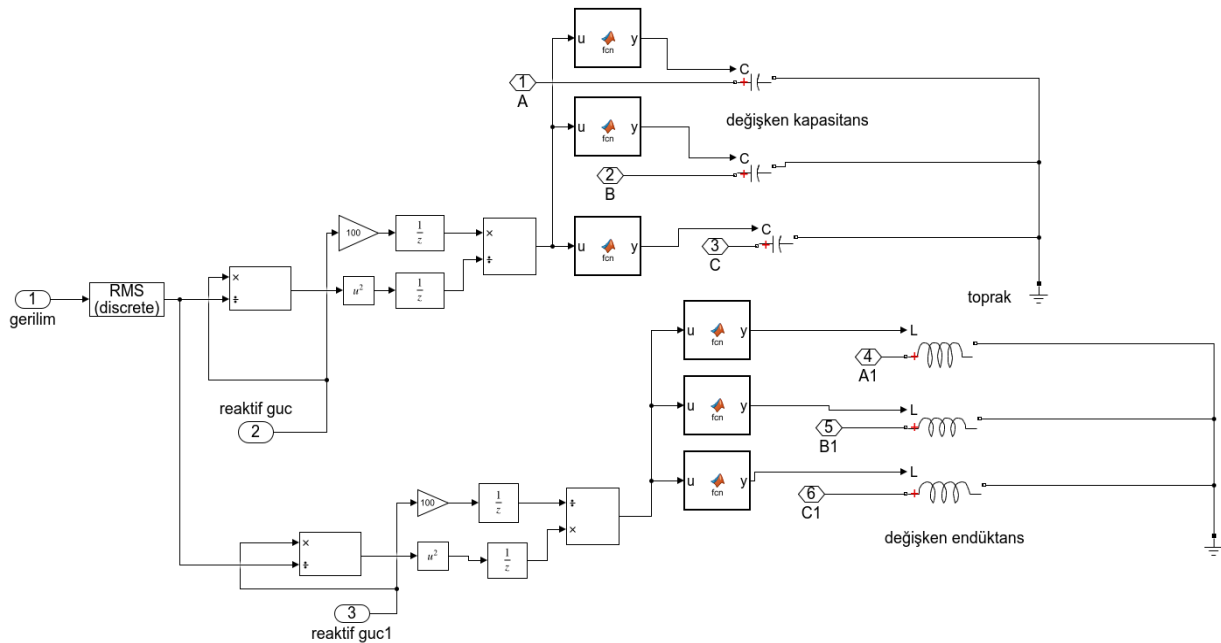
Şekil 1. Raylı Sistem Elektrifikasyon Sisteminin Bileşenleri

Yükün endüktif ya da Kapasitif olma durumuna göre sistem için öngörülen çözümler de değişiklik göstermektedir. Şekil 2 ile güç faktörü gösterilerek endüktif ve kapasitif durumlar için güç bağıntıları verilmektedir.



Şekil 2. Endüktif ve Kapasitif Durumlara ait Güç Bağıntıları

DKS sisteminin tasarımında aktif ve reaktif güç hesaplamalarında yararlanılmıştır. Raylı sisteme özgü geliştirilen yeni bir algoritma ile sistemin ana fonksiyonu oluşturulmuştur. Algoritma ile devrenin hızlı bir şekilde aktif hale gelerek reaktif güç problemini çözmesi sağlanmıştır. Şekil 3 ile DKS devresine ait çizim gösterilmektedir.



Şekil 3. DKS Devresi

AC sistemlerde güç hesaplamaların bazı denklemlerden yararlanılmaktadır. Bu eşitlikler ile aktif güç, reaktif güç, endüktif durum, kapasitif durum, güç faktörü ve güç açısı gibi etkenlerin durumu hakkında bilgi alınmaktadır. Bu tanımlar sistemin elektriksel durumu hakkında bilgilerin elde edilmesinde katkı sağlamaktadır. (1) eşitliği ile kaynak gerilimine ait ifade verilmektedir. Burada V gerilimi belirtirken ωt açısal frekansı simgelemektedir.

$$V_k(t) = \sqrt{2} V \sin(\omega t) \quad (1)$$

Yük akımı ise (2) denklemi ile ifade edilmiştir. I ile akım gösterilmekte olup φ ile yük açısı belirtilmiştir.

$$I_y(t) = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

Bir faza ait anlık güç eşitliği (3) ile gösterilmektedir.

$$P_{tek-faz}(t) = V_k I_y \quad (3)$$

Anlık güç ifadesi (1), (2) ve (3) eşitlikleri kullanılarak biraz geliştirilip yeni eşitlikler türetilirse (4) denklemi ortaya çıkmaktadır.

$$P_{tek-faz}(t) = VI \cos(\varphi) (1 - \cos(2\omega t)) - VI \sin(\varphi) \sin(2\omega t) \quad (4)$$

(5) ve (6) eşitlikleri ile yaygın olarak kullanılan aktif ve reaktif güç ifadeleri verilmektedir. P ve Q aktif güç ile reaktif gücü simgelemektedir.

$$P = VI \cos(\varphi) \quad (5)$$

$$Q = VI \sin(\varphi) \quad (6)$$

Üç faza ait aktif ve reaktif güç eşitlikleri ise (7) ve (8) eşitlikleri ile gösterilmektedir.

$$P_{üç-faz} = 3VI \cos(\varphi) \quad (7)$$

$$Q_{üç-faz} = 3VI \sin(\varphi) \quad (8)$$

Görünür güce ait ifade ise (9) ile verilmektedir. Üç faza ait görünür güç değeri ise bu eşitliğin üç ile çarpılması ile elde edilmektedir.

$$S = VI \quad (9)$$

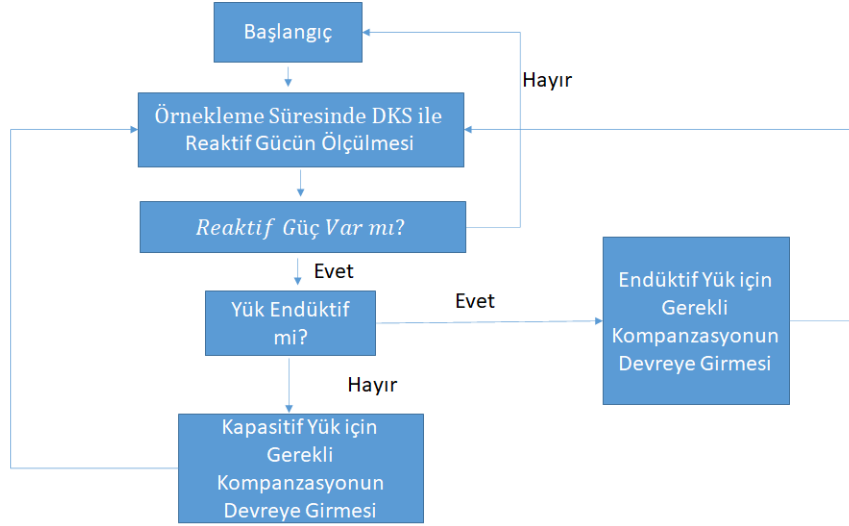
Yük açısı ise aktif gücün görünür güce oranı ile hesaplanmakta olup bu denklem (10) ile belirtilmiştir.

$$\cos(\varphi) = P/S \quad (10)$$

(11) ile görünür gücün aktif ve reaktif güce bağlı olarak elde edilişi verilmektedir.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (11)$$

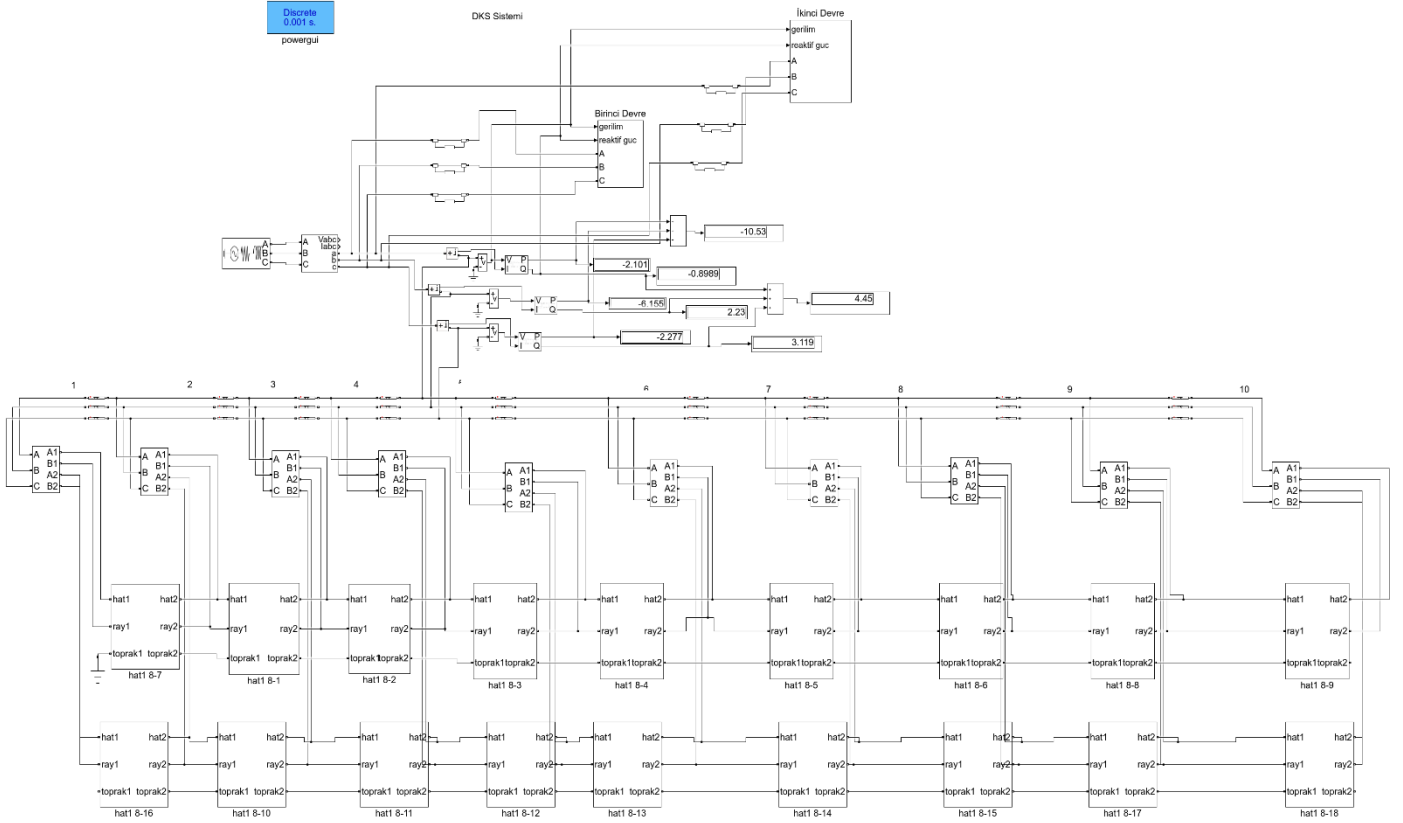
Ekipman bağlantısı için en hızlı tepki verebilecek nokta tercih edilerek sistemin performansının artırılması hedeflenmiştir. Şekil 4 ile tasarım için geliştirilen algoritma verilmektedir.



Şekil 4. DKS Çalışma Algoritması

3. Bulgular

Bu çalışmada raylı sistem elektrifikasyonunda reaktif güç kompanzasyonu için DKS sisteminin benzetimi yapılmıştır. Benzetim için Matlab/Simulink kullanılmıştır. Şekil 3’de benzetim ekranına ait görüntü gösterilmektedir. Sistem dinamik koşullara uygun olarak tasarlandığı için DKS sistemi belirli periyotlarla elektrifikasyon sisteminden ölçümler alarak reaktif güç koşullarına göre devreye girmektedir. Bu şekilde sistem optimize edilerek ihtiyacın fazlası olan enerji tüketimi ortadan kaldırılmaktadır.



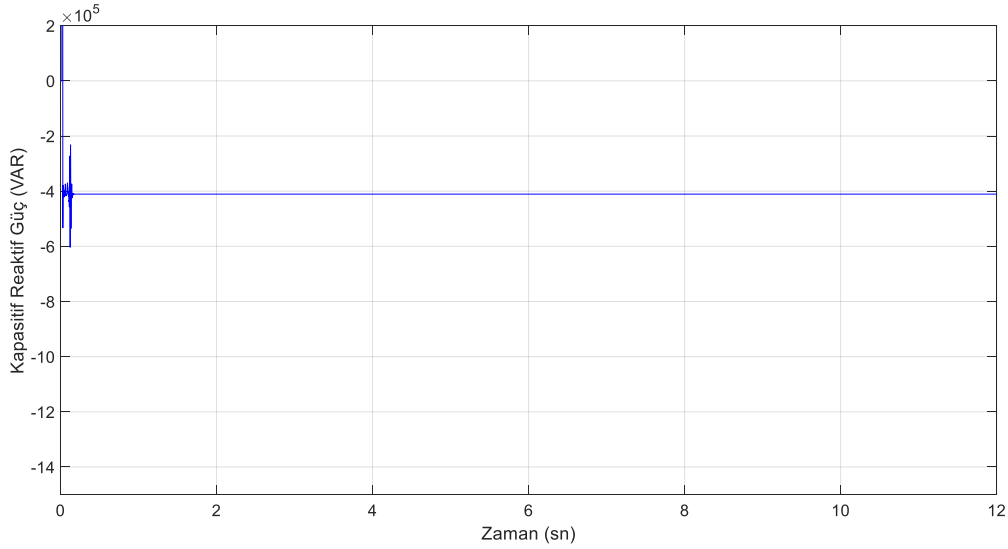
Şekil 5. DKS Benzetimine ait Ekran Görüntüsü

Sistemin dinamik davranışa sahip olması işletme için operasyon kolaylığı sağlarken reaktif güç tüketimini de minimize etmektedir. Benzetim için 33 kV kaynak gerilimi, cer merkezi için 33 kV/1.22 kV cer transformatörü, iletim hattı, DKS sistemine ait blok ve bağlantılar ile ölçüm blokları kullanılmıştır. Örnekleme zamanı için sistemin hassasiyetine uygun bir değer seçilerek tasarım doğruluğu artırılmıştır.

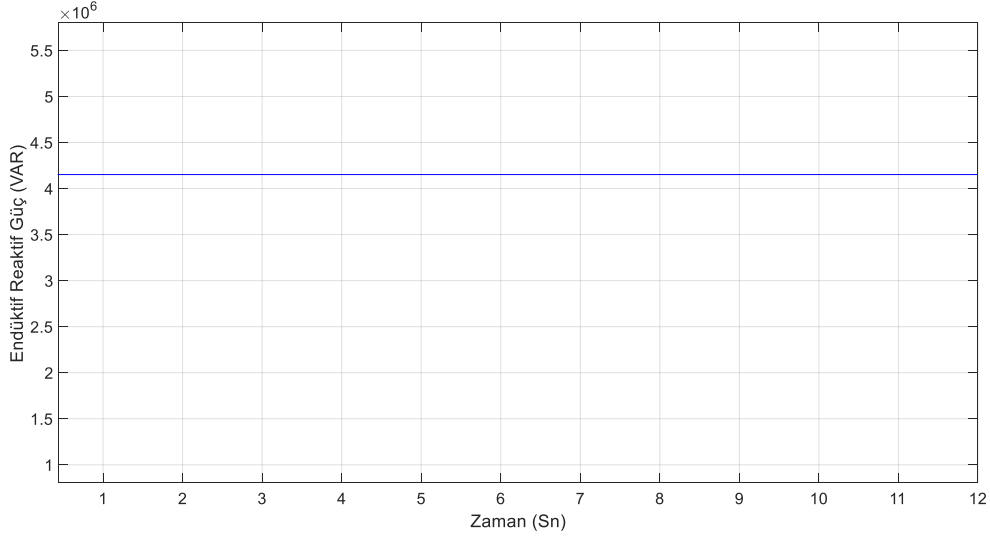
Tablo 1. DKS İçin Tasarım Parametreleri

Parametre	Değer
Kaynak Gerilimi V_k	34.5 kV V_{rms} Faz-Faz
Kaynak Frekansı	50 Hz
Kaynak Empedansı (X/R)	7
Üç Faz Kısa Devre Gücü (VA)	7560e6
Cer Transformatörü Çevirme Oranı	28.27
DKS İç Direnci (R_i)	1e-2 Ω
DKS Değişken Reaktans Solver	Backward Euler Yöntemi
DKS Örnekleme Frekansı	1000 Hz

Benzetim için 18 km uzunluğuna sahip 10 istasyon ve 10 cer besleme merkezinin bulunduğu bir raylı sistem hattından yararlanılmıştır. İstasyonlar arası mesafe 1-2 km arasında değişmekte olup her istasyon bölgesinde bir cer merkezi bulunmaktadır. Tasarım için sefer sıklığı frekansı 3 dakika seçilerek iki istasyon arasına bir raylı sistem aracının bulunması durumu göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışma kapsamında araçların maksimum kapasite 3 dk sefer sıklığında seyir halinde olması durumu ile istasyon başlarında harekete hazır bir şekilde konumlandırıldığı durumlara ait benzetim yapılmıştır. Şekil 6 ile DKS devreye girmeden araçlar yerinde konumlandırılmış durumda iken sisteme ait reaktif güç durumu gösterilmektedir. Bu durumda araçlar iç ihtiyaç ekipmanları için gerekli enerji için akım sağlamakta olup yüksek bir enerji tüketimi gerçekleştirilmemektedir.

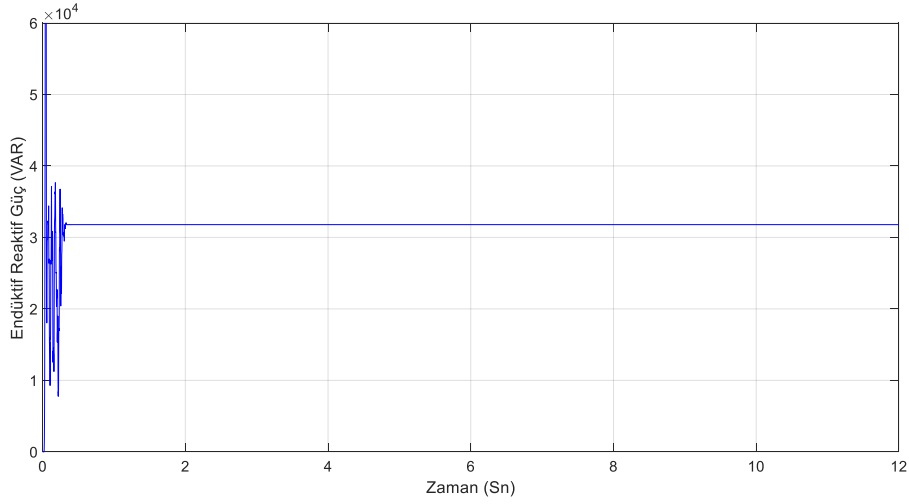
**Şekil 6.** Araçlar Hareketsizken Reaktif Güç Tüketimi (DKS Devre Dışı)

Şekilde görüldüğü üzere bu durumda orta gerilim kablolarından kaynaklı olarak kapasitif reaktif güç tüketimi gerçekleşmektedir. Reaktif güç tüketimi sürekli durumda 400 kVAR civarında gerçekleşmektedir. Şekil 7 ile araçlar 3 dakika sefer sıklığında seyir halinde maksimum güç tüketimindeyken gerçekleşen reaktif güç tüketimine ait gösterim verilmektedir. Bu durumda DKS sistemi henüz devreye girmediği koşullarda gerçekleşen tüketime ait kayıtlar alınmıştır.



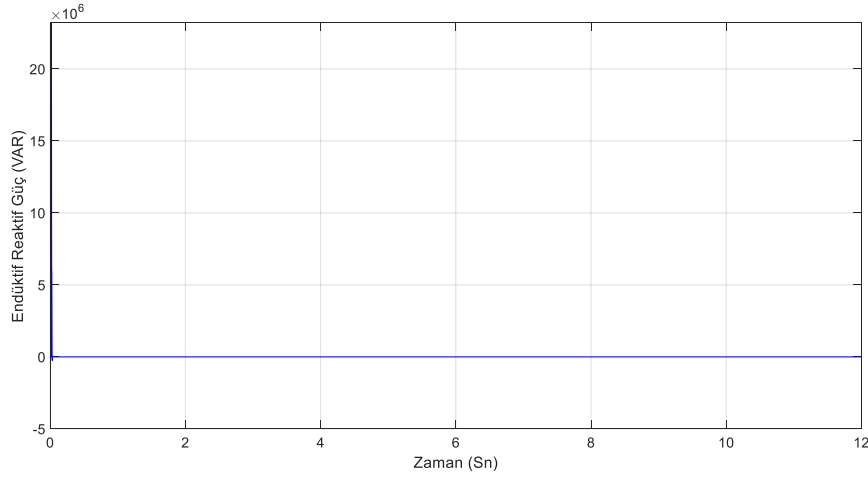
Şekil 7. Tam Kapasite İşletme Durumunda Reaktif Güç Tüketimi (DKS Devre Dışı)

Bu durumda sistem tam kapasite ile çalıştırıldığı için reaktif güç tüketimi endüktif olurken tüketim yüksek mertebelere ulaşmaktadır. Sürekli halde endüktif güç tüketimi şeklinde görüldüğü üzere 4.15 MVAR olarak ölçülmüştür. Şekil 8 ile DKS sistemi devreye girdiği duruma ait sonuçlar gösterilmektedir. Bu durumda araçlar hareketsiz halde beklerken gerçekleşen tüketim DKS devredeyken ölçülmüş ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır.



Şekil 8. Araçlar Hareketsizken Reaktif Güç Tüketimi (DKS Devrede)

Şekilde görüldüğü üzere DKS ile sürekli halde reaktif güç tüketimi 32 kVAR civarında değerler alarak iyileştirme sağlanmıştır. Örnekleme zamanı hassas seçildiği için analizde reaktif güç tüketimi net bir şekilde görülmektedir. Şekil 9 ile tam kapasite durumunda DKS'nin devreye girmesiyle gerçekleşen duruma ait datalar verilmiştir. Bu durumda reaktif güçte sağlanan iyileştirme ortaya konulmuştur.



Şekil 9. Tam Kapasite İşletme Durumunda Reaktif Güç Tüketimi (DKS Devrede)

Grafikte görüldüğü üzere tam kapasite durumunda DKS ile çok iyi bir başarı elde edilmiştir. Bu durumda reaktif güç değeri 1 kVAR değerine kadar düşürülmüştür. DKS'li durumlarla DKS kullanılmadan gerçekleşen durumlara ait sonuçlar ve aradaki iyileştirme grafiklerde net bir şekilde görülmektedir. Tablo 2'de DKS'li ve DKS'siz durumlara ait reaktif güç bilgileri özet tablo ile verilmektedir.

Tablo 2. DKS Devrede ve DKS Devrede Olmadan Gerçekleşen Durumlara Ait Özet Durum

İşletme Durumu	DKS'nin Bağlı Olmadığı Durumda Sürekli Hal Reaktif Güç Miktarı (kVAR)	DKS'nin Bağlı Olduğu Durumda Sürekli Hal Reaktif Güç (kVAR)	DKS ile Sağlanan İyileştirme Yüzdesi (%)
Araçlar sabit konumda iken	400 kVAR	32 kVAR	% 92
Araçlar Maksimum Kapasite ile 3 dk sefer sıklığında seyir halinde	4.15 MVAR	1 kVAR	% 99

DKS devreye girdiği zaman sağlanan iyileştirme bu tabloda net bir şekilde anlaşılmaktadır. DKS ile sağlanan iyileştirme yüzdesi hesaplanırken DKS bağlı iken elde edilen değerler ile bağlı değilken elde edilen reaktif güç değerlerinin oransal ifadesinden yararlanılmıştır. İşletme sürekliliği ve enerji kalitesi performansı için reaktif güç değerinin belirli sınırlar içinde olması gerekmektedir. Raylı sistemler yüksek güç tüketimini bünyesinde barındırdığı için reaktif tüketimler de yüksek mertebelere ulaşabilmektedir. Sistemin dinamik davranışından dolayı kurulan kompanzasyon sisteminin anlık değişimlere hızlı bir şekilde cevap verebilmesi gerekmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada 1500 V DC beslemeli bir raylı sistem hattının reaktif güç probleminin geliştirilen bir algoritma yardımıyla DKS sistemiyle çözülmesi yapılmıştır. Elektrifikasyon sistemi tüm alt sistemlerle birlikte benzetim yoluyla modellenerek sistem analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında araçların maksimum ve minimum yükte ayrı ayrı çalıştırılması test edilerek elde edilen durum ortaya konularak sağlanan iyileştirme tablo 2'de ortaya konulmuştur. DKS devredeyken elde edilen sonuçlar ile DKS olmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. DKS raylı sistem araçları sabit konumda iken sistemde DKS sistemi ile reaktif güç değeri 400 kVAR'dan 32 kVAR değerine kadar düşürülmüştür. Araçlar seyir halinde iken bu iyileştirme 4.15 MVAR'dan 1 kVAR'a kadar düşürülerek çok yüksek bir başarı elde edilmiştir. İki durumda da iyileştirme sağlanırken araçlar sabitken sağlanan iyileştirme yüzdesi %92 olarak kaydedilirken araçlar seyir halinde iken bu değer % 99 mertebelerine ulaşmaktadır. DKS ile sağlanan başarı ve elde edilen yüksek performans net bir şekilde ortaya çıkmıştır. DKS sistemi ile dinamik elektrifikasyon yüklerini yapısında bulunduran raylı sistem gibi kompleks işletmeler için çözüm geliştirilmiştir.

Elektrik güç sistemlerinde enerji kalitesi ve çekilen gücün aktif miktarının mümkün olduğunca yüksek olması sistemlerin verimliliği ve performansı için çok önemlidir. Bu nedenle reaktif güç miktarının minimize edilerek güç faktörünün 1'e yaklaştırılması gerekmektedir. Raylı sistemler yatırımları her geçen gün artmakla birlikte bu durumun şebekeye etkileri çok kritik olduğu için reaktif güç kompanzasyonu daha önemli hale gelmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte sistemlerin sürekli optimize edildiği ve kalitesinin artırıldığı günümüzde bu tip yeni ve efektif çözümlere her geçen gün yenisi eklenerek şebekenin ve iletim hattının kayıpları azaltılmalıdır.

Referanslar

- Akçay, M., Kocaarslan, İ. (2019). 750 V DC Beslemeli Bir Demiryolu Cer Merkezinde Güç Kalitesi Probleminin UVDGM Bazlı DSTATKOM İle Çözülmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11 (2), 620-626.
- Arunprasanth, S., Atputharajah, A., Prabath, B., Manjula, F., Sunil, A. (2013). Dynamic reactive power compensator (DRPC) for unbalance load reactive power compensation.
- Ay, M., Göncüoğlu, Y., İris, N. (2003). Bir Fazlı Seri Kompanzasyonlu Tesis Tasarımı ve Analizleri. *Sakarya University Journal of Science*, 7 (2), 37-43.
- Bayındır, R., Sağıroğlu, Ş., Çolak, İ. (2007). Yapay Sinir Ağları Tabanlı Reaktif Güç Kompanzasyonu. *Politeknik Dergisi*, 10 (2), 129-135.
- Çötel, R., Aydoğmuş, Z. (2007). DGM-Statcom ile Reaktif Güç Kompanzasyonu. *Politeknik Dergisi*, 10 (2), 123-128.
- Doğruer, Ö., Kuşdoğan, Ş., Yörükeren, N. (2019). Elektrikli Demiryolu Hatlarında Kompanzasyon Sistemi . *Demiryolu Mühendisliği*, (9), 28-37.
- Fidan, P., Akdemir, H., Kekezoğlu, B., Adiyıl, İ. (2018). İstanbul'da Bir Raylı Sistem Tesisi'ne Ait Harmonik Analizi ve Çözüm Önerileri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (14), 215-221.
- Gani, A., Keçecioglu, Ö., Açıkgoz, H., Şekkeli, M. (2015). Uyarlamalı Bulanık-PI Denetim Esaslı Dinamik Senkron Kompanzator ile Reaktif Güç Kompanzasyonu Benzetim Çalışması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (2), 72-76.
- Güngüneş, R., Ateş, V., Lüy, M., Eke, İ. (2019). Doğrusal Olmayan Yüklerde Sürekli Zaman Karınca Kolonisi Algoritması İle Optimal Değerli Kondansatör Seçimi ve Güç Kontrolü. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11 (3), 780-792.
- Kaleybar, H., Farshad, S. (2016). A comprehensive control strategy of railway power quality compensator for AC traction power supply systems. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 24 (6), 4582-4603.
- Kürker, F., Taşaltın, R., Karadağ, K. (2018). Elektrik Tesisinde Harmonik İncelemesi ve Harmonik Filtreli Kompanzasyon. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3 (3), 43-51.
- Liudvinavičius, L. (2017). Compensation of Reactive Power of AC Catenary System. *Procedia Engineering*, 187, 185-197.
- Pavleka, J., Nikolovski, S., Marušić, A. (2019). Using a FACTS Device as a Power Conditioner Suitable for Dynamic Reactive Power Compensation in Railway Application. *Tehnicki Vjesnik*, 26, 201-211.
- Raimondo, G., Ladoux, P., Lowinsky, A., Caron, H., Marino, P. (2012). Reactive power compensation in railways based on AC boost choppers. *Electrical Systems in Transportation, IET*. 2. 169-177.
- Sezer, Ö., Daldal, N., Yücedağ, İ. (2020). Toplu Konutlarda Reaktif Güç Kompanzasyonunun Uygulanabilirliğinin Analizi . *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (1), 702-710.
- Tunçalp, K., Sucu, M. (2006). Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrelenmesinde Pasif Filtre ve Filtreli Kompanzasyonun Kullanımı ve Simülasyon Örnekleri. *Politeknik Dergisi*, 9 (4), 263-271.
- Vardar, T., Çam, E., Yalçın, E. (2010). Reaktif Güç Kompanzasyonu ile Enerji Verimliliği ve Kamu Kurumlarında Reaktif Güç Kompanzasyonu . *International Journal of Engineering Research and Development*, 2 (2), 20-24.



İş Sağlığı ve Güvenliği'nde Sürdürülebilir Kişisel Koruyucu Donanım Politikalarının Uygulanması

Implementation of Sustainable Personal Protective Equipment Policies in Occupational Health and Safety

Suna Çetin^{*1}, Vesile Beğik²

¹ Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

² Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

Başyuru/Received: 05/08/2020

Kabul / Accepted: 15/01/2021

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

İş kazaları ve meslek hastalıklarına ilişkin istatistik veriler, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) koşulları hakkında bilgi veren kaynaklardır. Türkiye’de yapılan çalışmalar, iş kazaları oranının son yıllarda azaldığını ancak bu azalmanın henüz yeterli düzeyde olmadığını göstermektedir. Hem meslek hastalıklarının hem iş kazalarının firmalara getirdiği mali yük düşünüldüğünde, önleyici ve koruyucu faaliyetlerin önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. İSG çalışmaları kaynakta koruma, ortama yönelik koruma ve kişisel koruyucu donanımlar olarak 3 aşamada ele alınmaktadır. İş yerinde tanımlanan tüm İSG yaklaşımlarının uygulanabilir ve sürdürülebilir faaliyetler olması, bilançonun ağır olup olmamasında büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada İSG yaklaşımlarından biri olan kişisel koruyucu donanımların (KKD) uygulamadaki sürdürülebilirliği araştırılmıştır. Ankara’da faaliyet gösteren ısı cihazları üreten bir firmada kullanılması gereken kişisel koruyucu donanımların neler olduğu, bunların kullanımı ile ilgili alınan eğitimlerin düzeyi ve kullanım oranını etkinliği ile ilgili incelemeler yapılmıştır. Kullanım oranlarının yüksek olarak hesaplanmıştır. Kullanım oranlarının yüksek olması verilen İSG kapsamında verilen eğitimlerinin yeterli olduğunu, çalışanların KKD kullanımı konusunda bilinçli olduğunu, İSG konusunda farkındalığa sahip olduklarını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler

“İş Sağlığı ve Güvenliği, Kişisel Koruyucu Donanımlar, Sürdürülebilirlik”

Abstract

Statistical data on occupational accidents and occupational diseases are sources that provide information about occupational health and safety (OHS) conditions. studies in Turkey, has decreased in recent years, but the rate of work-related accidents shows that this is not yet sufficient reduction. Considering the financial burden of both occupational diseases and occupational accidents, the importance of preventive and protective activities becomes clear once again. OHS studies are handled in 3 stages as source protection, environmental protection and personal protective equipment. The fact that all OHS approaches defined in the workplace are feasible and sustainable activities are of great importance in whether the balance sheet is heavy or not.

In this study, the sustainability of personal protective equipment, one of the OHS approaches, in practice was investigated. In Ankara, a company producing heat equipment has been investigated about the personal protective equipment to be used, the level of training received and the effectiveness of the rate of use. The reasons for the low utilization rates are investigated and whether the basic resource is workers or equipment is analyzed. The approaches to be applied to increase the use of PPE are discussed.

Key Words

“Occupational Health and Safety, Personal Protective Equipment, Sustainability”

1. Giriş

İSG, çalışanların iş kazasına uğramasını önlemek amacıyla güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak için alınması gereken tedbirler dizisi olarak tanımlanmaktadır. İş ortamlarında çok sayıda ve birbirinden farklı tehlike bulunmaktadır. Güvenli ve sağlıklı bir iş ortamının oluşturulması ve sürdürülmesi, mümkün olan en yüksek düzeyde korunmanın sağlanması için işveren ve çalışanların birlikte hareket etmesi ve sorumluluklarını yerine getirmesi gerekmektedir (OSHA, 2000; OSHA, 2003).

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'na İşveren, risk değerlendirmesi yapmak, çalışanlarını risklerden korumakla sorumludur. Çalışanları risklerden korumak için ilk adım risklere kaynağında müdahale edilmesidir. İlk adımın yeterli olmaması durumunda ikinci adım toplu koruma tedbirlerini alınması, ikinci adımın da yetersizliği durumunda kişisel koruyucu donanımların temin ederek kullanılmasını sağlanmasıdır (6331 sayılı İSG Kanunu).

İş kazalarıyla ilgili yapılan çalışmalarda iş kazalarının meydana gelmesi üzerinde kaza nedenlerinin ağırlık oranları konusunda farklı araştırmalara dayanan değişik görüşler olmakla birlikte, iş kazalarının %80'inin işçinin kusur ve ihmaline (güvensiz hareketler), %18'inin fizik ve mekanik çevre koşullarına (güvensiz şartlar), %2'sinin ise umulmadık olaylara bağlı olarak meydana geldiği kabul görmektedir (Kahya vd, 2019). Bu istatistikler iş kazalarının yaklaşık % 90'nını bazı tedbirlerle önlenebileceğini göstermektedir. İSG politikasının 3.adımı olan KKD kullanımını alınabilecek tedbirlerden biri olarak iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesinde ve/veya sonuçlarının azaltılmasında önemli bir yere sahiptir. İşyeri çalışma şartlarının iyileştirilmesi, İSG bilincinin oluşturulması, çalışanlara İSG konularında eğitim verilmesi, kişisel koruyucu donanımların uygun işe, uygun özellikte, uygun şekilde ve uygun sürede kullanılması ile iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesi/azaltılması ve sonuçlarının azaltılması sağlanabilir.

Ankara'da faaliyet gösteren ve ısı cihazları üreten bir firmada kullanılması gereken kişisel koruyucu donanımların neler olduğu, kaynaklı imalat sektöründe bunların kullanımı ile ilgili alınan eğitimlerin düzeyi ve kullanım oranını etkinliği ile ilgili incelemeler yapılmıştır. Çalışmada amaç bu firmada KKD'lerin kullanım oranını araştırmak, kullanılmama durumlarında nedenlerini belirlemek, verilen eğitimlerin yeterliliğini sorgulamak ve kullanım sürdürülebilirliğinin sağlanması için yapılması gerekenleri tespit etmektir.

2.Kişisel Koruyucu Donanımlar

Kişisel Koruyucu Donanım, bir veya birden fazla sağlık ve güvenlik tehlikesine karşı korunmak için kişilerce giyilmek veya taşınmak amacıyla tasarlanmış herhangi bir cihaz, alet veya malzemeyi, kişiyi aynı anda bir veya daha fazla muhtemel risklere karşı korumak amacıyla imalatçı tarafından bir bütün haline getirilmiş birçok cihaz, alet veya malzemedan oluşmuş bir donanımı, belirli bir faaliyetin yapılması için korunma amacı olmaksızın, taşınan veya giyilen donanımla birlikte kullanılan, ayrılabilir veya ayrılamaz nitelikteki koruyucu cihaz, alet veya malzemeyi, ifade eder(Kişisel koruyucu donanım yönetmeliği).

KKD, gözleri, yüzü, başı, kulakları, bacakları, eller ile kolları ve tüm vücudu korumak için tasarlanmıştır (Reese, 2003).

İş yerinde ne kadar önlem alınmış olursa olsun, üretim sırasında çalışanları kimyasallar ve ortamdaki kaynaklanan olası tehlikelere karşı korumak için KKD kullanılması zorunluluğu vardır (Taşçı, 2016).

Hem çalışanların hem de işverenin KKD kullanımına çeşitli sorumlulukları vardır.

Çalışanların sorumlulukları;

- KKD'yi uygun şekilde giyme,
- KKD konulu eğitim toplantılarına katılma,
- KKD'nin bakımı, temizliği ve korunması,
- KKD'nin değişim veya onarım gereksinimi olduğunun sorumluya bildirilmesini içermektedir. (OSHA, 2003; Taşyürek,2007).

İşverenlerin sorumlulukları:

- Her alanda tam bir tehlike değerlendirmesinin yapılması
- Tehlikenin özelliklerine göre çalışanların da fikrini alarak uygun KKD'nin seçilmesi
- KKD'nin temin edilmesi ve çalışanın kullanımına sunulması
- KKD'nin kullanımına ilişkin eğitimlerin verilmesi
- İşyeri değişikliği veya kullanılan KKD değişikliğinde tekrar eğitim verilmesi ve sertifika verilmesi
- Her bir çalışanın KKD kullanımını ve giyimi konusunda eğitildiğinin belgelemesi, olarak sıralanabilir (OSHA, 2003; Taşyürek,2007).

Baş koruyucuları, kulak koruyucuları, göz ve yüz koruyucuları, solunum sistemi koruyucuları, el ve kol koruyucuları, ayak ve bacak koruyucuları, cilt gövde ve karın koruyucuları, vücut koruyucuları işyerlerinde genellikle kullanılan ve yönetmeliklerde kullanılması önerilen KKD'lerdir.

İş yerlerindeki fiziksel tehlikeler gürültü, titreşim, ışık, sıcaklık, basınç nem, hava akım hızı, radyasyon, uygunsuz vücut duruşları, olarak sıralanabilir. Bu tehlikelere maruz kalınması sonucunda gelişebilecek sağlık sorunları iş kazaları, bel yaralanmaları, yanıklar, iskelet kas sistemi sorunları, görme bozuklukları, dolaşım bozukluğu, işitme kayıpları, merkezi sinir sistemi sorunlarıdır. Bu sorunların engellenmesi ya da azaltılmasında KKD kullanımı çok etkilidir.

Literatür incelediğinde yapılan çalışmalar amaçlarına göre kullanılacak KKD'leri belirleyen çalışmalar, KKD kullanım oranlarını araştıran çalışmalar, KKD kullanımını etkileyen faktörleri araştıran çalışmalar, iş kazaları ile KKD kullanımı arasındaki ilişkiyi araştıran çalışmalar olarak gruplandırılabilir.

Yağımlı & Kaçar (2018), çalışmaların da tehlikeli madde tehlikeli maddelerin olumsuz etkileri ve korunma önlemleri, KKD'nin iş sağlığı açısından uygunluğu ve kullanımı üzerine bilgileri ve çalışanların kullandıkları ekipmanlar hakkında ne kadar bilgi sahibi olduğu araştırmışlardır.

Çalışkan (2017) yaptığı çalışmada sağlık hizmetlerinde KKD kullanma davranışını cinsiyet, yaş, meslek, eğitim alma durumu ve çalışılan kurum değişkenleri gibi faktörlerin etkilediğini tespit etmiştir. Ayrıca çalışanın sağlığını koruma farkındalığı, KKD ulaşılabilirliği, KKD'nin fiziksel uygunluğunun KKD kullanma davranışını etkilediğini tespit etmiştir.

Dingus vd (1993) çalışmalarında seçilen uyarı değişkenlerinin KKD kullanımı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.

Beşer & Topçu(2013), çalışmalarında sağlık alanında kullanılan KKD'lerin neler olduğunu tanımlayarak KKD'lerin doğru seçilmesi ve doğru kullanılmasının önemini vurgulamışlardır.

Açıklan (2008), Eskişehir bölgesinde seramik sektöründe faaliyet gösteren firmada anket çalışması yaparak KKD'lerin iş kazaları üzerindeki etkilerini analiz etmiştir ve KKD kullanımı ile iş kazaları arasında anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna varmıştır.

Kahya vd(2019) metal endüstrisinde KKD kullanımını analiz ederek çelik burunlu ayakkabı kullanımında hassasiyet gösterdiklerini ancak kulak koruyucu ve gözlük kullanımı konusunda gerekli özeni göstermediklerini tespit etmişlerdir.

Çelik & Temel(2018), inşaat sektöründe çalışanların KKD kullanım düzeylerini belirlemek ve firmaların, çalışanlarına bu donanımların kullanımını teşvik etmek için uyguladıkları motivasyon araçlarını araştırmışlardır.

Demirbilek & Çakır (2008) işyerinde KKD etkileyen bireysel ve örgütsel değişkenler belirlemeyi amaçlamıştır. İşçilerin KKD kullanımının önemini idrak etmelerinin çok önemli olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

MacFarlane vd.(2007) çalışmalarında tarım ilacı kullanan Avustralya tarım işçilerinde KKD kullanımını araştırmışlar ve KKD kullanımını en çok yaş ve eğitim faktörlerinin etkilediği sonucuna varmışlardır.

Gülhan vd. (2012), metal sanayisinde meydana gelen kazaların sebep ve sonuçlarını inceleyerek, elde edilen bilgiler doğrultusunda kazaların önlenmesine yönelik tavsiyelerin geliştirilmesi amaçlayan bir çalışma sunmuştur. Çalışma 201 işçiye anket uygulanmış ve iş kazalarının nedenleri araştırıldığında KKD kullanım yetersizliğinin %44 oranla en önemli sebep olduğu belirlenmiştir.

Ganczak (2007) cerrahi hemşirelerinin KKD kullanımlarını analiz etmişler. 601 hemşire ile anket çalışması yapılmıştır. Kullanılan KKD'ler içerisinde eldivenin en yüksek orana göz koruyucunun ise en az orana sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Şenol vd.(2020) KKD kullanımının gerekliliğini vurgulayarak kullanılacak KKD miktarının belirlenmesine yönelik model önerisinde bulunmuşlardır.

Eser (2015) maden işlerinde KKD kullanılmasının önemi vurgulanarak kullanılacak KKD'nin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususları belirlemiştir.

Güvel & Oral (2018) İSG yasal mevzuatının Türkiye inşaat sektöründe uygulanma düzeyi incelenmiştir.

Akman (2019) ortamdaki risklerden korunmak için işyeri güvenlik kültürünün ve KKD kullanımının önemini vurgulamıştır.

Çavuşoğlu vd. (2020) yeraltı altın madeninde kullanılması gereken KKD'leri belirlemiş ve KKD kullanılmadığı durumlar için risk değerlendirmesi yapmışlardır.

Atasoy (2015) tez çalışmasında KKD'lerin inşaat sektöründe çalışanlar tarafından kullanım durumlarının tespit edilmesi ve kullanımının artırılmasının bağlı olduğu faktörler araştırılmıştır.

Büdüş (2017) tez çalışmasında oto boya sektörü çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği bilgi, tutum ve davranışları ve KKD kullanım durumunun analiz edilmesi amaçlanmıştır.

3.Uygulama

Çalışmada 2019 yılında Ankara’da faaliyet gösteren ısı cihazları üreten bir firmada çalışan 150 kişiden 95 kişiye ulaşılarak anket yapılmıştır. Anket sonuçları sistematik bir şekilde istatistiksel paket program olan SPSS 23.0’e girilerek analizler yapılmıştır.

Anket 12 soru içermektedir. Çalışanların cinsiyeti, yaşı, medeni durumu, eğitim durumu gibi demografik bilgiler ve yöneticilerin İSG politikaları, çalışanların İSG eğitimi alıp almadıkları, kullanılmasa gereken KKD ler, KKD leri kullanma sıklığı, kullanılmıyorsa nedenlerini anlamaya yönelik sorular (KKD ifadeleri) yer almaktadır. KKD ifadelerinde beşli likert ölçeği kullanılmıştır. Güvenilirlik analizi sonucunda Cronbach's Alpha değeri 0.778 olarak saptanmıştır.

Demografik bilgiler Tablo1’de verilmiştir.

Tablo 1: Demografik Bilgiler için Betimleyici İstatistikler

Değişken	Düzy	Frekans	%
Cinsiyet	Erkek	89	93,7
	Kadın	6	6,3
Yaş	18-26	36	37,9
	27-34	19	20,0
	35-43	19	20,0
	44 Ve Üzeri	21	22,1
Medeni Hal	Evli	51	53,7
	Bekar	44	46,3
	İlkokul	17	18,9
Öğrenim Düzeyi	Ortaokul	14	14,7
	Lise	45	47,4
	Meslek Y.O.	13	13,7
	Üniversite	6	5,3
	1 Yıldan Az	20	21,1
Deneyim	1-5 Yıl	35	36,8
	6-10 Yıl	15	15,8
	11-15 Yıl	7	7,4
	15 Yıldan Fazla	18	18,9

Çalışanların %93,7’sini erkekler, %37,9’unu 18-26 yaş grubundakiler, %53,7’sini evliler, %47,4’ünü lise mezunları, %36,8’ini 1-5 yıl arasında deneyime sahip olanlar oluşturmaktadır. Katılımcıların İş Sağlığı ve Güvenliği ve KKD hakkında aldıkları eğitim ile ilgili bilgiler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Katılımcıların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi ve KKD Eğitimi Alma Durumları

İfade	Düzy	Frekans	%
İş sağlığı ve güvenliği kapsamında eğitim aldınız mı?	Evet	80	84,2
	Hayır	15	15,8
Kişisel koruyucu donanım hakkında eğitim aldınız mı?	Evet	74	77,9
	Hayır	21	22,1
İşinizde kişisel koruyucu donanım kullanmanız önerildi mi?	Evet	80	84,2
	Hayır	15	15,8

Çalışanların %84,2’si iş sağlığı ve güvenliği kapsamında, %77,9’u KKD hakkında eğitim almışlardır. %84,’sine KKD kullanılması önerilmiştir

İşveren tarafından çalışanlara önerilen KKD önerileri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3: Önerilen KKD'ler ve Betimsel İstatistikleri

Önerilen kişisel koruyucu donanımlar	Frekans	%
Eldiven	65	91,5
Gözlük	23	32,4
İş Ayakkabısı	26	36,6
Toz Maskesi	52	73,2
Kulaklık	21	29,6
İş Elbisesi	11	15,5
Bone	23	32,4
Galoş	7	9,9

%91,5'ine eldiven, %73'üne toz maskesi ve %36,6'sına iş ayakkabısı kullanması önerilmiştir.

Ayrıca bu önerilen donanımları 93 kişinin kullandığı, 2 kişinin ise kullanmadığı tespit edilmiştir. Kullananlardan 80'i sağlığı için kullandığını, 71'i iş güvenliği için kullandığını ve 61'i gerekli olduğunu düşündüğü için kullandığını öne sürmüştür. Aynı şekilde 34'ü iş yerinde zorunlu olduğu için, 23'ü ailesi için, 11'i ceza almamak için, 8'i işten atılmamak için kullandığını öne sürmüştür. Kullanmayan iki kişiden biri firmada olmadığını, malzeme kalitesi kötü olduğunu ve işini engellediği için kullanmadığını öne sürerken, diğer kişi ise diğer sebeplerden dolayı kullanmadığını öne sürmüştür.

KKD kullanım nedenleri ile cinsiyet arasında oluşturulan çapraz tablo Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4: Cinsiyete Göre KKD Kullanma Nedenleri

Cinsiyet	KKD Kullanım Nedenleri	Nedenler						
		Ceza almamak için	Ailem için	İşten atılmamak için	İş yerinde zorunlu olduğu için	Gerekli olduğunu düşündüğüm için	Sağlığım için	İş güvenliğim için
Erkek		10	22	8	30	57	74	68
		11,6%	25,6%	9,3%	34,9%	66,3%	86,0%	79,1%
Kadın		1	1	0	4	4	6	3
		16,7%	16,7%	0,0%	66,7%	66,7%	100,0%	50,0%

Erkeklerin %86'sının sağlığı için, %79,1'inin iş güvenliği için, %66,3'ünün ise gerekli olduğunu düşündüğü için kullandığı tespit edilmiştir. Kadınların ise %100'ü öncelikle sağlığı için, %66,7'si gerekli olduğunu düşündüğü için ve yine %66,7'si iş yerinde zorunlu olduğu için KKD kullandığı tespit edilmiştir. Ayrıca tabloya bakıldığında kadınların işten atılmak için kullanmadıkları görülmektedir. Kadınların erkeklere göre daha çok sağlığı için ve iş yerinde zorunlu olduğu için kullandıklarını, erkeklerin ise kadınlara göre daha çok iş güvenliği için, işten atılmamak için ve ailesi için kullandıkları görülmektedir.

KKD kullanım nedenleri ile öğrenim düzeyi arasında oluşturulan çapraz tablo Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Öğrenim Düzeyine Göre KKD Kullanım Nedenleri

KKD kullanım nedenleri	Ceza almamak için		Ailem için		İşten atılmamak için		İş yerinde zorunlu olduğu için		Gerekli olduğunu düşündüğüm için		Sağlığım için		İş güvenliğim için	
	2	3	0	5	9	13	12							
Öğrenim Düzeyi	İlkokul	12,5%	18,8%	0,0%	31,3%	56,3%	81,3%	75,0%						
	Ortaokul	1	5	0	6	8	12	12						
		7,1%	35,7%	0,0%	42,9%	57,1%	85,7%	85,7%						
	Lise	6	9	6	14	30	37	33						
		14,0%	20,9%	14,0%	32,6%	69,8%	86,0%	76,7%						
	Meslek Yüksek Okulu	2	5	2	7	10	13	10						
		15,4%	38,5%	15,4%	53,8%	76,9%	100,0%	76,9%						
Üniversite	0	1	0	1	4	4	4							
	0,0%	20,0%	0,0%	20,0%	80,0%	80,0%	80,0%							

İlkokul mezunlarının %81,3'ünün sağlığı için, %75'inin iş güvenliği için; ortaokul mezunlarının %85,7'sinin sağlığı için ve iş güvenliği için; lise mezunlarının %86'sının sağlığı için, %76,7'sinin iş güvenliği için; meslek yüksek okulu mezunlarının %100'ünün sağlığı için, %76,9'unun iş güvenliği için ve gerekli olduğunu düşündüğü için; üniversite mezunlarının %80'inin sağlığı için, iş güvenliği için ve gerekli olduğunu düşündüğü için KKD kullandığı tespit edilmiştir.

Ayrıca ilkokul ve ortaokul mezunlarının işten atılmamak için kullanmadıklarını, üniversite mezunlarının ise hem işten atılmamak hem de ceza almamak için kullanmadıkları görülmektedir. Ortaokul mezunlarının diğer düzeylere göre daha çok iş güvenliği için kullandıkları görülmektedir. Meslek yüksek okulu mezunlarının ise diğer düzeylere göre daha çok sağlığı için iş yerinde zorunlu olduğu için ve ailesi için kullandıkları görülmektedir. Üniversite mezunlarının ise diğer düzeylere göre daha çok gerekli olduğunu düşündüğü için kullandıkları görülmektedir.

KKD kullanım nedenleri ile yaş arasında oluşturulan çapraz tablo Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Yaşa Göre KKD Kullanım Nedenleri

KKD Kullanım Nedenleri	Ceza almamak için		Ailem için		İşten atılmamak için		İş yerinde zorunlu olduğu için		Gerekli olduğunu düşündüğüm için		Sağlığım için		İş güvenliğim için	
	5	7	5	14	25	32	30							
Yaş	18-26	14,3%	20,0%	14,3%	40,0%	71,4%	91,4%	85,7%						
	27-34	2	8	2	10	15	17	13						
		10,5%	42,1%	10,5%	52,6%	78,9%	89,5%	68,4%						
	35-43	2	3	1	3	9	14	10						
		11,1%	16,7%	5,6%	16,7%	50,0%	77,8%	55,6%						
	44 +	2	5	0	7	12	17	18						
		10,0%	25,0%	0,0%	35,0%	60,0%	85,0%	90,0%						

18-26 yaş arasındakilerin %91,4'ünün sağlığı için, %85,7'sinin iş güvenliği için; 27-34 yaş arasındakilerin %89,5'inin sağlığı için, %78,9'unun gerekli olduğunu düşündüğü için; 35-43 yaş arasındakilerin %77,8'inin sağlığı için, %55,6'sının iş güvenliği için; 44 yaş ve

üzerindekilerin ise %90'nın iş güvenliği için, %85'inin sağlığı için KKD kullandıkları tespit edilmiştir. Ayrıca 18-26 yaş arasındaki diğer düzeylere göre daha çok sağlığı için, işten atılmamak için ve ceza almamak için kullandıkları görülmektedir. 27-34 yaş arasındaki diğer düzeylere göre daha çok gerekli olduğunu düşündükleri için, iş yerinde zorunlu olduğu için ve ailesi için kullandıkları görülmektedir. 44 yaş ve üzerindeki diğer düzeylere göre daha çok iş güvenliği için kullandıkları görülmektedir. 44 yaş ve üzerinin ayrıca işten atılmamak için kullanmadıkları görülmektedir.

KKD kullanım nedenleri ile medeni hal arasında oluşturulan çapraz tablo Tablo 7'de verilmiştir

Tablo 7: Medeni Hale Göre KKD Kullanım Nedenleri

KKD Kullanım Nedenleri	Ceza almamak için		Ailem için		İşten atılmamak için		İş yerinde zorunlu olduğu için		Gerekli olduğunu düşündüğüm için		Sağlığım için		İş güvenliğim için	
	4	13	2	12	28	40	35							
Medeni Hali														
Evli	8,5%	27,7%	4,3%	25,5%	59,6%	85,1%	74,5%							
Bekar	14,0%	20,9%	14,0%	48,8%	72,1%	88,4%	79,1%							

Evlilerin %85,1'inin sağlığı için, %74,5'inin iş güvenliği için; bekarların %88,4'ünün sağlığı için, %79,1'inin iş güvenliği için KKD kullandıkları tespit edilmiştir. Tabloda en çok göze çarpan şeyin evlilerin bekarlara göre daha çok aileleri için kullanmaları, bekarların ise evlilere göre daha çok gerekli olduğunu düşündükleri ve ceza almamak için kullanmaları olmuştur.

KKD kullanım nedenleri ile iş deneyimi arasında oluşturulan çapraz tablo, Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8: İş Deneyimine Göre KKD Kullanım Nedenleri

KKD kullanım nedenleri	Ceza almamak için		Ailem için		İşten atılmamak için		İş yerinde zorunlu olduğu için		Gerekli olduğunu düşündüğüm için		Sağlığım için		İş güvenliğim için	
	3	7	4	8	15	16	18							
1 yıldan az	15,8%	36,8%	21,1%	42,1%	78,9%	84,2%	94,7%							
1-5 yıl	13,3%	23,3%	10,0%	50,0%	70,0%	96,7%	73,3%							
6-10 yıl	13,3%	26,7%	6,7%	46,7%	66,7%	86,7%	80,0%							
11-15 yıl	0,0%	42,9%	0,0%	14,3%	71,4%	71,4%	57,1%							
15 yıldan fazla	6,3%	12,5%	0,0%	18,8%	56,3%	81,3%	81,3%							

Deneyimi 1 yıldan az olanların %94,7'sinin iş güvenliği için, %84,2'sinin sağlığı için; 1-5 yıl arasında olanların %96,7'sinin sağlığı için, %73,3'ünün iş güvenliği için; 6-10 yıl arasında olanların %86,7'sinin sağlığı için, %80'inin iş güvenliği için; 11-15 yıl arasında olanların %71,4'ünün sağlığı için ve gerekli olduğunu düşündüğü için; 15 yıldan fazla olanların ise %81,3'ünün sağlığı için ve iş güvenliği için KKD kullandıkları tespit edilmiştir. Ayrıca deneyimi 1 yıldan az olanların diğer düzeylere göre daha çok iş güvenliği

için, gerekli olduğunu düşündüğü için, işten atılmamak ve ceza almamak için kullandıkları görülmektedir. 1-5 yıl arasında deneyime sahip olanların diğer düzeylere göre daha çok sağlığı için ve iş yerinde zorunlu olduğu için kullandıkları görülmektedir. 11-15 yıl arasında deneyime sahip olanların diğer düzeylere göre daha çok aileleri için kullandıkları görülmektedir.

Katılımcılardan 9 kişinin iş kazasına uğradığı tespit edilmiştir. Yani bu iş yerinde iş kazasına uğrayanların payı %9,5'dir. İş kazasına uğrama sebepleri ise Tablo 9'da görülmektedir

Tablo9. İş Kazasına Uğrama Sebepleri

İş kazasına uğrama sebebi	Frekans	%
İşçinin güvenli olmayan davranışı	4	33,3%
Güvenli olmayan çalışma ortamı	2	16,7%
Güvenli olmayan makina ve teçhizat	6	50,0%

İş kazasının %50'sinin güvenli olmayan makina ve teçhizattan kaynaklandığı tespit edilmiştir. %33,3'ü ise işçinin güvenli olmayan davranışından kaynaklanmıştır.

Yaş, Öğrenim Düzeyi ve İş Deneyimi Değişkenlerinin Düzeylerinin KKD Kullanım Bakımından Karşılaştırılması Tablo10'da verilmiştir.

Tablo 9: Yaş, Öğrenim Düzeyi Ve İş Deneyimi Değişkenlerinin Düzeylerinin KKD Kullanım Bakımından Karşılaştırılması

Değişken	Düzeyler	N	Sıra ortalaması	Serbestlik derecesi	Ki kare değeri	P değeri
Yaş	18-26	36	50,7	3	2,405	0,493
	27-34	19	43,53			
	35-43	19	41,58			
	44 VE ÜZERİ	21	45,81			
	İlkokul	17	39,65			
Öğrenim Düzeyi	Ortaokul	14	43,75	4	2,595	0,628
	Lise	45	47,61			
	Meslek Y.O.	13	47,12			
	Üniversite	6	55,9			
İş Deneyimi	1 Yıldan Az	20	48,67	4	3,913	0,418
	1-5 Yıl	35	43,17			
	6-10 Yıl	15	49,8			
	11-15 Yıl	7	34,79			
	15 Yıldan Fazla	18	39,21			

Tablo 10'da KKD kullanımının yaş, öğrenim düzeyi ve iş deneyimi düzeyleri açısından farklılaşp farklılaşmadığını test etmek amacıyla Kruskal Wallis H testi sonuçları verilmiştir. KKD kullanımı açısından yaş değişkeninin düzeyleri arasında %95 güvenle istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p=0,493>0,05$). KKD kullanımı açısından öğrenim düzeyi değişkeninin düzeyleri arasında %95 güvenle istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p=0,628>0,05$). KKD kullanımı açısından iş deneyimi değişkeninin düzeyleri arasında %95 güvenle istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p=0,418>0,05$).

Tablo 11'de KKD kullanımının cinsiyet ve medeni durum değişkenlerinin düzeyleri açısından farklılaşp farklılaşmadığını test etmek amacıyla Mann Whitnet U testi sonuçları verilmiştir.

Tablo 10: Cinsiyet ve Medeni Hal Değişkenlerinin Düzeylerinin KKD Kullanım Bakımından Karşılaştırılması

Değişken	Düzeyler	N	Sıra ortalaması	Mann whitney u değeri	P değeri
Cinsiyet	Erkek	89	45,69	188	0,204
	Kadın	6	58,17		
Medeni Hal	Evli	51	44,16	950,5	0,717
	Bekar	44	45,9		

KKD kullanımını açısından kadın ve erkekler arasında %95 güvenle istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p=0,204>0,05$). KKD kullanımını açısından evli ve bekarlar arasında %95 güvenle istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır ($p=0,717>0,05$).

4.Sonuç

Sonuç olarak bu çalışmada kişisel koruyucu donanım kullanımının sürdürülebilirliğine engel oluşturan faktörlerin belirlenmesi ve bu engellerin ortadan kaldırarak faaliyetlerin belirlenerek sürdürülebilirliğin artırılması amaçlanmıştır.

Ankara'da faaliyet gösteren ısı cihazları firmasının çalışanlarına KKD farkındalığı ve iş uğrayanların tespit edilmesi için uygulanan anket sonucunda %84,2'sinin iş sağlığı ve güvenliği konusunda eğitim aldığı, %77,9'unun KKD konusunda eğitim aldığı ve %84,2'sine KKD kullanılması önerildiği tespit edilmiştir. Katılımcılardan 93'ünün KKD kullandığı ve 2 kişinin kullanmadığı tespit edilmiştir. Yani sonuç olarak çalışanların %97,9'u KKD kullandığı görülmüştür. En çok kullanılan KKD ise, %91,5 eldiven, %73,2 toz maskesi ve %36,6 iş ayakkabısıdır. Burada toplamın yüzü geçmesinin sebebi, bir kişinin birden fazla KKD kullanması ve kullanılmasının önerilmesinden kaynaklanmaktadır. Yani bir kişi hem eldiven, hem maske, hem de iş ayakkabısını aynı anda kullanabilmektedir.

KKD kullanım sebeplerini demografik bilgiler ile karşılaştırdığımızda, kadınların erkeklere göre daha çok iş yerinde zorunlu olduğu için kullandıklarını, meslek yüksek okulu mezunlarının diğer eğitim düzeylerine göre daha çok sağlığı için kullandıklarını, 27-34 yaş aralığında olanların diğer yaş düzeylerine göre daha çok ailesi kullandıklarını, bekarların evlilere göre daha çok iş yerinde zorunlu olduğu için kullandıklarını ve deneyimi bir yıldan az olanların diğer deneyim düzeylerine göre daha çok işten atılmamak için kullandıkları tespit edilmiştir.

KKD kullanımının cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi, medeni hal ve iş deneyimi değişkenlerinin düzeylerine göre farklılık göstermemesinin sebebinin, iş yerinde verilen iş sağlığı ve güvenliği eğitimi, KKD kullanma konusunda verilen eğitim ve KKD kullanma önerilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. İşçilerin bu konuda bilinçlendirilmiş olması demografik bilgilerinin KKD kullanımını etkilemesini engellemiştir. Yani sonuç olarak iş yerinde verilen eğitimlerin işçileri bilinçlendirerek KKD kullanmalarında büyük etki sağladığı gözlemlenmiştir.

Çalışanların KKD konusunda eğitilmiş olmalarının birçok iş kazasının önüne geçtiğini söyleyebiliriz. Ancak yine de 9 kişinin iş kazası geçirmiş olmalarının sebepleri incelendiğinde %50 sinin güvenli olmayan makine ve teçhizattan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu konuda iş yerinin tedbirler alması gerektiği ve işçiye daha güvenli çalışma ortamı ve koşulları sağlaması önerilmektedir. Ayrıca iş kazalarının %33,3'ünün ise işçinin güvenli olmayan davranışından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu konuda da işçilerin bilinçlendirilerek çalışırken iş güvenliğine daha çok dikkat etmeleri sağlanmalıdır.

Çalışmada KKD kullanım oranları, kullanılmama durumlarında altında yatan sebepler belirlenmek istenmiştir ancak çalışmanın sonuçları İSG kapsamında verilen eğitimlerin yeterli olduğunu, çalışanların KKD kullanımını konusunda bilinçli olduğunu, İSG konusunda farkındalığa sahip olduklarını göstermiştir.

Referans

Açıkalm, C.(2008).Eskişehir-Bozüyük bölgesindeki seramik sektöründe iş kazaları ve kişisel koruyucu malzeme kullanımının kazalar üzerindeki etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 9(1),133-154.

Administration. OSHA.(2003).Personal Protective Equipment. U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration

Akman,Ü .(2019). İş yerinde güvenlik kültürü ve kişisel koruyucu donanım kullanımı, OHS Academy, İş Sağlığı ve Güvenliği Akademi Dergisi, 2(3).

Atasoy, M. (2015). Trabzon il merkezindeki şantiyelerde çalışanların kişisel koruyucu donanım kullanım bilincinin belirlenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Beşer, A., & Topçu, S. (2013). Sağlık alanında kişisel koruyucu ekipman kullanımı, Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Yüksekokulu Elektronik Dergisi, 6(1), 241-247.
- Büdüş, G. (2017). Otoboya sektörü çalışanlarında iş sağlığı ve güvenliği bilgi, tutum ve davranışları, Dicle Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Çalışkan, H. (2017). Sağlık hizmetlerinde kişisel koruyucu ekipman kullanma davranışını etkileyen faktörler, Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 20(3), 313-328.
- Çavuşoğlu, İ., Ekti, H., Güvendi, A., Gökcan, A., & Demir, H. (2020). Bir yeraltı altın madeninde kişisel koruyucu donanımlar için risk değerlendirilmesi, Yerbilimleri, 41 (1), 100-113.
- Çelik, G.T., & Temel, C.D. (2018). İnşaat sektöründe kişisel koruyucu donanım kullanımında ödül-ceza uygulamaları. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi, 33(4), 197-202.
- Demirbilek, T., & Çakır, Ö. (2008). Kişisel koruyucu donanım kullanımını etkileyen bireysel ve örgütsel değişkenler, Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 23(2), 173-191.
- Dingus, A.T., Wreggit, S.W., & Hathaway, J.A. (1993). Warning variables affecting personal protective equipment use, Safety Science, 16(5), 655-673.
- Eser, A. (2015). Maden işlerinde solunum koruyucu donanımlar, Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu'2015.
- Ganczak, M., & Sztch, Z. (2007). Surgical nurses and compliance with personal protective equipment, 66, 346-351.
- Gülhan, B., İlhan, M.N., & Civil, S.F. (2012). Occupational accidents and affecting factors of metal industry in a factory in Ankara, Turkish. Journal of Public Health, 10(2), 76-85.
- Güvel, Ş.T., & Oral, E.L. (2018). İş sağlığı ve güvenliği yasal mevzuatının Türkiye inşaat sektöründe uygulanma düzeyi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(1), 189-198.
- Kahya, E., Ulutaş, B., & Özkan, N.F. (2019). Metal Endüstrisinde Kişisel Koruyucu Donanım Kullanımının Analizi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi. 7(2), 420-433.
- Kişisel koruyucu donanım yönetmeliği 29/11/2006 tarihli ve 26361 sayılı Resmî Gazete. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130702-2.htm>
- Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik, 2 Temmuz 2013 tarih ve 28695 sayılı Resmi Gazete. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130702-2.htm>
- MacFalane, E., Chapman, A., Benke, G., Meaklim, J., Sim, M., & MacNeil, J. (2008). Training and other predictors of personal protective equipment use in Australian grain farmers using pesticides, Occup Environ Med. 65, 141-146.
- OSHA (2000). Assessing the need for personal protective equipment: A Guide for Small Business Employers. U. S. Department of Labor Occupational Safety and Health
- Reese, C.D. (2003). Occupational Health and Safety Management-A Practical Approach, Lewis Publishers, Boca Raton
- Şenol, M.B., & Dağdeviren, M. (2020). İş sağlığı ve güvenliği kapsamında kullanılan kişisel koruyucu donanım miktarının tahminine yönelik bir model. Politeknik Dergisi, 23(39), 895-900.
- Taşçı, H. (2016). Kişisel koruyucu donanımları çalışanların isteği ile kullanmama nedenleri ve kullandırma çözümleri, Gedik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
- Taşyürek, M. (2007). Kişisel koruyucu donanımlar, Türk Tabipler Birliği Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi, 18-26.
- Yağlımlı, M., & Kaçar, Ü. (2018). Tehlikeli madde çalışmalarında kişisel koruyucu donanım kullanımının incelenmesi, Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi, 9(23), 56-71.



Seramik Sağlık Gereci Atıklarının Geopolimer Harç Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Investigation of Usability of Ceramic Sanitaryware Wastes in Geopolymer Mortar Production

İsmail İsa Atabey^{*1}, Zahide Bayer Öztürk²

¹Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, 50300 Nevşehir, TÜRKİYE
²Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 50300 Nevşehir, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 19/08/2020

Kabul / Accepted: 13/11/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Bu çalışmada, seramik sağlık gereci (vitrifiye) üretimi esnasında ortaya çıkan hatalı/ıskarta ürünlerin öğütülmesi ile elde edilen atık tozlar alkali ile aktive edilerek geopolimer harçlar üretilmiştir. Üretilen harçlara farklı sıvı/bağlayıcı oranı ve aktivatör molaritesinin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla sıvı bağlayıcı 0,45 ve 0,50 oranlarında 10, 12, 14 ve 16 M NaOH çözeltilerinde karışımlar hazırlanmıştır. Üretilen harç karışımlarına 80°C’de 24 saat ısıtma ve 28 güne kadar havada kuru uygulanmıştır. Numunelere işlenebilirlik, birim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımı, su emme ve boşluk oranı deneyleri uygulanmıştır. Numunelerin sıvı/bağlayıcı oranı 0,50 iken molaritenin artması mekanik özelliklere olumlu etkisi olmamakta ancak işlenebilirliği iyileştirmektedir. 0,45 sıvı/bağlayıcı oranında ise molaritenin artışı dayanımda önemli gelişme göstererek 16 M NaOH konsantrasyonunda yaklaşık 34 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Ancak artan dayanım, çevresel ve ekonomik koşullar açısından geopolimer harç üretimi için uygun molaritenin sıvı/bağlayıcı oranı 0,45’de 12 M NaOH olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Seramik sağlık gereci, geopolimer, harç, dayanım”

Abstract

In this study, geopolymer mortars were produced with alkali activated the waste powders obtained by grinding of the defective / discarded products generated during the production of vitrified (ceramic sanitaryware) products. The effect of different liquid / binder ratio and activator molarity was investigated on the produced mortars. To achieve this goal, geopolymer mortars were prepared with liquid:binder ratios of 0.45, 0.50 and in four different molarities as 10, 12, 14 and 16 M NaOH. The produced mixtures were cured in oven at 80°C for 24 h then in air for a period 28 days. The workability, unit weight, flexural and compressive strength, water absorption and volume of permeable voids ratio tests were performed on mortar samples. While the liquid:binder ratio of the samples is 0.50, the increase in molarity was not have a positive effect on mechanical properties, but improved the workability. When the liquid:binder ratio is 0.45, the increase in molarity showed a significant improvement in the strength and approximately 34 MPa compressive strength was obtained at 16 M NaOH concentration. However, in terms of improved strength, environmental and economic conditions, it has been determined that the appropriate molarity for geopolymer mortar production is 12 M at 0.45 in liquid:binder ratio.

Key Words

“Sanitaryware, geopolymer, mortar, strength”

1. Giriş

Son yıllarda, inşaat sektöründe geleneksel betona alternatif yapı malzemeleri olarak alkali ile aktive edilmiş harçlar/betonlar araştırılmaktadır. Bu harçların geri dönüşüm yoluyla endüstriyel atıklardan ucuz şekilde üretimi, çevre kirliliğinin azaltılması, dayanıklılığın artırılması, enerji tasarrufu özellikleri, yüksek erken dayanım ve yüksek yanmazlık özellikleri diğer malzemelere göre alkali aktif harçları daha avantajlı hale getirmektedir (Huseien vd., 2016; Huseien vd., 2017; Huseien vd., 2018a; Al-Majidi vd., 2016). Araştırmacılar, sera gazı emisyonu gibi bazı çevresel sorunlar oluşturan yapı malzemelerinden olan Portland çimentosunun kullanımını azaltmak için, inorganik alüminasilikat polimer ya da geopolimer olarak bilinen çimentosuz, atık malzemeler ile beton üretiminde Portland çimentosu yerine kullanılabilir potansiyel malzemeler geliştirmektedir (Davidovits, 1991). Geopolimerler, alümina ve silis bakımından zengin metakaolen, uçucu kül, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, atık seramik tozları gibi endüstriyel atık ya da yan ürünlerin alkali çözeltisinde çözünmesi ile Al-Si-O kompleksleri arasında üç boyutlu polimerik zincirlerin oluşumuna dayanır (Robayo-Salazar & Gutierrez 2018; Aguilar vd. 2010). Bu sayede çimento ve diğer geleneksel bağlayıcı puzolanik malzemelerin yerini alkali aktif inorganikler alır (Deb vd., 2014). Günümüzde, geopolimerlerde ana malzeme olarak atık seramik tozu kullanımı sürdürülebilir bir yapıya sahip olması ve seramik endüstrisinin de atık sorununun çözümüne yardımcı olması nedenleri ile artan bir ilgi görmektedir (Huseien vd., 2018b; Huseien vd., 2018c). Yapılan çalışmalarda kırmızı kil seramik tozu (Keppert vd., 2018), tuğla üretiminde oluşan ince atık tozlar (Amin vd., 2017), kırmızı çamur (Kulkarni, 2018; Mucsi vd., 2019), atık cam tozu (Torres-Carrasco & Puertas 2015), seramik karo atıkları (Huseien vd., 2019; Huseien vd., 2020; Reig vd., 2014; Rashad vd., 2020; Reig vd., 2015) kullanımlarının geopolimerlerin performansına etkileri değerlendirilmiştir.

Seramik sağlık gereci (vitrifiye), banyolarda ve mutfaklarda kullanılan lavabo, klozet, rezervuar, bide, duş teknesi ve pisuar gibi ürünleri kapsamaktadır. Genel ifadeyle; kil, kaolen, feldspat ve kuvars ile hazırlanan hammadde karışımlarının, alçı kalıplara yapılan çamur dökümlerinin neticesinde ortaya çıkan şekillerin; önce kurutulması sonra da parlaklık veren sırlar ile kaplanmasıyla endüstriyel fırınlarda yüksek sıcaklıkta pişirilmesi sonucu elde edilen ürünlerdir (Kunduracı vd., 2019; Açıkbaş & Göçmez 2017). Seramik sağlık gereçleri alanında Türkiye, senelik 320000 tonluk üretim miktarı ile Avrupa'da en çok üretim yapan ülke konumundadır. Bu nedenle seramik sağlık gereçleri üretimi esnasında ve kalite kontrol sonrasında oluşan atıkların miktarı ve çevreye olan etkisi düşünüldüğünde bu atıkların etkili bir şekilde geri dönüşümü büyük bir önem arz etmektedir. Üretici firmalar oluşan yaş atığın büyük bir bölümünü değerlendirebilmektedir ancak sinterlenmiş ürünün değerlendirilmesinde üretim kısıtlamaları nedeniyle bu mümkün olamamaktadır. Bu durum atıkların farklı alanlarda fayda sağlayacak şekilde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Açıkbaş & Göçmez, 2017).

İnşaat alanında sodyum hidroksit ve sodyum silikat çözeltileri kullanılarak vitrifiye atıklarının alkali aktivasyonu ile geliştirilen harçlarda kür sıcaklığı, kür süresi, uygun alkali türü ve miktarına bağlı olarak uygun basınç dayanıma sahip harçların elde edilebilirliğini konu alan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birinde, Reig vd. (2018) seramik sağlık gereci atıklarının alkali aktivasyonunda farklı kalsiyum kaynakları olan Ca(OH)_2 , kalsiyum alüminat çimentosu ve Portland çimentosunun farklı miktarlarda ilavesinin etkisini değerlendirmişlerdir. Ağırlıkça %6 Ca(OH)_2 ve %10 Portland çimentosu ilaveli harçlarda mekanik dayanım 40,06 ve 64,41 MPa, ağırlıkça %10 ve %15 kalsiyum alüminat çimentosu ilaveli harçlarda mekanik dayanım 56,65 ve 70,69 MPa elde etmişlerdir. Portland çimentosu ile seramik sağlık gereci atığının %15-25 arasında yer değişimi ile 28 ve 90 günlük kür sonrası numunelerin basınç dayanımlarının %75'den %85'e arttığı belirtilmiştir (Reig vd., 2013). Medina vd. beton üretiminde iri agrega yerine %25'e kadar seramik sağlık gereci atıklarının kullanımını incelemişlerdir. Fiziksel özellikler üzerinde önemli bir değişim gözlenmezken mekanik özelliklerin geliştiğini tespit etmişlerdir (Medina vd., 2011). Cosa ve ark. (2018) alkali ile aktifleştirilmiş seramik sağlık gereci atık içeren bağlayıcıların mikro yapı ve basınç dayanımına farklı sıvı katalitik atık ve silika konsantrasyonu etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında, SiO_2 konsantrasyonu 4,37 mol/kg iken seramik sağlık gereci atığı yerine %20 ve 30 ilave edilen sıvı katalitik atığının 7 gün ve 28 günlük dayanım sonuçlarının 30 MPa'dan yüksek çıktığını tespit etmişlerdir. Bayer vd. (2019) vitrifiye ürün atıklarını uçucu kül ile ikame ederek %40 vitrifiye atığı %60 uçucu kül içeren karışımlarda 38 MPa dayanıma ulaşmışlardır.

Literatür incelendiğinde alkali aktivasyon yöntemi ile seramik sağlık gereci atığı kullanımını ele alan çalışmalar sınırlıdır. Bu çalışmada seramik sağlık gereçlerinin pişme sonrası ıskartaya ayrılan ürünlerin öğütülmesi ile elde edilen yüksek silis alümin içeriğine sahip tozların alkali aktivasyon yöntemi ile farklı molarite ve sıvı/bağlayıcı oranlarında harç yapılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla 10, 12, 14 ve 16 M NaOH ile 0,45 ve 0,50 su/bağlayıcı oranlarında ayrı ayrı harçlar hazırlanarak 80°C'de 24 saat kür edilmiştir. Elde edilen numunelere işlenebilirlik, birim ağırlık, su emme ve boşluk oranı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanarak fiziksel ve mekanik özellikleri irdelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Kullanılan Malzeme Özellikleri

Alkali ile aktive edilmiş harç oluşturmak için seramik sağlık gereci pişmiş ürün atıkları (Şekil 1), dere kumu, sodyum hidroksit ve su kullanılmıştır. Dere kumunun doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı 2,67 ve su emme oranı %1,94'dür (TS EN 1097-6). Dere kumuna ait elek analizi sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Aktivatör olarak kullanılan sodyum hidroksitin saflığı %98,27'dir. Karışımlarda Nevşehir şebekesine ait içilebilir musluk suyu kullanılmıştır (TS EN 1008). Atık seramik sağlık gereci (ASG) ıskarta ürünleri Turkuaz Seramik (Kayseri) firmasından öğütülmüş toz olarak temin edilmiş 250 mikron elekten elenerek kullanılmıştır. Seramik sağlık gereci atığına ait kimyasal analiz Tablo 2'de sunulmuştur.



Şekil 1. Atık seramik sağlık gereçlerinden geopolimer harç numuneleri üretimi

Tablo 1. Dere kumu elek analizi değerleri

Elek Çapı, mm	Geçen, %
4,00	99,1
2,00	65,1
1,00	40,2
0,5	21,3
0,25	9,9
0,125	3,7
0,063	0,9

Tablo 2. Seramik sağlık gereci atıklarının (ASG) kimyasal analiz değerleri

SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	ZnO	ZrO ₂	P ₂ O ₅	K. K.
66,32	27,86	1,56	0,37	1,07	0,16	1,25	0,59	0,10	0,51	0,05	0,10

2.2. Yöntem

Hazırlanan harçlarda sıvı/bağlayıcı oranı birinci grupta 0,45, ikinci grupta 0,50 olarak belirlenmiştir. Kum/bağlayıcı oranı 3 seçilmiştir. Aktivatör sodyum hidroksit (NaOH) ise 10, 12, 14 ve 16 M olarak kullanılmıştır. Karışım hazırlamak için kullanılan malzeme miktarları Tablo 3’de verilmiştir. Çözelti hazırlamak için cam kavanozlara hesaplanan su miktarı ve üzerine sodyum hidroksit ilave edilerek yaklaşık 1 dakika çalkalama suretiyle kimyasalın tamamen erimesi sağlanmıştır. Sodyum hidroksitin su ile tepkimesi ekzotermik olduğu için oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiştir. Oda sıcaklığındaki bu çözeltiler ile TS EN 196-1’e uygun olarak 40×40×160 mm ebatlarında harç numuneleri üretilmiştir. Çözelti ve seramik sağlık gereci atıkları önce karıştırma kabına konup 30 saniye karıştırdıktan sonra ikinci 30 saniye içerisinde kum ilave edilmiştir. Ardından yüksek hızda 30 saniye daha karıştırmaya devam edilmiştir. Karıştırıcı durdurulup ilk 30 saniyede kabın çeperlerindeki harç ortaya toplanarak toplam 90 saniye beklenmiştir. Ardından 60 saniye daha yüksek hızda devam edilerek karıştırma işlemi tamamlanmıştır. Taze halde iken harçlar üzerinde TS EN 1015-3 standardına uygun olarak yayılma tablası deneyi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra karışımlar 40×40×160 mm boyutlarında 3 göze sahip harç kalıplarına iki aşamada dökülmüştür. 3 gözlü harç kalıplarına dökülen karışımlar kalıplarıyla birlikte etüve konulmuş ve 24 saat boyunca 80 °C sıcaklıkta ısı küre tabi tutulmuştur. Isıl küreden sonra kalıplarından çıkarılan harç numuneleri laboratuvar koşullarında yaklaşık 23±2 °C sıcaklıkta 28 gün bekletilmiştir. Ardından numunelerin birim ağırlıkları ile su emme ve boşluk oranları belirlenmiştir. Aynı numuneler üzerinde TS EN 1015-11 standardına uygun olarak eğilme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her bir deneysel değer 3 numuneden elde edilen sonuçların ortalaması alınmak suretiyle belirlenmiştir.

Tablo 3. Karışım oranları

Numune kodu	Molarite (M)	ASG Ağı (g)	Kum (g)	Su (g)	NaOH (g)
45ASG10	10	450	1350	202,5	81,0
45ASG12	12	450	1350	202,5	97,2
45ASG14	14	450	1350	202,5	113,4
45ASG16	16	450	1350	202,5	129,6
50ASG10	10	450	1350	225,0	90,0
50ASG12	12	450	1350	225,0	108,0
50ASG14	14	450	1350	225,0	126,0
50ASG16	16	450	1350	225,0	144,0

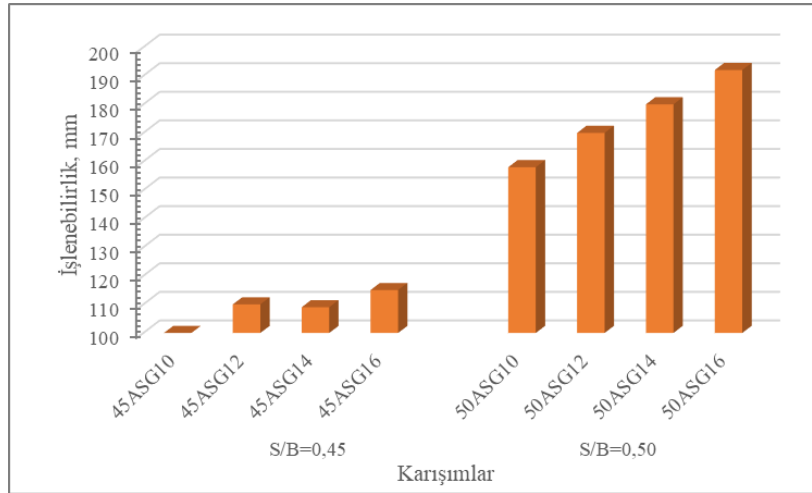
3. Bulgular ve Tartışma

Deneyisel çalışmada üretilen harç numunelerine taze halde iken işlenebilirlik, sertleşmiş numunelere ise birim ağırlık, su emme ve boşluk oranı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Deneylerin tamamına ait sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir. Birim ağırlık deneyi sonucunda molarite artışı ile hem sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 hem de 0,50’de artış gözlemlenmiştir. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 için birim ağırlıklar 2,17-2,24 g/cm³ arasında iken, 0,50 için 2,11-2,26 g/cm³ arasındadır. Ancak her iki grup içinde değerler birbirine oldukça yakındır (Tablo 4).

Tablo 4. Numunelerin test sonuçları

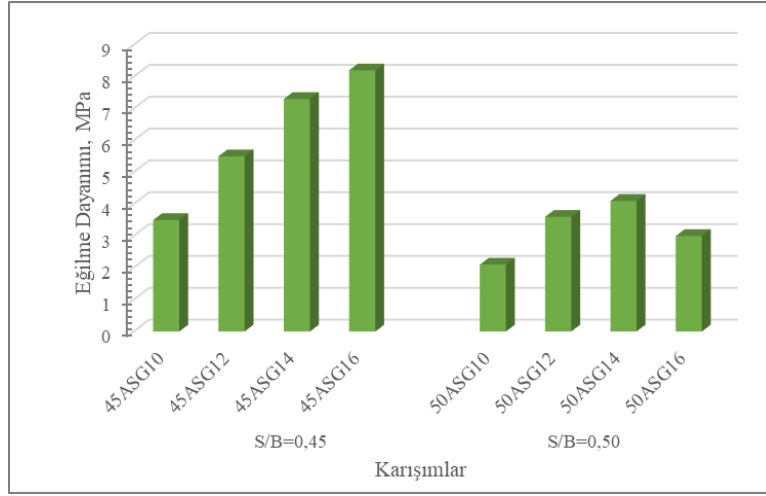
Numune kodu	İşlenebilirlik, mm	Eğilme Dayanımı, MPa	Basınç Dayanımı, MPa	Birim Ağırlık, g/cm ³	Su Emme Oranı, %	Boşluk Oranı, %
45ASG10	100	3,5	18,7	2,17	9,4	18,7
45ASG12	110	5,5	28,1	2,19	8,7	17,5
45ASG14	109	7,3	31,9	2,24	8,0	15,6
45ASG16	115	8,2	33,9	2,23	7,4	14,4
50ASG10	158	2,1	11,4	2,11	11,3	22,2
50ASG12	170	3,6	12,1	2,19	9,6	18,7
50ASG14	180	4,1	13,2	2,24	9,0	17,5
50ASG16	192	3,0	8,3	2,26	10,5	20,1

Çalışmada üretilen taze harç numunelerine ilk olarak işlenebilirlik deneyi uygulanmış ve sonuçlar Tablo 4 ve Şekil 2’de verilmiştir. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 olan harç gruplarında işlenebilirlik değerleri 100-115 mm aralığındadır. Aktivatör molaritesi 10’dan 16’ya doğru artış ile 15 mm’lik bir kıvam artışı oluşmuştur. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,50 olan harç gruplarında işlenebilirlik 158-192 mm arasındadır. Su oranının artması ile molariteye bağlı olarak da kıvam çok artmıştır. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45’de molariteye bağlı olarak 15 mm içinde artış oluşurken 0,50’de 34 mm aralık içerisinde kıvam artışı gerçekleşmiştir. Sıvı aktivatör/toz bağlayıcı oranının artışı ile tüm harç gruplarında kıvam artışı oluşmuştur. Bu durum önceki çalışmalarda da belirtilmektedir (Sathonsaowaphak vd., 2009; Shoaie vd., 2019).



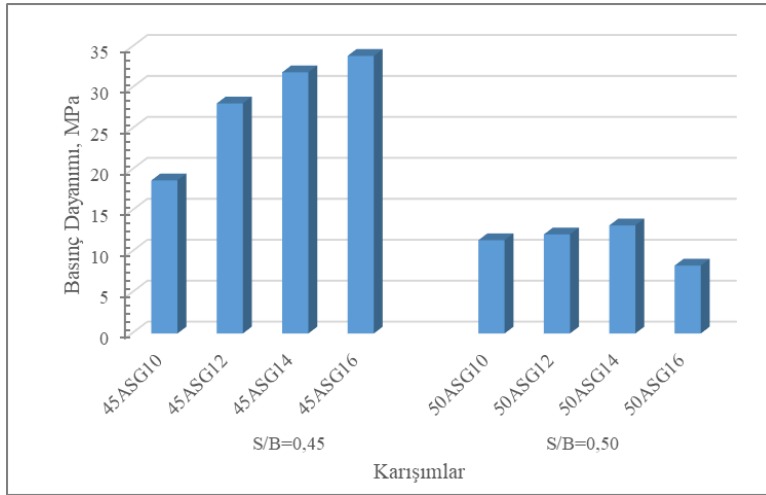
Şekil 2. İşlenebilirlik deney sonuçları

Üretilen harçların eğilme dayanımlarındaki değişimler Tablo 4 ve Şekil 3’de sunulmuştur. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 olan harçlarda 3,5; 5,5; 7,3 ve 8,2 MPa olarak belirlenmiştir. Aktivatör molaritesinin artışına bağlı olarak eğilme dayanımı artış göstermiştir. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,50 olan numunelerde 2,1; 3,6; 4,1 ve 3,0 MPa eğilme dayanımı elde edilerek molaritenin 10’dan 14’e artmasıyla eğilme dayanımı artmış ancak 16 M NaOH dayanımında düşüşe yol açmıştır. Tüm aktivatör molaritelerinde sıvı/bağlayıcı oranının azalması ile dayanımlar artmıştır. Sıvı/bağlayıcı 0,45’de NaOH 10 M’den 16 M’e ulaştığında eğilme dayanımı yaklaşık %134 artmaktadır. Sıvı/bağlayıcı 0,50’de NaOH 10 M’den 14 M’e ulaştığında eğilme dayanımı yaklaşık %95 artarken 16 M’de bu artış azalarak %45’e düşmektedir. Bu da yüksek su içeriği ve yüksek aktivatör oranlarının beraber olduğu durumlarda optimum dayanım seviyesinden sonra dayanıma olumlu katkı yapmadığını göstermektedir. Shoaie vd. (2019) çalışmalarında alkali çözelti/bağlayıcı oranı 0,6’dan 0,7’ye çıktığında sabit sıcaklıkta eğilme dayanımlarında düşüş olduğunu belirtmişlerdir. Belirli bir kür sıcaklığı için, geopolimer karışımlarının Na içeriğindeki artış, eğilme dayanımında belirli bir Na molaritesine kadar artışa neden olur ve bu bir noktadan sonra azalır. Optimum Na konsantrasyonundan sonra eğilme dayanımındaki azalma, silisin bir noktada pıhtılaşmasındaki/tortulaşmasındaki artışa bağlanabilir. (Atiş vd., 2015; Görhan & Kürklü, 2014)



Şekil 3. Eğilme dayanımı deney sonuçları

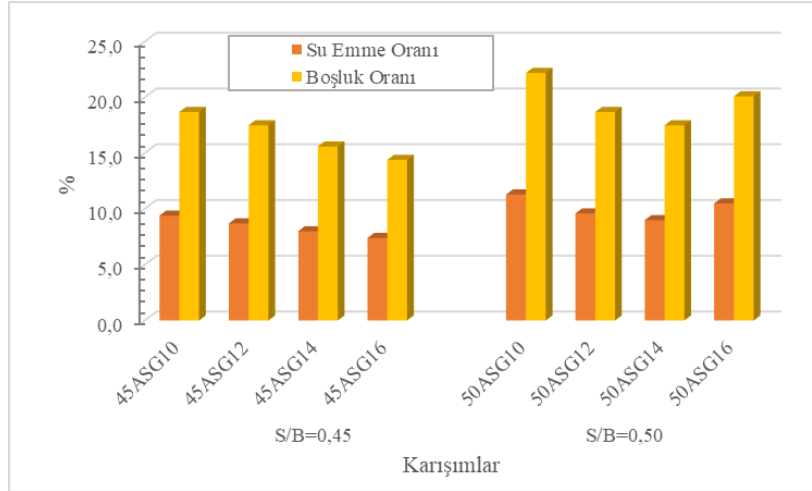
Harç numunelerinin basınç dayanımları Tablo 4 ve Şekil 4’de sunulmuştur. Eğilme dayanımı sonuçlarında olduğu gibi sıvı/bağlayıcı oranının artışı ile genel olarak basınç dayanımlarda düşüş oluşmuştur. Basınç dayanımı değerleri sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 için 10 M, 12 M, 14 M ve 16 M aktivatör içeriğinde sırasıyla 18,7; 28,1; 31,9 ve 33,9 MPa iken sıvı/bağlayıcı oranı 0,50 için sırasıyla 11,4; 12,1; 13,2 ve 8,3 MPa’dır. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45’de basınç dayanımında 10 M’den 16 M’e yaklaşık %81 artış meydana gelmiştir. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,50 ise en düşük 8,3 MPa 16 M’de elde edilirken 10 M çözeltide bile 11,4 MPa dayanıma ulaşılmıştır. Ayrıca molarite değişimleri arasında önemli derecede basınç dayanımı artışı olmamıştır. Yüksek su içeriğinde yüksek molarite, dayanımın artmasına katkı sağlamamaktadır. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 için dört molariteye ait dayanımların aritmetik ortalaması 28,2 MPa iken 0,50 için bu değer 11,3 MPa’dır. Hem ortalamada hem de bireysel karışım gruplarında 0,45 ile yüksek dayanımlar elde edilmiştir. Ancak 12 M ile 16 M arasında 5,8 MPa dayanım farkı oluşurken 10 M ile 12 M arasında 9,4 MPa fark oluşmuştur. Bu da basınç dayanımı için 12 M’den sonra dayanım artışının 10 M’den sonra oluşan artışa göre daha düşük olduğunu göstermektedir. NaOH molaritesinin artışı ile basınç dayanımlarının artması polimerizasyonun daha fazla oluşması sonucu yoğun içyapı oluşumu ile açıklanabilir (Atiş vd., 2015; Rattanasak & Chindaprasirt., 2009). Ancak molaritenin artmaya devam etmesiyle dayanımda oluşan düşüşlerin nedeni NaOH çözeltisinin yüksek viskozitesi sonucu çok fazla OH iyonu nedeniyle geopolimerik jellerin erken çökmesidir. Ayrıca kısmen reaksiyona girmiş veya reaksiyona girmemiş öncül taneciklerin varlığı nedeniyle Al ve Si türlerinin kusurlu çözünmesi olarak açıklanabilir. (Çelikten & Işıkdağ, 2020).



Şekil 4. Basınç dayanımı deney sonuçları

Su emme ve boşluk oranı deney sonuçları Tablo 4 ve Şekil 5’de değerlendirilmiştir. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 olan harç gruplarında su emme oranı % 7,4-9,4, boşluk oranı ise %14,4-18,7 değerleri arasında hesap edilmiştir. Sıvı/bağlayıcı oranı 0,50 olan harç gruplarında su emme oranı % 9,0-11,3, boşluk oranı %17,5-%22,2 değerleri arasında belirlenmiştir. Su emme ve boşluk oranları sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 olan harç gruplarında molaritenin artmasıyla azalmıştır. Atabey vd. çalışmalarında Na oranının artmasıyla su emme ve boşluk oranının azaldığını ifade etmişlerdir (Atabey vd., 2020). Ancak 0,50 sıvı/bağlayıcı oranında NaOH artışının 10-14 M aralığında su emme ve boşluk oranları düşmüş 16M’de tekrar artış göstermiştir. Bu sonuç eğilme ve basınç dayanım sonuçları ile de benzer ilişki içerisindedir. Mehta vd. çalışmalarında basınç dayanımları ile su emme oranları arasındaki ilişkinin benzer olduğunu belirtmişlerdir (Mehta vd., 2017). Kaya vd. geopolimer harçların basınç dayanımı ile boşluk oranı arasındaki ilişkiyi varyans analizi ile incelemişler ve aralarında anlamlı ilişkinin bulunduğunu ifade etmişlerdir. Genel olarak geopolimer harç numuneleri portland çimentolu harçlara

göre yüksek su emme ve boşluk oranlarına sahiptirler. Görhan ve Kürklü, 85°C’de 24 saat kür uyguladığı NaOH ile aktive edilmiş uçucu küllü harçların 9 M’de yaklaşık %26-28 boşluk oranı, %16-18 su emme değerlerine sahip olduğunu belirlemişlerdir (Görhan & Kürklü, 2014).



Şekil 5. Su emme-boşluk oranı deney sonuçları

4. Sonuçlar

- Seramik sağlık gereci (vitrikiye) esaslı geopolimer harçların işlenebilirliği sabit sıvı/bağlayıcı oranında aktivatör molaritesinin artması ile iyileşmektedir. Özellikle 0,50 sıvı/bağlayıcı oranında kıvamda iyileşme aktivatör oranının artması ile daha fazladır.
- Molarite artışı hem 0,45 hem de 0,50 sıvı/bağlayıcı oranlarında birim ağırlıkta çok küçük de olsa artışa yol açmıştır.
- Eğilme ve basınç dayanımı sıvı/bağlayıcı oranı 0,45’de molarite artışı ile doğru orantılı iken 0,50’de 14 M’e kadar doğru orantılı artış oluşmuştur.
- Dayanım değerlerinde sıvı/bağlayıcı oranı 0,45 için 12 M’den 16 M’e kadar artış oranı 10 M’den 12 M’e geçişte oluşan artış oranından düşüktür. Fakat en yüksek dayanım 16 M’de elde edilmiştir.
- Ekonomi ve çevresel koşullar dikkate alındığında optimum molarite için 0,45 sıvı/bağlayıcı oranında 12 M belirtilebilir.
- Su emme ve boşluk oranları değerleri molarite artışına bağlı olarak azalmakta fakat 0,50 su içeriğinde doğru orantılı bir artış oluşmamaktadır. Ancak hem molarite hem de sıvı/bağlayıcı oranlarında dayanım değerleri ile orantılı artış ve azalış göstermektedir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan seramik sağlık gereci atıklarının temininde destek olan Turkuaz Seramik Ar-ge Merkezine (Kayseri) teşekkür ederiz.

Referanslar

- Acıkbas G., Gocmez H. (2017) Polyester Matrisli Kompozit Özelliklerine Vitrikiye Seramik Sağlık Gereci Atık Miktarının Etkisi. Akademik Platform, 5 (3), 137-145.
- Aguilar, R.A., Díaz, O.B., García, J.I.E. (2010) Lightweight concretes of activated metakaolin-fly ash binders, with blast furnace slag aggregates, Constr. Build. Mater. 24 1166–1175. doi:10.1016/j.conbuildmat.2009.12.024
- Al-Majidi, M.H., Lampropoulos, A., Cundy, A., Meikle, S. (2016) Development of geopolymer mortar under ambient temperature for in situ applications, Constr. Build. Mater. 120 198–211. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.05.085
- Amin, S.K., El-Sherbiny, S.A., El-Magd, A.A.M.A., Belal, A., Abadir, M.F. (2017) Fabrication of geopolymer bricks using ceramic dust waste, Constr. Build. Mater. 157 610–620, doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.09.052.
- Atabey, İ. İ., Karahan, O., Bilim, C., & Atış, C. D. (2020). The influence of activator type and quantity on the transport properties of class F fly ash geopolymer. Construction and Building Materials, 264, 120268, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120268
- Atış, C. D., Görür, E. B., Karahan, O., Bilim, C., İlkentapar, S., & Luga, E. (2015). Very high strength (120 MPa) class F fly ash geopolymer mortar activated at different NaOH amount, heat curing temperature and heat curing duration. Construction and building materials, 96, 673-678, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.089

- Bayer Öztürk, Z., Yılmaz, Y.C., Bozkurt, Y., Atabey, İ.İ., Vitrikiye ürün atıklarından geopolimer yapı malzemesi üretimi, The International Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineering and Technology in Cappadocia/TURKEY (ISMATEC'19), 1178-1181, June 21-23 2019.
- Cosa J., Soriano L., Borachero M.V., Reig L., Paya J., Monzo J.M. (2018) Influence of addition of fluid catalytic cracking residue (FCC) and the SiO₂ concentration in alkali-activated ceramic sanitary-ware (CSW) binders. *Minerals*, 8, 123. doi:10.3390/min8040123
- Çelikten, S., Işıkdag, B. (2020). Strength development of ground perlite-based geopolimer mortars. *Advances in concrete construction*, 9(3), 227-234, <https://doi.org/10.12989/acc.2020.9.3.227>
- Davidovits, J. (1991) Geopolymers: inorganic polymeric new materials, *J. Therm. Anal. Calorim.* 37 1633–1656 (www.geopolymer.org)
- Deb P.S., Nath P., Sarker P.K. (2014) The effects of ground granulated blast-furnace slag blending with fly ash and activator content on the workability and strength properties of geopolimer concrete cured at ambient temperature. *Materials and Design*, 62, 32-39. doi:10.1016/j.matdes.2014.05.001
- Görhan, G., Kürklü, G. (2014). The influence of the NaOH solution on the properties of the fly ash-based geopolimer mortar cured at different temperatures. *Composites part b: engineering*, 58, 371-377, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.082>
- Huseien, G.F., Mirza, J., Ismail, M., Ghoshal, S., Ariffin, M.A.M. (2016) Effect of metakaolin replaced granulated blast furnace slag on fresh and early strength properties of geopolimer mortar, *Ain Shams Eng. J.* 7 (4) 944–953. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.11.011>
- Huseien, G.F., Mirza, J., Ismail, M., Ghoshal, S., Hussein, A.A. (2017) Geopolimer mortars as sustainable repair material: a comprehensive review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 80 54–74 doi:10.1016/j.rser.2017.05.076
- Huseien, G.F., Ismail, M., Tahir, M., Mirzac, J., Husseina, A., Khalida, N.H. (2018a) Effect of binder to fine aggregate content on performance of sustainable alkali activated mortars incorporating solid waste materials, *Chem. Eng.* 63 667–672. doi:10.3303/CET1863112
- Huseien, G.F., Mirza, J., Ismail, M. (2018b) Effects of high volume ceramic binders on flexural strength of self-compacting geopolimer concrete, *Adv. Sci. Lett.* 24 4097–4101. doi:10.1166/asl.2018.11549
- Huseien, G.F., Sam, A.R.M., Mirza, J., Tahir, M.M., Asaad, M.A., Ismail, M., Shah, K.W. (2018c) Waste ceramic powder incorporated alkali activated mortars exposed to elevated temperatures: performance evaluation, *Constr. Build. Mater.* 187 307–317. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.07.226
- Huseien, G.F., Sam, A.R.M., Shah, K.W., Mirza, J., Tahir, M.M. (2019) Evaluation of alkali-activated mortars containing high volume waste ceramic powder and fly ash replacing GBFS. *Constr. Build. Mater.* 210, 78-92. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.03.194
- Huseien, G.F., Sam, A.R.M., Shah, K.W., Mirza J. (2020) Effects of ceramic tile powder waste on properties of self-compacted alkali-activated concrete. *Constr. Build. Mater.* 236, 117574. doi:10.5772/intechopen.81842
- Kaya, M., Uysal, M., & Yılmaz, K. (2018). Jeopolimer harçlarda dayanım, kür sıcaklığı ve boşluk oranı ilişkisinin varyans analizi ile incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2), 248-256. doi: 10.16984/saufenbilder.300934
- Keppert, M., Vejmelková, E., Bezdicka, P., Dolezelová, M., Cáchová, M., Scheinherrová, L., Pokorný, J., Vyšvar il, M., Rovnaníková, P., Cerný, R. (2018) Red-clay ceramic powders as geopolimer precursors: Consideration of amorphous portion and CaO content, *Appl. Clay Sci.* 161 82–89. doi:10.1016/j.clay.2018.04.019
- Kulkarni S. (2018), Experimental study on red mud, fly ash, GGBFS based geopolimer concrete, *International journal of engineering research technology*, 7(12) 107-111. (ISSN: 2278-0181)
- Kunduracı N., Tarhan B., Sarısakal C. (2019) Seramik sağlık gereçleri üretiminde pirolastik deformasyon azaltılmasına bağlı olarak geliştirilen kompozisyonların üretim maliyeti açısından değerlendirilmesi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(2), 474-480.
- Medina C., Juan A., Frias M., Sanchez de Rojas M.I., Moran J.M., Guerra M.I. (2011) Characterization of concrete made with recycled aggregate from ceramic sanitary ware. *Materiales de Construction*, 61, 304, 533-546. doi:10.3989/mc.2011.59710
- Mehta, A., Siddique, R., Singh, B. P., Aggoun, S., Łagód, G., Barnat-Hunek, D. (2017). Influence of various parameters on strength and absorption properties of fly ash based geopolimer concrete designed by Taguchi method. *Construction and Building Materials*, 150, 817-824, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.066>
- Mucsi G., Szabo R., Racz A., Kristaly F., Kumar S., (2019), Combined utilization of red mud and mechanically activated fly ash in geopolymers, the *Mining Geology- Petroleum Engineering Bulletin*, 27-36.
- Rashad A.M., Essa G.M.F. (2020) Effect of ceramic waste powder on alkali-activated slag pastes cured in hot weather after exposure to elevated temperature. *Cement and Concrete Composites*, 111, 103617. doi:10.1016/j.cemconcomp.2020.103617
- Rattanasak, U., Chindaprasirt, P. (2009). Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolimer. *Minerals Engineering*, 22(12), 1073-1078. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.03.022>

Reig L., Tashima M.M., Soriano L., Borrachero M.V., Monzo J.M., Paya J.J. (2013). Alkaline activation of ceramic waste materials. *Waste and Biomass Valorization*, 4, 729-736. doi:10.1007/S12649-013-9197-z

Reig L., Soriano L., Borrachero M.V., Monzo J., Paya J. (2014) Influence of the activator concentration and calcium hydroxide addition on the properties of alkali-activated porcelain stoneware. *Constr. Build. Mater.*, 68, 214-222. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.04.023

Reig L., Borrachero M.V., Monzo J.M., Savastono J.R.H., Tashima M.M., Paya J.J. (2015) Use of ceramic sanitaryware as alternative for the development of new sustainable binders. *Key Engineering Materials*, 668, 172-180. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.668.172

Reig L., Soriano L., Tashima M.M., Borrachero M.V., Monzo J., Paya J. (2018) Influence of calcium additions on the compressive strength and microstructure of alkali-activated ceramic sanitary-ware. *Journal of American Ceramic Society*, 101, 3094-3104. doi:10.1111/jace.15436

Robayo-Salazar, R.A., de Gutiérrez, R.M. (2018) Natural volcanic pozzolans as an available raw material for alkali-activated materials in the foreseeable future: a review, *Constr. Build. Mater.* 189 109–118. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.08.174

Sathonsaowaphak A., Chindaprasirt P., Pimraksa K., Workability and strength of lignite bottom ash geopolymer mortar, *J. Hazard. Mater.* 168 (2009) 44–50, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.120>

Shoaei, P., Musaei, H. R., Mirlohi, F., Ameri, F., & Bahrami, N. (2019). Waste ceramic powder-based geopolymer mortars: effect of curing temperature and alkaline solution-to-binder ratio. *Construction and Building Materials*, 227, 116686, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116686>

Torres-Carrasco M, Puertas F (2015) Waste glass in the geopolymer preparation. Mechanical and microstructural characterisation. *J Clean Prod* 90:397–408. doi:10.1016/j.jclepro.2014.11.074

TS EN 196-1, Çimento Deney Metodları – Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2009

TS EN 1008, Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.

TS EN 1015-3/A1, Kâğır harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayıma tablası ile), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.

TS EN 1015-11/A1, Kâğır Harcı-Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.

TS EN 1097-6, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.



Konya İlinde Bir Fabrikanın Enerji Talebinin Karşılanması için Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Analiz ve Tasarımı

Analysis and Design of a Hybrid Energy Production System to Meet the Energy Demand of a Plant in Konya

Abdülamed Tabak

Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, 42090, Konya, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 15/09/2020

Kabul / Accepted: 26/10/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Çalışmamızda Konya ilindeki bir fabrikanın enerji ihtiyacını karşılamak için, şebekeye bağlı fotovoltaik (FV) güneş enerjisi sistemi, akü ve dizel jeneratörden oluşan hibrit bir sistem Çoklu Enerji Kaynakları İçin Hibrit Optimizasyonu (HOMER) yazılımı kullanılarak analiz edilmiş ve tasarlanmıştır. Analiz yapılırken, Konya'nın coğrafi pozisyonu, fabrikanın fiziksel ve ekonomik kısıtları gibi özellikler göz önünde bulundurulmuştur. Sistemin analiz ve tasarımı yapıldıktan sonra yıllar içerisinde gerçekleşmesi muhtemel FV panellerdeki verim düşümü, yükteki artış ve elektrik kesintileri gibi durumların sisteme olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada değerlendirme kriterleri olarak net bugünkü maliyet (NBM) ve enerji maliyeti gibi parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Simülasyon sonuçlarına göre fabrikanın günlük ortalama 1000 kWh olan elektrik ihtiyacının karşılanabilmesi için 3500 kW gücünde güneş paneli, 2400 kW gücünde dizel jeneratör, 55 kWh kapasiteye sahip batarya ve 2885 kW gücünde konvertör önerilmiştir. Bu sistemin NBM değeri 7.81 M\$ olup yatırım maliyeti 1.94 M\$ seviyesindedir. FV panellerde gerçekleşen %0.81'lik yıllık verim kaybı düşünüldüğü takdirde NBM % 7.94, enerji maliyeti % 11.16 oranında artmış ve sistemdeki yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) oranı %5.74 oranında azalmıştır. Elektrik enerjisi talebinin artış oranı yıllık %2 olarak düşünüldüğü zaman NBM %42.13, enerji maliyeti %24.29 artmıştır. Sanayide gerçekleşen elektrik kesintilerinin değerlendirildiği durumda NBM %2.56, enerji maliyeti %2.87 oranında artmıştır. Sonuç olarak, önerilen hibrit enerji üretim sistemi ile fabrikanın elektrik ihtiyacı güvenilir şekilde sağlanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler

"Hibrit enerji üretim sistemi, HOMER yazılımı, Fotovoltaik güneş enerjisi, Batarya, Dizel Jeneratör, Şebeke"

Abstract

In our study, in order to meet the energy demand of a plant in Konya city, a hybrid system consisting of grid-connected photovoltaic (PV) solar energy system, battery and diesel generator was analysed and designed using the Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER) software. While analysing, features such as the geographical location of Konya and physical and economic constraints of the plant were taken into consideration. After the analysis and design of the system, the effects of the conditions such as decrease in efficiency in the PV panels, increase in load and power outages that are likely to occur over the years were examined. In the study, parameters such as net present cost (NPC) and energy cost were taken into consideration as evaluation criteria. According to the simulation results, in order to meet the daily electricity consumption of the plant with an average of 1000 kWh, a 3500 kW solar panel, a 2400 kW diesel generator, a 55 kWh battery and a 2885 kW converter was proposed. The NPC value of this system is 7.81 M\$ and the investment cost is 1.94 M\$. Considering the annual yield loss of 0.81% in PV panels, NPC increased by 7.94%, energy cost increased by 11.16%, and the rate of renewable energy resources (RES) in the system decreased by 5.74%. When the increase rate of electricity demand was considered as 2% annually, NPC increased by 42.13%, energy cost increased by 24.29%. When the electricity outages in plant were evaluated, NPC increased by 2.56% and energy cost increased by 2.87%. As a result, with the proposed hybrid energy generation system, the electricity demand of the plant can be met reliably.

Key Words

"Hybrid energy generation system, HOMER software, Photovoltaic solar energy, Battery, Diesel Generator, Grid"

1. Giriş

Son yıllarda yatırım maliyetlerinin düşmesi, kurulum/işletme alanında uzman bilgisinin artması ve çıkarılan teşviklerin katkısıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmıştır. Petrol/doğalgaz gibi fosil yakıtların her ülkede bulunmaması bu ülkeler için bir dezavantaj sayılırken yenilenebilir enerji kaynakları dünya üzerinde farklı formlarda ve miktarlarda dağıtık olarak her ülkede bulunmaktadır. Türkiye özelinde düşünüldüğünde bazı bölgelerde güneş enerjisi potansiyelinin ön plana çıktığı görülürken bazı bölgelerde rüzgar ya da hidroelektrik potansiyel ön plana çıkmaktadır (Akkaş, Arıkan, & Çam, 2018).

Bu kaynakların kullanımının yaygınlaşması mikro şebeke kavramının doğmasını ve gelişmesini sağlamıştır. Mikro şebekeler, alçak gerilim dağıtım sistemi ile dağıtık üreticilerin (mikro türbinler, yakıt hücreleri, fotovoltaiıklar, rüzgar türbinleri vb.) ve enerji depolayıcıların (volanlar, enerji kapasitörleri ve piller/bataryalar) bir araya gelerek oluşturduğu şebekelerdir. Mikro şebekeler merkezi üretim ve dağıtım sistemlerinden ziyade merkezi olmayan üretim modelini ön plana çıkarmaktadır. Böylece şebekeye bağlı bir tüketici, ihtiyacının bir kısmını ya da tamamını kendisi üretebileceği gibi ihtiyaç fazlası elektrik enerjisini de şebekeye tekrar verebilecektir. Mikro şebekelerde şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız olarak çalışma modları bulunmaktadır (Schwaegerl & Tao, 2014).

Mikro şebekelerin parçası olan dağıtık üretimin avantajları arasında YEK'lerin farklı boyutlarda ve kombinasyonlarda kullanılabilmesinin yanı sıra enerji talebinin sağlanmasının güvence altına alınması, iletim ve dağıtım kayıplarının en aza indirilmesi ve sera gazı üretiminin azaltılması da vardır. Uzak bölgelerde üretilen elektrik enerjisi tüketim noktasına ulaşana kadar birtakım kayıplara maruz kalmaktadır. Özellikle son yıllarda iklim değişikliğinin hissedilir boyutlara geldiği düşünülürse dağıtık üretimin sağlayacağı katkı azımsanamaz niteliktedir (Abdülamed Tabak, Özkaymak, Tahir, & Oktay, 2017) (Gao & Iravani, 2008). Dağıtık üretimde kullanılacak kaynaklar, üretimin olacağı coğrafi bölgeye uygun olarak seçileceğinden dolayı farklı bölgelerde farklı hibrit kombinasyonlardan faydalanmak mümkündür.

Başlarda hibrit sistemler kırsal kesimlerin elektrik talebini karşılamak için kullanılmaktayken son yıllarda şehir merkezlerine yakın, tüketimin yoğun olduğu noktalarda kullanılmaktadır. YEK'lerin ve elektrik talebinin stokastik davranışlara sahip olması, sabit ve değişken çok sayıda parametrenin değerlendirilmesi gerekliliği gibi nedenlerden dolayı hibrit enerji sistemlerinin analizi ve tasarımı zor ve karmaşıktır. Analiz ve tasarım işlemlerinde bu karmaşıklığın üstesinden gelebilmek için iki yol vardır. Bunlardan ilki tüm sistemin tasarlanıp matematiksel modeli çıkarılarak analiz edilmesi yöntemidir. Burada tasarımcı hibrit sistemin bileşenlerine çalışmanın öncesinde net bir şekilde karar verip sonrasında matematiksel modeli çıkarmalıdır. Bir kaynaktan vazgeçip başka bir kaynağa geçmek kullanılacak olan matematiksel modeli değiştireceğinden dolayı tasarım sonrasında kaynakları değiştirmek biraz zahmetli olmaktadır. İkinci yolu ise mevcut yazılım programlarından faydalanmaktır. Literatürde yaygın olarak kullanılan birtakım yazılım programları vardır. Sinha ve Chandel yaptıkları çalışmada, yaygın olarak kullanılan yazılımlardan 19 tanesini (HOMER, Hybrid2, RETScreen, iHOGA, INSEL, TRNSYS, iGRHYSO, HYBRIDS, RAPSIM, SOMES, SOLSTOR, HySim, HybSim, IPSYS, HySys, Dymola/Modelica, ARES, SOLSIM ve HYBRID DESIGNER) incelemiş ve tüm bu yazılımların içinde HOMER'in en fazla kullanılan, en fazla YEK'in kombinasyonunun oluşturulabildiği, performans optimizasyonunun ve hassaslık analizinin yapılabildiği, farklı kombinasyonların daha kolay ve hassas şekilde değerlendirilebildiği bir yazılım olduğunu belirtmişlerdir (Sinha & Chandel, 2014).

Literatürde HOMER'in kullanıldığı şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız çalışan hibrit sistemlerin optimizasyonu ile ilgili çalışmalar vardır. Shahzad ve arkadaşları Pakistan'da kırsal bölgede bulunan bir çiftliğin elektrik ihtiyacını karşılayan FV/biyokütle hibrit sistemin tasarımı için HOMER programından faydalanmışlardır. Biyokütle potansiyeli ve maliyeti, güneş ışınım miktarı ve farklı yüklerde hassaslık analizi gerçekleştirmişlerdir (Shahzad et al., 2017). Khan ve arkadaşları Hindistan'ın farklı bölgelerindeki telekomünikasyon uygulamalarında ihtiyacı karşılamak adına hibrit sistem kurmak istemişler ve bu sistemin bileşenlerinin seçimi ve boyutlandırılması için HOMER'den faydalanmışlardır. Sonuç olarak FV-rüzgar-dizel-batarya hibrit sisteminin diğer düşündükleri hibrit sistemlere göre birim elektrik enerjisi maliyeti açısından daha üstün olduğunu göstermişlerdir (Khan, Yadav, & Mathew, 2017). Kalamaras ve arkadaşları elektrik şebekelerinin kurulmasının ekonomik olmadığı Yunanistan'a bağlı adalardaki kırsal ailelerin elektrik ve termal enerji ihtiyacını karşılamak adına hibrit enerji sistemi simülasyonu yapmışlardır. HOMER kullanılarak yapılan çalışmada sistem bileşenlerini FV/rüzgar/yakıt pili ve batarya olarak seçmişlerdir. Sonuç olarak böyle bir hibrit sistem ile elektrik ve termal ihtiyacın güvenli bir şekilde karşılanabileceğini tespit etmişlerdir (Kalamaras et al., 2019). Bhattacharjee ve Acharya bir eğitim binasının elektrik ihtiyacını karşılamak adına FV/rüzgar hibrit sistemin tekno-ekonomik analizini yapmak için HOMER yazılımını kullanmışlardır (Bhattacharjee & Acharya, 2015). Kumar ve arkadaşları yerleşim yerlerinin uzağında konumlandırılan ATM makinelerinin elektrik ihtiyacını karşılamak için hibrit sistemin minimum maliyete dayalı fizibilite çalışmasında HOMER'den faydalanmışlardır (Kumar, Pukale, Kumabhar, & Patil, 2016). Hibrit sistemler sadece şebekeden bağımsız değil şebekeye bağlı şekilde de kullanılmaktadır. Duman ve Güler yaptıkları çalışmada Türkiye'de çatı üzerine konumlandırılan şebekeye bağlı FV sistemlerin ekonomik analizini yapmak için HOMER'i kullanmışlardır (Duman & Güler, 2020). Rajbongshi ve arkadaşları, HOMER kullanarak farklı yük varyasyonlarında şebekeye bağlı FV/biyokütle/dizel hibrit sistemin optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir (Rajbongshi, Borgohain, & Mahapatra, 2017). Kasaeian ve arkadaşları İran'da bulunan ve şebekeye bağlı bir köyün elektrik ihtiyacını

FV/biyogaz/biyodizel hibrit sistem ile karşılaşmak için HOMER'den faydalanarak tasarım yapmışlardır (Kasaeian, Rahdan, Rad, & Yan, 2019).

Bizim çalışmamızda Konya'da bulunan ve şebekeye bağlı bir fabrikanın elektrik ihtiyacını karşılayabilmek için hibrit sistemin simülasyonu yapılmıştır. HOMER kullanılarak yapılan simülasyon çalışmasında hibrit sistemin bileşenleri için FV/dizel jeneratör/batarya düşünülmüştür. Toplam net bugünkü maliyet ve enerji maliyeti gibi ekonomik kriterler açısından değerlendirilen sistem üzerinde FV panellerdeki verim düşümü, yükteki artış ve elektrik kesintileri gibi farklı durumlar incelenmiştir.

2. Metodoloji

Dünya üzerinde 193 ülkede 200 binden fazla insan tarafından indirilen ve en yaygın kullanılan hibrit enerji simülasyon ve optimizasyon programı olan HOMER, ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir (HOMER Pro.). Programda hibrit sistemi oluşturan farklı yenilenebilir enerji kaynakları (FV güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik, biyokütle vs.), hazır yük çeşitleri (değişken veya sabit, elektrik veya termal), enerji depolayıcıları (batarya, volan vs.) ve fosil kaynaklı üreticiler (dizel jeneratör) vardır. Aynı zamanda hibrit sistemi şebekeye bağlı ya da şebekeden bağımsız şekilde 8760 saat (1 yıl) üzerinden modelleyebilmek mümkündür. Programda hibrit sistemin ömrü boyunca elde ettiği ekonomik faydaları görüntülemek, değerlendirmek ve bu çıktılara göre tekrar sistemi modellemek mümkündür. Simülasyon çalışmasının sonunda, program tarafından elde edilen sonuçlar hem ekonomik hem de teknik açıdan değerlendirilmek üzere tablolar halinde kullanıcıya sunulmakta ve kullanıcı yatırım için uygun olan sistemi seçebilmektedir.

Şekil 1'de hibrit sistemin blok diyagramı görülmektedir. Burada FV sistem ve batarya DC baraya; şebeke, fabrika ve dizel jeneratör AC baraya bağlanmıştır. Konvertör AC ve DC bara arasındaki çift yönlü dönüşümü gerçekleştirmek amacıyla her iki baraya bağlı gösterilmiştir.



Şekil 1. Hibrit sistemin blok diyagramı

Sistemdeki enerjinin akışı ile ilgili farklı senaryolar oluşturulabilir. Bizim çalışmada kullandığımız senaryo “yükü takip eden dağıtım stratejisidir”. Bu stratejide tüketimin karşılanması için üretim kaynaklarının tamamı seferber edilir. Burada öncelikli amaç talebi karşılamaktır ve talep karşılanırken bunun en düşük maliyetle yapılması istenir. En düşük maliyetli kaynak seçimi gerçekleştirilirken kontrol edilebilen kaynakların (jeneratör, batarya, şebeke) yakıt maliyeti, işletme/bakım maliyeti ve değiştirme maliyeti gibi ekonomik parametreler dikkate alınır. Kaydırılabilir yükler (varsa) ve bataryaların depolanması gibi işlemler daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakılır. Aşağıda hibrit sistem bileşenlerinin matematiksel modelleri verilmiştir.

2.1. FV Güç Sistemi

FV sistemin çıkış gücünü farklı yöntemlerle elde etmek mümkündür. HOMER'de FV sistemin çıkış gücü 1 numaralı Denklem yardımı ile bulunur (HOMER Energy LLC, 2016).

$$P_{PV} = Y_{pv} f_{pv} \left(\frac{\bar{G}_T}{\bar{G}_{T,STC}} \right) [1 + \alpha_p (T_c + T_{c,STC})] \quad (1)$$

Burada Y_{pv} (kW) FV sistemin nominal gücü, f_{pv} DC güç kayıplarından kaynaklanan ve güç düşümünü ifade eden indirgeme katsayısı, \bar{G}_T (W/m²) panel üzerine düşen solar ışımaya, $\bar{G}_{T,STC}$ (W/m²) standart test koşullarındaki ışımaya, α_p (%/°C) sıcaklık katsayısı, T_c (°C) FV hücrenin sıcaklığı ve $T_{c,STC}$ (°C) standart test koşulları altında FV hücre sıcaklığıdır. Hücrenin ulaştığı sıcaklık değeri Denklem 2 yardımı ile elde edilir (Baneshi & Hadianfard, 2016).

$$T_C = T_a + G_T \left(\frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{G_{T,NOCT}} \right) \left(1 - \frac{\eta_c}{\tau\alpha} \right) \quad (2)$$

Burada T_a ($^{\circ}\text{C}$) ortam sıcaklığı, $T_{c,NOCT}$ ($^{\circ}\text{C}$) hücre nominal çalışma sıcaklığı (HNÇS), $T_{a,NOCT}$ ($^{\circ}\text{C}$) HNÇS değerindeki ortam sıcaklığı, $G_{T,NOCT}$ (W/m^2) HNÇS değerindeki güneş ışınma değeri, η_c panel verimliliği, τ (%) FV panelin solar geçirgenliği ve α (%) FV panelin soğurma katsayısıdır.

2.2. Batarya Enerji Depolama Sistemi

HOMER'de bataryanın maksimum şarj gücü hesaplanırken göz önünde bulundurulmuş üç ayrı sınırlama Denklem 3'te verilmiştir. Bunlardan ilki, kinetik depolama modelinden gelmektedir ve Denklem 4'te verilmiştir. İkinci sınırlama, maksimum şarj hızı ile ilgilidir ve Denklem 5'te verilmiştir. Üçüncü sınırlama ise bataryanın maksimum şarj akımı ile ilgilidir ve Denklem 6'da verilmiştir. Bataryanın şarj verimliliği Denklem 7'de ifade edilmiştir (HOMER Energy LLC, 2016).

$$P_{batt,cmax} = \frac{\text{MIN}(P_{batt,cmax,kbm}, P_{batt,cmax,mcr}, P_{batt,cmax,mcc})}{\eta_{batt,c}} \quad (3)$$

Burada;

$$P_{batt,cmax,kbm} = \frac{kQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (4)$$

$$P_{batt,cmax,mcr} = \frac{(1 - e^{-\alpha_c \Delta t})(Q_{max} - Q)}{\Delta t} \quad (5)$$

$$P_{batt,cmax,mcc} = \frac{N_{batt} I_{max} V_{nom}}{1000} \quad (6)$$

$$\eta_{batt,c} = \sqrt{\eta_{batt,rt}} \quad (7)$$

Burada Q_1 (kWh) zaman aralığının başlangıcında bataryada bulunan kullanılabilir enerji miktarı, Q (kWh) zaman aralığının başlangıcında bataryada bulunan toplam enerji miktarı, Q_{max} (kWh) bataryanın toplam enerji depolama kapasitesi, k (h^{-1}) enerji depolama hızı, c enerji depolama kapasitesi oranıdır ve birimsizdir. Δt (h) zaman aralığının uzunluğu, α_c (A/Ah) maksimum şarj hızı, N_{batt} batarya sayısı, I_{max} (A) bataryanın maksimum şarj akımı, V_{nom} (V) bataryanın nominal gerilimi, $\eta_{batt,c}$ batarya şarj verimi ve $\eta_{batt,rt}$ gidiş dönüş verimliliğidir.

Bataryanın maksimum deşarj gücü Denklem 8'de verilmiştir.

$$P_{batt,dmax} = \eta_{batt,d} P_{batt,dmax,kbm} \quad (8)$$

Burada $P_{batt,dmax,kbm}$ kinetik batarya depolama modelinden hesaplanır ve Denklem 9'da verilmiştir. Bataryanın deşarj verimi olan $\eta_{batt,d}$ ise bataryanın şarj verimine eşittir ve Denklem 10'da verilmiştir.

$$P_{batt,dmax,kbm} = \frac{-kcQ_{max} + kQ_1 e^{-k\Delta t} + Qkc(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + c(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} \quad (9)$$

$$\eta_{batt,d} = \eta_{batt,c} \quad (10)$$

2.3. Dizel Jeneratör

Dizel jeneratörler şebekenin olmadığı yerlerde ya da elektrik enerjisinin kesildiği durumlarda talebi karşılamak için kullanılan alternatif enerji kaynaklarıdır. Denklem 11'de dizel jeneratörün yakıt tüketim oranı görülmektedir (HOMER Energy LLC, 2016).

$$F = F_0 Y_{gen} + F_1 P_{gen} \quad (11)$$

Burada F (L/hr), jeneratörün yakıt tüketim oranı, F_0 (L/hr/kW) yakıt eğrisi kesme katsayısı, Y_{gen} (kW) jeneratörün nominal kapasitesi, F_1 (L/hr/kW) yakıt eğrisinin eğimi, P_{gen} (kW) jeneratörün elektrik çıkış gücüdür.

2.4 Ekonomik Değerlendirme

Programda simülasyon çalışması net bugünkü maliyet (NBM) hesabına göre yapılır. NBM, net bugünkü değer (NBD) hesabının işaret olarak tam tersidir. NBD, projenin ömrü boyunca elde ettiği gelirlerin bugünkü değerinden; yatırım, işletme ve bakım/onarım gibi maliyetlerin bugünkü değerinin çıkarılması ile elde edilen fark değeridir. Programın değerlendirme kıstası, her bir ekipman için NBM

değerlerinin toplamı şeklinde ifade edilen toplam net bugünkü maliyet (TNBM) değerine göredir. Programda ekonomik değerlendirme ölçütü olarak verilen diğer bir çıktı ise enerji maliyetidir (COE-Cost of Energy). Denklem 12’de enerji maliyeti, HOMER’in verdiği boylar örneği üzerinden ifade edilmiştir (HOMER Energy LLC, 2016).

$$COE = \frac{C_{ann,tot} - c_{boiler} H_{served}}{E_{served}} \quad (12)$$

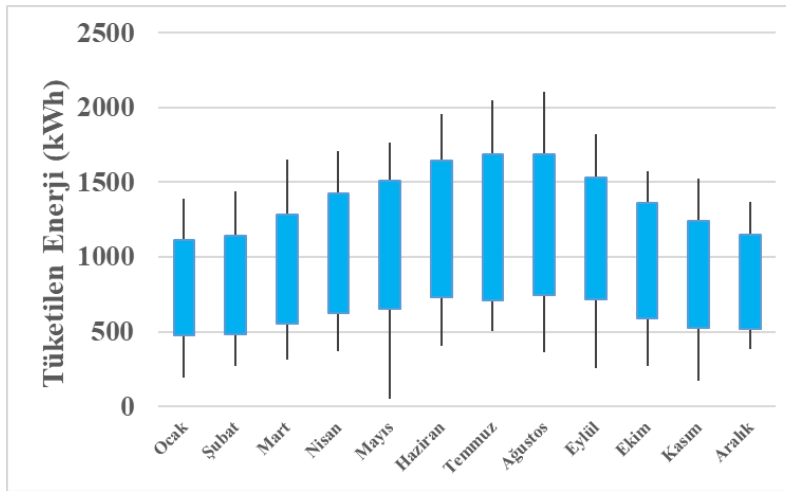
Burada COE (\$/kWh) enerji maliyetini, $C_{ann,tot}$ (\$/yr) sistemin yıllık olarak hesaplanmış toplam maliyetini, c_{boiler} (\$/kWh) boyların marjinal maliyetini, H_{served} (kWh/yr) toplam ısı yükünü ve E_{served} (kWh/yr) toplam elektrik yükünü ifade etmektedir.

3. Verilerin Elde Edilmesi

3.1. Yük Verisi

Çalışmada, HOMER’in endüstri kuruluşları için oluşturduğu yük profili kullanılmıştır. Bu yük profilinde tüketim yaz aylarında günlük ortalama 1200 kWh’lik değer ile en yüksek seviyelere ulaşırken kış aylarında günlük ortalama 800 kWh’lik değer ile en düşük seviyelere ulaşır. Günlük ortalama enerji tüketimi ise 1000 kWh mertebelerindedir.

Şekil 2’de fabrikanın aylara göre günlük elektrik tüketim miktarı verilmiştir. Grafikte görülen üstteki siyah çizginin en üstü o aydaki en yüksek tüketim değerini, mavi kutucuğun üst kısmı aydaki tüm günlerin günlük maksimumlarının ortalaması, mavi kutucuğun alt kısmı aydaki tüm günlerin günlük minimumlarının ortalaması ve alttaki çizginin en alt kısmı da aylık en düşük tüketim değerini göstermektedir.

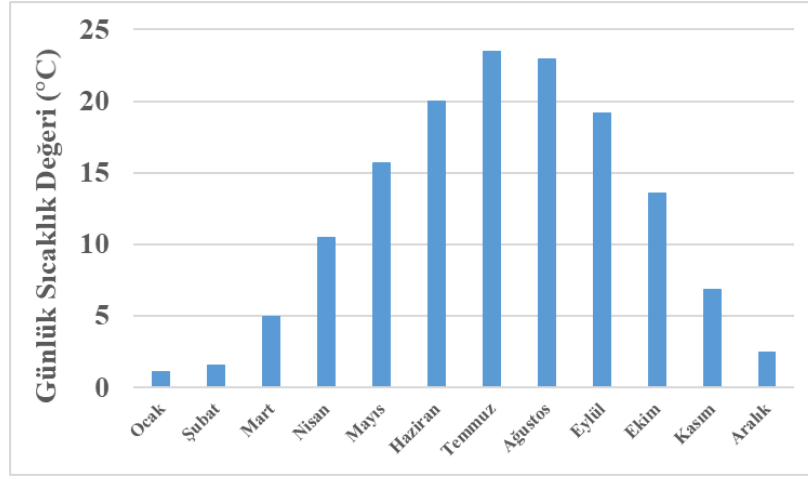


Şekil 2. Aylara göre günlük elektrik tüketim grafiği

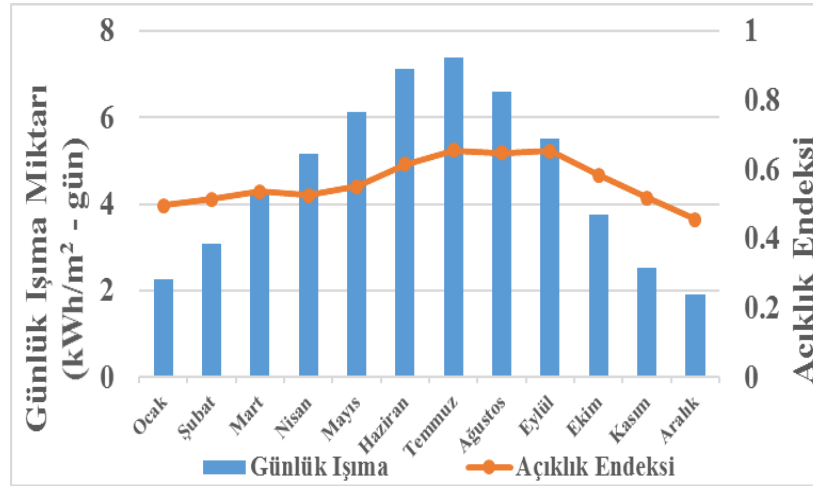
3.2. Meteorolojik Veriler

HOMER’de kullanılan meteorolojik veriler, ek program kurmaya gerek kalmadan “NASA Surface Meteorology and Solar Energy” veri tabanından temin edilmektedir. Burada solar ışımaya ve hava sıcaklığı değerleri için 22 yıllık (1983-2005) verilerin ortalaması, rüzgar hızı değerleri için 10 yıllık (1983-1993) verilerin ortalaması kullanılır. Şekil 3 Konya ilinin aylara göre günlük ortalama sıcaklık değerlerini göstermektedir. Kış aylarında 1 derecelere kadar düşen sıcaklıklar yaz aylarında 23 derecelere kadar çıkmaktadır. Yıl içerisinde en soğuk ay ocak iken en sıcak ayın temmuz olduğu görülmektedir.

Şekil 4 Konya ilinin günlük ışımaya değerlerini ve açıklık endeksini göstermektedir. Kış aylarında metre kareye ortalama 2 kWh’lik enerji düşerken yaz aylarında 6.5-7.5 kWh’lik enerji düşmektedir. Bu değerler, yaz aylarında enerji tüketimi kış aylarına göre daha yüksek olan tüketiciler için daha caziptir. Açıklık endeksi, yeryüzüne ulaşan ışımanın dünyanın dışına gelen ışımaya bölünmesiyle bulunan ve 0-1 aralığında değer olarak atmosferdeki berraklığı ifade eden değerdir (Sezen, Sakarya, Topcu, Aksoy, & Incecik, 2013). Açıklık endeksi en yüksek temmuz-ağustos-eylül aylarındayken kış aylarında bu değer düşüğü görülmektedir.



Şekil 3. Konya’da aylara göre günlük sıcaklık değerleri



Şekil 4. Konya ili için günlük ışıma ve açıklık endeksi grafiği

3.3. Teknik ve Ekonomik Veriler

Hibrit sistemi oluşturan bileşenlere karar verildikten sonra bu bileşenlerin teknik özellikleri ve ekonomik verileri elde edilmelidir. Tablo 1’de sistem bileşenlerinin teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Sistem bileşenlerinin teknik verileri

FV	Panel Gücü	275 W
	Verim	%16.77
	Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	31.30 V
	Maksimum Güç Akımı (Imp)	8.79 A
	Açık Devre Gerilimi (Voc)	38.40 V
	Kısa Devre Akımı (Isc)	9.31 A
	İndirgeme katsayısı	%80
Konvertör	Nominal Giriş Voltajı (DC)	590 V
	Maksimum Giriş Akımı	180 A
	Toplam Harmonik Bozulma	<%3
	İnvertör Verimi	%96
Dizel Jeneratör	Doğrultucu Verimi	%96
	Minimum yüklenme oranı	%30
	Yakıt eğrisinin eğimi	0.236 L/hr/kW

Tablo 1 (devam). Sistem bileşenlerinin teknik verileri

Batarya	Nominal Kapasite	55 kWh
	Nominal Voltaj	720 V
	Gidiş Dönüş Verimliliği	%97
	Başlangıç Şarj Durumu	%100
	En Düşük Şarj Durumu	%20

Sistemde kullanılan bileşenlerin yatırım maliyeti, değiştirme maliyeti, işletme/bakım maliyeti ve faydalı ömürlerini içeren veriler Tablo 2’de verilmiştir (A. Tabak, Kayabasi, Guneser, & Ozkaymak, 2019) (Rousis, Tzelepis, Konstantelos, Booth, & Strbac, 2018) (Ramli, Hiendro, Sedraoui, & Twaha, 2015). Ekonomik değerlendirme esnasında kullanılan reel faiz oranı %3.92 olarak alınmıştır (Duman & Güler, 2020).

Tablo 2. Sistem bileşenlerinin ekonomik verileri

FV	Yatırım Maliyeti	410 \$/kW
	Değiştirme Maliyeti	410 \$/kW
	İşletme ve Bakım Maliyeti	4.51\$/kW-yıl
	Ömrü	25 yıl
Konvertör	Yatırım Maliyeti	65 \$/kW
	Değiştirme Maliyeti	65 \$/kW
	İşletme ve Bakım Maliyeti	3.25 \$/kW-yıl
	Ömrü	15 yıl
Dizel Jeneratör	Yatırım Maliyeti	125 \$/kW
	Değiştirme Maliyeti	125 \$/kW
	İşletme ve Bakım Maliyeti	0.01 (\$/op.hour)kW
	Yakıt Maliyeti	0.86 \$/Lt
	Ömrü	15000 saat
Batarya	Yatırım Maliyeti	17500 \$/adet
	Değiştirme Maliyeti	17500 \$/adet
	İşletme ve Bakım Maliyeti	420 \$-yıl/-adet
	Ömrü	15 yıl
Şebeke	Elektrik Alış Fiyatı	0.10 \$/kWh
	Elektrik Satış Fiyatı	0.133 \$/kWh

4. Simülasyon Çalışması

Çalışmada bileşenlerin alt ve üst sınır şartları; FV sistem için 0-3500 kW, konvertör için 2000-3500 kW, batarya için 0-15 adet olarak belirlenmiştir. Dizel jeneratör için herhangi bir alt ya da üst sınır belirlenmemiştir. Tablo 3’te simülasyon çalışması sonucunda elde edilen farklı kategoriler NBM açısından sıralanmıştır. Kategoriler içerisinde dizel jeneratörün bulunmadığı 1 numaralı kategoride hibrit sistem en düşük NBM ve enerji maliyeti değerine sahipken FV sistemin bulunmadığı 3 numaralı kategoride en yüksek NBM ve enerji maliyeti değerine sahiptir. Ayrıca 3 numaralı kategoride FV sistem bulunmadığı için yatırım maliyetinin de düşük olduğu görülmektedir. Hibrit sistemde tüm bileşenlerin bulunduğu 2 numaralı kategori NBM 7.81 M\$, enerji maliyeti 0.0457 \$/kWh ve YEK oranı %48.8’dir.

Tablo 3. Optimizasyon sonucunda oluşturulan farklı kategoriler

Kategori	FV (kW)	Dizel Jeneratör (kW)	Batarya (kWh)	Konvertör (kW)	Net Bugünkü Maliyet (M\$)	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	Yatırım Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Oranı (%)
1	3500	-	55	2885	7.62	0.0446	1.64 M	379,634	48.8
2	3500	2400	55	2885	7.81	0.0457	1.94 M	372,535	48.8
3	-	2400	55	2000	14.3	0.104	447,500	880,698	-

Çalışmamızda 2 numaralı kategoride oluşturulan hibrit sistem önerilmektedir ve buna göre oluşturulan Tablo 4'te sistemin yatırım maliyeti, değiştirme maliyeti, işletme ve bakım maliyeti, yakıt maliyeti ve hurda geliri ile bunların toplamı verilmiştir. Tabloya göre hibrit sistemde yatırım maliyeti en yüksek olan bileşen FV sistem iken bunu sırasıyla dizel jeneratör ve konvertör takip etmektedir. Çalışmada bir adet batarya olduğu için yatırım maliyeti düşük olarak görülmektedir. Şebekeden çekilen elektrik enerjisi maliyetinin, şebekenin işletme ve bakım gideri olarak gösterilmesinden dolayı şebeke için işletme ve bakım maliyeti 5,472,704 \$ çıkmaktadır. Proje ömrü 25 yıl iken konvertörlerin ömrünün 15 yıl olmasından dolayı en yüksek değiştirme maliyeti konvertörlerdedir. Tabloda hurda gelirlerinin negatif işaretli olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, 25 yıllık proje ömrü içerisinde ömrünü tamamlayan ekipmanlar yenileriyle değiştirilirken eski ekipman yeniden değerlendirilmek üzere ücreti karşılığında hurdaya ayrılır. Bu yüzden gelir olarak kaydedilir ve NBM içerisinde negatif işaretli olarak yer alır.

Tablo 4. Sistemin ekonomik göstergeleri

Ekipman	Yatırım Maliyeti (\$)	Değiştirme Maliyeti (\$)	İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	Yakıt Maliyeti (\$)	Hurda Geliri (\$)	Toplam (\$)
FV Sistem	1,435,000.00	0.00	248,692.99	0.00	0.00	1,683,692.99
Batarya	17,500.00	29,522.05	6,617.11	0.00	-5,539.26	48,099.90
Dizel Jeneratör	300,000.00	0.00	0.00	0.00	-111,852.94	188,147.06
Konvertör	187,522.06	105,333.20	147,720.69	0.00	-23,903.01	416,672.94
Şebeke	0.00	0.00	5,472,704.48	0.00	0.00	5,472,704.48
Hibrit Sistem	1,940,022.06	134,855.26	5,875,735.26	0.00	-141,295.22	7,809,317.36

4.1. Oluşabilecek Farklı Durumların Sisteme Etkisi

Çalışmada kullanılan ve "Sabit Sistem" olarak nitelendirilen çalışma Tablo 3'teki 2 numaralı kategoride yer alan hibrit sistemdir. Her ne kadar 1 numaralı kategoride bulunan sistem NBM ve enerji maliyeti açısından daha avantajlı görünse de elektrik kesintilerinde üretimin aksamaması için fabrikalarda jeneratör bulundurma zorunludur. Bu yüzden 2 numaralı kategoride bulunan sistemde dizel jeneratör sayesinde az bir maliyet artışı ile birlikte güvenilirlik artmıştır. FV panellerdeki verim kaybının değerlendirildiği çalışma 1. Durum, enerji talebindeki artışın değerlendirildiği çalışma 2. Durum ve elektrik kesintilerinin göz önünde bulundurulduğu çalışma 3. Durum olarak belirtilmiştir.

4.1.1. 1. Durum: FV panellerdeki verim kaybının sisteme etkisi

FV panellerin verimleri silikon yapılarından dolayı kullanılmaya başlandığı andan itibaren düşmeye başlar. Bazı panel üreticisi firmalar panel kullanılmaya başlandıktan sonra kademeli olarak 10. yılda %90, 25. yılda %80 güç sağlama garantisi verirken bazıları 25. yılın sonunda direkt %80 güç sağlama garantisi vermektedir. Genel olarak bakıldığında yıllık verim düşümü %1'in altında kalmaktadır ve çalışmada bu değer yıllık %0.81 olarak alınmıştır (Copper, Jongjenkit, & Bruce, n.d.). Verim düşümü yıllık %0.81 olarak alındığında NBM, enerji maliyeti ve sistemdeki YEK oranı Tablo 5'teki gibi olmaktadır. Buna göre NBM 7.81 M\$'dan 8.43 M\$'a çıkarak %7.94, enerji maliyeti 0.0457 \$/kWh'ten 0.0508 \$/kWh'e çıkarak %11.16 oranında artmış, sistemdeki YEK oranı %48.8'den %46'ya düşerek %5.74 oranında azalmıştır.

Tablo 5. Sabit Sistem ile 1. Durum'un karşılaştırması

Durumlar	Net Bugünkü Maliyet (M\$)	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	Yenilenebilir Enerji Kaynağı Oranı (%)
Sabit Sistem	7.81	0.0457	48.8
1. Durum	8.43	0.0508	46

1. yılda FV sistemden üretilen enerji miktarı 5,533,755 kWh iken, 25. Yılda bu miktar 4,552,493 kWh'e düşmüştür. Bu da aslında göz ardı edilen FV panellerdeki verim düşümünün sistemi önemli derecede etkilediğini göstermektedir.

4.1.2. 2. Durum: Enerji talebindeki artışın sisteme etkisi

Enerji talebinin kamu kuruluşlarında ya da evsel uygulamalarda yıldan yıla artış sağlaması çok görülen bir durum değildir. Ancak söz konusu sanayi uygulamaları olduğu zaman sürekli üretim artışı ve fabrikayı geliştirme çalışmaları ile birlikte elektrik talebi de artış sağlamaktadır. Çalışmamızın 2. Durum'unu oluşturan kısmında yükün yılda %2 arttığı düşünülmüştür. 2. Durum'da oluşan NBM, enerji maliyeti ve sistemdeki YEK oranı Tablo 6'teki gibi olmaktadır. Buna göre NBM 7.81 M\$'dan 11.1M\$'a çıkarak %42.13, enerji maliyeti 0.0457 \$'dan 0.0568\$'a çıkarak %24.29 artmıştır. Sistemdeki YEK oranı %48.8'den %41.8'e düşerek %14.34 oranında azalmıştır.

Tablo 6. Sabit Sistem ile 2. Durum'un karşılaştırması

Durumlar	Net Bugünkü Maliyet (M\$)	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	Yenilenebilir Enerji Kaynağı Oranı (%)
Sabit Sistem	7.81	0.0457	48.8
2. Durum	11.1	0.0568	41.8

4.1.3. 3. Durum: Elektrik kesintilerinin sisteme etkisi

Fabrikalarda yıl içerisinde arızaya, bakıma, onarıma ya da yeni yatırımlara bağlı planlı ya da plansız elektrik kesintileri olabilmektedir ve bu kesintiler üretim tesislerini zor durumda bırakmaktadır. Bu yüzden jeneratör gibi alternatif enerji kaynakları, elektrik kesintileri esnasında YEK'lerin gücünün yetmediği oranda kullanılmak üzere tesis edilirler. 3. Durum'da yılda 20 adet elektrik kesintisi olacağı, her bir kesintinin ortalama 3 saat süreceği ve kesintiler arasında %20'lik değişim olacağı öngörülerek sistem değerlendirilmiştir. Tablo 7'de, 3. Durum ile Sabit Sistem'in karşılaştırılması gösterilmektedir. Buna göre NBM değeri 7.81M\$'dan 8.01 M\$'a çıkarak %2.56, enerji maliyeti 0.0457\$/kWh'ten 0.04701\$/kWh'e çıkarak %2.87 artmıştır. Sistemdeki YEK oranı ise %48.8'den %48.5'e düşerek %0.61 azalmıştır.

Tablo 7. Sabit Sistem ile 3. Durum'un karşılaştırması

Durumlar	Net Bugünkü Maliyet (M\$)	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	Yenilenebilir Enerji Kaynağı Oranı (%)
Sabit Sistem	7.81	0.0457	48.8
3. Durum	8.01	0.0470	48.5

Tablo 8'de Sabit sistem ile 3. Durum, üretim ve tüketim değerleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Tabloya göre elektrik kesintilerinin değerlendirildiği 3. Durum'da dizel jeneratöre ihtiyaç duyulmuştur. Dizel jeneratörün üretimde yer almasıyla birlikte FV sistemden sağlanan elektrik enerjisi sabit kalırken şebekeden alınan elektrik enerjisinde düşüş görülmüştür. Yüzde değerlere bakıldığında ise hem FV hem de şebekeden alınan elektrik enerjisinde azalma olmuştur. Tüketim noktasında değerlendirme yapmak gerekirse talep değişmediği için yük sabit kalmıştır. Elektrik kesintilerinden dolayı şebekeye satış azalmıştır. Bunların yanında bataryanın sağladığı enerjiye bakılacak olursa sabit sistem ile 3. Durum arasında çok az bir fark olduğu görülür.

Tablo 8. Sabit sistem ile 3. Durum'un üretim ve tüketim değerleri üzerinden karşılaştırılması

	Üretim				Tüketim				Bataryanın sağladığı enerji kWh/yıl		
	FV sistem		Dizel Jeneratör		Şebekeden Alış		Yük			Şebekeye Satış	
	kWh/yıl	%	kWh/yıl	%	kWh/yıl	%	kWh/yıl	%		kWh/yıl	%
Sabit Sistem	5,533,755	49.9	-	-	5,557,306	50.1	8,768,164	80.8	2,084,220	19.2	30,467
3. Durum	5,533,755	49.8	51,565	0.464	5,521,268	49.7	8,768,164	81	2,052,842	19	30,165

5. Sonuç

Çalışmada Türkiye'deki Konya ilinde bulunan ve günlük ortalama 1000 kWh elektrik tüketimine sahip olan bir fabrikanın talebini karşılamak için hibrit enerji üretim sisteminin analizi ve tasarımı yapılmıştır. Tasarımın ardından FV panellerdeki kullanıma bağlı verim kaybı, her yıl gerçekleşmesi muhtemel talep artışı ve elektrik kesintileri gibi zorluklar karşısında sistemin nasıl cevap vereceği incelenmiştir.

NBM ve enerji maliyeti açısından değerlendirildiğinde optimum sistem 3500 kW güce sahip güneş paneli, 2400 kW güce sahip dizel jeneratör, 55 kWh kapasiteye sahip batarya ve 2885 kW güce sahip konvertörden oluşmaktadır. Bu sistemin NBM değeri 7.81 M\$ olup yatırım maliyeti 1.94 M\$'dır. Sistemin ömrü süresince gerçekleşen değişiklikler NBM ve enerji maliyetlerini etkilemektedir. FV sistemde gerçekleşen yıllık %0.81 oranındaki verim kaybı değerlendirildiği takdirde NBM %7.94, enerji maliyeti %11.16 oranında artmış, sistemdeki YEK oranı %48.8'den %46'ya düşerek %5.74 oranında azalmıştır. Sanayide artan üretim, elektrik tüketimindeki artışı da beraberinde getireceği için çalışmada elektrik enerjisi talebinin artış oranı yıllık %2 oranında alınmıştır. Bu durumda NBM %42.13, enerji maliyeti %24.29 artmıştır. Sistemdeki YEK oranı %48.8'den %41.8'e düşerek %14.34 oranında azalmıştır. Sanayide gerçekleşen elektrik kesintilerinin değerlendirildiği durumda NBM %2.56, enerji maliyeti %2.87 artmıştır. Sistemdeki YEK oranı ise %48.8'den %48.5'e düşerek %0.61 azalmıştır. NBM'nin ve enerji maliyetinin az bir miktarda artarken YEK oranının da az bir miktarda azalmasının nedeni kesintiler esnasında jeneratörün aktif olarak devreye girmesi, jeneratörden kaynaklı maliyetlerin oluşması ve tüketilen enerjinin bir miktarının jeneratör tarafından sağlanmasıdır.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de güneş enerjisi santrallerinin yapımında arazi uygulamaları yerine çatı uygulamalarına yönlendirme söz konusudur. Bu yüzden Konya gibi güneş enerjisinin yüksek olduğu yerlerde özellikle fabrika çatılarına kurulacak FV güneş panellerinin hibrit enerji üretim sistemi olarak tasarlanması ve şebekeye bağlı şekilde işletilmesi son derece önemli ve yatırım açısından makuldür.

Referanslar

- Akkaş, Ö. P., Arıkan, Y., & Çam, E. (2018). Elektrik Piyasasında Sanal Güç Santrali İşletiminin Optimizasyonu için Modelleme Önerisi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 10(3), 12–19.
- Baneshi, M., & Hadianfard, F. (2016). Techno-economic feasibility of hybrid diesel/PV/wind/battery electricity generation systems for non-residential large electricity consumers under southern Iran climate conditions. *Energy Conversion and Management*, 127, 233–244. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.09.008>
- Bhattacharjee, S., & Acharya, S. (2015). PV-wind hybrid power option for a low wind topography. *Energy Conversion and Management*, 89, 942–954. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.10.065>
- Copper, J. K., Jongjenkit, K., & Bruce, A. (n.d.). Calculation of PV System Degradation Rates in a Hot Dry Climate Calculation of PV System Degradation Rates in a Hot Dry Climate. Canberra, Australia: Asia Pacific Solar Research Conference.
- Duman, A. C., & Güler, Ö. (2020). Economic analysis of grid-connected residential rooftop PV systems in Turkey. *Renewable Energy*, 148, 697–711. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.157>
- Gao, F., & Irvani, M. R. (2008). A control strategy for a distributed generation unit in grid-connected and autonomous modes of operation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23(2), 850–859. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2007.915950>
- HOMER Energy LLC. (2016). HOMER Pro Version 3.7 User Manual. HOMER Energy, (August), 416. Retrieved from <http://www.homerenergy.com/pdf/HOMERHelpManual.pdf>
- HOMER Pro. (2020). Retrieved June 11, 2020, from <https://www.homerenergy.com/>
- Kalamaras, E., Belekoukia, M., Lin, Z., Xu, B., Wang, H., & Xuan, J. (2019). Techno-economic Assessment of a Hybrid Off-grid DC System for Combined Heat and Power Generation in Remote Islands. *Energy Procedia*, 158, 6315–6320. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.406>
- Kasaeian, A., Rahdan, P., Rad, M. A. V., & Yan, W. M. (2019). Optimal design and technical analysis of a grid-connected hybrid photovoltaic/diesel/biogas under different economic conditions: A case study. *Energy Conversion and Management*, 198(July), 111810. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111810>
- Khan, M. J., Yadav, A. K., & Mathew, L. (2017). Techno economic feasibility analysis of different combinations of PV-Wind-Diesel-Battery hybrid system for telecommunication applications in different cities of Punjab, India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76(December 2015), 577–607. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.076>
- Kumar, P., Pukale, R., Kumabhar, N., & Patil, U. (2016). Optimal Design Configuration Using HOMER. *Procedia Technology*, 24, 499–504. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.085>
- Rajbongshi, R., Borgohain, D., & Mahapatra, S. (2017). Optimization of PV-biomass-diesel and grid base hybrid energy systems for rural electrification by using HOMER. *Energy*, 126, 461–474. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.056>
- Ramli, M. A. M., Hiendro, A., Sedraoui, K., & Twaha, S. (2015). Optimal sizing of grid-connected photovoltaic energy system in Saudi Arabia. *Renewable Energy*, 75, 489–495. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.028>
- Rousis, A. O., Tzelepis, D., Konstantelos, I., Booth, C., & Strbac, G. (2018). Design of a hybrid ac/dc microgrid using homer pro: Case study on an islanded residential application. *Inventions*, 3(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/inventions3030055>
- Schwaegerl, C., & Tao, L. (2014). The Microgrids Concept. In N. Hatziargyriou (Ed.), *Microgrids: Architectures and Control*. Retrieved from https://books.google.se/books?hl=en&lr=&id=ywxzAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=definition+microgrid&ots=9qw9FFQEvC&sig=W80TOKQYUF1CGi0lb3IMH2gZx3E&redir_esc=y#v=onepage&q=definition+microgrid&f=false

Sezen, İ., Sakarya, S., Topcu, S., Aksoy, B., & Incecik, S. (2013). Investigation of changes in global solar radiation for clear sky days by clearness index for the Marmara and Southeastern Anatolia regions of Turkey. 24–26. İstanbul: 6th Atmospheric Science Symposium.

Shahzad, M. K., Zahid, A., Rashid, T., Rehan, M. A., Ali, M., & Ahmad, M. (2017). Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software. *Renewable Energy*, 106, 264–273. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.033>

Sinha, S., & Chandel, S. S. (2014). Review of software tools for hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 192–205. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.035>

Tabak, A., Kayabasi, E., Guneser, M. T., & Ozkaymak, M. (2019). Grey wolf optimization for optimum sizing and controlling of a PV/WT/BM hybrid energy system considering TNPC, LPSP, and LCOE concepts. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1668880>

Tabak, Abdülsamed, Özkaymak, M., Tahir, M., & Oktay, H. (2017). Optimization and Evaluation of Hybrid PV/WT/BM System in Different Initial Costs and LPSP Conditions. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(11), 123–131. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2017.081116>



Tekstil Sektör Çalışanlarının Maruz Kaldığı Ergonomik Risklerin Analitik Ağ Süreci ile Değerlendirilmesi

Assessment of Ergonomic Risks for Textile Sector Employees with Analytical Network Process

Güler Aksüt¹ , Tamer Eren^{*2} , Mehmet Tüfekçi³ 

¹ Avrasya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, 61010 Trabzon, TÜRKİYE

^{*2} Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71450 Kırıkkale, TÜRKİYE

³ Avrasya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, 61010 Trabzon, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 21/09/2020

Kabul / Accepted: 02/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Tekstil sektörü Türkiye'nin en gelişmiş sektörlerinden biridir. Tekstil sektöründe çalışanların büyük yoğunluğunu kadınlar oluşturmaktadır. İnsana bağımlılığın sürdüğü, emek yoğun üretimin olduğu bu alanda ergonomik riskler iş sağlığı ve güvenliğini sağlamada ele alınması gerekli en önemli faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Tekstil sektörü kesim, dikim, ütüleme, kalite kontrol, baskı, paketleme ve sevkiyat bölümlerinden oluşmaktadır. Tekstilde çalışan kadınların büyük yoğunluğunu dikiş makinesi operatörü olarak çalışanlar oluşturmaktadır.

Kumaşların dikilmesi için makinelerin çalıştırıldığı en kritik üretim aşaması dikim bölümüdür. Çalışmanın amacı da bu bölümdeki çalışan kadınların ergonomik risklerinin çok kriterli karar verme yöntemi kullanılarak belirlenmesidir. Literatürde yapılan çalışmalar ve uzman görüşleri neticesinde altı kriter ve 36 alt kriter oluşturulmuştur. Çalışmada analitik ağ süreci yöntemi kullanılarak uzman görüşleri doğrultusunda kriterlerin ağırlıklandırılması yapılmıştır. Ağırlığı en yüksek olan kriter fiziksel risk etmenlerinden, uzun süre oturarak çalışma ve tekrarlı hareketler oluşturmuştur. Öncelikli olarak bu risklerin giderilmesine çalışılmalıdır.

Anahtar Kelimeler

“Dikiş makinesi operatörleri, ANP, iş sağlığı ve güvenliği, tekstil, kadın çalışan.”

Abstract

The textile sector is one of Turkey's most advanced sectors. Most of the workers in the textile industry are women. Ergonomics risks appear as an essential factor to be addressed in ensuring occupational safety and health in this area where the dependency on people continues, and labor-intensive production is present. The textile sector consists of cutting, sewing, ironing, quality control, printing, packaging, and shipping departments. Most of the women working in textiles are working as sewing machine operators.

The most critical production stage in which machines are operated for sewing fabrics is the sewing department. The aim of the study is to determine the ergonomics risks of working women in this department using the multi-criteria decision-making method. As a result of studies in the literature and expert opinions, six criteria and 36 sub-criteria were formed. In the study, the criteria were weighted in line with expert opinions using the analytical network process method. The criterion with the highest weight has formed sitting for a long time and repetitive movements among the physical risk factors. First of all, these risks should be tried to be eliminated.

Key Words

“Sewing machine operators, ANP, occupational health and safety, textile, female employee”

1.Giriş

Türkiye'nin en önemli sektörlerinden biri olan tekstil ve hazır giyim sektörü ihracata yönelik kalkınma politikasının 1980 yılında uygulamaya konulması ile birlikte hızla büyümeye başlamıştır. 2018 yılı itibarıyla dünyanın yedinci büyük hazır giyim ihracatçısı konumunda olup ülke ekonomisinin lokomotif sektörlerinden biridir. Küçük ve orta büyüklükteki işletmelerle faaliyetini devam ettiren sektörde firma sayısı 58.000 civarında olup yaklaşık 1.100.000 çalışan ile faaliyetlerini devam ettirmektedir (Hazır Giyim Sektör Raporu,2020). Türkiye'nin en gelişmiş sektörü olan tekstil sektörü sanayiye çalışan kadınların büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır (Öztürk ve Esin, 2011).

İşçilerin güvenliği ve sağlığı, herhangi bir kuruluşun düzgün ve etkili çalışması için önemlidir. İşyerinde iş sağlığını etkileyebilecek çok sayıda risk faktörü vardır. Tekstil endüstrisi çalışanları tarafından da karşılaşılan farklı tehlikeler vardır. Hazır giyim fabrikalarında iş sağlığını iyileştirmenin bir yönü, ergonomik müdahaleler yoluyla kas-iskelet sistemi risk faktörlerini ele almayı içerir. İş sağlığı ve güvenliği sorunlarının artan karmaşıklığı nedeniyle, kas-iskelet problemlerini ve iş sağlığı tehlikelerini azaltmak için işyeri ve çalışma ortamının gittikçe daha fazla yönünün belirlenmesine ihtiyaç vardır (Meenaxi ve Sudha, 2012). Küresel olarak, işle ilgili Kas-İskelet Sistemi Hastalıkları (Musculoskeletal Disorders; MSD) ergonomistlerin karşılaştığı en önemli sağlık sorunlarından biridir.

Endüstride ergonomi önemli bir husustur. Ergonomik faktörler, bir şirketin verimli çalışmasında önemli bir rol oynar, bu nedenle bu faktörler ciddiye alınmalıdır (Balasundaram vd.,2017). Ergonomik faktörlerin iyileştirilmesi bir yatırım olarak görülmeli (Makhbul vd., 2007). Ergonomik prensipler uygulanmadan aletler, makineler, ekipman ve iş istasyonları genellikle insanların farklı yükseklik, şekil ve boyutlarda oldukları ve farklı mukavemet seviyelerine sahip oldukları dikkate alınmadan tasarlanır. İşçi sağlığını ve konforunu korumak için bu farklılıkları dikkate almak önemlidir. Dikkate alınmadığında işçiler genellikle kendilerini kötü çalışma koşullarına adapte etmek zorunda kalırlar (Meenaxi ve Sudha, 2012).

Günümüzün gelişen teknolojisi ile imalat sektörlerinde hızlı bir değişim var. Ancak giyim sektörü gibi emek yoğun üretimin olduğu sektörlerde insana bağımlılığın sürmesi nedeniyle operatörlerin çalışma duruşunun vücut sağlığı açısından önemi artmaktadır (İşler vd.,2018). Tüm dünyada önemli bir özürülük ve yaygın bir sağlık problemi olan MSD hastalıkları kaynaklı ekonomik kayıp bireyi, örgütü ve toplumu da etkiler. Ağır kaldırma, tekrarlayan el hareketleri, vücudun sabit bir duruşta tutulduğu statik çalışma, titreşimler ve bunlardan herhangi biri ile birlikte istenmeyen psikososyal çalışma ortamı MSD'lerin riskini artırmaktadır (Berberoğlu ve Tokuç, 2012).

MSD'lerin, giysilerin üretildiği dünyanın en büyük endüstrilerinden biri olan tekstil endüstrisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Üretim aşamalarından en kritik olanı işçilerin kumaşların dikilmesi için makineleri çalıştırdıkları dikiş aşamasıdır. Dikiş makinesinin çalışması uzun süre oturma, tekrarlayan görevler ve sırt, boyun, omuzlar, kollar, bilekler ve parmaklarda kas yükü ile karakterizedir (Bulduk vd.,2017). Dikiş makinesi operatörünün işi, genellikle yüksek çalışma hızı ve tüm gün tekrarlayan dirsek, bilek ve parmak hareketleriyle monotonudur (Buckle ve Devereux, 2002).

Giyim sektörü kesim, dikim, ütüleme, kalite kontrol, paketleme ve baskı bölümünden oluşmaktadır. Tekstil ve konfeksiyon sektörlerinde çalışan kadınların büyük çoğunluğu dikiş makinesi operatörü olarak hizmet vermektedir (Gahlot vd., 2017). İş sağlığı ve güvenliği açısından çalışan kadınlar korunmasız risk grupları olarak kabul edilmektedir (Stefanović vd., 2019). MSD'ler, dikiş makinesi operatörlerinin uzun süreli hastalık izni alması ve sakatlık maaşı almasının başlıca nedenidir (Bulduk vd., 2017).

Çalışmada çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılmıştır. Faktörler arasındaki ilişkileri dikkate alarak tek bir yöne bağlı kalarak modelleme zorunluluğunu ortadan kaldıran Analitik Ağ Süreci (Analytic Network Process; ANP) (Saaty, 1996). yöntemi tercih edilmiştir.

Kas iskelet sistemi rahatsızlığının fazlaca görüldüğü dikiş makinesi operatörlerinin çalışma koşullarının iyileştirilmesi için ergonomik müdahaleye ihtiyaç bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada kadınların yoğun olarak çalıştığı dikimhane bölümünde karşılaşılan ergonomik riskler literatür tarama ve uzman görüşü doğrultusunda altı kriter ve 36 alt kriter olarak belirlenmiştir. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden ANP yöntemi kullanılarak her bir kriterin ağırlıkları hesaplanmıştır. Ağırlıklandırmaya göre ergonomik risklerin sıralaması yapılmıştır. Yapılan sıralamada fiziksel risk etmenlerinden uzun süre oturarak çalışma ve tekrarlı çalışmalar en yüksek ağırlığa sahip ergonomik riskler olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın planı şu şekildedir; makalenin giriş bölümünü takip eden ikinci bölümde tekstil sektöründeki ergonomik riskler ve literatür taramasından bahsedilirken üçüncü bölümde ANP yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde problemin uygulaması anlatılmıştır. Çalışmanın sonunda sonuçlar değerlendirilerek öneriler sunulmuştur.

2. Tekstil Sektöründe Ergonomik Riskler

Hazır giyim sektörünün Türk dış ticaretinde yarattığı ivme ve ekonomiye katkısı bu sektörü Türkiye'nin “Öncü Sektörü” olmasını sağlamış ve son yıllara kadar da bu sıfatla anılmaya devam etmiştir (Kaya, 2015). Tekstil ve hazır giyim sektörü iş kazası ve meslek hastalıkları bakımından az tehlikeli sınıfta yer almasına karşın birçok tehlikeyi içerisinde barındırmaktadır. Ergonomik risk etmenleri bu tehlikelerin en önde gelenidir (Kaya ve Özok, 2018). Çok disiplinli bir bilim dalı olan ergonomi disiplinler arası çalışma mantığına sahiptir. Teknik bilimler, tıbbi bilimler ve psikososyal bilimlerden faydalanarak ergonomik problemlerin çözümü gerçekleştirilir (Karakitapoğlu vd., 2017). İmalat sektöründe gelişen teknoloji ile birlikte hızlı bir değişim olmuştur. Ancak giyim sektörü gibi emek

yoğun üretimin olduğu sektörlerde insana bağımlılığın sürmesi nedeniyle operatörlerin çalışma duruşunun vücut sağlığı açısından önemi artmaktadır (İşler vd., 2018).

Tekstil ve hazır giyim sektöründe istihdam edilen kadın işgücünün büyük çoğunluğu dikiş makinesi operatörü olarak hizmet vermektedir. Bu görev, makinede görme gereksinimi nedeniyle sürekli sabit bir pozisyonda oturmayı gerektirdiğinden bu durum işyerinde kadınların sağlığını etkileyen statik bir yüke yol açmaktadır (Mehta vd., 2020). Dikiş operasyonu, statik oturma pozisyonu, baş ve gövdenin öne doğru eğimli duruşu ve nispeten rahatsız olan ayak bileği ve diz açıları ile karakterize edilir (Gahlot vd., 2016). Dikiş makinesi operatörlerinin maruz kaldığı fiziksel risk faktörleri arasında boyun ve sırtın uygunsuz duruşlarının kombinasyonu, tekrarlayan el ve kol hareketleri, zayıf ergonomik iş istasyonları ve yeterli molalar olmaksızın uzun çalışma saatleri oluşturmaktadır (Habib, 2015). Bireyin bel, boyun, omuz ve sırt ağrıları gibi sorunlarının daha çok sürekli oturma, öne eğilme ve ayarlanamayan oturma malzemelerinden kaynaklanan problemler olduğu görülmektedir. Çalışılan nesne ile göz arasındaki mesafenin uygun olmaması, çalışma ortamı ile ilgili sorunlar (toz, gürültü, sıcaklık vb. faktörler) yaşanan başka sorunlardır (Kalınkara vd., 2011). Kadın sağlığını olumsuz etkileyen eğitimsizlik, yoksulluk, fazla çalışma saatleri, kötü beslenme ve kötü çalışma koşulları gibi çeşitli sosyoekonomik faktörler bulunmaktadır (Mehta vd., 2020). Manuel malzeme taşıma, mekanik cihazların yardım etmediği nesnelere taşınmasıdır. Manuel malzeme taşıma itme, çekme, taşıma, kaldırma ve indirme gibi faaliyetleri içerir. Manuel malzeme taşıma, kas-iskelet sistemi bozuklukları vakalarının büyük bir yüzdesini oluşturmaktadır (Dagnev ve Matebu 2014). Vardiyalı çalışma, işyerinde sigara içme, iş amaçlı kişisel koruyucu ekipmanların doğru kullanımı vb. yaşanan kişisel risk faktörleridir (Malik vd., 2010).

Dikiş makinesi operatörleri arasında kas-iskelet ağrısı ve rahatsızlığının (özellikle boyun, omuzlar, üst sırt, bel, eller ve bileklerde) yüksek oranda görülmesi, bu çalışma grubunun çalışma koşullarının iyileştirilmesi için ergonomik müdahalelere duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Kesintisiz uzun oturma süresi ve vardiyalı başına uzun çalışma saatleri gibi iş organizasyonu faktörlerinin yanı sıra, operatör olarak çalışılan yıl sayısı ve iş nedeniyle baskı hissetme gibi işle ilgili diğer değişkenlerde etkilidir (Dianat vd., 2015). Üretim bölümü olan dikimhanede çalışanlar için aydınlatma da oldukça önemlidir. Aydınlatmanın yetersiz olduğu durumlarda dikiş makinesi operatörü kumaşı görebilmek için daha fazla uzanmak veya eğilmek problemi ile karşı karşıya kalacaktır. Özellikle çalışanların sırt, omuz ve boyunlarında karşılaşılan ağrılara bu durum neden olabilmektedir (Kaya ve Özok, 2018).

Bu alandaki literatür şu şekildedir:

Delleman ve Dul (2002), dikiş makinelerinde masa yüksekliği, masa eğimi ve pedal pozisyonunun on farklı kombinasyonunda pozisyonları inceleyerek çalışma pozisyonları ve işçilerin bu duruşa ilişkin algıları ölçmüşlerdir. Bu çalışma sonucunda dikiş işlemi sırasında kas-iskelet sistemi üzerine binen yükü minimuma indirmek için dikiş masası ve masa yüzeyinin çalışma açalarına göre yüksekliğinin ayarlanabilmesi sağlanmıştır. Szabo vd.(2006) Mesleki Manyetik Alana (Magnetic Field; MF) maruz kalmanın, tipik olarak kadınlar tarafından yürütülen mesleklerde daha az kapsamlı olarak karakterize edildiğini vurgulayarak, kadın dikiş makinesi operatörleri arasında mesleki 50 Hz MF kişisel maruziyeti araştırmayı hedeflemişlerdir. Kadınların kişisel MF maruziyetinin en önemli belirleyicisinin kullanılan dikiş makinesinin yaşı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Wang vd. (2010) dikiş makinesi operatörlerinde görülen boyun ve omuz ağrısını etkileyen faktörleri araştırmayı hedeflemiştir. Öztürk ve Esin (2011) 283 dikiş makinesi operatörü bulunan bir tekstil fabrikasında ergonomik riskler ve kas iskelet sistemi semptomlarının yaygınlığını araştırmayı hedeflemişlerdir. Veriler anket ve doğrudan gözlem yoluyla elde edilmiştir. Çalışmalar çevresel faktörlerin ve kişisel faktörlerin MSD'lerin oluşumu üzerinde etkisi olduğuna dair kanıtlar sağlamıştır. Araştırmadaki kadınların ergonomik risk ve MSD'leri yüksek bulunmuştur. Sealetsa ve Thatcher (2011) 157 kadın dikiş makinesi operatörünün katılımcı olduğu Botsvana'daki bir tekstil üretim fabrikasında operatörlerin iş yükü ve bedensel rahatsızlık algılarının yanı sıra iş istasyonlarındaki olası ergonomik riskleri belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda omuz, boyun ve sırt rahatsızlığının yaygın olduğu, iş istasyonunun ve oturma yerlerinin yeniden tasarlanması gerekliliğini vurgulamıştır. Tompa vd.(2013) Bu çalışmada, Güneybatı Ontario, Kanada'da yaklaşık 300 işçi çalıştıran bir giyim üreticisinde gerçekleştirilen katılımcı bir ergonomi sürecinin ekonomik değerlendirilmesini sunmuşlardır. Şirket açısından maliyet-fayda analizi yapmışlardır. Katılımcı ergonomi süreçlerini üstlenmenin bir şirket perspektifinden mali faydalarını desteklediği sonucuna ulaşmışlardır. Dianat vd. (2015) İranlı dikiş makinesi operatörleri arasında bireysel ve işle ilgili risk faktörlerinin kas-iskelet sistemi semptomları ile ilişkisini inceledikleri çalışmalarında 251 İranlı dikiş makinesi operatörü arasında çalışma koşullarını ve bildirilen kas-iskelet sistemi semptomlarının oluşumunu değerlendirmişlerdir. Özellikle boyun / omuz, sırt ve el / bileklerde kas-iskelet sistemi semptomlarının yüksek olduğunu bulmuşlardır. Bu çalışma grubunun çalışma koşullarının iyileştirilmesi için ergonomik müdahalelere duyulan ihtiyacı vurgulamışlardır. Hoque vd. (2015) 105 dikiş makinesi operatörünü araştırmış ve kas-iskelet sistemi sorunlarının kaynağını belirlemek için TOPSIS yöntemini kullanmışlardır. Araştırma sonucu, kilit dikiş makinelerinin diğer dikiş makinelerine göre daha fazla soruna neden olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Habib (2015) Bangladeş'teki bir hazır giyim fabrikasında dikiş makinesi operatörleri arasındaki fiziksel risk faktörlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Bulunan önemli ergonomik risk faktörleri arasında boyun ve sırtın uygunsuz duruşlarının kombinasyonu, tekrarlayan el ve kol hareketleri, zayıf ergonomik iş istasyonları ve yeterli molalar olmaksızın uzun çalışma saatleridir. Bu risk faktörleri kas-iskelet sistemi şikâyetlerine, hastalık iznine ve iş değiştirmeye neden olmaktadır sonucuna ulaşmıştır. Nawawi vd. (2015) Malezyalı dikiş makinesi operatörleri arasında ödeme yönteminin iş kontrolü, iş riski ve MSD sağlığı üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Çalışmadan önce başı ücret grubunun zaman grubuna göre daha az ara verdiği, daha hızlı çalıştığı ve artan iş talepleri nedeniyle daha fazla yorgunluk ve baskı yaşadığı görülmüştür sonucuna ulaşmışlardır. Merisalu vd. (2016) Çalışmalarında, dikiş makinesi operatörleri arasında işle ilgili bireysel risk faktörlerini ve MSD'lerin yaygınlığını belirleyerek, risk faktörleri ile MSD'ler arasındaki ilişkileri tanımlamayı amaçlamıştır. Dikiş makinesi operatörleri arasında yüksek oranda MSD görülürken bel, boyun, el bileği ve omuzlar en sık bildirilen ağrı bölgeleriydi. Bulduk vd. (2017) dikiş makinesi operatörleri arasında bir ergonomi eğitiminin MSD'ler için risk faktörlerine maruz kalmayı azaltmadaki etkisini

değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Doğru çalışma duruşu, germe egzersizleri ve yük taşıma prosedürleri üzerine ergonomi eğitiminin Türkiye'deki tekstil endüstrisi iş yerlerinde MSD'ler için risk faktörlerine maruz kalmayı azaltmak için düşük maliyetli bir müdahale olarak yararlı olduğu sonucuna varmışlardır. Gahlot vd.(2017) Çalışmalarında kadın dikiş makinesi operatörlerinin sağlık sorunlarının araştırılmasını amaçlamışlardır. Bu çalışma, son 4 yıldan beri dikiş faaliyeti yapan 80 kadın dikiş makinesi operatörünün seçildiği Hisar'ın Haryana eyaletinde gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların yanıtlarını toplamak için önceden test edilmiş ve iyi planlanmış bir anket, görüşme programı ile birlikte kullanmışlardır. Dikiş makinesi operatörlerinin çeşitli fizyolojik, semptomatik ve psikolojik sorunlarla karşılaştığını ortaya koymuşlardır. Tariq vd.(2018) Kadın dikiş makinesi operatörlerinin boyun ağrısında izometrik egzersizler ile aktif hareket açıklığının karşılaştırılmasını değerlendirmeyi hedeflemişler. İzometrik egzersizler dikiş makinesi operatörlerinde aktif boyun hareket açıklığı egzersizlerinden daha etkilidir sonucuna ulaşmışlardır. Jalilian vd.(2018) Oldukça Düşük Frekanslı Manyetik Alanlara (Extremely Low Frequency Magnetic Fields; ELF-MF) mesleki maruziyet; kaynakçılar, elektrik hizmet işçileri, tren sürücüler ve dikiş makinesi operatörleri gibi birçok meslekte ortaya çıkabilmektedir. ELF-MF maruziyetinin Alzheimer Hastalığı (Alzheimer's Disease; AD) için bir risk faktörü olduğunu gösteren bazı kanıtlar bulunmaktadır. Bu çalışma, ELF-MF'ye maruz kalan işçiler arasında AD riskini değerlendirmek için literatürü sistematik olarak gözden geçirmeyi ve bir meta-analiz yapmayı amaçlamıştır. Eladly vd.(2020) Yaptıkları çalışmada, operatörün antropometrik verilerine dayalı olarak, dikiş makinesi iş istasyonunun farklı dikiş masası yükseklikleri ve eğim açılarıyla ergonomik olarak yeniden tasarımını sunmayı hedeflemişlerdir. Ergonomik dikiş masası tasarlanmasında dört ana iş istasyonunda dikiş masası eğim açıları, yükseklik, dikiş makinesi tipi ve operatörün vücut kitle indeksini ölçmüşlerdir. Çalışmayı, test edilen her kombinasyonun sınırlamalarını ve avantajlarını belirlemek için yapmışlardır. Farklı ölçüm teknikleriyle; öznel bilgi, üretim oranları, çalışma duruşları (kinematik aşamada baş, boyun ve gövde eğim açıları) ölçülmüştür. Dikiş makinesi operatörlerinin kinematik aşamadaki oturma duruş açıları, antropometrik ölçümlerinden ve dikiş makinesinin tipinden az çok etkilenmiştir. Dikiş makinesi iş istasyonu ergonomik olarak yeniden tasarlanırken bu iki faktör dikkate alınmalıdır sonucuna ulaşmışlardır. Mehta vd. (2020) Çalışmalarını, Haryana eyaletinin Hisar ilçesinde yapmışlardır. İş organizasyonunu ve çalışma alanı tasarımını değerlendirmek ve dikiş makinesi operatörleri arasında iş sağlığı sorunlarını ve kas-iskelet sistemi semptomlarını tespit etmek amacıyla 60 katılımcı ile gerçekleştirmişlerdir. Yaşanılan sağlık sıkıntılarının sırasıyla diz ağrısı, bel ağrısı ve boyun ağrısı olduğunu ortaya koymuşlardır.

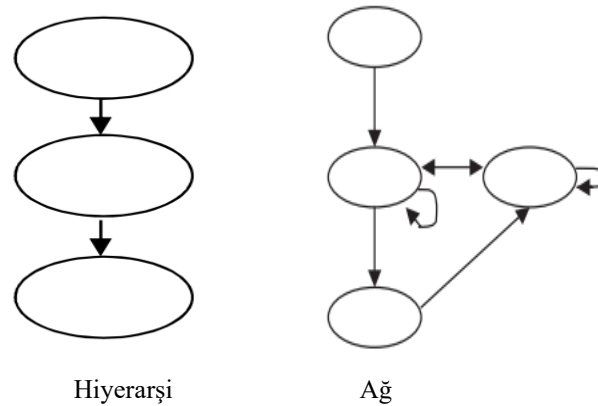
Çok kriterli karar verme yöntemleri tekstil fabrikasında ergonomik risklerin belirlenmesinde çok az kullanılan bir yöntemdir. Yapılan çalışma ile problemleri çözümündeki başarısı gösterilerek uygulama alanının yaygınlaşmasına katkıda bulunacaktır.

3. ANP Yöntemi

ANP, kontrol kriterlerine göre etkileşen öğelerin etkisinin göreceli ölçümlerini temsil eden ayrı oran ölçeklerinden bileşik öncelik oranı ölçekleri türetmek için kullanılan genel bir göreceli ölçüm teorisidir. ANP, öğelerinin kendileri sütun önceliklerinin matrisleri olan süper matrisi aracılığıyla, öğe kümeleri içindeki ve arasındaki bağımlılığın ve geri bildirim sonucunu yakalar (Saaty, 1999).

ANP süreci dört ana adımdan oluşur (Chung vd., 2005).

Adım 1. Model Oluşturma ve Problemi Yapılandırma: Sorun açıkça ifade edilmeli ve ağ gibi rasyonel bir sisteme ayrıştırılmalıdır. Yapı, beyin fırtınası veya diğer uygun yöntemlerle karar vericilerin görüşleri ile elde edilebilir. Hiyerarşi ile ağ arasındaki yapısal fark Şekil 1 'de gösterilmiştir



Şekil 1. Hiyerarşi ve Ağ arasındaki Fark

Adım 2. İkili Karşılaştırma Matrisleri ve Öncelik Vektörleri: ANP' de, her bileşendeki karar öğeleri, kontrol kriterlerine göre önemleri açısından ikili olarak karşılaştırılır ve bileşenlerin kendileri de hedefe katkıları açısından ikili olarak karşılaştırılır. Karar vericilerden, bir seferde iki öğenin veya iki bileşenin kendi üst düzey kriterlerine nasıl katkıda buldukları açısından karşılaştırılacağı bir dizi ikili karşılaştırmaya yanıt vermeleri istenir. Göreceli önem değerleri, 1'den 9'a kadar bir ölçekle belirlenir. Tablo1 'de verilen tercih ölçeği kullanılmaktadır (Saaty, 1980). ANP'de bir matris çatısı altında ikili karşılaştırmalar yapılır (Dağdeviren vd., 2006). Matris tutarlılığının kontrolü yapılır. Eğer Matrisin Tutarlılık Oranı (CR) 0,10'dan küçükse tutarlıdır, değilse tekrar ikili karşılaştırmalar yapılır (Özcan vd., 2017).

Tablo 1. Önem Skala Değerleri ve Tanımları

Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki seçenekte eşit derecede öneme sahip
3	Biraz önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılmakta
5	Fazla önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı oldukça üstün kılmakta
7	Çok fazla önemli	Bir kriter diğerine göre üstün sayılmıştır
9	Aşırı derece önemli	Bir kriterin diğerlerine göre üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahiptir
2,4,6,8	Ara değerler	Uzlaşma gerektiğinde kullanılmak üzere iki ardışık yargı arasındaki değerler

Adım 3. Süper Matris Oluşumu: Süper matris gerçekte parçalı bir matristir ve buradaki her bir matris bölümü bir sistem içindeki iki faktör arasındaki ilişkiyi gösterir (Gür ve Eren, 2017).

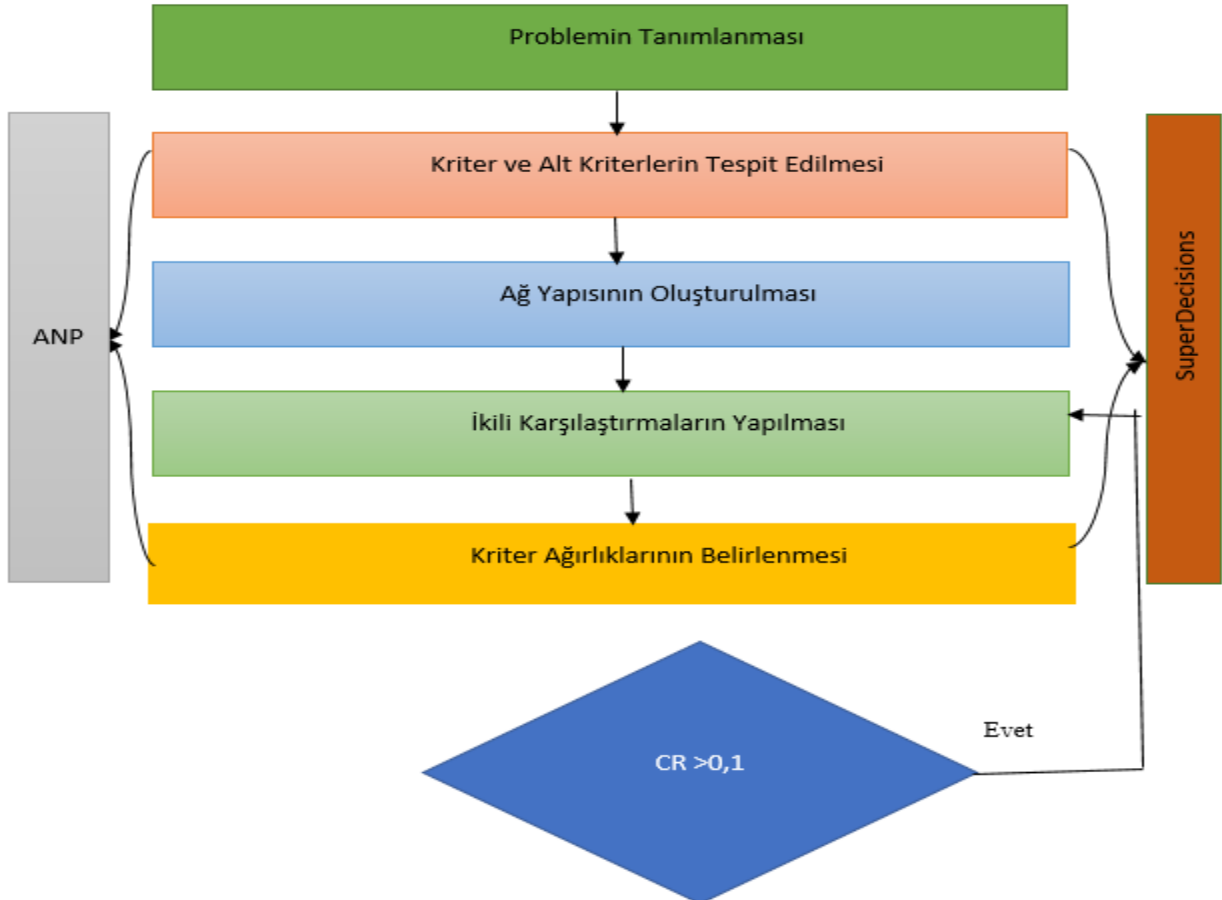
Adım 4. Alternatiflerin Sıralanması ve En İyi Alternatifin Seçimi: Limit süper matris ve kriter ağırlıkları bulunarak alternatiflerden bu değerler arasından en yüksek olanın belirlenmesidir (Özcan vd., 2017).

Birçok farklı alanda ANP yöntemi kullanılarak problemlerin çözümünde kullanılmıştır. Aşağıda ANP yöntemi ile yapılmış çalışmaların bazıları hakkında bilgi verilmiştir.

Özcan vd.(2017) CSP teknolojisine sahip güneş enerjisi santrallerinin kombine ANP-PROMETHEE yaklaşımı ile seçimini gerçekleştirmişlerdir. Hamurcu ve Eren (2017) Science Citation Index (SCI) kapsamında dergi seçimi için analitik ağ süreci yöntemini kullanmışlardır. Sevinç vd.(2018) KOBİ'lerin endüstri 4.0 uygulamalarındaki zorluklarının analitik hiyerarşi süreci ve analitik ağ süreci ile analizini yapmışlardır. Akça vd.(2018) kamu hastanelerinde finansal yönetici seçimi problemini ANP yöntemi ile çözmüşlerdir. Özder vd.(2019) doğal gaz kombine çevrim santralinde personel görevlerine dayalı vardiya çizelgeleme problemini ANP ile çözmüşlerdir. Gür vd.(2020) ANP yöntemi ile akaryakıt taşımacılığının çevresel etkilerinin değerlendirilmesini yapmışlardır.

4. Uygulama

Problemin akış şeması Şekil 2 'de gösterildiği gibidir.



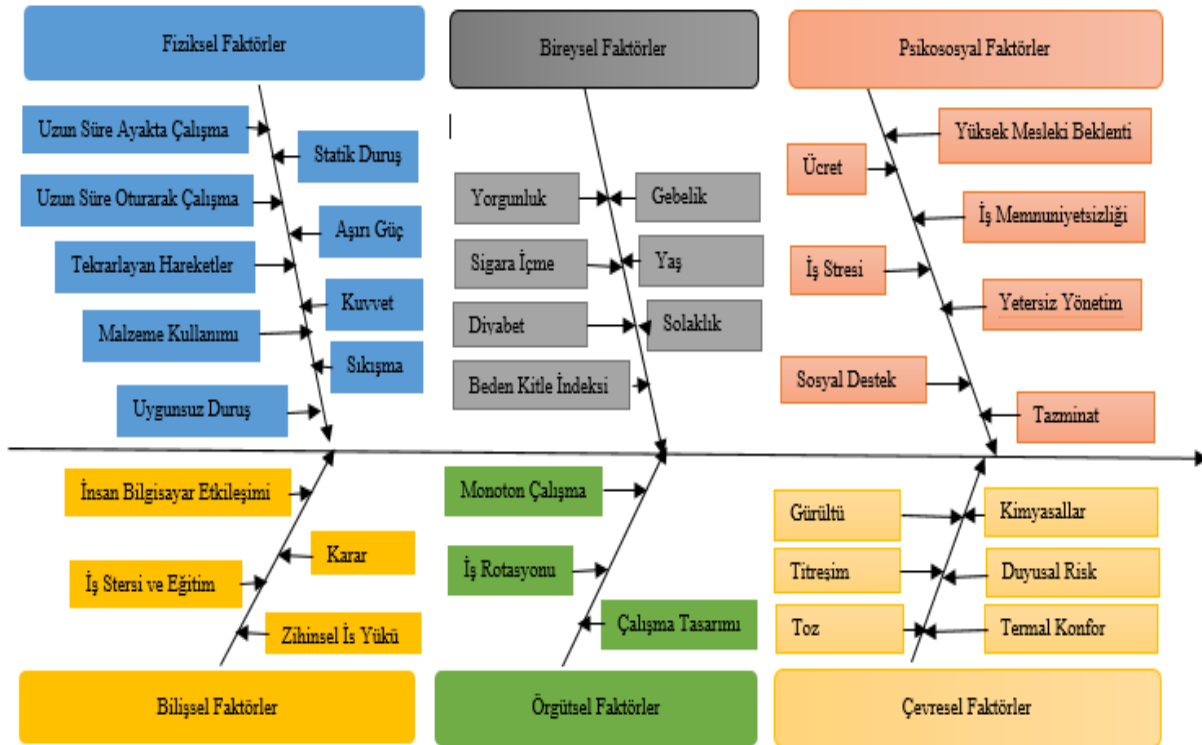
Şekil 2. Problemin Akış Şeması

4.1. Problemin Tanımlanması

Türkiye ekonomisinde kilit rol oynayan tekstil sektörü sanayide kadınların çalıştığı en yoğun sektördür. Tekstil ve hazır giyimde çalışan kadınların büyük çoğunluğu dikiş makinesi operatörü olarak hizmet vermektedir. Sektör tehlike sınıfı bakımından az tehlikeli sınıfta yer almasına karşın birçok tehlikeyi içinde barındırmaktadır. Ergonomik risk etmenleri bu tehlikelerin en başında yer almaktadır. MSD'ler ülkelere ekonomik yük oluşturan, çalışma saatlerinin kaybedilmesi nedeniyle yaşam kalitesi ve üretkenlik üzerine önemli etkisi olan tekstil sektöründeki önemli ve yaygın iş sağlığı sorunudur. Bu sorunu gidermede ise ergonomik müdahaleler fiziksel ve psikolojik riskleri azaltarak, işle ilgili hastalık ve yaralanma riskini indirgeyerek, çalışanların performansını artırarak işçilere ve kuruluşlara fayda sağlar. Çalışmanın amacı tekstil sektörünün en kritik aşaması ve kadınların en çok çalıştığı bölüm olan dikimhanedeki kadınların ergonomik risklerinin çok kriterli karar verme yöntemleri ile belirlenmesini sağlayarak, risklerin ağırlıklarına göre sıralamasının yapılmasını gerçekleştirip, işçilere ve kuruluşa ergonomik sorunların giderilmesinde faydalı olmaktadır. Çalışmanın yapıldığı firma Yozgat ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Fabrikada toplam 338 çalışan bulunmaktadır. En fazla işçinin çalıştığı bölüm dikimhane olup 216 çalışan ile hizmet vermektedir. Çalışanların 110'u erkek 106'sı bayandır.

4.2. Kriter ve Alt Kriterlerin Tespit Edilmesi

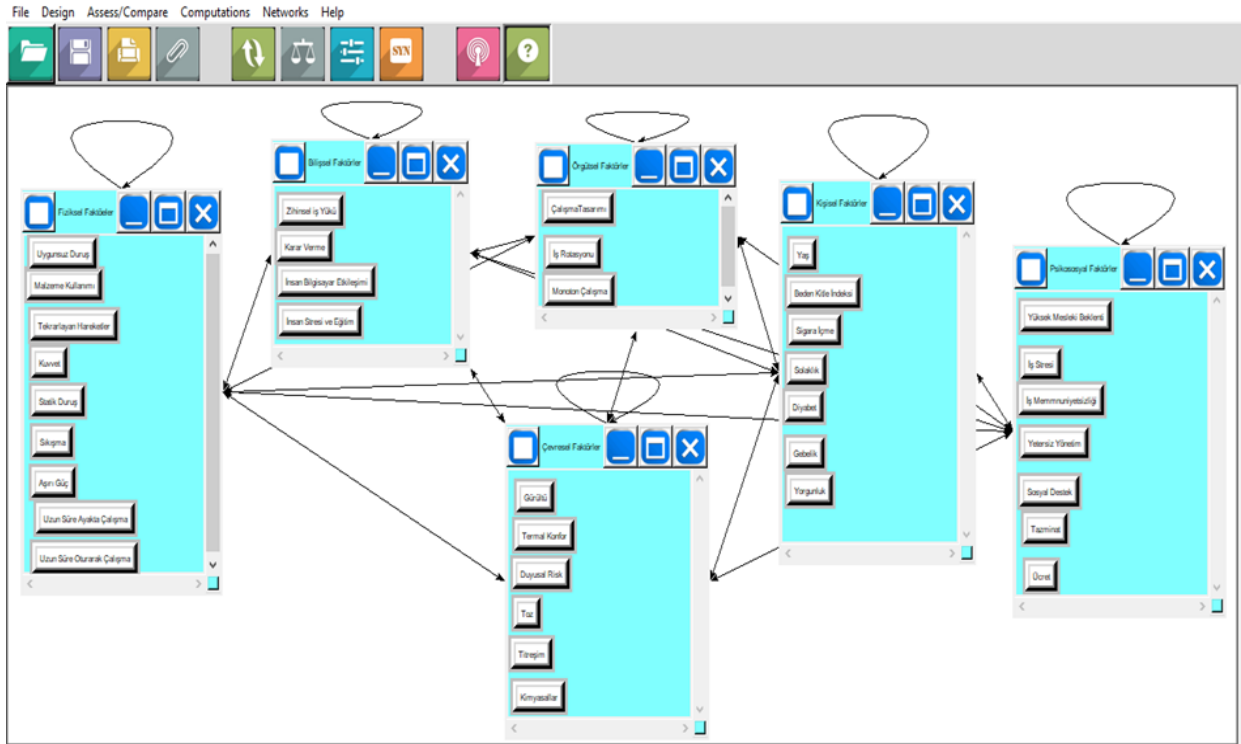
Kriterler ve alt kriterler literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda belirlenmiştir. Çalışma 6 kriter ve 36 alt kriterden oluşmaktadır. Kriterler ve alt kriterler Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Kriter ve Alt Kriterleri

4.3. Ağ Yapısının Oluşturulması

ANP yöntemi tek bir yöne bağlı modelleme zorunluluğunu ortadan kaldırarak kriterler ve alt kriterler arasındaki ilişkileri dikkate almaktadır. Bu özelliğinden dolayı kriter ağırlıklarının hesaplanmasında ANP yöntemi kullanılmıştır. ANP hesaplamalarında Super Decion V.2.6.0-RC1 programı kullanılmıştır. Program ile Şekil 4'te gösterilen ağ yapısı esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Ağ yapısı oluşturulduktan sonra kriterler arasında ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Saaty'nin Tablo 1'de verilen önem skalasına göre kriter bazlı ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak tutarlılık oranları hesaplanmıştır. Tutarlılık oranlarının (CR) tamamı 0,1'den küçük çıkmıştır.



Şekil 4. Kriter Ağırlıklarının Hesaplanmasında Kullanılan Ağ Yapısı

4.4. İkili Karşılaştırmaların Yapılması

Uzman görüşlerine göre ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. İkili karşılaştırmada Saaty'nin 1-9 skalası kullanılmıştır. Tutarlılık oranlarının 0,1'den küçük olması koşulu sağlanmıştır. Örnek karşılaştırma Şekil5'te verilmiştir.

1. Choose		2. Node comparisons with respect to Tekrarlayan Hareketli~	
Node	Cluster	Graphical	Verbal Matrix
Choose Node		Graphical	Verbal Matrix
Tekrarlayan Ha~		Questionnaire	Direct
Cluster: Fiziksel Faktöe~		Comparisons wrt "Tekrarlayan Hareketler" node in "Çevresel Faktörler" cluster	
Choose Cluster		Gürültü is equally as important as Termal Konfor	
Çevresel Faktö~			
		1. Gürültü	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Termal Konfor
		2. Gürültü	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Titreşim
		3. Gürültü	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Toz
		4. Termal Konfor	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Titreşim
		5. Termal Konfor	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Toz
		6. Titreşim	>=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 No comp. Toz

Şekil 5. İkili Karşılaştırma

4.5. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Tablo 2’de Super Decion programı kullanılarak hem kadınlar hem de erkekler için ayrı ayrı yapılan kriter ağırlıkları sunulmuştur.

Tablo 2.Kriter ve Alt Kriterlerin Ağırlık Sıralaması

KRİTERLER	ALT KRİTERLER	Erkek Ağırlık	Kadın Ağırlık
Fiziksel Faktörler	1 Uzun Süre Oturarak Çalışma (USOÇ)	0,155797	0,158204
	2 Tekrarlayan Hareketler (TH)	0,118274	0,11493
	3 Uygunsuz Duruş (UD)	0,081240	0,081816
	4 Statik Duruş (SD)	0,020634	0,022690
	5 Malzeme Kullanımı (MK)	0,015266	0,014306
	6 Aşırı Güç (AG)	0,012446	0,008664
	7 Kuvvet (K)	0,005737	0,004566
	8 Sıkışma (S)	0,003734	0,003941
	9 Uzun Süre Ayakta Çalışma (USAÇ)	0,002437	0,002117
Bilişsel Faktörler	1 Zihinsel İş Yüğü (ZİY)	0,018827	0,018049
	2 İş Stresi ve Eğitim (İSE)	0,008687	0,008760
	3 Karar Verme (KV)	0,004369	0,004220
	4 İnsan Bilgisayar Etkileşimi (İBE)	0,001209	0,001217
Örgütsel Faktörler	1 Monoton Çalışma (MÇ)	0,058207	0,055355
	2 Çalışma Tasarımı (ÇT)	0,046851	0,048813
	3 İş Rotasyonu (İR)	0,032048	0,032931
Çevresel Faktörler	1 Gürültü (G)	0,045779	0,045757
	2 Toz	0,320480	0,034062
	3 Termal Konfor (TK)	0,032844	0,031316
	4 Duyusal Risk (DR)	0,026636	0,027468
	5 Titreşim (T)	0,005745	0,006113
	6 Kimyasallar (KİM)	0,000328	0,000864
Bireysel Faktörler	1 Gebelik (GB)	0,000000	0,047142
	2 Yorgunluk (Y)	0,046504	0,034500
	3 Sigara İçme (Sİ)	0,010392	0,009389
	4 Diyabet (D)	0,012525	0,007901
	5 Beden Kitle İndeksi (BKİ)	0,013160	0,005775
	6 Yaş	0,023627	0,005583
	8 Solaklık (SL)	0,001726	0,001307
	1 İş Stresi (İS)	0,070122	0,071930
Psikososyal Faktörler	2 Yetersiz Yönetim (YY)	0,027809	0,029410
	3 Ücret (Ü)	0,029184	0,029390
	4 İş Memnuniyetsizliği (İM)	0,011066	0,011204
	5 Yüksek Mesleki Beklenti(YMB)	0,008856	0,008818
	6 Sosyal Destek (SD)	0,009501	0,006964
	7 Tazminat (TAZ)	0,005530	0,004279

4.6. Çözüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan ANP ağırlıklandırma sonucunda, fiziksel Risk Etmenlerinden en yüksek ağırlığa sahip olan uzun süre oturarak çalışma olmuştur. Oturarak çalışmanın olumsuzlukları; makinede görme gereksinimi nedeniyle sürekli sabit pozisyonda oturmak, işçinin sağlığını tehdit eden statik bir yük oluşturmaktadır (Gahlot vd., 2017). Dikiş makinesi operatörleri arasında bulunan en önemli ergonomik risk faktörleri arasında, sabit bir oturma istasyonunda çalışmak yer almaktadır (Habib, 2015). Tekrarlayan hareketler diğer önemli risktir. Dikiş makinesi operatörleri, sürekli nötr olmayan eklem duruşu ve oldukça tekrarlayan hareketler gerektiren tekdüze ve yüksek hızlı hassas görev gerçekleştirir (Gahlot vd., 2016). Uygunsuz duruşlu faaliyetler, iş sırasında ve / veya dinlenme sırasında ağırlı olabilen el, bilek, dirsek, boyun ve omuzları etkileyen rahatsızlıklara neden olur (Gahlot vd., 2017). Dördüncü sırada statik duruş gelmektedir. Dikiş makinesi operatörü işinde uzun süreli statik duruş nedeniyle vücuttaki fiziksel zorlanma oldukça yüksektir (Mehta vd., 2020). Malzeme kullanımından kaynaklı yumuşak doku bozuklukları, tekrarlayan zorlanma yaralanmaları (Mehta vd., 2020), iğne kırılması, göze ya da parmağa gelmesi şeklinde yaralanmalar vuku bulabilmektedir. Güç kullanımı, kuvvet, sıkışma ve ayakta çalışma sırasıyla diğer risk etmenleridir.

Bilişsel Risk Etmenleri; Bilişsel ergonomi zihinsel süreçlerle ilgilidir. En fazla riskler sırasıyla zihinsel iş yükü, iş stresi ve eğitim, karar verme gelmektedir.

Örgütsel risk etmenlerindeki ağırlıklar sırasıyla monoton çalışma, iş sırtın üst kısmı kavisli ve başın dikiş makinesinin üzerine eğildiği oturma pozisyonunda gerçekleştirilen monoton, oldukça tekrarlayan görevleri içerir. İş görsel olarak zahmetlidir ve yüksek derecede konsantrasyon ve doğruluk gerektirir (Kaergaard ve Andersen, 2000). Çalışma tasarımı ergonomik olarak tasarlanmış iş istasyonlarının kullanıcıları, görev performansının yanı sıra kas-iskelet yükünün neden olduğu daha az rahatsızlık / yorgunluk, hastalık izni ve sakatlık açısından da fayda sağlayacaklardır (Delleman ve Dul, 2002). İş rotasyonunda iş çeşitliliği etkili olacaktır.

Çevresel risk faktörleri dikiş makinesi operatörlerini etkileyen çevresel risk faktörleri sırasıyla gürültü, toz, termal konfor, duyuşsal risk, titreşim ve kimyasallar gelmektedir. Çalışma ortamına yönelik ölçümler alınarak risk seviyeleri belirlenebilir.

Bireysel risk faktörleri sırasıyla gebelik, yorgunluk, sigara içme, diyabet, Beden Kitle İndeksi (Body Mass İndex; BMI), yaş, solaklık olarak belirlenmiştir. İşle ilgili faktörler (operatör olarak çalışılan yıl sayısı, vardiya başına uzun çalışma saatleri, ara vermeden uzun oturma süresi, iş ve çalışma duruşları nedeniyle baskı hissetme dahil) ve bireysel faktörler (yaş, cinsiyet, BMI, spor / fiziksel aktiviteler) kas-iskelet sistemi semptomları ile ilişkilendirilmiştir (Dianat vd., 2015). Dikiş makinesi operatörleri arasında yüksek oranda MSD görülürken, bel, boyun, el bileği ve omuzlar en sık bildirilen ağrı bölgeleridir. Bel ağrısı, BMI ve otonomi, sigara içimi bilek / el ağrısı ve tekrarlayan üst ekstremitte hareketleri ile boyun ve dirsek ağrısı pozitif ilişki göstermektedir (Merisalu vd., 2016).

Psikososyal faktörler sırasıyla iş stresi, yetersiz yönetim, ücret, iş memnuniyetsizliği, yüksek mesleki beklenti, sosyal destek, tazminat olarak belirlenmiştir. Dikiş makinesi operatörleri iş stresi nedeniyle karşılaştıkları sorunlar, vücut ağrısı ve eklem ağrısı, göz yorgunluğu, yorgunluk ve ağrı nedeniyle uykusuzluktur (Gahlot vd., 2017).

Erkekler ve kadınlar aynı mesleklerde çalışsalar bile, çalışma biçimleri, iş görevleri ve iş ortamları birbirinden önemli ölçüde farklı olabilir. Bu farklılıklar, cinsiyetler arasında önemli ölçüde farklı maruz kalma modellerine dönüşebilir (Szabo vd.,2006). Bizim çalışmamızda erkekler ile kadınların maruz kalmış olduğu ergonomik riskler arasında belirgin bir farklılık yoktur. Aynı ortamda bulunup aynı işi yaptıkları için maruz kaldıkları risklerde aynı olmuştur.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada tekstil sektörünün en kritik aşaması ve kadınların en fazla çalıştığı bölüm olan dikimhanedeki kadınların ergonomik risklerinin çok kriterli karar verme yöntemi ile belirlenmesi ve ağırlıklandırılması problemi ele alınmıştır. Altı kriter 36 alt kriter belirlenmiştir. Problemin çözümünde ANP yöntemi kullanılmıştır. Yapılan ağırlıklandırmada belirlenen kriterlerden ilk üç alt kriter ağırlık sıralaması şu şekildedir fiziksel risk etmenlerinde uzun süre oturarak çalışma, tekrarlayan hareketler ve uygunsuz duruş yer almaktadır. Oturma pozisyonunda tekrarlayan hareketler, monoton çalışma tüm dikiş makinesi operatörlerine özgü risk faktörleridir (Merisalu vd., 2016). Bilişsel risk etmenlerinde zihinsel iş yükü, iş stresi ve eğitim, karar verme gelmektedir. Örgütsel risk etmenlerinde monoton çalışma, çalışma tasarımı, iş rotasyonu gelmektedir. Uygun iş istasyonu tasarımlarının, çalışan rotasyonunun, düzenli dinlenme molalarının ve uygun koruyucu ekipman kullanımının, dikiş makinesi operatörlerinin MSD başlamasını önlemesine yardımcı olabileceği bilinmektedir (Bulduk vd., 2017). Çevresel risk faktörlerinde gürültü, toz, termal konfor yer almıştır. Tekstil sektöründe çok sık rastlanan gürültü oldukça önemli bir sorundur. Çalışanın işitme kaybına uğramasına kadar gidebilmektedir (Karakitapoğlu vd., 2017). Hazır giyim işletmelerinde ortam koşullarını değerlendirirken önemli bir faktör de termal konfor koşullarının olumsuzluğudur. "Termal Konfor" denilince akla sıcaklık, nem, hava debisi gibi etkenler gelir, bunlar çalışanlar için tehlikeli olabilir (Kaya, 2015). Bireysel risk faktörlerinde sırasıyla gebelik, yorgunluk, sigara içme. Psikososyal faktörlerde iş stresi, yetersiz yönetim, ücret olarak sıralanmıştır. İş stresi nedeniyle dikiş makinesi operatörleri fizyolojik, semptomatik ve psikolojik sorunlar ile karşılaşabilmektedir (Gahlot vd., 2017).

Ergonomi emek yoğun, tekrarlı hareketlerin yoğun olarak yapıldığı, insana dayalı sektör olan tekstil sektöründe büyük bir öneme sahiptir. Oturularak yapılan çalışmalarda sandalyenin özellikleri önem arz etmektedir. Sandalyelerin ayarlanabilir yüksekliğe sahip olması, derinliğinin ayarlanabilmesi uygun şekilde sırt bölgesini desteklemesi faydalı olacaktır. Beş nokta teması sağlayan, nefes alabilir, kaydırmaz uygun yumuşaklıktaki kumaşlardan üretilmiş sandalyeler tercih edilmelidir. Vücut merkezine uygun iş yüksekliği

ve açısına sahip masalarda, ayarlanabilir özellikte çalışılması tavsiye edilir. Çalışılan nesne ile göz arasındaki mesafe uygun olmalıdır. Yere eğilme ve uzanma hareketlerinin önüne geçilmesi için masalara kenarlıklar yapılabilir. Kişi başına düşen alan artırılabilir. Tekrarlı hareketlerin önüne geçebilmek için görev çeşitliliğine gidilebilir. Özellikle gürültü, toz ve termal konfor yönünden yetersiz olan çalışma ortamına yönelik ölçümler yapılarak kaynakta, ortamda ya da kişide önlemler alınabilir ya da artırılabilir. Ergonomi konusunda seminerlerin, eğitimlerin verilmesi sağlanabilir. İş yerlerinde belirli alanlar oluşturularak çalışanların sağlığını korumaya yönelik hareketler yapmaları teşvik edilebilir.

Referanslar

Akça, N., Sönmez, S., Gür, Ş., Yılmaz, A., & Eren, T. (2018). Kamu Hastanelerinde Analitik Ağ Süreci Yöntemi ile Finans Yöneticisi Seçimi. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 5(2),133-146.

Balasundaram, K., Adugna, A., Kumar, A., & Kumar, M. (2017). Improvement of Ergonomic Factors in a Textile Industry: A Case Study. *Journal of Recent Research in Engineering and Technology*, 4(5),01-06.

Berberoğlu, U., & Tokuç, B. (2012). Work-Related Musculoskeletal Disorders at Two Textile Factories in Edirne,Turkey. *Balkan Medical Jurnal*, 30(23),23-27.

Buckle, P., & Devereux, J. (2002). The nature of work-related neck and upper limb musculoskeletal disorders. *Applied Ergonomics*, 33(3),207-217.

Bulduk, S., Bulduk, E., & Süren, T. (2017). Reduction of work-related musculoskeletal risk factors following ergonomics education of sewing machine operators. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 23(3).347-352.

Chung, S.-H., Lee, A., & Pearn, W. (2005). Analytic networkprocess (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator. *Int. J. Production Economics*, 96(1),15-36.

Dagnev, B., & Matebu, A. (2014). Design Of Manual Material Handling System Through Computer Aided Ergonomics: A Case Study At Bdtsc Textile Firm. *International Journal for Quality Research*, 8(4).557-568.

Dağdeviren, M., Dönmez, N., & Kurt, M. (2006). Bir İşletmede Tedarikçi Değerlendirme Süreci İçin Yeni Bir Model Tasarımı ve Uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(2),247-255.

Delleman, N., & Dul, J. (2002). Sewing machine operation:workstation adjustment, working posture, and workers' perceptions. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 30(6),341-353.

Dianat, I., Kord, M., Yahyazade, P., Karimi, M., & Stedmon, A. (2015). Association of individual and work-related risk factors with musculoskeletal symptoms among Iranian sewing machine operators. *Applied Ergonomics*, 51,180-188.

Eladly, A., Abou-Ali, M., Sheta, A., & EL-Ghlomy, S. (2020). A flexible ergonomic redesign of the sewing machine workstation. *Research Journal of Textile and Apparel*.

Gahlot, N., Mehta, M., & Singh, K. (2016). Assessment of Postural Discomfort among Female Sewing Machine Operators. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 7(1),115-118.

Gahlot, N., Mehta, M., & Singh, K. (2017). Occupational health problems among female sewing machine operators. *Indian Journal of Health and Wellbeing*, 8(2),122-126.

Gür, Ş., & Eren, T. (2017). Analitik Ağ Süreci Ve PROMETHEE Yöntemleri İle Gıda Sektöründeki Orta Ölçekli İşletmeler İçin Pazarlama Stratejilerinin Seçimi. *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(1),79-92.

Gür, Ş., Miman, M., & Eren, T. (2020). Analitik Ağ Süreci Yöntemi ile Akaryakıt Taşımacılığının Çevresel Etkilerini Değerlendirme. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 5(2),61-70.

Habib, M. (2015). Ergonomic risk factor identification for sewing machine operators through supervised occupational therapy fieldwork in Bangladesh: A case study. *IOS Press*, 50(3),357-362.

Hamurcu, M., & Eren, T. (2017). Science Citation Index (SCI) Kapsamında Dergi Seçimi için Analitik Ağ Süreci Yönteminin Kullanılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 2(2),54-70.

Hazır Giyim Sektör Raporu-2018. (2020). T.C.Ticaret Bakanlığı. Erişim adresi: https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Haz%C4%B1r%20Giyim%20Sekt%C3%B6r%C3%BC_2018.pdf adresinden alındı

- Hoque, A. M., Ahmed, S., Paul, S., & Parvez, M. (2015). Topsis Based Ergonomic Analysis On Work Related Musculoskeletal Disorders Of Sewing Machine Operators. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 8(5),728-738.
- İşler, M., Küçük, M., & Güner, M. (2018). Ergonomic assessment of working postures in clothing sector with scientific observation methods. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 30(6),757-771.
- Jalilian, H., Teshnizi, S., Rössli, M., & Neghab, M. (2018). Occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and risk of Alzheimer disease: A systematic review and meta-analysis. *NeuroToxicology*, 69,242-252.
- Kaergaard, A., & Andersen, J. (2000). Musculoskeletal disorders of the neck and shoulders in female sewing machine operators: prevalence, incidence, and prognosis. *Occup Environ Med*, 57(8),528-534.
- Kalınkara, V., Çekal, N., Akdoğan, I., & Kacar, N. (2011). Anthropometric measurements related to the workplace design for female workers employed in the textiles sector in Denizli, Turkey. *Eurasian Journal of Anthropology*, 2(2),102-111.
- Karakitapoğlu, N., Akyıldız, S., Çakmak, B., & Alayunt, F. (2017). İzmir İlinde Tekstil ve Hazır Giyim Sanayindeki Ergonomik Sorunlar. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5,269-274.
- Kaya, Ö. (2015). Design of Work Place and Ergonomics in Garment Enterprises. *Procedia Manufacturing*, 3,6437-6443.
- Kaya, Ö., & Özok, A. (2018). Hazır Giyim İşletmelerinin Ergonomik Risk Etmenleri Yönünden Değerlendirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6,263-270.
- Makhbul, Z., Idrus, D., & Abdul Rani, M. (2007). Ergonomics design on the work stress outcomes. *Jurnal Kemanusiaan*, 9,50-61.
- Malik, N., Maan, A., Pasha, T., Akhtar, S., & Ali, T. (2010). Role of hazard control measures in occupational health and safety in the textile industry of Pakistan. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 47(1),72-76.
- Meenaxi, T., & Sudha, B. (2012). Causes of Musculo-Skeletal Disorder in Textile Industry. *International Research Journal of Social Sciences*, 1(4),48-50.
- Mehta, E., Mehta, M., & Sharma, P. K. (2020). A study on work-related musculoskeletal disorders among sewing machine operators. *Indian Journal of Health and Well-being*, 11,08-12.
- Merisalu, E., Männaste, M., Hiir, K., & Traumann, A. (2016). Predictors and prevalence of musculoskeletal disorders among sewing machine operators. *Agronomy Research*, 14(4),1417-1426.
- Nawawi, R., Deros, B., Daruis, D., Ramli, A., Zein, R., & Joseph, L. (2015). Effects of payment method on work control, work risk and work-related musculoskeletal health among sewing machine operators. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, s. 9,1705-1713.
- Özcan, E., Özcan, N. A., & Eren, T. (2017). CSP Teknolojisine Sahip Güneş Enerjisi Santrallerinin Kombine ANP-PROMETHEE Yaklaşımı ile Seçimi. *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 1(1),18-44.
- Özder, E., Özcan, E., & Eren, T. (2019). Staff Tasks Based Shift Scheduling Problem Solution with ANP and Goal Programming Method in A Natural Gas Combined Cycle Power Plant. *Mathematics*, 7(2),192.
- Öztürk, N., & Esin, M. N. (2011). Investigation of musculoskeletal symptoms and ergonomic risk factors among. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 41(6),585-591.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*.
- Saaty, T. (1996). *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Erişim adresi: <https://pdfs.semanticscholar.org/059a/56bc65b1b9a447aa069af8a0e8ff1f479a.pdf>.
- Saaty, T. (1999). *Fundamentals Of The Analytic Network Process*. *Proceedings of the 5th international symposium on the analytic hierarchy process*, 1-14.
- Sealetsa, O., & Thatcher, A. (2011). Ergonomics issues among sewing machine operators in the textile manufacturing industry in Botswana. *IOS Press*, 38(3),279-289.
- Sevinç, A., Gür, Ş., & Eren, T. (2018). Analysis of the Difficulties of SMEs in Industry 4.0 Applications by Analytical Hierarchy Process and Analytical Network Process. *processes*, 6(12),264.

- Stefanović, V., Urošević, S., Mladenović-Ranisavljević, I., & Stojilković, P. (2019). Multi-criteria ranking of workplaces from the aspect of risk assessment in the production processes in which women are employed. *Safety Science*, 116,116-126.
- Szabo, J., Mezei, K., Thuroczy, G., & Mezei, G. (2006). Occupational 50 Hz Magnetic Field Exposure Measurements Among Female Sewing Machine Operators in Hungary. *Bioelectromagnetics*, 27(6),451-457.
- Tariq, M., Sarfraz, N., & Gilani, H. (2018). Comparative Efficacy of Isometric Exercises and Active Range Of Motion Exercises in Mechanical Neck Pain of Female Sewing Machine Operators. *Isra Medical Journal*, s. 10(5),301-306.
- Tompa, E., Dolinschi, R., & Natale, J. (2013). Economic evaluation of a participatory ergonomics intervention in a textile plant. *Applied Ergonomics*, 44(3),480-487.
- Wang, P.-C., Harrison, R., Yu, F., Rempel, D., & Ritz, B. (2010). Follow-Up of Neck and Shoulder Pain Among Sewing Machine Operators: The Los Angeles Garment Study. *American journal of industrial medicine*, s. 53(4),352-360.



Rijit Bodrumlu Binaların TBDY 2018'e Göre Tasarımına Yönelik Bir Değerlendirme

A Discussion on the Design of Buildings with Rigid Basement According to TBSC 2018

Ali Ruzi Özuygur¹, Abdullah Dilsiz²

¹Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üni. Sütluce Mh. Karaağaç Cd. 12/A Beyoğlu, 34445 İstanbul, TÜRKİYE
²Ankara Yıldırım Beyazıt Üni. MDBF İnşaat Müh. Böl., Ayvalı Mh. Keçiören, 06010 Ankara, TÜRKİYE

Başvuru / Received: 07/10/2020

Kabul / Accepted: 12/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon / Final Version: 18/01/2021

Öz

2018'de yayınlanan ve 2019'da yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) rijit bodrumlu binaların tasarımında iki aşamalı yüklemeye dayanan bir yöntemi zorunlu kılmaktadır. Birinci aşama yüklemesinde rijit bodrum kütsüz olarak, üstyapı kendi kütsüyle modellenir. Böylelikle mod birleştirme yöntemiyle deprem analizinde sadece üstyapının kütsü dikkate alınır. Üstyapının tasarımında kullanılacak deprem kuvvetleri, üstyapının yapısal özelliklerine uygun olarak seçilen deprem yükü azaltma katsayılarıyla bu modelden elde edilir. İkinci aşama yüklemesinde üstyapı kütsüz olarak, rijit bodrum kendi kütsüyle modellenir ve böylelikle deprem analizinde sadece rijit bodrumun kütsü dikkate alınır. Rijit bodrumun tasarımında kullanılacak deprem kuvvetleri, kendisinin yapısal özelliklerine uygun olarak seçilen deprem yükü azaltma katsayılarıyla bu ikinci modelden elde edilir. Ayrıca, bu şekilde belirlenen rijit bodrum deprem kuvvetlerine üstyapıdan aktarılan düşey ve yatay kuvvetler de eklenir. Üstyapı ve rijit bodrumun deprem hesabında farklı analiz modellerinin kullanılması ve bodrum katların tasarımında bu kuvvetlerin birleştirilmesi belli ölçüde zaman alıcı, karmaşık ve hataya müsait bir süreçtir. Bu çalışmada sayısal analiz sonuçlarına dayalı olarak, rijit bodrumlu binaların modelleme ve tasarımına yönelik bazı değerlendirmeler ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler

"Rijit Bodrumlu Binalar, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Deprem Yükü Azaltma Katsayısı, Mod Birleştirme Analizi, Yüksek Yapılar"

Abstract

Turkish Building Seismic Code (TBSC), which was published in 2018 and became effective in 2019 prescribes a two-stage loading method for designing of a building with a rigid basement. In the first loading stage, the rigid basement is modeled as a massless structure and only mass of the superstructure is considered in the modal response spectrum analysis. The seismic design forces of the superstructure are computed using this model with the appropriate response modification coefficient and the overstrength factor. In the second loading stage, the superstructure is modeled as a massless system and only mass of the rigid basement is considered in the modal response spectrum analysis. The seismic design forces of the rigid basement are computed using this second model with the appropriate response modification coefficient and the overstrength factor. In addition, the seismic forces computed for the superstructure are superposed with those computed for rigid basement. Due to the use of separate building models for the analyses and superposition need, this process is relatively cumbersome, complex and prone to errors. In this study, based on the structural analysis results, some considerations and recommendations are presented on the modeling and design of buildings with a rigid basement.

Key Words

"Rigid Basement, Turkish Building Seismic Code 2018, Seismic Force Reduction Factor, Mode Superposition Analysis, Tall Buildings"

1. Giriş

2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) deprem mühendisliğinde meydana gelen gelişmelere paralel olarak Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) (2007)'ye kıyasla kapsamlı yenilikler getirmiştir. Mevcut pek çok bölümde yapılan değişikliklere ilave olarak daha önce yönetmelikte yer almayan konular da yeni bölümler halinde TBDY (2018)'e dâhil edilmiştir. Bu çalışmanın konusu olan rijit bodrumlu binalara dair tasarım kuralları ve kesin sayısal parametrelere dayalı rijit bodrum kat tanımlaması da bu yenilikler içerisinde yer almaktadır.

Bodrum katların çevresinde toprağın tutulması amacıyla rijit perdelerin düzenlenmesi uygulamada oldukça sık başvurulan bir yöntemdir. Bu perdeler bodrum katların dinamik davranışını görece esnek olan üstyapının dinamik davranışından farklı kılar. Deprem yönetmeliklerinde sünekliliğe dayalı olarak tanımlanan deprem yükü azaltma katsayıları doğal olarak üstyapı ve görece rijit olan bodrumlar için farklı verilmektedir. Üstyapı ve bodrum katlar aynı binanın öğeleri olduğu için birbirlerine bağlıdır ve yapısal açıdan ve dinamik olarak etkileşim içindedir.

Rijit bodrumlu binaların modellenmesi, analizi ve tasarımı hakkında farklı araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmıştır. Öztürk (2006) Türkiye'de inşa edilmiş örnek binalar üzerinde doğrusal olmayan zaman geçmişi analizleri yaparak binaların dinamik davranışlarını incelemiştir. Yapılan çalışmada taban kesme kuvveti katsayısı ve seçilen deprem yer hareketi kayıtlarının hız artımları temel parametreler olarak seçilmiştir. Naeim ve diğ. (2008) bodrumlu yüksek binalarda yapı-zemin etkileşimi açısından bodrum ve temellerin modellenme yaklaşımları üzerine bir araştırma yapmıştır. Yapılan çalışmada yüksek binalar söz konusu olduğunda, bodrum katlar ve temellerin farklı yaklaşımlarla modellenmesinin üstyapı doğal titreşim periyoduna olan etkisinin minimum düzeyde olduğu, ancak kat kesme kuvveti ve görece kat ötelenme oranlarında farklılıklar gözlemlendiği sunulmuştur.

Zhou ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada büyük bodrum katlara sahip betonarme yüksek binaların deprem davranışları sarsma tablası ile yapılan deneyler ve sayısal analizlerle araştırılmıştır. Araştırmaya konu olan yapılar ortak bodruma sahip birden fazla bina şeklinde seçilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda binaların deprem davranışı zarflarının elde edilmesi için, yapıları ayrı olarak ve ortak bodrum katlarıyla birlikte modelleyerek analiz edilmesi önerilmiştir. Tura ve Orakçal (2019) tarafından yapılan çalışmada ortak bodrum katlara sahip iki yüksek yapı, karşılıklı etkileşim etkileri dikkate alınarak incelenmiştir. Üst ve alt sınır değerlerinin görülebilmesi için binalar sabit mesnetli olarak tek başlarına ve ortak bodrum katlarla birlikte doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizlere tabi tutularak karşılıklı etkileşim etkileri elde edilmiştir. Jeong ve diğ. (2020) tarafından yapılan çalışmada 49 katlı bir yüksek binanın, komşu binalarla ortak olan derin bodrum katlarının modellenme yöntemleri araştırılmıştır. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizleri sonuçlarına dayalı olarak, muhafazakâr bir tasarım için ortak bodrum katlarının komşu yapılarla birlikte modellenmesi önerilmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) rijit bodrumlu binaların tasarımında iki aşamalı yüklemeye dayalı doğrusal bir yöntemi zorunlu kılmaktadır. Birinci aşama yüklemesinde rijit bodrum kütsesiz, üstyapı kendi kütsesiyle modellenir; böylelikle deprem analizinde sadece üstyapının kütsesi dikkate alınır. Üstyapının tasarımında kullanılacak deprem kuvvetleri, üstyapının yapısal özelliklerine uygun olarak seçilen deprem yükü azaltma katsayılarıyla bu modelden elde edilir. İkinci aşama yüklemesinde üstyapı kütsesiz, rijit bodrum kendi kütsesiyle modellenir; böylelikle deprem analizinde sadece rijit bodrumun kütsesi dikkate alınır. Rijit bodrumun tasarımında kullanılacak deprem kuvvetleri, kendisinin yapısal özelliklerine uygun olarak seçilen deprem yükü azaltma katsayılarıyla bu modelden elde edilir. Ayrıca, bu şekilde belirlenen rijit bodrum deprem kuvvetlerine üstyapıdan aktarılan düşey ve yatay kuvvetler de eklenir. Günümüzde kullanılan bilgisayar yazılımlarında aynı model üzerinde aynı anda kütseleri değiştirerek analiz yapmak imkânı bulunmamaktadır. Kütle özellikleri farklı olan binalar farklı modeller üzerinde analiz edilmelidir. Üstyapı ve rijit bodrumun deprem hesabında farklı analiz modellerinin kullanılması ve bodrum katların tasarımında bu kuvvetlerin birleştirilmesi belli ölçüde zaman alıcı bir süreçtir. Bu çalışmada rijit bodrumlu binaların modelleme ve tasarımına yönelik bazı değerlendirmeler ve öneriler, kat sayısı 10'dan 50 kata kadar değişen 5 farklı bina üzerinde sunulmuştur. Her binanın analizi TBDY 2018'de öngörüldüğü üzere, doğrusal sayısal analiz yöntemlerinden biri olan "Mod Birleştirme Analiz Yöntemi" kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ilgili sonuçlar sunulmuştur.

2. TBDY 2018'e Göre Rijit Bodrumlu Binaların Tasarım Kuralları

Aşağıda verilen iki şartı sağlayan binalar rijit bodrumlu bina olarak tanımlanır (TBDY 2018):

- Rijit bodrum perdelerinin binayı her taraftan veya en az üç taraftan çevrelemesi,
- Birbirine dik bina eksenlerinin her birinin doğrultusundaki hâkim titreşim modunda, bodrum katlar dahil binanın tümü için hesaplanan doğal titreşim periyodunun, aynı taşıyıcı sistemde zemin kat döşemesi dahil tüm bodrum kütseleri hesaba katılmaksızın aynı doğrultuda hesaplanan doğal titreşim periyoduna oranının 1.1'den küçük olması ($T_{p,tüm} \leq 1.1 T_{p,üst}$).

Deprem yükü azaltma katsayısı aşağıda Denk.1 ve Denk.2 ile verilen formüllerden hesaplanır:

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (1)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (2)$$

Burada R taşıyıcı sistem davranış katsayısı, D dayanım fazlalığı katsayısı, I bina önem katsayısı, T sistemin doğal titreşim periyodu ve T_B spektrum köşe periyodudur.

Rijit bodrumlu binaların deprem hesabı mod birleştirme yöntemi yardımıyla yapılabilir. Bu yöntemde aşağıda kısaca açıklanan iki yükleme durumu hesap yaklaşımı esas alınır. Bu yaklaşımda binanın üst bölümü ve bodrumlu alt bölümü bir arada tek bir taşıyıcı sistem olarak modellenir; ancak üst bölüm ile alt bölümün birbirlerine çok uzak modlarda titreşmeleri nedeni ile deprem hesabı iki yükleme durumu olarak aşağıda açıklandığı gibi ayrı yapılır:

a. İlk yükleme durumunda, ortak tek taşıyıcı sistem modelinde sadece üst bölümün kütleleri göz önüne alınarak modal hesap yapılır. Bu durumda yeterli titreşim modu sayısı, sadece üst bölümün toplam kütlesi esas alınarak hesaplanan etkin kütle katılım oranlarına göre belirlenir. Hesapta üst bölüm için uygun olan $R_{üst}$ ve $D_{üst}$ katsayılarına göre Denklem (1) ve (2)'den hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı $(R_a)_{m,üst}$ kullanılacaktır. Birinci yükleme durumunda hem üst bölümde hem de alt bölümde azaltılmış iç kuvvetler elde edilir.

Üst bölümün tasarımı burada açıklanan ilk yükleme durumundan elde edilen deprem kuvvetlerine göre yapılır. Deprem kuvvetlerinde minimum taban kesme kuvveti kriterine göre büyütme yapılır. Sünek olmayan davranışa karşı gelen tasarım konularında dayanım fazlalığı katsayısı $D_{üst}$ dikkate alınır.

b. İkinci yükleme durumunda, ortak tek taşıyıcı sistem modelinde sadece alt bölümün kütleleri göz önüne alınarak analiz yapılır. Bu durumda yeterli titreşim modu sayısı, sadece alt bölümün toplam kütlesi esas alınarak hesaplanan etkin kütle katılım oranlarına göre belirlenir. Hesapta alt bölüm (bodrum) için $(R_{alt}/I) = 2.5$ ve $D_{alt} = 1.5$ alınarak Denklem (1) ve (2)'den hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı $(R_a)_{n,alt}$ kullanılacaktır.

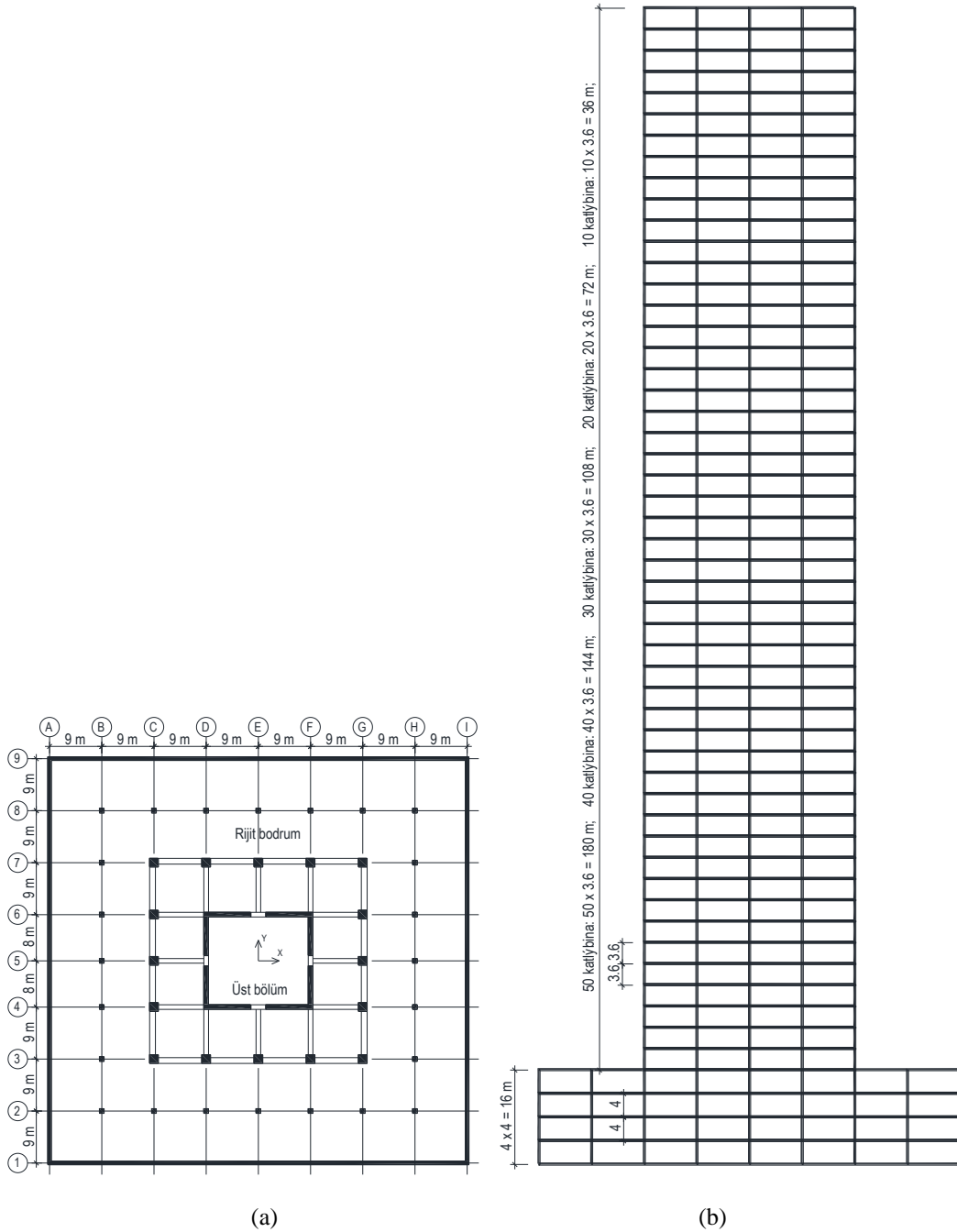
Bodrum katların tasarımı ikinci yükleme durumunda elde edilen deprem kuvvetleriyle birinci yükleme durumunda elde edilen bodrum kat deprem yüklerinin toplamına göre gerçekleştirilir. Bodrum kattaki sünek davranışa göre yapılan tasarım konularında üst bölümden aktarılan kuvvete $D_{üst}$ katsayısı dahil edilmez. Ancak sünek olmayan davranışa göre yapılan tasarım konularında ikinci yükleme durumundan elde edilen kuvvetlere D_{alt} katsayısı, üst bölümden aktarılan kuvvete $0.6D_{üst}$ katsayısı dahil edilir.

3. Sayısal Analizlerde Kullanılan Örnek Binalar

Kat sayıları 10 ila 50 arasında değişen 5 farklı konut binası sayısal analize tabi tutulmuştur. Tüm binalar Şekil 1'de gösterildiği şekilde, aynı taşıyıcı sistem planında ve 4 m kat yüksekliğinde olan 4 rijit bodrum kata sahiptir. Bodrum katın taşıyıcı sistemi 0.4 m kalınlığında bodrum çevre perdesi, 0.8 m x 0.8 m boyutunda kolonlar ve 0.35 m kalınlığında döşemeden oluşmaktadır. Binanın üst bölümünde tüm kirişlerin boyutu 0.8 m x 0.6 m, döşeme kalınlığı 0.21 m ve kat yüksekliği 3.6 m'dir. Kat planının ortasında yer alan çekirdek perde kalınlığı, çevresinde yer alan kolon boyutları bina kat sayısına bağlı olarak değişmektedir. 50 katlı binada temel seviyesindeki çekirdek perde kalınlığı 0.8 m ve kolon boyutu 1.6 m x 1.6 m'dir. Binaların çekirdek perde kalınlığı ve kolon boyutları Tablo 1'de özetlendiği gibi üst katlara çıkıldıkça azalmaktadır. Tüm taşıyıcı eleman boyutları ön boyutlandırma hesapları yapılarak, TBDY (2018) ve TS 500 (2000) şartlarını sağlayacak şekilde seçilmiştir.

Tablo 1. Üst bölümün çekirdek perde kalınlıkları ve kolon boyutları

	50 katlı bina	40 katlı bina	30 katlı bina	20 katlı bina	10 katlı bina
Üst bölümün kat sayısı	50	40	30	20	10
Çekirdek perde kalınlığı (m)	0.4				
	0.5	0.4			
	0.6	0.5	0.4		
	0.7	0.6	0.5	0.4	
	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
Kolon boyutları (m)	0.8 x 0.8				
	1.0 x 1.0	0.8 x 0.8			
	1.2 x 1.2	1.0 x 1.0	0.8 x 0.8		
	1.4 x 1.4	1.2 x 1.2	1.0 x 1.0	0.8 x 0.8	
	1.6 x 1.6	1.4 x 1.4	1.2 x 1.2	1.0 x 1.0	0.8 x 0.8

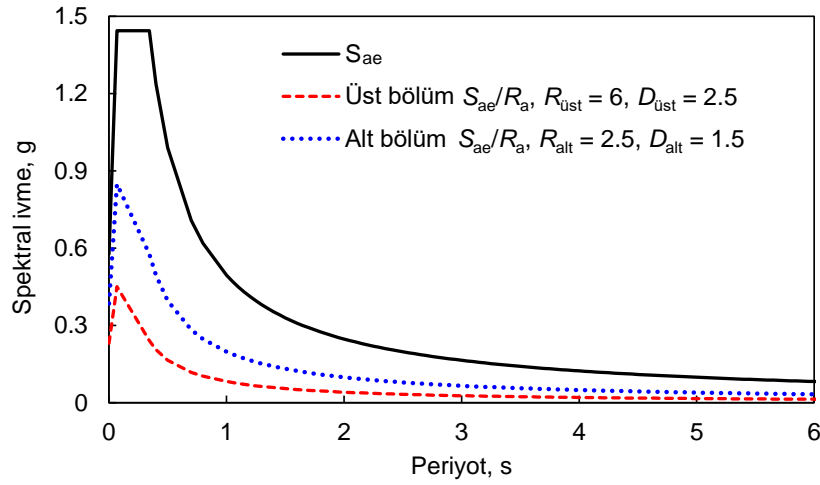


Şekil 1. (a) Bodrum ve üst katların taşıyıcı sistem planı; (b) Kesit

Seçilen beton sınıfı C50 ve donatı sınıfı B420c'dir. Döşeme üzerine gelecek mimari kaplama ve bölme duvar ağırlığı 3.5 kPa kabul edilmiştir. Konut alanlarındaki hareketli yük 2 kPa ve umuma açık alanlar ile otoparklardaki hareketli yük 5 kPa'dır. Üst bölüm çevre kirişleri üzerine 3.5 kN/m değerinde cephe yükü etkiyeceği kabul edilmiştir. Zemin kotunda bulunan açık alanlarda 10 kPa değerinde peyzaj yükü alınmıştır.

4. Deprem İvmesi ve Tasarım İvme Spektrumu

Sayısal analizler DD2 depremi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Depremselliği görece yüksek bir konumdan kısa periyot ve 1 saniye periyot ivmeleri $S_{DS} = 1.444 g$ ve $S_{DI} = 0.495 g$ şeklinde elde edilmiştir. Bölgenin zemin sınıfı C olarak kabul edilmiştir. Bu parametrelerle elde edilen elastik tasarım ivme spektrumu Şekil 2'de düz siyah çizgi ile gösterilmiştir. Tasarım ivme spektrumunun köşe periyotları TBDY 2018'de verilen ilgili ifadelerden $T_A = 0.069 s$ ve $T_B = 0.343 s$ olarak hesaplanır. Bina önem katsayısı tüm binalar için $I = 1.0$ 'dir.



Şekil 2. Elastik tasarım ivme spektrumu ve azaltılmış tasarım ivme spektrumları

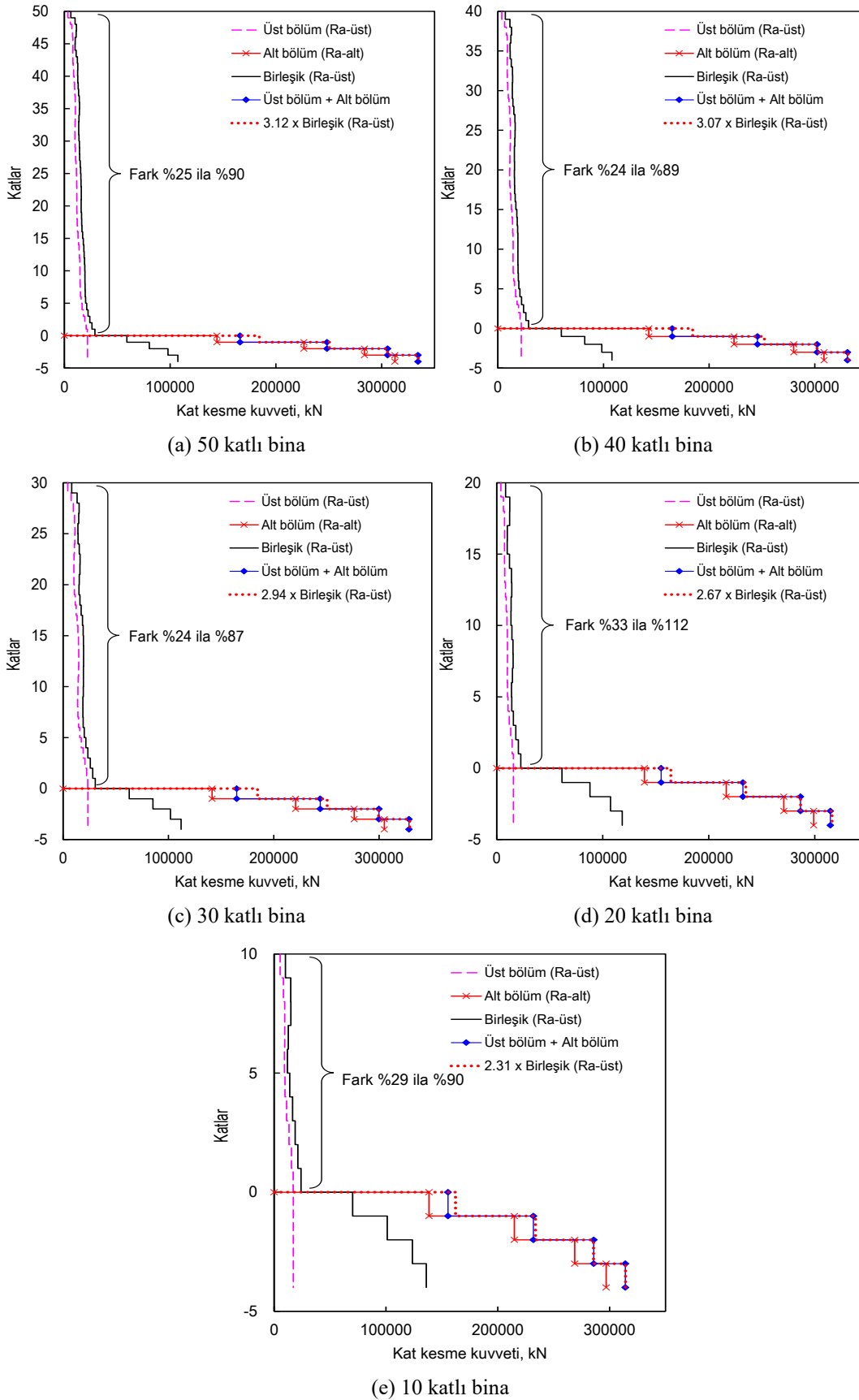
Binanın üst ve alt bölümleri için TBDY 2018'e göre elde edilen azaltılmış tasarım ivme spektrumları da Şekil 2'de karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Üst bölüm için $R_{üst} = 6$ ve $D_{üst} = 2.5$ alınması uygundur. Buna göre Denklem (1)'den $R_a = 6$; Denklem (2)'den $R_a = 3.2$ elde edilir. Bu deprem yükü azaltma katsayıları kullanılarak binanın üst bölümü için elde edilen azaltılmış tasarım ivme spektrumu Şekil 2'de kırmızı kesik çizgiler ile gösterilmiştir. Benzer şekilde, binanın alt bölümü için ise $R_{alt} = 2.5$ ve $D_{alt} = 1.5$ alınır. Buna göre Denklem (1)'den $R_a = 2.5$; Denklem (2)'den de $R_a = 1.7$ elde edilir. Bu deprem yükü azaltma katsayıları kullanılarak elde edilen azaltılmış tasarım ivme spektrumu Şekil 2'de mavi noktalı çizgiler ile gösterilmiştir.

5. Sayısal Analiz ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Sayısal analizler "Mod Birleştirme Analiz Yöntemi" kullanılarak ETABS (2016) programı ile gerçekleştirilmiştir. Öncelikle yukarıda özetlenen rijit bodrumlu binaların analiz aşamalarına göre birinci durum deprem yüklemesi yapılmıştır. Bu durumda binanın üst bölümü kütleli, alt bölümü kütleli olarak Şekil 2'de üst bölüm için elde edilen azaltılmış tasarım ivme spektrumu yardımıyla modal analiz yapılmıştır. Daha sonra ikinci durum deprem yüklemesi yapılmıştır. Bu durumda ise binanın üst bölümü kütleli, alt bölümü kütleli olarak Şekil 2'de alt bölüm için elde edilen azaltılmış tasarım ivme spektrumu yardımıyla modal analiz yapılmıştır. Bu iki analizden elde edilen kat kesme kuvvetleri Şekil 3'te tüm binalar için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Alt bölümün tasarımı için birinci aşamada üst bölümde elde edilen deprem kuvvetleriyle birlikte düşey kuvvetlerin de eleman bazında alt bölüme aktarılması gerekir. Uygulamada çok sayıda yük kombinasyonu söz konusu olacağı için bir modelden diğer modele eleman bazında yük aktarmak zaman alıcı bir işlemdir. Ayrıca bu aşamanın karmaşık olması nedeniyle hataya mahal verilmesi de olasıdır. Aşağıda bu zorlukları aşmak ve olası hataların önüne geçmek için üst ve alt bölümün kendi kütleleriyle analize dahil edileceği birleşik modele dayalı bir yöntem önerilecek ve sonuçları Şekil 3'deki iki aşamalı analiz sonuçları ile karşılaştırmalı olarak sunulacaktır. Yönetmeliğin öngördüğü ve yukarıda açıklanan iki aşamalı dinamik yüklemeye ek olarak, üçüncü aşamada binanın üst ve alt bölümü kendi kütleleriyle üst bölüm için elde edilen azaltılmış ivme spektrumuna göre modal analize tabi tutulur. Birinci ve ikinci aşama yüklemesiyle üst bölüm ve alt bölüm için elde edilen tasarım kat kesme kuvvetlerinin, üçüncü aşama analizinden elde edilen kat kesme kuvvetlerine oranı elde edilir. Bu oran her katta farklı olabilir; ancak basitlik için alt bölümde elde edilen oranların maksimumu alt bölüm için, üst bölümde elde edilen oranların maksimumu üst bölüm için kullanılabilir. Üçüncü aşama analizinden elde edilen deprem kuvvetleri veya kat kesme kuvvetleri, yukarıda açıklanan kat kesme kuvveti oranlarıyla büyütülerek veya azaltılarak üst bölüm ve alt bölüm için farklı yük kombinasyonları tanımlanabilir. Bu şekilde birleşik model üzerinden farklı yük kombinasyonlarıyla üst bölüm ve alt bölümün tasarımı mümkün olacaktır.

Birleşik model üzerindeki yük kombinasyonları sünek ve sünek olmayan davranışa göre yapılacak tasarım konuları için ayrı ayrı oluşturulmalıdır. Bu çalışmada sayısal analize tabi tutulan binalar için kullanılacak kombinasyon büyütme katsayıları Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3a'da verilen 50 katlı binanın kat kesme kuvvetleri grafiğinde, birinci aşama analizinden elde edilen üst bölüm taban kesme kuvveti, ikinci aşama analizinden elde edilen bodrum kat kesme kuvvetleriyle toplanarak "Üst bölüm + Alt bölüm" lejantıyla gösterilmiştir. Bu toplam alt bölüm kat kesme kuvvetlerinin, üçüncü aşama analizinden elde edilen alt bölüm kat kesme kuvvetlerine oranı 2.31 ila 3.12 arasında elde edilmiştir. Şekil 3a'da üçüncü aşama analizinden elde edilen alt bölüm kat kesme kuvvetleri 3.12 katsayısıyla büyütülerek noktalı kırmızı çizgiyle gösterilmiştir. Burada not edilmelidir ki, Şekil 3'de alt yapı için elde edilen oranlar ile bu kısmın tasarımına yönelik olarak önerilen yöntemin sonuçları verilmektedir. Bu şekilde üst bölüm ve alt bölümün kütlelerinin dikkate alındığı birleşik model üzerinde TBDY 2018'in gerekli kıldığı deprem kuvveti şartları yerine getirilmiştir.



Şekil 3. Rijit bodrumlu binaların kat kesme kuvvetleri

Şekil 3a'da verilen 50 katlı binanın üst bölüm kat kesme kuvvetleri incelendiğinde ise, birleşik modelden elde edilen kat kesme kuvvetlerinin birinci aşama üst bölüm analizinden elde edilen kat kesme kuvvetlerinden %25 ila %90 oranında büyük olduğu görülür.

Birleşik modelden elde edilen kat kesme kuvvetleri %25 oranında azaltılarak tasarımda kullanılabilir. Ancak, üst ve alt yapıların dinamik yüklemeler altında bir bütün olarak davranacağı da göz önüne alınarak, birleşik modelden elde edilen kat kesme kuvvetlerinin tasarımda azaltılmadan kullanılması güvenli tarafta kalınması açısından daha uygun ve yerinde olacaktır. Ayrıca, bu çalışmada önerilen birleşik model yöntemi kullanılmasa dahi, tüm binanın gerçek kütleleriyle modellenerek özellikle üst bölüm davranışının incelenmesi gerektiği görülmektedir. Zira burada sayısal analize tabi tutulan binalarda görüldüğü üzere, taşıyıcı sistemi düzenli sayılabilecek binalarda birleşik modelden elde edilen kat kesme kuvvetleri birinci aşama üst bölüm analizinden elde edilen kat kesme kuvvetlerinden büyük elde edilmiştir. Ancak farklı binalarda bunun aksi gerçekleşirse TBDY 2018 şartlarını yerine getirmek için, birleşik model kat kesme kuvvetlerinin büyütülmesi gerektiği açıktır.

Yukarıda verilen değerlendirmeler kat kesme kuvvetleri Şekil 3b – e’de verilen diğer binalar için de geçerlidir. Öz bir anlatım gözetilerek ayrıca detaya girilmemiştir. Görüldüğü gibi alt bölümde birleşik model kat kesme kuvvetine uygulanacak büyütme katsayıları bina kat sayısı azaldıkça küçülmektedir. Üst bölüm kat kesme kuvvetlerindeki fark değerlerinde ise bina kat sayısına bağlı olarak düzenli ve dikkate değer bir değişim gözlenmemiştir.

6. Sonuç ve Öneriler

Rijit bodrumlu binaların analiz ve tasarımı, bu çalışmada önerilen üst ve alt bölümün gerçek kütleleriyle dikkate alındığı birleşik model üzerinden TBDY 2018 şartları yerine getirilerek etkili bir şekilde yapılabilir. Bu çalışmada önerilen yöntemle göre TBDY 2018’de verilen iki aşamalı yükleme durumuna ek olarak, üçüncü aşamada binanın üst ve alt bölümü kendi kütleleriyle üst bölüm için elde edilen azaltılmış ivme spektrumuna göre modal analize tabi tutulmaktadır. İlave bir analiz yapılmakla birlikte, önerilen yöntem ile farklı aşamaların analiz sonuçlarının birleştirilmesi aşamasındaki karmaşa ve olası hatalar bertaraf edilmektedir. Birinci ve ikinci aşama yüklemesiyle üst bölüm ve alt bölüm için elde edilen tasarım kat kesme kuvvetlerinin, üçüncü aşama analizinden elde edilen kat kesme kuvvetlerine oranı elde edilmektedir. Üçüncü aşama analizinden elde edilen kat kesme kuvvetleri, yukarıda açıklanan kat kesme kuvveti oranlarıyla büyütülerek veya azaltılarak üst bölüm ve alt bölüm için farklı yük kombinasyonları tanımlanabilir. Bu şekilde birleşik model üzerinden farklı yük kombinasyonlarıyla üst bölüm ve alt bölümün tasarımı mümkün olacaktır. Bu çalışmada gerçekleştirilen sayısal analizlerden alt bölümde birleşik model kat kesme kuvvetine uygulanacak büyütme katsayıları 50, 40, 30, 20 ve 10 katlı binalar için sırasıyla 3.12, 3.07, 2.94, 2.67 ve 2.31 olarak elde edilmiştir. Bu katsayılar farklı binalarda farklı şekilde elde edilebilir.

Bu çalışmada Mod Birleştirme Yöntemi ile analize tabi tutulan binalarda birleşik modelden elde edilen üst bölüm kat kesme kuvvetlerinin, birinci aşama üst bölüm analizinden elde edilen kat kesme kuvvetlerinden büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuca dayalı olarak güvenli tarafta kalmak amacıyla, birleşik modelden elde edilen kat kesme kuvvetlerinin tasarımda azaltılmadan kullanılması önerilir. Çünkü tasarımda alt ve üst kısımların ayrı modellenip analiz edilmesi yönetmelikçe benimsenmiş olsa da yapı dinamik yüklemeler altında bir bütün olarak davranacaktır. Ayrıca, bu çalışmada önerilen birleşik model yöntemi kullanılmasa dahi, tüm binanın gerçek kütleleriyle modellenerek üst bölüm davranışının incelenmesi önerilir. Zira incelenen binaların analiz sonuçlarından da görüldüğü üzere tasarımda esas alınacak olan kat kesme kuvvetlerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

Referanslar

- CSI ETABS (2016). Extended 3D analysis of building systems, Nonlinear V. 16. Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA.
- DBYBHY – Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı, Ankara.
- Jeong, S. Y., Kang, T. H. K., Yoon, J. K., Klemencic, R. (2020). Seismic performance evaluation of a tall building: Practical modeling of surrounding basement structures, *Journal of Building Engineering*, Volume 31, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101420>.
- Naeim, F., Tileylioglu, S., Alimoradi, A., Stewart, J. P. (2008). Impact of foundation modeling on the accuracy of response history analysis of a tall building, *SMIP08 Seminar Proceedings*, California.
- Öztürk, B. (2006). Dynamic Analysis and The Resulting Nonlinear Response of Building Structures Located in Seismically Active Regions in Turkey, Paper No. 078, 4th International Conference on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan.
- TBDY – Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı, Ankara.
- TS 500 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tura, C., Orakcal, K. (2019). Earthquake response analysis of multiple towers on a common podium: a representative case study, *Tek. Dergi* 30 (6) (2019) 9647–9673.
- Zhou, Y., Chen, P., Wang, C., Zhang, L., Lu, L. (2018). Seismic performance evaluation of tall, multitower reinforced concrete buildings with large bottom podiums, *Struct. Concr.* 19 (6) (2018) 1591–1607.



Siyanür ile Cevherden Altın Üretiminin Çevresel Etkileri

Environmental Effects of Cyanide Gold Production From Ore

Feray Koçan

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Şehit Prof. Dr. İlhan Varank, Yunusemre, 45140, Manisa TÜRKİYE

Başyuru/Received: 15/10/2020

Kabul / Accepted: 08/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Bu makalede, cevherden altın üretiminde son yıllarda yaygın olarak kullanılan siyanür liç prosesi ve bu proses atıklarının çevresel etkileri ile siyanür atıklarının arıtılmasında uygulanan INCO SO₂/Hava prosesi incelenmiştir. Altın cevheri oda sıcaklığındaki asit ve baz çözeltilerinde çözünmemesine rağmen oda sıcaklığındaki sulu siyanür çözeltisinde çok yüksek verim ile çözünmektedir. Ancak, sulu siyanür çözeltisi çevreye çok zararlıdır. Bu nedenle, hem siyanür liç çözeltisi ve hem de siyanür liç proses atıkları çevreye direkt verilmemelidir. Siyanür çözeltisi ve siyanür proses atıkları için bir arıtma tesisi kurulmalıdır. Günümüzde siyanür atıklarının arıtılması için tercih edilen en yaygın yöntem kimyasal INCO SO₂/Hava prosesidir. Çünkü, INCO Prosesi kullanılarak, atıklardaki toplam siyanür derişimi 1 ppm'in altına düşürülürken, toksik siyanürler amonyum ve karbonat gibi zararsız formlara dönüştürülmektedir.

Anahtar Kelimeler

“Altın, Cevherden altın üretimi, Siyanürizasyon, Siyanürün çevresel etkileri, Toplam siyanür derişimi, INCO SO₂/Hava prosesi”

Abstract

In this article, the cyanide leaching process, which has been widely used in the production of gold from ore in recent years, and the environmental effects of these process wastes and the INCO SO₂/air process used in the treatment of cyanide wastes are examined. Although gold ore is not dissolved in acid and base solutions at room temperature, it is dissolved with very high efficiency of gold ore in aqueous cyanide solution at room temperature. However, the aqueous cyanide solution is very harmful to the environment. Therefore, both cyanide leaching solution and cyanide leaching process waste should not be released directly to the environment. A treatment plant should be established for cyanide solution and cyanide process waste. In this treatment plant, the total cyanide concentration can be reduced to a maximum of 1 ppm. Today, the most common method of treatment for cyanide wastes is the chemical INCO SO₂/Air process. Using the INCO Process, the total cyanide concentration in waste is reduced to less than 1 ppm, while toxic cyanides are converted into harmless forms such as ammonium and carbonate.

Key Words

“Gold, gold production from ore, cyanidation, environmental impacts of cyanidation, total cyanide concentration, INCO SO₂/Air proces”

1. Giriş

Altın (Au) periyodik tabloda 1B grubunda bulunan bir geçiş metalidir. Oksidasyon dereceleri arasında en önemli olanları +1 ve +3'tür. Ancak kolayca elemental hale (Au⁰) indirgenebilir. Bir soy metal olan altın sahip olduğu özelliklerden dolayı fiziksel ve kimyasal açıdan çok kararlı olup, havadan ve sudan etkilenmez ve herhangi bir durumda paslanmaz, kararmaz ve donuklaşmaz.

Altın metaller arasında en yüksek oksidasyon potansiyeline ve en yüksek elektron ilgisine sahip olan metaldir (Özsoy, 2015). Altın saf haldeyken yumuşak olup, tel veya levha haline getirilebilir. Altın başlıca mücevherat alanında olmak üzere tıp ve elektronik endüstrisinde yoğun olarak kullanılmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS, 2020) tahminlerine göre Dünya toplam işletilebilir altın rezervi 54000 tondur. Rezervin yarısından çoğu Avustralya, G. Afrika, Rusya, ABD, Peru ve Endonezya ülkeleri arasında paylaşılmaktadır. Dünya'daki tüm cevher rezervlerini düşünürsek, keşfedilen altın rezervleri, keşfedilmeyenlerin yanında oldukça az kalmaktadır. Türkiye'nin işletilebilir altın rezervi metal bazında toplam 1000 tondur.

Jeolojik yapısı ve dünyadaki altın oluşum modellerine dayanılarak yapılan hesaplama göre Türkiye altın potansiyelinin 6000-7000 ton olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'de yılda 38 ton altın üretilmesine rağmen yıllık altın talebinin karşılanabilmesi için 250-300 ton arası altın ithal edilmektedir. Halen ülkemizde, İzmir-Bergama-Ovacık, Balıkesir-Havran, Gümüşhane-Mastra, Manisa-Salihli-Sart, Erzincan-İliç, Eskişehir-Sivrihisar, Kayseri-Kocasinan ve Uşak-Eşme-Kışladağ'daki altın işletmelerinde altın üretimi yapılmaktadır (Enerji Bakanlığı, 2020).

Kükürt dioksit/hava ile siyanür bozundurma prosesi konusunda INCO Ltd şirketi 1984 yılında patent almış ve bu proses halen INCO Ltd şirketi tarafından pazarlanmaktadır. INCO prosesi, kontrollü bir pH'ta ve suda çözünebilir bir bakır katalizörü varlığında ve SO₂ ile hava karışımı kullanılarak zayıf asitte çözünebilir (weak acid dissociation, WAD) siyanür bileşiklerinin siyanata dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır (Mudder v.d. 2001).

2. Altın cevherleri

2.1. Plaser Altın Cevheri

Tane boyutu 5 mm – 100 µm arasında olan plaser altın cevherlerinin yapısını oluşturan ana mineral kuvarstır. Kuvars içinde bulunan altın serbestleşmiş (altın taneleri ile gang mineral taneleri birbirine bağlı değildir) ve iri taneli olarak bulunur. Bu nedenle, cevherdeki altının serbestleşme derecesi yüksek ve serbest altın cevherleri fiziksel cevher hazırlama yöntemleri ile zenginleştirilebilir. Buna ek olarak, önışlem gerektirmeden siyanür liçi uygulanabilir (Mitchell v.d., 1997; Gupta and Mukherjee, 1990).

Plaser altın cevherine uygulanan en yaygın fiziksel zenginleştirme işlemi gravite ile ayırmadır. Gravite ile ayırma sayesinde sallantılı masa, multi gravite seperatör, knelson ve falcon gibi cihazlar kullanılarak saf altın metali elde edilebilir. Ancak cevher tane boyutu ve tane boyut dağılımı söz konusu cihazların kullanılmasını belirleyen iki önemli faktördür.

Gravite ile ayırmada cevher tane boyutu dağılımı aralığı dar olmalıdır. Bu nedenle, birbirine yakın elek boyutları seçilir ve cevher bu eleklerde elenerek dar tane boyut dağılımı elde edilebilir.

Sonuç olarak, çok sayıda elek fraksiyonları oluşacaktır. Her bir elek fraksiyonu ayrı bir sallantılı masaya beslenerek dar tane boyutuna göre ayırma sağlanabilir. Böylece, altın ayırma verimi artacaktır.

Örneğin 2000, 1000, 500, 250 ve 100 µm eleklerde altın cevheri elenmiştir. Elek fraksiyonları +1000 – 2000, +500 – 1000, +250 – 500 ve +100 – 250 µm olmak üzere dört farklı fraksiyon dört farklı sallantılı masaya beslenerek altın zenginleştirme verimi yükseltilebilir. Sallantılı masa ile zenginleştirilen plaser altın cevherine siyanür liçi kolaylıkla uygulanmaktadır.

2.2. Free-Milling (Öğütme ile Serbestleşen) Altın Cevheri

Bileşimindeki ana minerali kuvars olan free-milling (öğütme ile serbestleşen) cevherindeki altın taneleri, kuvars içinde kilitli halde olup, bu taneler yaklaşık 40 µm boyutunda olabilir (Mitchell v.d., 1997; Gupta ve Mukherjee, 1990).

Geçirdiği kırma ve öğütme işlemleri sonucunda söz konusu tane boyutu 38 µm'ye düşer. 38 µm'ye öğütülmüş free-milling cevherinden, oda sıcaklığında atmosferik tank siyanür liçi ile çok yüksek verimle altın kazanılmaktadır.

Türkiye'de İzmir-Bergama-Ovacık'taki altın cevheri free-milling altın cevherine örnek verilebilir.

2.3. Kompleks Altın Cevheri

2.3.1. Siyanür harcayan altın cevherleri

Altın cevheri içerisinde bulunan bazı metaller siyanür çözeltilisinde çözünmektedir. Siyanür çözeltilisinde çözünen bu metaller, çözeltideki siyanürün bir kısmını harcadığı için altın çözünme hızını azaltmaktadır.

Siyanürizasyon sırasında siyanür tüketimini arttıran mineraller arasında sfalerit (ZnS), kalkozin (Cu₂S), kuprit (Cu₂O), malakit (Cu₂(CO₃)(OH)₂), azurit (Cu₃(CO₃)₂(OH)₂), pirotit (Fe_{1-x}S) yer almaktadır (Marsden ve House, 2006).

2.3.2. Oksijen harcayan altın cevherleri

Altın cevherinin siyanür liç verimini yükseltmek için siyanür çözeltilisine oksijen verilmektedir. Çözeltide bulunan bazı mineraller bu oksijeni harcar. Böylece çözeltide bulunan altın tanesinin çözünmesinden önce bu mineraller çözünerek oksijenin azalmasına yol açarlar. Bu nedenle, altın kazanma verimi düşük olmaktadır.

Oksijen harcayan mineraller arsenopirit (FeAsS), realgar (As₂S₂), orpiment (As₂S₃), stibnit (Sb₂S₃) gibi minerallerdir (Marsden ve House, 2006).

2.3.3. Altın harcayan altın cevherleri

Siyanür liç çözeltilisinde, altın iyonlarını adsorbe eden bazı malzemeler altın cevheri içerisinde bulunabilmektedir.

Altın tüketen altın cevherlerinde çözülmüş altın, altın-siyanür anyonu (Au(CN)₂⁻) halinde karbon katı yüzeyinde adsorbe edildiği için liç işleminden sonra yapılan katı-sıvı ayırımı sonucunda katı faza geçen altın nedeni ile altın kayıpları görülmektedir.

Söz konusu cevherler ikiye ayrılır (Marsden ve House, 2006).

- Orta düzeyde karbon içeren cevherler: Toplam karbon miktarı %1 değerinin altında olan cevherlerdir. Cevherdeki karbon kaynakları organik veya grafitik olabilir.
- Yüksek düzeyde karbon içeren cevherler: Toplam karbon miktarı %1 değerinin üzerinde olan cevherlerdir. Bu cevherde bulunan karbon kaynakları siyanür çözeltilisindeki çözülmüş altını çok güçlü bir şekilde absorbe ettiği için, cevherden siyanür liçi ile altın kazanma verimi % 80 değerinin altındadır (Marsden ve House, 2006).

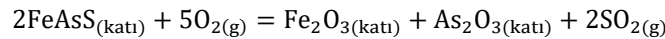
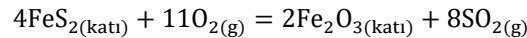
2.4. Refrakter Altın Cevheri

Pirit (FeS₂) ve arsenopirit (FeAsS) gibi demir sülfür mineralleri içerisinde bulunan altın cevherlerine refrakter altın cevheri adı verilmektedir.

Bu cevherlerin oda sıcaklığında sulu siyanür çözeltilisindeki çözünürlüğü (% 80 den az) çok düşüktür. Bu nedenle, cevherdeki demir sülfür mineralleri (pirit, arsenopirit) cevhere kavurma yoluyla oksidasyon işlemi uygulanarak, katı formda hematite (Fe₂O₃) ve gaz formda kükürt dioksit (SO₂) dönüştürülür.

Pirit ve arsenopirit mineralleri oksijen varlığında ve 650 °C sıcaklıkta ısıtılarak kavrulur. Ancak, daha yüksek sıcaklıklarda yapılan kavurma, kristal büyümesi ve sinterleşmeye yol açarak, hematitin özgül yüzey alanını küçülterek, altın liç verimini düşürür. Bu nedenle, kavurma sırasında oksijen basıncı ve sıcaklık kontrol edilmelidir.

Pirit ve arsenopirit minerallerinin kavrularak oksitlenmesi sonucu hematite dönüşüm reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



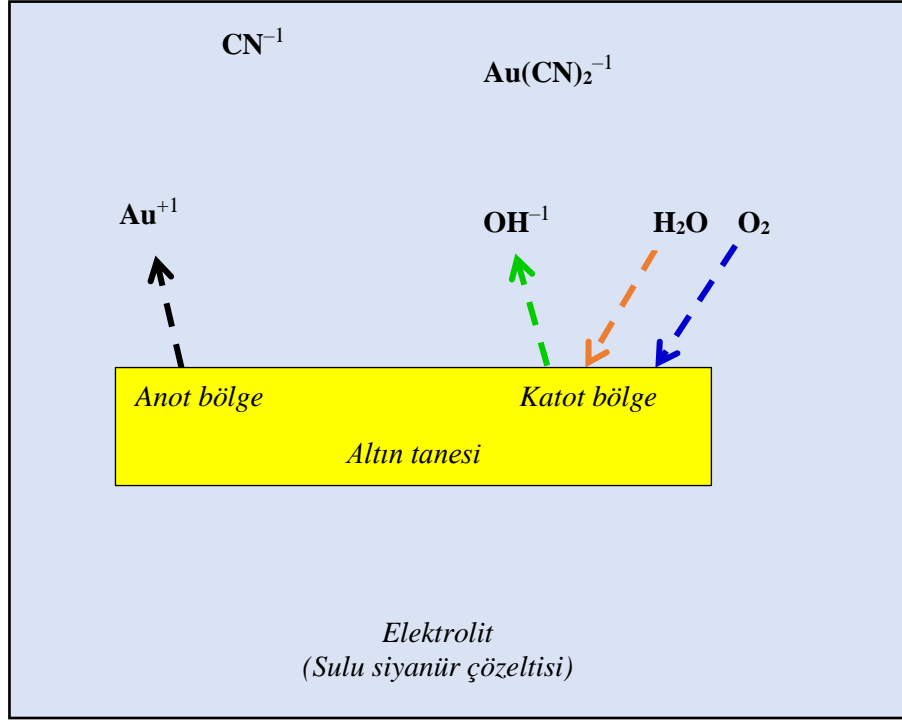
Kavurma sonucunda oluşan katı hematitin gözenekliliğinin fazla olmasından dolayı özgül yüzey alanı oldukça büyüktür. Bu nedenle, siyanürizasyon sonucunda, refrakter altın cevherlerinden altın kazanma verimi çok yüksektir. Bunun yanında, kavurma sırasında sülfürün suda çözünebilir sülfata dönüşmesi söz konusuysa, sülfatlar suyla yıkanarak ortamdan uzaklaştırılır ve kireç ve siyanürden tasarruf edilmesi sağlanır.

3. Altının Siyanürde Çözünme Mekanizması

Altın metali çok sıcak ve derişik asitlerde ve bazlarda çözünmez. Ancak çok sıcak kral suyunda (3HCl+HNO₃) ve seyreltik sulu siyanür çözeltililerinde (100-500 ppm) tamamen çözünmektedir (Sarıkaya, 2018). Siyanürün temel kaynağı, başlıca hidrojen siyanür (HCN) ve bundan üretilen, sodyum siyanür (NaCN), potasyum siyanür (KCN) ve kalsiyum siyanürdür (Ca(CN)₂).

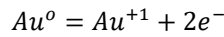
HCN'den üretilen ticari bileşiklerin hepsi siyanürizasyonda kullanılabilir (Mustafa Öztürk, 2018). Ancak en çok tercih edilen siyanür çözeltisi sodyum siyanürdür. Düşük tenörlü cevherlerden altın kazanılması ve siyanürün reaktif olarak maliyetinin düşük olması, siyanürün tercih edilme nedenleri arasında yer almaktadır (Yılmaz v.d., 2019). Siyanürün altın çözmesindeki gizemi yıllar sonra çözülmüş ve bu olayın elektrokimyasal bir süreç olduğu anlaşılmıştır (Baş v.d., 2013).

Altın metalinin elektrokimyasal (korozyon) reaksiyonu ile çözünme mekanizması Şekil 1 de verilmiştir.

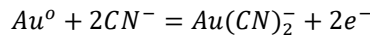


Şekil 1. Altın metalinin elektrokimyasal (korozyon) reaksiyonu ile çözünme mekanizması

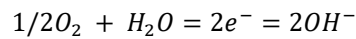
Altın cevherlerinin siyanürizasyon mekanizması korozyon ile açıklanabilir. Korozyon elektrokimyasal bir reaksiyondur. Alkali ortamda metal korozyonunda oksijen derişiminin az olduğu bölge anot olurken, oksijen derişiminin çok olduğu bölge katot olur. Anot bölgede meydana gelen yükseltgenme reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



Altın anot bölgede çözünerek altın anyonuna (Au^{+1}) dönüşür. Bu Au^{+1} iyonu ortamda bulunan CN^- iyonu ile $Au(CN)_2^-$ bileşimini oluşturur. Altının çözünmesi sonucu oluşan elektronlar katodik bölgeye taşınır. Elektrolize ait net reaksiyon sonucunda altın siyanat anyonu oluşmaktadır.



Elektroliz reaksiyonunun gerçekleşmesinde çok önemli bir role sahip olan oksijen, katot bölgede su ile reaksiyona girer ve hidroksit iyonu oluşur. Alkali ortamda suyun indirgenmesine ilişkin katodik bölgede meydana gelen reaksiyon aşağıda verilmiştir.



Ortamdaki oksijen derişiminin azaldığı veya bittiği zaman katot bölge aktifliğini yitirir. Böylece, katot ve anot bölgelerindeki reaksiyonlar durur. Anot bölgede, altın metali de çözünmez.

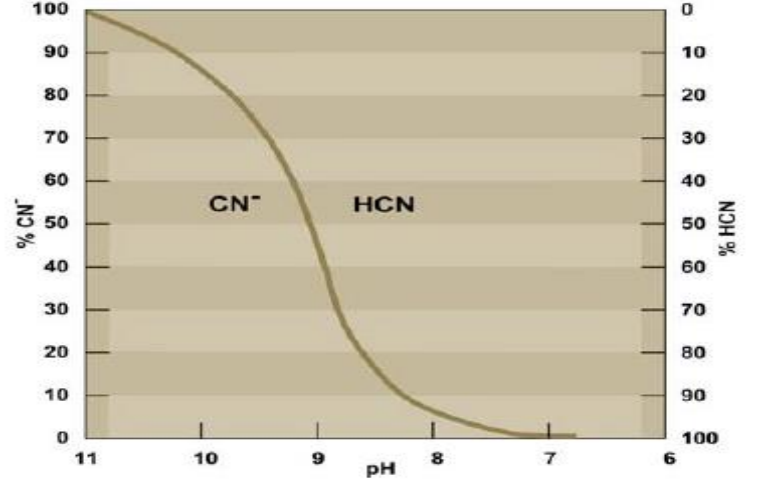
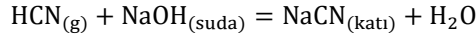
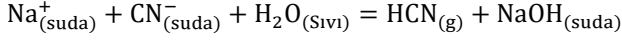
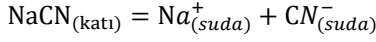
4. Siyanür Kimyası ve pH

Altın liçinde sodyum siyanür (NaCN), potasyum siyanür (KCN) ve kalsiyum siyanür ($Ca(CN)_2$) gibi siyanür çözeltileri kullanılabilir. Ancak uygulamada NaCN sulu çözeltisi kullanılmaktadır. Her bir siyanür bileşiminin sudaki çözünürlükleri ve yüzde (%) olarak içerdiği siyanür miktarı farklıdır. Bu bileşiklerden sodyum ve potasyum siyanür sırasıyla % 53,1 ve % 40 siyanür içerirken kalsiyum siyanür % 56,5 siyanür içerir ancak nötral veya nötrale yakın çözeltilerde moleküler HCN halinde ayrışır. Bu yüzden sodyum siyanür

gerek saflığının yüksek olması gerekse taşınma ve dağıtım açısından en çok kullanılan liç reaktifidir. Genel olarak, siyanür bileşiğinin seçimi uygulama yöntemine, maliyetine ve tedarik edilebilme kolaylığına göre değişmektedir (Sarıkaya, 2018).

pH'a bağlı olarak CN⁻/HCN dengesi Şekil 2 de verilmiştir.

NaCN suda çözüldüğü zaman iyonlaşır ve sulu çözelti ortamında Na⁺ ve CN⁻ iyonları oluşur. CN⁻ iyonları ise hidrolize uğrar, hidrojen siyanür (HCN) gazı ve hidroksil (OH⁻) iyonu meydana gelir. Nötr ve asidik ortamdaki hidroliz tepkimesi aşağıda verilmiştir.



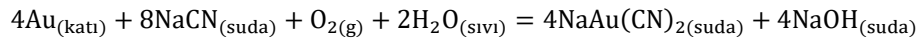
Şekil 2. pH'a bağlı olarak CN⁻/HCN dengesi (Logsdon v.d., 1999)

HCN gazı çok zehirli ve yüksek buhar basıncına sahip bir gazdır (26°C'de 100 kPa) kolayca buharlaşır. Çözeltide oluşan HCN gazı atmosfere gittiği için çözeltide siyanür kaybı görülür. Siyanürün sulu ortamlarda buharlaşma miktarını etkileyen faktörler başta toplam siyanür derişimi ve pH, bunun yanında çözeltinin yüzey alanı, derinlik, sıcaklık ve karıştırmadır (Logsdon v.d., 1999).

Altın liçinde siyanür çözeltisinin pH değişimi ve siyanür bileşiklerinin ilişkisi Logsdon v.d. (1999) tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmada, sulu siyanür çözeltisinin pH değerinin değişmesi ile HCN ve CN⁻ iyonlarının miktarının değiştiği rapor edilmiştir. HCN gazının oluşumunu önlemek için, çözelti ortamı bazik düzeyde tutulur. HCN zayıf bir asittir ($K_a = 6,2 \times 10^{-10}$ 25°C de ve $pK_a=9,31$). Asidik ortamda HCN miktarı fazla iken, CN⁻ iyonlarının miktarı azdır. Fakat pH arttıkça ortamdaki HCN miktarı azalırken, CN⁻ iyonlarının miktarı artar. Böylelikle, hem HCN zehirli etkisini kaybeder hem de liç verimi artmış olur.

Logsdon ve arkadaşları liçte siyanür kaybını azaltmak için en uygun pH değerinin minimum 10 olması gerektiğini rapor etmişlerdir (Logsdon v.d., 1999). HCN buharlaşarak havaya karıştığı için çalışma ortamındaki personelin kapalı ortamda yüksek konsantrasyonda HCN'e maruz kalmaması için pH kontrol altında tutulmalıdır. Siyanür liçi düşük tenörlü altın cevherlerinin zenginleştirilmesinde oldukça yüksek verim sağlamaktadır.

Altın liçine ait Elsener's eşitiği aşağıda verilmiştir (U.S. EPA, 1994).



Liç sırasında pH 9,5–11 arasında olup, tercihen 10,5 'ta sabit tutulur. Bazik şartlarda yürütülen altın liçi yavaş ve birkaç haftadan birkaç aya uzanan uzun sürelerde gerçekleşmektedir (U.S. EPA, 1994). Liç sürecinde, altının iyonlaşması için yükseltgen olarak oksijen kullanılır. Çözeltideki her bir altın iyonu 2 tane siyanür (CN⁻) iyonu ile çözülebilir $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ kompleksini oluşturur. $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ siyanürizasyon sırasında oluşan en kararlı altın siyanür kompleks iyonudur (Altın-tepe, 2003).

Altın içeren çözeltiye yüklü çözelti denir. Yüklü çözeltideki altın karbon adsorpsiyon yöntemiyle veya çinko çöktürme yöntemlerinden uygun olan biri ile geri kazanılır. Altını alınmış yüksüz çözelti ise ya prosese geri gönderilerek tekrar liçe tabi tutulur yada atık arıtma tesisine gönderilerek bertaraf edilir (Logsdon v.d., 1999).

5. Siyanürle Altın Liçi Yöntemleri

5.1. Yığın Liçi

Ton başına 2 g'dan daha az altın içeren düşük tenörlü altın cevherlerine yığınla siyanür liçi uygulanabilir. Yığın liçi yönteminde cevher iri boyutta kırılır ve prosesin en maliyetli olan öğütme aşaması yapılmaz. Bu durum, cevherdeki altın tanelerinin yeterince serbestleşmesine engel olur ve bunun sonunda cevherin çözünme verimi % 70-80 arasındadır (Saymer, 2012). Yığın liçinde, cevher sızdırmaz bir tabaka üzerine oldukça geniş bir alana serilir. Liç yığınının yüksekliği 3 m - 15 m arasında değişebilir. Yığının üzerine yağmurlama şeklinde püskürtme veya damlama yöntemi ile % 0,05-0,1 NaCN çözeltisi verilir. Liç sırasında ortamda HCN gaz çıkışını önlemek için, çözeltiye kireç ilave edilerek pH=10,5'ta sabit tutulur. NaCN çözeltisi cevher taneciklerinin arasından ve

gözeneklerinden geçerek, altını bünyesine katar ve bu çözeltiliye ‘‘yükli çözeltili’’ adı verilir. Liç devam ederken, yığın alt tarafına süzülen yükli çözeltili havuzlarda toplanır. Genellikle, yükli çözeltilinin ton başına düşen altın onsu 0,005’in altına düşünce siyanür çözeltilisinin damlaması durdurulur (U.S. EPA, 1994). Çözeltilideki altın karbon üzerine adsorpsiyonla (CIC–Carbon in Column) alınır. Yüksüz çözeltili atık havuzlarında toplanır. Türkiye’de Uşak-Kışladağ’da bulunan tesis yığın liç yöntemiyle işletilmektedir. Bu tesiste, siyanür liçi sonrası altın kazanımı kolonda karbon yöntemiyle ve kolondaki altın Zadra sıyırma prosesleri ile kazanılmaktadır (Heinen v.d., 1978). Ülkemizdeki bir diğere altın madeni işletme tesisi olan Erzincan-Çöpler altın madeni ve Kayseri-Himmetdede altın madenlerinde de yığın liçi tatbik edilmektedir (Ünal, 2016).

5.2. Tank Liçi

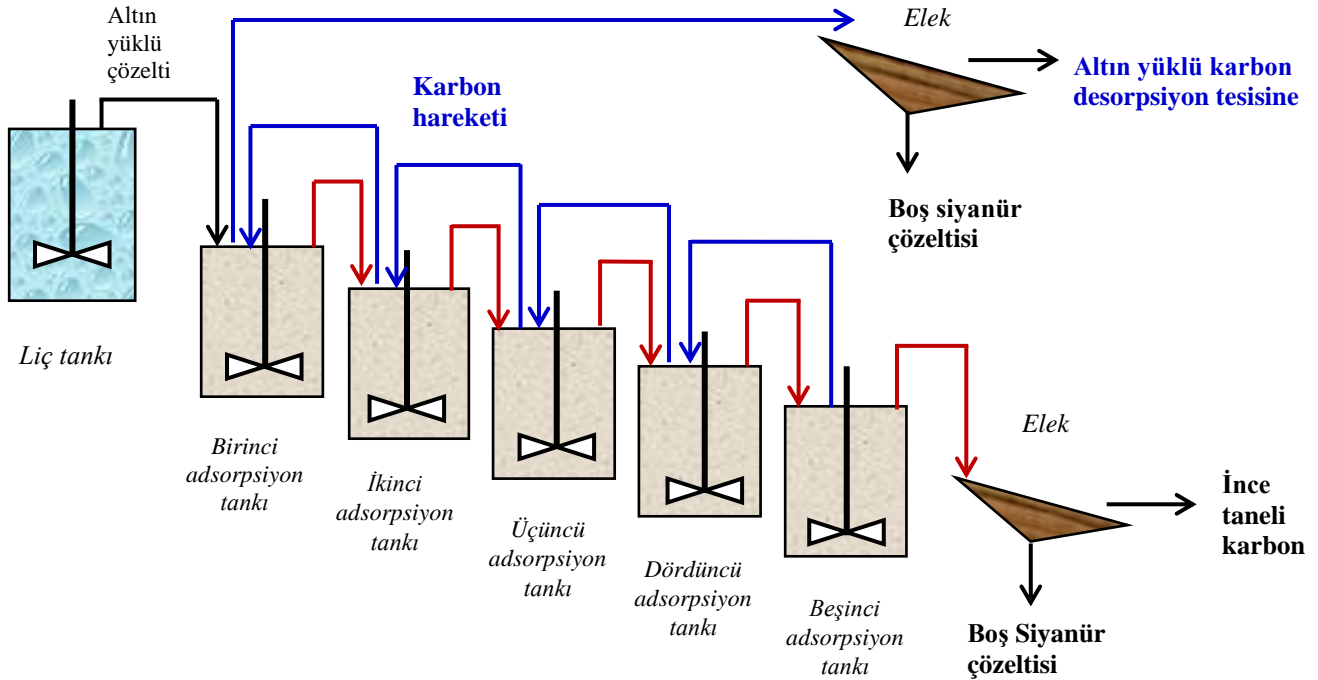
Tank liçi ince taneli ve yüksek tenörlü altın cevherlerine uygulanan bir liç yöntemidir. Siyanürle tank liçi genellikle çelik tanklarda yapılır (Ünal, 2016). Tank liçinde cevher kırıldıktan sonra mutlaka öğütülerek, altının serbestleşmesi sağlanır. Ve cevher pulp halinde, 100-500 ppm derişimli siyanür çözeltilisi, oksijen veya hava içeren tank ortamına beslenir. Liç sırasında $\text{HCN}_{(g)}$ gazı oluşumunu önlemek için tank ortamının pH 10,5-11,5 olacak şekilde kireç (Ca(OH)_2) ilave edilir. Tanktan alınan yükli çözeltiliye pulpta karbon (Carbon in pulp, CIP) adsorpsiyonu uygulanarak, altın kazanımı yapılır. Liç süresi 16-24 saat arasında ve liç verimi % 95’in üzerindedir (Saymer, 2012). Ülkemizde Bergama-Ovacık, Gümüşhane-Mastra ve Eskişehir Kaymaz altın madeni işletme tesislerinde tankla siyanür liçi yapılmaktadır (Ünal, 2016).

6. Siyanür Liçinde Yükli Çözeltilinin Rafinasyonu

6.1. Altının Yükli Liç Çözeltilisinden Adsorpsiyonu

Altın üretim tesislerinin çoğunda, adsorpsiyon malzemesi olarak aktif karbon tercih edilmektedir. Aktif karbonun yapısındaki gözenek sayısı çok fazla olduğundan dolayı, yüzey alanı da çok büyüktür.

Altın siyanür adsorpsiyonu CIP akım şeması Şekil 3 de verilmiştir.



Şekil 3. Altın siyanür adsorpsiyonu CIP akım şeması

Altın üretiminde kullanılacak aktif karbonun özellikleri aşağıda verilmiştir.

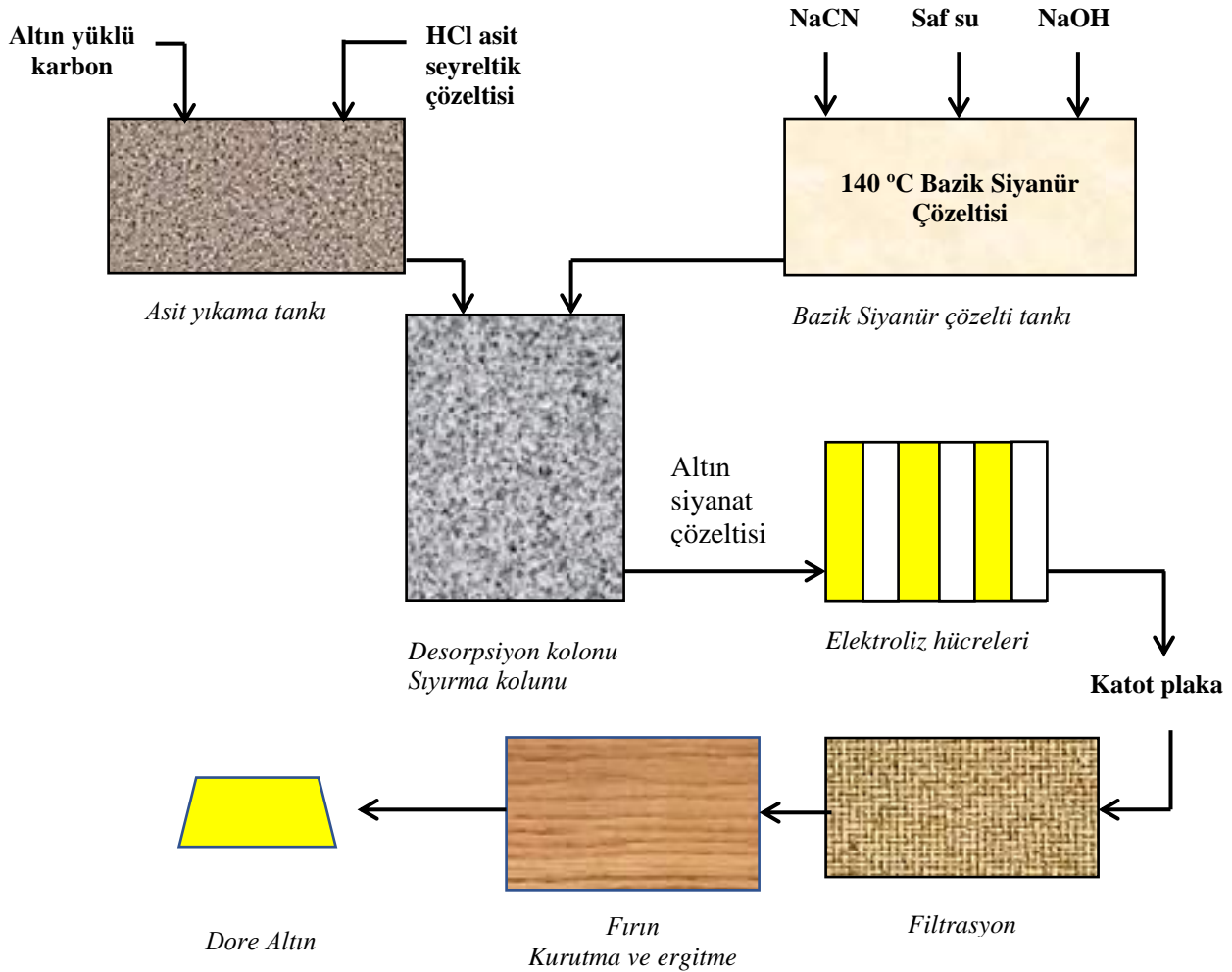
- Aktif karbonun yüzey alanı $1000 \text{ m}^2/\text{g}$ civarında olmalıdır.
- Adsorpsiyon kapasitesi yüksek olmalıdır. Aktif karbon en kısa sürede, maksimum düzeyde altın adsorplanmalıdır.
- Aktif karbonun mekanik mukavemeti yüksek olmalıdır. Tekrar kullanılması için, aktif karbonun kırılma dayanımı da yüksek olmalıdır.
- Aktif karbonun tane boyutu mm boyutunda olmalıdır.

Yüzey alanı 1200 m²/g (BET) olan hindistan cevizi kabuğu aktif karbon endüstrisinde en çok kullanılan aktif karbondur. Uygulamalarda +1,18 – 3,35 mm tane boyutu aralığındaki aktif karbon kullanılmaktadır (Mpinga, 2012). Aktif karbonla adsorpsiyon yöntemi olarak pulpta karbon (CIP) kullanılmaktadır. CIP tesisine 5 ppm derişimli altın siyanür çözeltisi yüklenmesi sonucunda, karbon kolonu üzerinde 5000 g/t altın adsorplanmaktadır. Bir altın siyanür adsorpsiyon CIP tesisinde 5–7 adet adsorpsiyon tankı bulunabilir. Şekil 3 de altın siyanür adsorpsiyonu CIP akım şeması verilmiştir. Siyanür liçi sonrası tankta çözünebilir altın içeren siyanat çözeltisi oluşur. Bu altın siyanat çözeltisi aktif karbon dolu adsorpsiyon tankına beslenir. Birinci adsorpsiyon tankına beslenen altın siyanat çözeltisinin aktif karbona tutunma işlemi bu aşamada başlar. Karbon hareketi beşinci adsorpsiyon tankından birinci tanka doğrudur (Heinen v.d., 1978). Boş (yüksüz) siyanür çözelti hareketi birinci adsorpsiyon tankından beşinci tanka doğrudur ve buradan eleğe beslenir.

6.2. Altın Adsorpsiyonlu Karbon Kolonun Desorpsiyonu (Sıyırılması)

Altın yüklü karbon asit yıkama tankına alınır ve seyreltik HCl asit çözeltisi ile yıkanır. Altın yüklü karbon kolon, altın yanında taşıdığı kalsiyum, magnezyum, nikel ve demir gibi asitte çözünen empürüteleri çözüp, kolondan sıvı faz olarak ayırmak için % 3'lük HCl asit çözeltisi ile yıkanır.

Desorpsiyon ve elektroliz akım şeması Şekil 4 de verilmiştir.

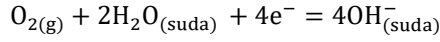
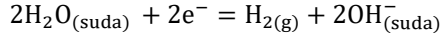
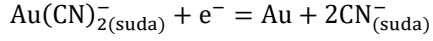


Şekil 4. Desorpsiyon ve elektroliz akım şeması

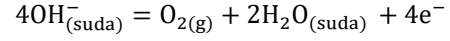
Asitle yıkama sonucunda, altın kolonda katı faz halinde kalırken, empürüteler sıvı faz halinde asit çözeltisine geçer. Bu noktadan sonra, asitle yıkanan karbon kolon desorpsiyon (sıyırma) tankına gönderilir. Tankta derişik NaOH ve NaCN çözeltisi ile 130 – 140 °C sıcaklığa ısıtılır ve desorpsiyon tankındaki altın yüklü karbon üzerine eklenir. Bu tanktaki desorpsiyon süresi sonunda elde edilen altın siyanat çözeltisi elektroliz hücrelerine beslenir (Heinen v.d., 1978). Desorpsiyon kolondaki altın derişimi ihmal edilecek düzeye gelinceye kadar devam eder.

Elektroliz desorpsiyondan bağımsız olarak yürütülür. Sıyırma çözeltilerinden altının kazanılması sırasında elektrokimyasal bir hücrenin anot ve katodunda meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir (Sarıkaya, 2018).

Katot reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



Anot reaksiyonu aşağıda verilmiştir.



Sıyırma yüksek sıcaklıkta yapılarak, suyun dielektrik sabiti düşürülür. Böylelikle $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ iyonu ile kolonun yapısını oluşturan karbon arasındaki elektrostatik kuvvet azalır. Sonuç olarak, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ kolondan sıyırılmış olur. Bir diğer önemli nokta ise, sıyırma sırasında derişik NaOH ve NaCN kullanılarak, OH^- ve CN^- iyonları karbona adsorbe olurken öncelik kazanır. Sıyırma çözeltisi olarak alkollü sodyum siyanür çözeltisi de kullanılabilir. Alkolün dielektrik sabiti suyun dielektrik sabitinden daha küçük olduğundan dolayı, sıcaklığın artmasıyla, alkolün ve suyun dielektrik sabitleri daha da düşer. $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ ün kolondan ayrılması kolaylaşır. Ancak bu sıyırma yönteminin maliyeti yüksek olup, endüstriyel olarak tercih edilmemektedir (Baş v.d., 2013).

6.3. Filtre Kekinin Ergitilmesi ile Dore Altın Üretimi

Paslanmaz çelik katot üzerine biriken altın alaşımı katot plaka olarak filtrasyon ünitesine gönderilir. Filtrasyon ile katot keki elde edilir. Katot keki bir fırında kurutma ve ergitme işlemleri ile cüruf olarak ayrılır. Fırından çıkan altın, platin, gümüş, bakır ve çinko gibi diğer metallere oluşan alaşıma dore altın denir. Saf altın elde etmek için bu dore altın tekrar saflaştırma işlemine tabi tutulmaktadır.

7. Siyanür ve Yaşam

Siyanür, karbon ve azot içeren bir grup kimyasal maddeye verilen genel bir isimdir. Siyanür bileşikler hem doğal olarak bulunan hem de insanlar tarafından üretilen (antropojenik) kimyasallardan oluşur. Kendine özgü özellikleri nedeniyle siyanür, metal parçalar ile plastikler, sentetik kumaşlar, gübreler, bitki zararlıları için ilaçlar, boyalar ve ilaçlar gibi çok sayıdaki genel organik ürünlerin imalinde kullanılır. Eklem bacaklılar, böcekler, bakteriler, yosunlar, mantarlar ve daha üst yapıdaki bitkilerin çeşitli türleri dahil siyanürün iki binden fazla doğal kaynağı bulunmaktadır. Gaz halindeki hidrojen siyanür ile katı haldeki sodyum ve potasyum siyanür insanlar tarafından üretilen siyanürün başlıca biçimleridir. Hidrojen siyanürün (HCN) doğal kaynağı amigdalın adı verilen şekerimsi bir bileşik olup, kayısı, fasulye filizi, mahun cevizi, kiraz, kestane, mısır, kuru fasulye, mercimek, nektarin, şeftali, yer fıstığı, pecan cevizi, antep fıstığı, patates, soya fasulyesi ve ceviz dahil pek çok meyve, sebze, çekirdek ve kabuklu yemişte bulunur. Acı bademin çekirdeğinde amigdalın şeklinde yaklaşık 1 mg HCN bulunur. Siyanürün doğal olarak bulunan bu şekillerine ilâve olarak, araçlardan kaynaklanan egzoz gazı (7–9 mg/km), sigara dumanı (0,5 mg/kg vücut ağırlık) hatta yollara dökülen tuz ile sofraya tuzu (20 mg/kg vücut ağırlık) gibi hergün karşılaşılan yapay kaynaklarda da siyanür bileşikler bulunmaktadır (Logsdon v.d., 1999).

Siyanür doğanın bir parçasıdır. Günlük hayatta gerek insanlar gerekse serbest dolaşan hayvanlar ya da çiftlik hayvanları tükettikleri gıdalar sayesinde siyanüre maruz kalmaktadırlar. Siyanür denince ilk akla gelen altın madenciliği olsa da, canlılar başlıca siyanojenik gıdalar nedeniyle siyanürden etkilenmektedir (Eisler and Wiemeyer, 2019). Süregelen bir yaşam döngüsünden siyanürden uzak kalmak neredeyse imkansızdır.

8. Altın Madenciliğinde Siyanür

Siyanürizasyon altın cevherlerinden altın elde etmek için kullanılan en yaygın kimyasal zenginleştirme prosesidir. Altın liçi sırasında altın ve gümüş kazanılırken mineralojik yapısına bağlı olarak cevherde bulunan bakır (Cu), çinko (Zn), nikel (Ni), demir (Fe) ve kobalt (Co) metallerini içeren minerallerde çözünerek, çeşitli siyanür-metal komplekslerini oluşturmaktadır. Oluşan bu kompleksleri içeren atık siyanür çözeltileri atık havuzlarında toplanmaktadır. Bu noktada, söz konusu komplekslerin cinsi ve özellikleri gerek işletme gerekse çevreye vereceği zararın minimuma inmesi için çok önemlidir (İpekoğlu ve Mordoğan, 1993). Çevre açısından çok tehlikeli olan altın liç atıkları bozundurulurken, yasal sınırlara indirilir. Avrupa Birliği'ne üye olan ülkelerde atıklardaki toplam siyanür (CN_{WAD}) derişimi 10 ppm'den az olmalıdır. Türkiye'de bu derişim esas alınmaktadır (Yılmaz v.d., 2019). Dünya bankasına göre, atık havuzuna ve çevreye boşaltılacak zayıf asitte ayrışan siyanür bileşiklerinin derişimi sırasıyla 50 ve 0,5 ppm'den az olmalıdır (Kuyucak ve Akçıl, 2013).

Doğada bulunan her cevher birbirinden farklı özellikler gösterir ve her bir altın cevherinin siyanürizasyona karşı vereceği tepki de farklıdır. Ancak genellemeler yapılarak, siyanür liçi sonunda, atıklardaki siyanür **i)** serbest siyanür, **ii)** kompleks halinde bulunur. Komplekslerde kararlılık sabitlerine göre zayıf siyanür kompleksleri ve kuvvetli siyanür kompleksleri olarak ayrılmaktadır. Zayıf siyanür kompleksleri (CN_{WAD}) ve kuvvetli siyanür kompleksleri (CN_{SAD}) toplamına "toplam siyanür" adı verilir. Genel olarak, tesis atıkları serbest ve kompleks siyanürler halinde 50-400 ppm arasında siyanür içermektedir. Gelişmiş ülkelerde, toplam siyanür derişimi ($\text{CN}_{\text{TOPLAM}}$) için standart, siyanürlü atıkların açık arazilere boşaltılabilmesi için 0,5-2,0 ppm, içme suyu için 0,2 ppm ve Uluslararası Çalışma Örgütüne (International Labour Organization, ILO) göre havada olması gereken HCN derişimi maksimum 10

ppm'dir (İpekoğlu ve Mordoğan, 1993). Kısaca, yaşayan canlılar ve çevre sağlığı açısından altın tesislerinde meydana gelen atıklardaki siyanür derişimi oldukça düşürülmelidir. Siyanürü bozma veya geri kazanma prosesleri, atığın serbest siyanür veya zayıf asitte ayrışabilen siyanür içeriği ile ilgilidir (Çelik v.d., 1997). Metal-siyanür bileşiklerinin denge sabitleri büyüdükçe, söz konusu bileşiğe sahip atıkları bozundurmaya zorlaşır ve çevreye verdikleri zararın ömrü uzar (Çelik v.d., 1997).

a) Serbest siyanür: HCN ve CN^- 'ü ifade etmektedir. Altın zenginleştirme tesislerinde NaCN, KCN ve $Ca(CN)_2$ bileşikleri gibi serbest siyanürler kullanılır. Cevherlerden altın için katyonların değil yalnızca siyanür iyonunun derişimi önemlidir (İpekoğlu ve Mordoğan, 1993). Asidik çözeltilerde ($pH \leq 7$) CN^- iyonu HCN'e dönüşmektedir. Bazik çözeltilerde ($pH > 10,5$) ise tüm siyanür CN^- halinde bulunur. Siyanürizasyon, bazik ortamda gerçekleşmektedir (İpekoğlu ve Mordoğan, 1993). Serbest siyanürler en toksik siyanürlerdir. Yüzeysel sularının $pH \approx 8$ civarında olduğundan dolayı, ortamda bulunan HCN buharlaşarak havaya karışır. Ve HCN yüzeysel sularında toksik etki yapmaz. Ancak altın madenciliğinde siyanürün HCN halinde buharlaşarak siyanür kaybını önlemek için, $pH \approx 10.5$ tutulur. Tesislerde çalışan işçilerin yüksek derişimli HCN gazına maruz kalması önlenmiş olur (Logsdon v.d., 1999)..

b) Zayıf siyanür bileşikleri (CN_{WAD}): Siyanürün çinko ve kadmiyum gibi metallerle oluşturduğu bileşiklere zayıf asitte çözünebilir (weak acid dissociation; CN_{WAD}) bileşikleri denir. CN_{WAD} bileşiklerinin kompleks sabitleri küçük olduğu için, sulu ortamda iyonlaşır ve çevresel açıdan önemli sayılacak serbest siyanür konsantrasyonları oluştururlar (Logsdon v.d., 1999). Çevre sağlığı açısından atık barajlarındaki $CN_{WAD} < 50$ ppm olmalıdır (Oleson, 2003).

c) Kuvvetli siyanür bileşikleri (CN_{SAD}): Siyanürün altın, kobalt, demir ve gümüşle ile yaptığı bileşiklere kuvvetli asitte çözünebilir bileşikleri (Strong Acid Dissociable; CN_{SAD}) bileşikleri denir. CN_{SAD} bileşikleri kuvvetli ve duraylıdır. Çözeltide oluşan Au-CN kompleksi en kararlı altın kompleksi olduğu için liç sırasında ortamdaki yapısını değiştirmez (Logsdon v.d., 1999). Kobalt altın cevherlerinde neredeyse eser miktarda bulunur ancak demir bol miktarda bulunur ve toplam siyanürdeki CN_{SAD} bileşiklerini demir siyanürler oluşturur (Logsdon v.d., 1999). Kuvvetli kompleksler kararlılık sabitlerinin çok büyük olmasından dolayı çok zor ayrışır ve serbest siyanür oluşturmaları neredeyse imkansızdır (İpekoğlu ve Mordoğan, 1993).

9. Siyanür Bileşikleri ve Toksikite

Siyanür doğada çeşitli formlarda fiziksel ve kimyasal süreçlerle ortaya çıkan toksisitesi yüksek olan bileşiklerdir. Bu yapıların atmosfer, hava, su ve topraktaki var oluş şekilleri ve ekosisteme etkileri de farklıdır. Altın madenciliğinde, altının kazanılmasından sonra kurşun, demir, civa, kobalt, kadmiyum ve kurşun gibi siyanürle kompleks oluşturan metalleri de içeren yüksüz liç çözeltisi atık barajlarında veya havuzlarında biriktirilir. Buradaki en büyük sorun, barajlarda zemini oluşturan geçirimsiz tabakanın deprem, heyelan, kuraklık ve taşma gibi doğal felaketler sonucu hasar alması, sonrasında atık siyanür çözeltisinin toprağa, yer altı sularına, içme sularına karışma riskidir. Altın madenciliğini ve siyanürü toplum nazarında bir kabusla dönüştüren en büyük faktör, siyanürün günlük yaşama entegre olma korkusudur. Bu gayet normal bir fobidir zira siyanür insan, kuş ve balık gibi sucul habitatlar üzerinde öldürücü etkilere sahiptir. Siyanür madenciliğini ekosisteme en az zarar verecek hale getirmek için, atık çözeltilerindeki siyanür ve bileşiklerini en zararsız hale getirerek, bozundurmaya gereklidir. Bir diğer kritik nokta, atık barajlarının yapım ve kontrolüdür. Atık barajları doğal afetlere dayanıklı, sosyal yaşamdan uzak tenha yerlerde inşa edilmelidir. Ve taban sızdırmaz özellikteki malzemelerden yapılmalıdır (Hiçdönmez, 1997).

En toksik siyanür formu serbest siyanürlerdir (CN^- , HCN, NaCN, KCN, $Ca(CN)_2$). Siyanür iyonlarının doğadaki başlıca kaynağı hidrojen siyanürdür. Madenciler, itfayeciler, metalürji ve galvanik endüstrisinde çalışanlar yüksek oranda siyanür zehirlenmelerine maruz kalırlar (Jaszczak v.d., 2017). Siyanürler atmosfere endüstriyel prosesler ve yangınlarla karışırlar. HCN ise sentetik polimer, yün ve ipeklerin yanması ve azot oksitlerin (N_xO_y) katalitik indirgenmesi sonucu ve otomobillerde yakıtların yanma ürünü olarak oluşur. HCN'ün atmosferde asılı kalma süresi yaklaşık 5 aydır (Karlsson ve Botz, 2004). Siyanürün su kirliliklerine sebep olan kaynakları fabrikalar (elektrokaplama prosesi, ilaç ve plastik endüstrisi), altın madenciliği atıkları ve kentsel yaşamdır (Jaszczak v.d., 2017).

Mantar ve mikroorganizmalar glukoz varlığında aerobik solunumları sırasında ferrosiyanür bileşiklerini azot ve karbon kaynağı olarak kullanırlar. Hem aerobik hem de anaerobik solunum sonucunda amonyak (NH_3), karbon dioksit (CO_2) ve format (HCO_2^-) oluşur. Siyanür iyonlarının biyobozunurluluğunu sağlayan en iyi şartlar $pH=5$ ve $0,0465$ g/L derişimidir. Kömür oluşumu toprakta yüksek derişimli siyanürün ortaya çıkmasına neden olur. Siyanür toprakta genellikle ferrosiyanür ($Fe(CN)_6^{4-}$) ve ferrisiyanür ($Fe(CN)_6^{3-}$) kompleksleri halinde bulunur. Ferrosiyanür kompleksleri, ferrisiyanür komplekslerinden daha toksiktir. Güneş ışığına maruz kalınmadıkça, bu bileşikler yavaş bozunur ve toksisiteyi düşüktür. Ancak güneş ışığında bozularak çok toksik serbest siyanürlere dönüşürler (Jaszczak v.d., 2017).

Bitkilerdeki kanserojen glikozidin tüketimi siyanür zehirlenmelerine sebep olmaktadır. Glikozid yaygın olarak, elma, erik, şeftali, badem ve kiraz gibi meyve çekirdeklerinde bulunur (Donald, 2009). Yetişkin bir insan için serbest siyanürün öldürücü dozu solunum yoluyla $50-200$ mg'dır ($1-3$ mg CN^- kg/vücut ağırlığı). Uzun süreli etkileşimde halsizlik, hipotiroidizm, böbrek hasarı ve düşük yapmalara sebep olmaktadır (Jaszczak v.d., 2017).

Deri üzerinden absorpsiyon ile metabolizmanın yarısı için serbest siyanür öldürücü dozu 100 mg/kg vücut ağırlığıdır. Maden işçilerinde solunum yolu ile 100-300 ppm derişim aralığında HCN alımı 10-60 dakika içinde ölüme sebep olurken, tankların üzerinde kalabilen çok düşük derişimdeki siyanür ise baş ağrısı meydana getirir (İpekoğlu ve Mordoğan, 1993). Siyanür liç atıklarının sucül ortamlara (ırmak, dere, nehir) tahliye edilmesi ve sucül ortamların beslediği temiz su kaynaklarının siyanürle kontaminasyonu, atık barajlarının doğal afetler ve yapımında mühendislik hatalarından dolayı su ekosistemi oldukça zarar görmektedir (Eisler ve Wiemeyer, 2019). Siyanür atıklarının su kaynaklarına zarar vermemesi için, siyanür derişiminin 5 pg CN⁻/L (pikogram (pg)=10⁻¹² gram) küçük olacak bozundurulması gereklidir (Zaranyika v.d., 1994).

Su ekosisteminde siyanüre karşı en duyarlı canlı, balıklardır. Balıklar 5-7,2 pg serbest CN⁻/L derişimli siyanüre maruz kaldığında, yüzmeye ve üreme sistemleri zarar görürken, 20-76 pg serbest CN⁻/L derişimli siyanüre maruz kaldığında ise ölüm riski taşırlar. Siyanürün su canlıları üzerindeki etkisi, suyun pH'ına, sıcaklığına, sudaki çözünmüş oksijen miktarına ve siyanürün başlangıç dozuna bağlı olarak değişir (Eisler ve Wiemeyer, 2019).

Siyanür liçi atık havuzlarının taşması sonucunda siyanürle kirlenen su kaynaklarının kullanılması su kuşları, kıyı kuşları, yırtıcı kuşlar ve göçmen kuşlarının ölümüne sebep olabilmektedir. Sadece siyanürle kontamine olan suların kullanımı değil havadaki serbest siyanürün varlığı da kuş türlerinin zarar görmesine sebep olmaktadır. Kuş ölümlerine yol açan serbest siyanür değerleri havada 0,12 ppm, akut 2,1-4,6 mg/kg vücut ağırlığı, damar içinden 1,3 mg/kg vücut ağırlığıdır. Siyanür zehirlenmesinin belirtileri 0,5-5 dakika arasından başlar. Bu belirtiler arasında, kesik nefes alıp-verme, göz kırpma, uyuşukluk ve tükürük salgılama yer almaktadır. 15 dakikadan ise sonra ölümler başlamaktadır. Altın liç havuzlarındaki siyanür derişimi ölümcül dozun altında olsa bile ölüme neden olabilmektedir. Yaban hayatı da siyanür liçinden nasibi almaktadır. Atık baraj veya havuzlarındaki yüzlerce kemirgen, yarasa, çakal, porsuk, kunduz, tilki, tavşan, kokarca, sincap, sığır, evcil kedi ve evcil köpeklerin ölü olarak bulunduğu rapor edilmiştir. Memeli hayvanlarda akut oral ölümcül eşik doz değerleri 4,1-28 mg HCN/kg vücut ağırlığıdır. İnsanlarda su kaynaklarına bağlı olarak siyanür zehirlenmelerine sıkça rastlanmamaktadır. Ancak sıvı HCN ciltte ülsere yol açar (Eisler ve Wiemeyer, 2019).

Zayıf (WAD) ve kuvvetli (SAD) siyanür kompleksleri kararlılık sabitlerinin büyük olmasından dolayı kararlıdır ve düşük hız sabitlerine sahiptir. WAD komplekslerinin, SAD komplekslerine göre serbest siyanürlere dönüşümü daha hızlıdır. Siyanür formlarının toksisite açısından sırası: Serbest siyanürler > zayıf siyanür (CN_{WAD}) kompleksleri > Kuvvetli siyanür (CN_{SAD}) kompleksleridir. Komplekslerin ayrışma hızları büyük ölçüde ortamın pH değerine bağlıdır. Asidik ortamlarda metal-siyanür komplekslerinin bozunması serbest siyanürlerin (HCN, CN⁻) oluşmasına yol açar ve toksik etkileri artar. Kuvvetli kompleksler çok zor bozunduğu için, toksik etkisi oldukça azdır. Ancak UV ışınları ile fotolize uğradıklarında, kuvvetli komplekslerin serbest siyanürlere bozunduğu ve zararlı hale geldiği rapor edilmiştir. Siyanür liçinde atık barajları derinliğine bağlı olarak, güneş ışığı ancak belirli bir derinliğe kadar etki eder. Yüzey kısmı fotolize uğrayıp, oluşan serbest siyanürler atmosfere karışır veya yağmur ve sis gibi doğa olayları ile toprağa veya yüzey sularına karışır (İpekoğlu ve Mordoğan, 1993).

10. Atık Barajlarındaki Siyanürün Bozundurulması

Siyanür liçi sonunda oluşan atıkların baraj veya havuzlarda toplandığı bilinen bir gerçektir. Çevre sağlığı açısından atıklardaki serbest siyanür, WAD ve SAD bileşikler arsenik ve antimon gibi zararlı formların bozundurulması gerekmektedir. Atıklardaki en toksik formlar serbest siyanür ve WAD bileşikleridir. Bunların bozundurulması, barajlardaki derişiminin çok küçük değerlere çekilmesi ve zararsız hale getirilmesi gerekmektedir. Siyanürün bozundurulmasında serbest siyanür ve zayıf asitte ayrışabilen siyanürler önemli rol oynamaktadır (Çelik v.d., 1997).

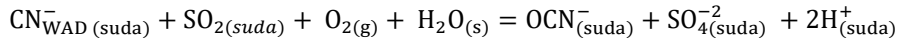
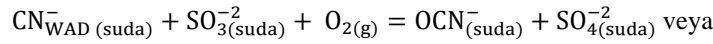
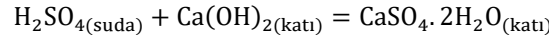
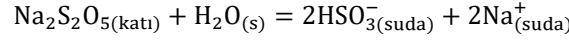
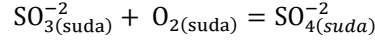
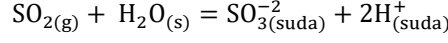
Siyanürün bozundurulması doğal, kimyasal ve biyolojik proseslerden oluşmaktadır. Kimyasal prosesler alkali klorlama prosesi, H₂O₂ prosesi, INCO SO₂/Hava prosesi, Hemlo/Golden Giant (bakır ve demir çöktürme, asitleştirme, ve buharlaştırma-rejenerasyon) prosesi (Akçıl v.d., 2003; Kuyucak ve Akçıl, 2013), ozonlama, kompleksleştirme, adsorpsiyon, Caros acid (Caros acid, H₂SO₅) prosesidir (Johnson v.d., 2015).

Bu yöntemlerden INCO prosesi dışındaki yöntemler maliyetleri açısından endüstriyel prosesler için uygun olmayıp, laboratuvar çapında yapılabilecek uygulamalardır. Son yıllarda, siyanürün bozundurulmasında kullanılan en yaygın olan yöntem Inco ve Noranda şirketleri tarafından geliştirilen ve 1984 yılında G. J. Borbely tarafından patenti alınan INCO SO₂/Hava prosesidir (Maimekov v.d., 2014). Bu makale kimyasal bozundurma proseslerinden INCO prosesi üzerinde odaklanmıştır.

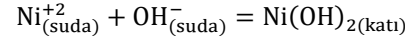
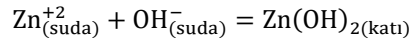
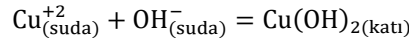
10.1. INCO Prosesi (SO₂/Hava oksidasyonu)

INCO prosesi 1984 yılında Kanada'da Inco Metals Company tarafından patenti alınmış ve Dünya çapında altın liçi faaliyetleri sonucu oluşan atıklarda bulunan toksik siyanür bileşiklerinin atık barajlarında biriktirilmeden önce bozundurulması için uygulanan popüler bir prosestir (Breuer ve Hewitt, 2020). Ülkemizde ise 1994 yılından beri Ovacık Altın Madeninde uygulanmaktadır (Akçıl, 2002). INCO prosesinde, WAD siyanür bileşikler sülfür dioksit (SO₂) ve hava karışımı ortamında, bakır sülfat (CuSO₄) katalizörü varlığında, kontrollü olarak kireç veya kostik soda ile pH= 8-10 arasında siyanata (OCN⁻) dönüştürülmektedir (Breuer v.d., 2011). Proseste sülfid iyonu (SO₃²⁻) önemli bir reaktanttır ve sülfid kaynağı olarak sülfür dioksit (SO₂), sodyum sülfid (Na₂SO₃) ve sodyum metabisülfid (Na₂S₂O₅) kullanılmaktadır (Breuer ve Hewitt, 2020).

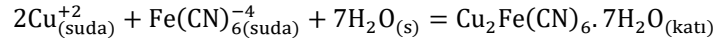
Proseste pH ayarlamak için gerekli olan kireç (kalsiyum hidroksit, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) veya soda miktarı sülfite kaynağına göre değişmektedir. Sülfite kaynaklarına göre ihtiyaç duyulan madde miktarı küçükten büyüğe doğru $\text{Na}_2\text{SO}_3 < \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5 < \text{SO}_2$ sırasındadır (Hewitt v.d., 2012). INCO prosesinde sülfite kaynağı olarak sülfür dioksit, sodyum sülfite (Na_2SO_3) ve sodyum metabisülfite ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) kullanılması durumunda aşağıdaki tepkimeler meydana gelmektedir. Sülfite iyonu oksijen ile oksidasyona uğrayarak, sülfate iyonuna dönüşürken, kalsiyum hidroksidin, jips (kalsiyum sülfate, $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$) halinde çökmesine neden olur. Liç atıklarındaki serbest siyanür ve WAD bileşikleri, bakır katyonu (Cu^{+2}) katalizörlüğünde oksijen ve sülfite iyonlarıyla reaksiyona girerek, siyanat (OCN^-) ve sülfate (SO_4^{-2}) iyonlarına dönüşmektedir (Breuer ve Hewitt, 2020). Zayıf asitte çözünebilir siyanür kompleksleri (weak acid dissociation) CN_{WAD}^- olarak kısaltılmıştır.



Atıkta bulunan demir, ferröz (Fe^{2+})'ye indirgenerek, demir-siyanür kompleksine ($\text{M}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$; M: Zn, Cu, Ni) dönüşür. Katı demir siyanür atık olarak gölette depolanır. Ancak sıvı fazdaki demir siyanür, zehirli olduğu için çevreye verilmesi zararlıdır. Diğer taraftan, ortamdaki fazla bakır (Cu^{2+}), çinko (Zn^{2+}) ve nikel (Ni^{2+}) hidroksitleri halinde çökerler (Köksal v.d., 2003).



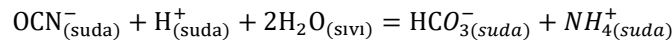
Demir siyanürler, Cu^{+2} varlığında bakır-demir-siyanür bileşikleri halinde çökelirler. Ve demir siyanürler çözelti ortamından uzaklaştırılırlar.



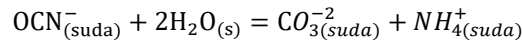
Katı bir bileşik olan bakır heksasiyanoferrat heptahidrat [$\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$] kompleksi suda ve asitlerde çözünmediği için endüstride kırmızı-kahve renkli pigment olarak kullanılmaktadır (Eastaugh v.d., 2008).

Proses çözeltilisindeki siyanürün bir kısmı sistemdeki diğer kimyasal bileşiklerle reaksiyona girerek çok daha az toksik olan amonyum (NH_4^+) ve bikarbonata (HCO_3^-) veya karbonata (CO_3^{2-}) dönüştürülürler (Kuyucak ve Akcil, 2013).

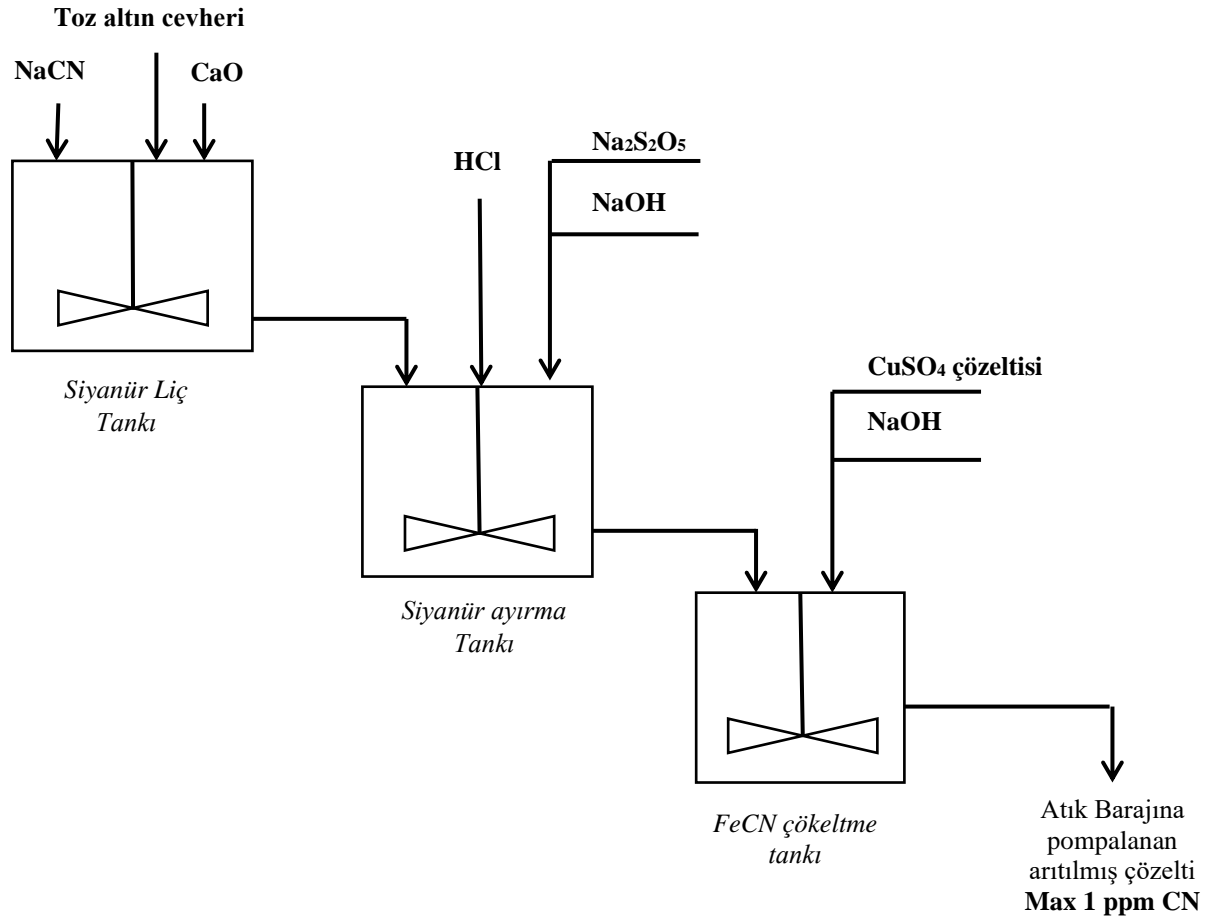
Siyanat hidrojen ile indirgenme reaksiyonu aşağıda verilmiştir (Akci, 2002).



Siyanatın suda hidroliz reaksiyonu aşağıda verilmiştir (Köksal v.d., 2003).



INCO prosesinin akım şeması **Şekil 5** de görülmektedir.



Şekil 5. INCO prosesinin akım şeması (Akçıl, 2002)

Bakır kasyonu (Cu^{+2}) hem katalizör hem de demir siyanür bileşiklerinin çöktürülmesinde çok önemli bir role sahiptir. Eğer çözeltide Cu^{+2} derişimi yetersizse, ortama bakır sülfat (CuSO_4) ilave edilerek, Cu^{+2} derişimi istenen değere getirilir. Prosesteki bir diğer önemli nokta, oksijen varlığıdır. Tanka oksijen kaynağı olarak hava verilir. Havadaki oksijen suda düşük oranda çözüldüğünden dolayı, suya geçen oksijen miktarı oldukça azdır. Bu durumda oksijenin azlığı prosesin verimini önemli ölçüde etkiler. CN_{WAD} bileşiklerinin SO_2 gazı varlığında bozundurulması sırasında, 1 kg CN^- için 2,47 kg SO_2 gazı harcanmaktadır (Çelik v.d., 1997).

CN_{WAD} komplekslerinden serbest kalan metaller ise hidroksitleri halinde çökerler. INCO prosesinin süresi 30 dakikadan 2 saate kadar değişebilir. Ve yüksek sülfürlü altın liçi atıklarında tercih edilmez. Çünkü sülfür oksitlenerek sülfat bileşiklerine dönüşür. INCO prosesi sayesinde atıklardaki siyanür büyük ölçüde zararsız hale gelmektedir. Prosesi kullanmak için lisans alma mecburiyeti, proses tesisini inşa etmenin maliyeti, sistemi optimize etmek için ampirik deneme zorunluluğu ve siyanürün ara yan ürünlerini oksitleyememesi prosesin potansiyel sınırlamalarıdır (Nelson v.d., 1998). INCO prosesi ortalama 50-2000 mg/L $\text{CN}_{\text{toplam}}$ içeren atıklardaki siyanür miktarını 2 mg/L'den daha az miktara düşüren ve siyanürü zararsız maddelere dönüştüren güvenilir bir prosestir. Atık havuzunun azami siyanür konsantrasyon limiti 1 ppm'dir (Akçil., 2002).

INCO prosesi sonucunda toksik serbest siyanürlerin dönüştüğü siyanat hidrolize uğrayarak amonyak, karbonat ve bikarbonat meydana gelmektedir ve bu yüzden çözeltilerde birikim yapmaz. Siyanat siyanüre göre 1000 kez daha az toksik özellik gösterir. Siyanatın hidrolizi genellikle pH < 6'dan küçük ortamlarda hız kazanmaktadır. Hidroliz ürünü amonyak bakır, çinko, gümüş ve nikel gibi ağır metallerle çözülebilir amin kompleksleri oluşturabildiğinden dolayı, amonyağın varlığı bu metallerin pH > 9 olan ortamlarda çökmesine neden olmaktadır (Kuyucak, 2001). pH<9 olması durumunda ise amonyağın kimyasal veya biyolojik oksidasyona uğraması neticesinde son ürün olarak nitrat (NO_3^-) oluşmaktadır (Kuyucak ve Akçil, 2013). INCO prosesi altın liç atıklarındaki toplam siyanür miktarını (CN_T) Uluslararası Çevre Mevzuatlarıncı belirtilen 1 ppm derişimin altına düşürmektedir. Bu sayede toksik siyanür içeriği (CN_{WAD}) zehirsiz hale gelir ve siyanür kabul edilebilir düzeye düşürülmüş olur (Akçil, 2003).

Yatırım ve işletme maliyetinin diğer kimyasal proseslere göre düşük olması, kesikli ve sürekli olabilmesi, çözeltilerden demirin uzaklaştırma problemini ortadan kaldırması, çevre ve canlı ekosistemine dost duruşu (Çelik v.d., 1997), çözeltilere, atıklara ve terk edilmiş yığınlara uygulanabilirliği (Yarar, 2001). INCO prosesini en çok tercih edilen siyanür bozundurma prosesi yapan

avantajlardır. Dünya çapında 50 ‘den fazla altın işletme tesisi INCO prosesinin lisansını edinmiş durumdadır (Yarar, 2001). Ancak bunca avantajına rağmen prosesin dikkatli olunması gereken noktaları da yok değildir. Bunlardan, sülfid kaynağı olarak SO₂ gazı kullanılırken önlemler alınmalıdır. Açığa çıkan kireç, ekipmanlarda tıkanıklıklara sebep olabilir. Bu durum ise işletme maliyetlerini artırabilir. Kullanılan cevherin yapısından kaynaklı olarak ortaya çıkan liç atıklarının arıtılması sırasında reaktif sarfiyatı da artabilir. Mutlaka lisansı alınarak kullanılmalıdır. INCO prosesi ile liç sırasında kullanılan ve atıklarda bolca bulunan siyanür bozundurulur fakat geri kazanılmaz (Çelik v.d., 1997).

11. Sonuçlar

- 1) Altın cevherleri plaser altın cevheri, free-milling (öğütme ile serbestleşen) altın cevheri, kompleks altın cevheri ve refrakter altın cevheri olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır.
- 2) Altının oda sıcaklığında seyreklik siyanür sulu çözeltileri içerisindeki çözünme mekanizması, korozyon reaksiyonu ile açıklanabilir. Oksijen bu reaksiyonun gerçekleşmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Ortamda oksijen olmadığı zaman çözünme verimi çok düşük olmaktadır.
- 3) NaCN suda çözündüğü zaman hidroliz reaksiyonu sonucu toksisitesi çok yüksek olan HCN gazı oluşur. Buna ek olarak, HCN oluşumu nedeni ile siyanür çözeltisindeki CN⁻ iyonu derişimi azalır. Bunun sonucu olarak, altın kazanma verimi oldukça düşmektedir.
- 4) Birçok altın üretim tesisinde adsorpsiyon malzemesi olarak aktif karbon tercih edilmektedir. Çünkü aktif karbon çok yüksek gözenekli yapıya sahip olduğu için yüzey alanı da çok büyüktür. Bu yüzden, aktif karbon ile en kısa sürede maksimum altın adsorplamakta ve defalarca kullanılabilir.
- 5) Altın yüklü karbon malzeme desorpsiyon tankında, 130–140 °C sıcaklıktaki bazik siyanür çözeltisinden altın yüklü karbon elde edilmektedir. Böylece stabil altın-siyanat çözeltisi oluşmaktadır.
- 6) Altın-siyanat çözeltisindeki altını almak için endüstride sulu çözeltide elektroliz yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektroliz işleminde, paslanmaz çelik katot üzerine biriken altın, filtrasyon yöntemi ile ayrılarak katot keki elde edilmektedir. Katot keki bir fırında kurutma ve ergitme işlemleri ile cüruf halinde ayrılır. Böylece dore altın elde edilmektedir.
- 7) Altın cevherinden siyanür liçi ile altın üretmek için uygulanan yerinde liç ve yığın liç yöntemleri çevreye en zararlı yöntemlerdir.
- 8) Uygulamada siyanür ile cevherden altın üretim prosesinde bazik siyanür sulu çözeltisi kullanıldığı için HCN oluşumu ihmal edilebilir. Sağlık için risk oluşturan sulu siyanür çözeltisidir. Sulu bazik siyanür çözeltisi 1 ppm de yüksek miktarda toprağa karıştığı zaman bitki, hayvan ve insan sağlığı için tehlike oluşturmaktadır. Siyanür atık göletlerinde 1 ppm’den yüksek derişimli siyanür olduğu zaman bu göletten su içen kuşlarda ölüm oranı çok yüksek olmaktadır.
- 9) Siyanürizasyon sonucu, yüklü çözeltiden altın kazanıldıktan sonra, geriye kalan yüksüz çözelti ve liç atıkları çevreye ve canlı ekosistemine önemli ölçüde zarar veren hatta ölümlere sebep olabilen toksik serbest siyanür (CN⁻, HCN, CN_{WAD}) bileşikleri içermektedir. Bu toksik maddelerin toprak, hava ve su habitatına zarar vermemesi için, zararsız hale gelmesi yani bozundurulması ile mümkün olmaktadır. Bozundurma yöntemlerinin en yaygın ve etkili olanı kimyasal INCO SO₂/ Hava prosesidir. INCO prosesi ile liç atıklarındaki serbest siyanür derişimi 1 ppm değerinin altına başarı ile düşürülmektedir.

12. Öneriler

- 1) Türkiye’de faaliyet gösteren siyanür liçi uygulayan altın işletmelerinde, yığın liçi ve yerinde liç yöntemlerinin yerine tank liçi önerilebilir. Çünkü tank liçi yönteminde siyanürün toprağa karışması önlenebilir ve böylelikle siyanürün çevreye zararı minimuma indirilebilir. Özellikle deprem veya şiddetli yağmurda oluşan aşırı sel çok büyük risk içermektedir.
- 2) Türkiye’de cevherden siyanür ile altın üreten işletmelerin INCO prosesini uygulaması için yönetmelik çıkarılması ve ruhsat alınmasının mecburi kılınması önerilebilir. Böylelikle Ülkemizde bulunan mevcut altın işletmelerindeki arıtma faaliyetlerinin Uluslararası Çevre Mevzuatlarına uygun hale getirilmesi önerilebilir. Bu mevzuat gereği, siyanür liç atıklarının barajlarda depolanmadan önce serbest siyanür içeriğinin 1 ppm’den düşük derişime indirilmesi zorunlu olacaktır.

Kaynaklar

Akcil, A., Karahan, A.G., Ciftci, H., Sagdic, O. (2003). Biological treatment of cyanide by natural isolated bacteria (*Pseudomonas* sp.), *Minerals Engineering*, vol. 16, pp. 643–64.

Akcil, A. (2003). Turkish gold mining and monitoring in Ovacik gold-silver mine. *Tailings and Mine Waste’03*, 2003c, pp. 37-40, Colorado, USA.

Akcil, A. (2002). Cyanide control in tailings pond: Ovacik gold mine, Turkey, 7th International Symposium on Environmental Issues and Waste management in Energy and Mineral Production, Italy.

Altıntepe, M. (2003). Altının Farklı Liç Çözeltilerinde Çözünme Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.

- Baş, A.D. Yazıcı, E.Y. Celep, O. (2013). Altın Metalurjisinde Yeni Gelişmeler. Madencilik, Cilt 52, Sayı 1, Sayfa 3-17, Ankara.
- Breuer, P.L., Hewitt D.M. (2020). INCO Cyanide destruction insights from plant reviews and laboratory evaluations, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, vol. 129 (1), pp. 104-113.
- Breuer, P.L., Jeffery, C., Meakin, R. (2011). Fundamental investigations of the SO₂/air, peroxide and Caro's acid cyanide destruction processes. In: ALTA 2011 conference proceedings. ALTA: Perth.
- Çelik, H., Mordoğan, H., İpekoğlu, Ü. (1997). Siyanürlü Altın Üretim Tesisi Atıklarının Arıtma Yöntemleri, Madencilik, cilt 36, Ankara.
- Donald, G.B. (2009). Cyanogenic foods (cassava fruit kernels and cycadseeds), Medical Toxicology of Natural Substances, Vol. 55, 336–352.
- Eastaugh, N., Walsh, V., Chaplin T., Siddall, R. (2008). Pigment compendium, Published by Butterworth-Heinemann, Elsevier, USA.
- Eisler, R., Wiemeyer, S.N. (2019). Altın Madenciliğinde Siyanür Kullanımının Bitkilere Ve Hayvanlara Zararları Ve Buna Bağlı Su Sorunları, Çeviri, Ekoloji Kolektifi Derneği, Ankara.
- Gupta, C.K., Mukherjee, T.K., (1990). Hydrometallurgy in Extraction Processes, Volume 2, CRC press, USA.
- Johnson, C.A. (2015). The fate of cyanide in leach wastes at gold mines: An environmental perspective, Applied Geochemistry vol. 57, pp. 194-205.
- Heinen, H.J., Peterson, D.G. ve Lindstrom, R.E. (1978). Processing gold ores using heap leach – carbon adsorption methods, U.S. Bureau of Mines, USA.
- Hewitt, D., Breuer, P., Jeffery, C. (2012). Cyanide detoxification of gold cyanidation tails and process streams, Mineral Processing and Extractive Metallurgy, Transactions of the Institutions of Mining And Metallurgy-C, Vol. 121, No. 4.
- Hiçdönmez, Ş. (1997). Altın üretiminde siyanürleme ve çevre sorunları, Çevre ve Mühendis Dergisi, Sayı 13. Ankara.
- İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H. (1993). Altın Üretim Tesislerindeki Siyanürün Türleri, Toksik Etkileri ve Atık Barajındaki Davranışı ‘‘The Forms, Toxicity and Behaviour of Cyanide in Gold Cyanidation and Tailing Dams’’, Madencilik, Cilt 32 Sayı 1. Ankara.
- Jaszczak, E., Polkowska, Z., Narkowicz, S., Namiesnik, J. (2017). Cyanides in the environment-analysis-problems and challenges. Environmental Science and Pollution Research International, vol. 24, pp. 15929–15948.
- Karlsson, H.L., Botz, M. (2004). Ammonia nitrous oxide and hydrogen cyanide emissions from five passenger vehicles. Science of the Total Environment, Vol. 334-335, pp. 125–132.
- Koksal, E., Ormanoglu, G., Devuyt, E.A. (2003). Cyanide destruction: full-scale operation at Ovacık gold mine, The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection, Vol. 3, No. 3, 1303-0868, pp. 270-280.
- Kuyucak, N. (2001). Acid Mine Drainage (AMD) – Treatment options for mining effluents. Mining Environment Management.
- Kuyucak, N., Akcil, A. (2013). Cyanide and removal options from effluents in gold mining and metallurgical processes, Minerals Engineering 50–51, pp. 13–29.
- Logsdon, M.J., Hagelstein, K., Mudder, T. (1999). The management of cyanide in gold extraction. International Council on Metals and the Environment.
- Marsden J.O., House, C.I. (2006). The Chemistry of Gold Extraction, Society of Mining Metallurgy, and Exploration, Inc (SME), Colorado, USA.
- Mitchell, C.J., Evans, E.J., Styles, M.T., (1997). A review of gold particle size and recovery methods, British Geological Survey, Nottingham.
- Maimekov, Z.K., Sambaeva, D.A., Kemelov, K.A., Moldobaev, M.B., Izakov, J.B., (2014). Destruction of Sodium Cyanide and Determination of Hydrogen Index of the Industrial Waste Water, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vol. 19 (1-2), pp. 25-29.

- Mpinga, C.N. (2012). The extraction of precious metals from an alkaline cyanided medium by granular activated carbon, MSc thesis, University of Stellenbosch, South Africa.
- Mudder, T.I., Botz, M.M., Smith, A. (2001). Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes, Mining Journal Books Ltd, London.
- Nelson, M.G., Kroegef, E.B., Arps, P.J. (1998). Chemical and Biological Destruction of Cyanide: Comparative Costs in a Cold Climate, Mineral Processing and Extractive metallurgy Review, vol. 19, pp. 217-226.
- Oleson, J.L. (2003). Investigation and development of a mathematical model for the oxidation of cyanide in the INCO SO₂/O₂ Process, Master of Science Thesis, University of Alaska Fairbanks, USA.
- Öztürk, M. (2018). Endüstriyel Atıksuda Siyanür ve Krom (6) Giderimi. Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Özsoy, Y. (2015). Refrakter Altın Cevherlerinin Tanımlayıcı Liç Tekniği İle Biyooksidasyona Uygunluğunun Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.
- Sarıkaya, S. (2018). Bir Altın Cevherinde Başlıca İşlem Parametrelerinin Liç Verimine Etkilerinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe üniversitesi, Ankara.
- Sayiner, B. (2012). Siyanür Liçinde Altının Aktif Karbona Adsorpsiyonunda Çeşitli Metallerin Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul.
- U.S. EPA (1994). Treatment of Cyanide Heap Leaches and Tailings. (1994). U. S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, Washington DC.
- U.S. Geological Survey (2020). Mineral commodity summaries 2020. U.S. Geological Survey, 200 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2020>. Energy Ministry. (2020). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Altin>.
- Ünal, İ.H., Tuncel, S., Yoleri, B., Arslan, M. (2016). Türkiye’de ve Dünya’da Altın, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Yarar, B. (2001). Cyanides in the Environment and Their Long-Term Fate, Proceedings of 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, IMCET 2001, pp. 85-93.
- Yılmaz, E. Yazıcı, E.Y. Celep, O. Deveci, H. (2019). Liç Atıklarından Siyanürün Geri Kazanımı Yöntemleri. Madencilik 58(1), 53-71, 2019.
- Zaranyika, M.F., Mudungwe L., Gurira, R.C. (1994). Cyanide ion concentration in the effluent from two gold mines in Zimbabwe and in a stream receiving effluent from one of the goldmines, Journal of Environmental Science and Health A, vol. 29, pp. 1295-1303.



Usage of Antimony Trioxide, Aluminum Hydroxide and Zinc Borate in Grp Composite Production as Fire-Retardant Additives: An Experimental Research

Ahmet Beycioğlu¹ , Eda Yılmaz² , Suna Çetin³ , Neslihan Gökçe⁴ , Hüseyin Yılmaz Aruntaş⁵ 

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of AAT Science and Technology, Adana, 01360, TURKEY

²Turkish Standardization Institute, 06100, Ankara, TURKEY

³Department of Ceramic, Faculty of Fine Art, University of Cukurova, Adana, 01330, TURKEY

⁴Superlite Pipe, 81900, Düzce, TURKEY

⁵Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, University of Gazi, Ankara, 06560, TURKEY

Başyuru/Received: 04/11/2020

Kabul / Accepted: 14/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

In this study, it was aimed to investigate the usability of compounds in inorganic structure and the effect of these compounds used in composites on the mechanical properties of composites in order to give fire retardant properties to glass fiber reinforced polyester composites (CTP). Antimony trioxide (Sb_2O_3), aluminum hydroxide ($Al(OH)_3$) and zinc borate ($2ZnO_3 \cdot BrO_3 \cdot 3H_2O$) were added by different proportions (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%) to resin blends to improve the non-flammability of the composites. In experimental study, the combustion behavior of the doped CTP composites produced using different inorganic compounds was determined by international combustion standards ASTM D-635, ASTM D-3801 and ASTM D-5048. In addition, thermo gravimetric analysis (TGA) was applied in order to determine the thermal behavior of the produced GRP composites due to temperature increase and tensile test were applied according to ASTM 638-14. As a result, when the flame retardant additive ratio is 15% or more in the GRP composites, the hand lay production became difficult due to the increase in viscosity. According to ASTM D-3801, when 30% AH (Aluminum hydroxide) is used, non-combustible material in V1 class can be produced. All FRP composites containing flame retardants were included in the HB (Horizontal burning) slowly burning material class. Flame retardant use generally reduced the tensile strength of GRP composites, but it was found that 10% increase in AT (Antimony trioxide)-doped CTPs.

Key Words

“Glass fiber, Fire retardant composites, Non-flammability, Tensile test”

1. Introduction

Lately, studies on polymer composites reinforced with fibers have accelerated with the developing technology. Polymer composites are easy to process, lightness, corrosion resistance, etc. finds application in different sectors as superior materials due to their properties (Şahin, 2015). The main production purpose of composite materials is to combine the properties of different materials that are considered to obtain good and superior properties (Bulut et al., 2011).

At least one of these two or more materials should be the material called matrix as the main binder of the composite, and the other should be the material that gives the composite superior feature and is called reinforcement (Valery et al., 2001). Metal, ceramic and polymer materials are used as matrix materials in produced composites today (Kaya, 2016).

Nowadays, glass fiber reinforced composites (GRP) are among the most widely used polymer-based composites. GRPs are highly preferred materials in various sectors with their low density, ease of forming and high strength (Bulut et al., 2011). However, it is known that they have flammability properties because they are polymer-based (Saçak, 2005). When exposed to fire, polymeric materials are composed of hydro-carbon chains that rapidly burn by releasing high amounts of heat, flame and smoke (Dittenber et al., 2006; Bar et al., 2015; Cullis et al., 1981; Camino et al., 1991).

Various studies are carried out in the literature to increase the burning resistance of the polymer. The flame retardants (FR) used in these studies can affect the burning physically, chemically or both together (Saçak, 2005). In terms of human safety, it is dangerous to use polymeric composite materials without any FR process. The use of FR-composite materials for different applications that increase safety awareness in consumers has become a concern of developed and developing countries, including the European Community and the United States government (Bar et al., 2015; Sorathia et al., 1992).

Thermoset type composites also burn rapidly in fire. Manfredi et al., 2006 prepared a series of composites. These composites are mod-acrylic, unsaturated polyester and jute as reinforcement material, linen, sisal and glass respectively. The flame retardant behavior of these composite materials was compared. It was noticed that flax fibre reinforced composite allows to leave the highest amount of heat while glass fibre reinforced composite shows the lowest release (Bar et al., 2015).

Magnesium hydroxide is one of the most important flame retardants that is widely used in the polymer industry (Hornsby et al., 1994; Carpentier et al., 2000). Sangcheol et al., 2003 has studied smoke suppression and flame retardancy of magnesium hydroxide filled polyethylene composites. The experimental results demonstrated that the flame retardancy shown by magnesium hydroxide could be increased effectively by adding talc and zinc borate.

The flame retardant properties of polymer composites are enhanced by the addition of higher amounts of flame retardants than the group of metallic hydroxides such as aluminum hydroxide and magnesium hydroxide. However, especially the flexural strength and tensile strength of the produced polymeric composites are weakened. The highly effective flame retardant magnesium hydroxide is another type of magnesium hydroxide that dominate better flame retardant property than that of the common magnesium hydroxide (Maira et al., 2015; Tasdemir et al., 2011).

In this study, it was aimed to investigate the usability of compounds in inorganic structure and the effect of these compounds used in composites on the mechanical properties of composites in order to give fire retardant properties to glass fiber reinforced polyester composites (GRP).

2. Materials and Method

2.1. Materials

In the production of composites, orthophthalic unsaturated polyester resin with thermoset characteristic as binder, Methyl Ethyl Ketone Peroxide as initiator, Cobalt Octoate as accelerator were used. In addition, 30x30 cm matt felt glass fibers were used as reinforcing material to produce all composites containing flame retardant powders. All materials used in this research are given in Figure 1.

The resin used in the production of composites has medium reactivity and medium viscosity. It is suitable for GRP production by hand lay-up method. The properties of resin and matt felt glass fibers as main materials of composites were given in Table 1 and Table 2.

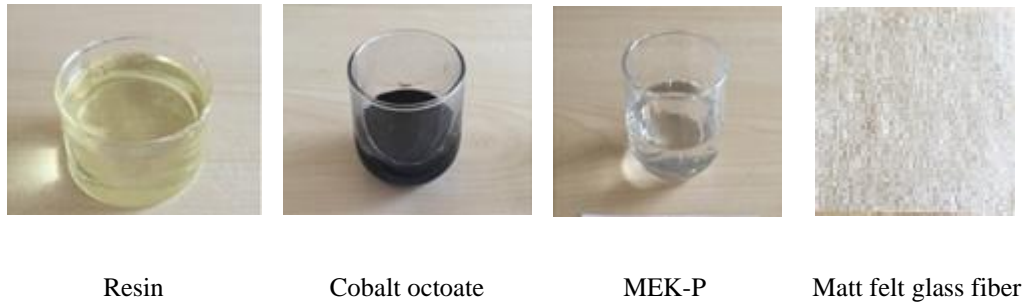


Figure 1. Materials used in study

Table 1. Properties of Unsaturated Polyester Resin

Features	Range
Viscosity 23 °C (cps)	Winter season- 350-450 Summer season-500-550
Appearance	Transparent
Monomer Ratio (%)	38-42
Acid value (mgKOH/g)	18-22
Gel time (min.)	Winter season -08-12 Summer season -12-15

Table 2. Properties of matt felt glass fiber

Features	Value
Glass Type	E
Binder Type	Silane
Trimmed Bundle	50 mm
Resin Harmony	Polyester
Weight unit area	225 g/m ²
Soakage	Rapid

In addition to main materials of composites, antimony trioxide (AT), aluminum hydroxide (AH) and zinc borate (ZB) powders were used as flame retardant additives (FR) in order to reduce the flammability risk of the composites. Images and chemical formulas of powders used in this research were given in Table 3 and Figure 2.

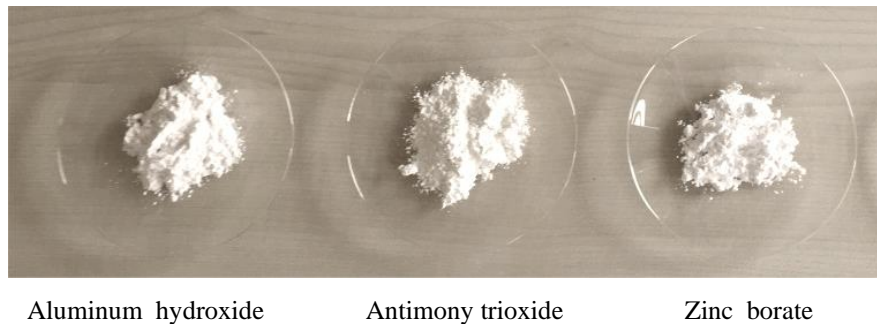


Figure 2. Images of flammability additives

Table 3. Flammability additives and their properties

Compound	Formula	Appearance
AH	Al(OH) ₃	White powder
AT	Sb ₂ O ₃	White powder
ZB	2ZnO.3BrO ₃ .3H ₂ O	White powder

2.2. Method

In the experimental stage, burning characteristics and axial tensile performance were performed according to ASTM D-635-18, ASTM D5048 and ASTM 638-14, respectively. Test samples of all composites containing AH, AT and ZB (including different percentages of each additive) were prepared with different dimensions to apply burning and axial tensile tests in accordance with related ASTM standards. The size and number of test samples prepared for each composites containing AH, AT and ZB were given in Table 4.

Table 4. The size and number of test samples prepared for each composites

Sample Code	Percentage of compound (%)	Combustion Test			Axial tensile test
		ASTM D635-18 125×13×3mm m diameter	ASTM D5048 150×150mm diameter for plaque type 13×125×5mm diameter for bar type	ASTM D3801-10 13×125×13mm diameter	ASTM D638-14 long of 250 mm rod specimen (thickness 4 mm rod narrow section width 6 mm)
AH	5	10	6+6	10	3
	10	10	6+6	10	3
	15	10	6+6	10	3
	20	10	6+6	10	3
	25	10	6+6	10	3
	30	10	6+6	10	3

TGA of composites from room temperature to 800 °C at a heating rate of 10 °C/min was carried out using a SETERAM Thermal Gravimetric Analyzer. Nitrogen was used as a carrier gas with a constant flow rate during analysis. TGA analysis was performed in order to determine the effect of additives on decomposition behavior of composite under heat effect. In TGA analysis, test samples were prepared without matt felt fiber in order to determine the effect of the additives more clearly. Average of 8-10 mg samples were taken from all matrix (including reference) to use in TGA analysis. A total of 600 samples were produced with the aim of applying the flame test on composite samples in accordance with all angles, heights and application positions of flame detailed in ASTM standards. In experimental studies, the optimum amount of resin used in the production of hand lay-up composites was determined as 300 grams after preliminary tests considering the effect of the impregnation of the fibers and the effect of the powder additives on the resin consistency.

In the first step of sample production, resin was weighted (Figure 3(a)). Then, cobalt octoate (as accelerator) was added to the resin as 1% by weight of resin and mixing procedure was started (Figure 3(b)). When the resin+cobalt octoate mixture became homogeneous, it was continued to be mixed slowly by adding 1% methyl ethyl ketone peroxide (as initiator) (Figure 3(c)).

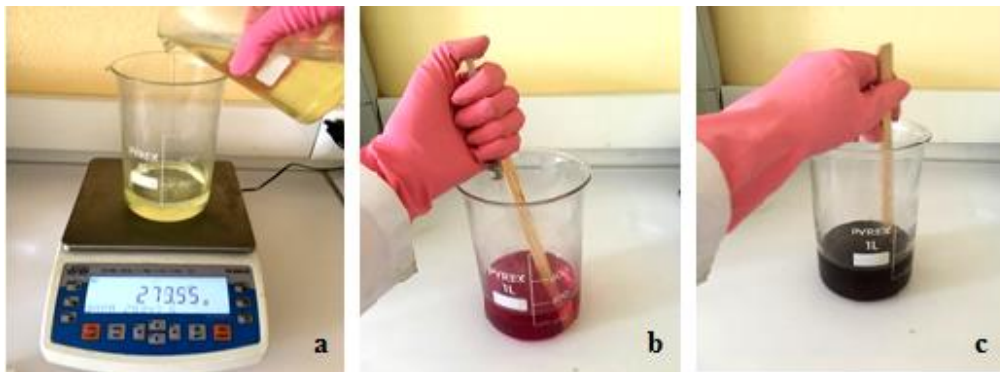


Figure 3. Preparation of resin matrix: (a) Weighting resin; (b) Cobalt octoate addition and mixing; (c) MEK-P addition and mixing

After the addition of accelerator and initiator to the resin, AT, ZB and AH at rates of 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% were added to the mixture and mixing process applied by a rod until a homogeneous form is provided. Burning resistance tests on the composites were performed according to ASTM D-635, ASTM D-3801, ASTM-D5048 standards through combustion chamber test setup given in Figure 4((a),(b)). In burning tests, flame heights and flame angles (20° and 45° angle with 20 mm and 125 mm elevation) were variables

and also flame exposure (horizontal / vertical) was applied in two positions according to the ASTM standards. Details of combustion tests were given in Figure 5((a),(b),(c)).

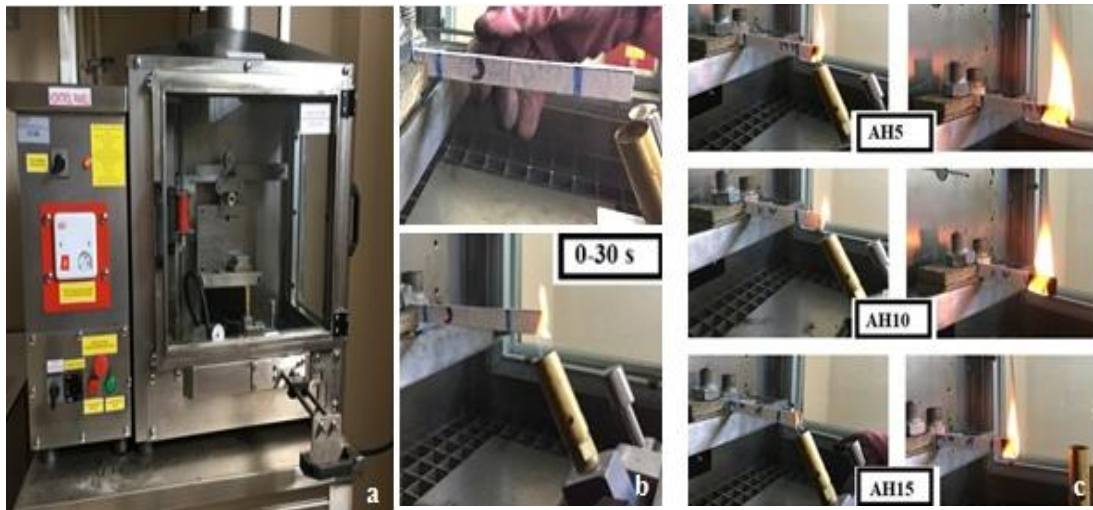


Figure 4. (a) Combustion chamber test; (b) An application of test

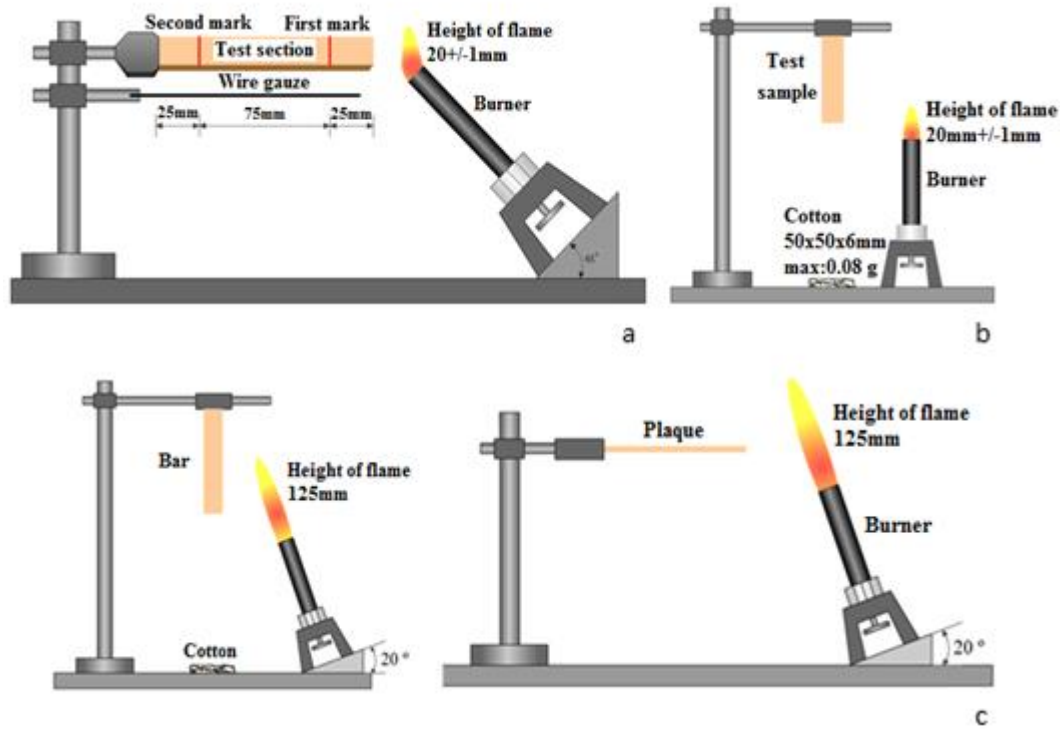


Figure 5. Burning tests application details (a)ASTM D-635 (b)ASTM D-3801 (c)ASTM D-5048

In addition to burning tests, axial tensile strength test was applied on samples to observe the effects of FRs on mechanical performances of composites. In the axial tensile test, notched samples were used. The appearance of the notched samples before and after the experiment is given in Figure 6. In the tensile strength tests, notched samples were used and the loading rate was determined as 5 mm / min according to ASTM 638-14.



Figure 6. Condition of notched samples before tensile test and after tensile testing

3. Results and Discussions

3.1. Thermogravimetric Analysis (DTA-TGA)

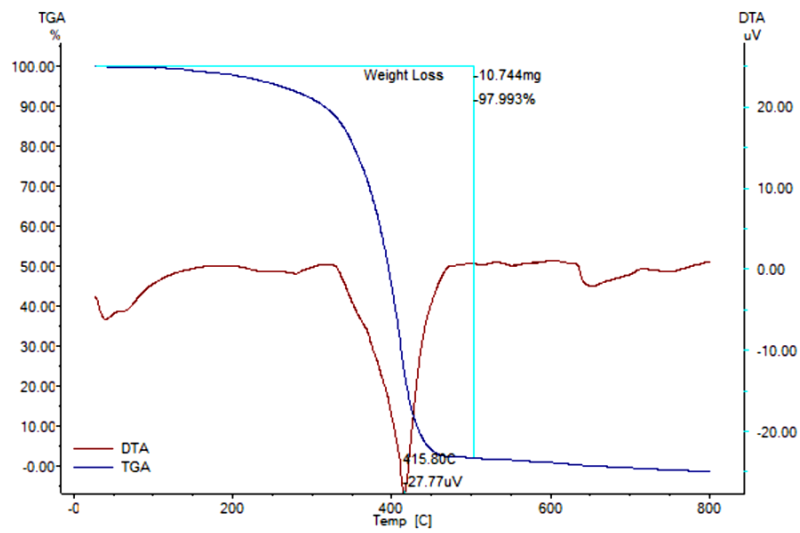


Figure 7. TGA-DTA diagram for reference sample

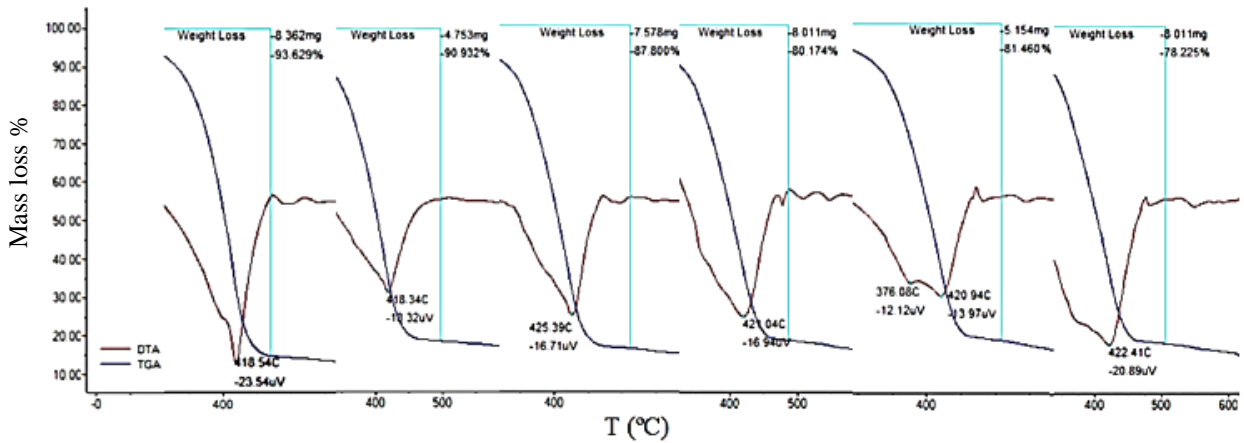


Figure 8. TGA-DTA diagram for composite samples containing AH

TGA-DTA curves of all composites containing FRs were illustrated in Figs. 8-11. AH added composites were analyzed as an example and the others were summarised in Table 5. According to the Fig.8, the endothermic peak values of the AH added composite samples were determined as 414,45 °C, 412,10 °C, 386,33 °C, 399,38 °C, 390,78 °C and 415, 68 °C for AH5, AH10, AH15, AH20, AH25 and AH30 coded samples, respectively.

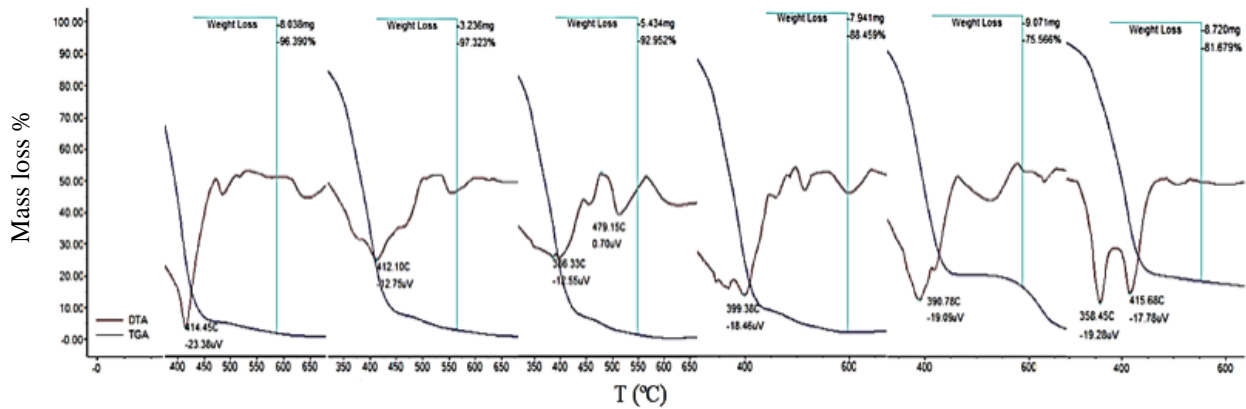


Figure 9. TGA-DTA diagram for composite samples containing AT

The mass losses of composites were found as 96.390% for AH5 (between 50 and 580 °C), 97.323% for AH10 (between 25 and 560 °C), 92.952% for AH15 (between 25 and 550 °C), 88.459% for AH20 (between 30 and 600 °C), 75.566% for AH25 (between 20 and 590 °C) and 81.679% for AH30 (between 20 and 550 °C). The endothermic peak values and mass losses of composites containing other FRs were detailed in Table 5.

Table 5. Mass loss value the composites according to TGA analysis

Sample code	Mass loss (wt.%)	I-F temperature of mass losses (°C)	Temperature of maximum mass loss (°C)
REF	97,99	35 550	415,80
AH5	96,39	50 580	414,45
AH10	97,32	25 560	412,10
AH15	92,95	25 550	386,33
AH20	88,45	30 600	399,38
AH25	75,56	20 590	390,78
AH30	81,67	20 550	415, 68
ZB5	93,08	20 500	409,00
ZB10	91,37	25 500	408,40
ZB15	85,66	20 490	408,40
ZB20	84,84	75 515	410,54
ZB25	80,31	26 600	406,54

Table 5 (devam). Mass loss value the composites according to TGA analysis

Sample code	Mass loss (wt.%)	I-F temperature of mass losses (°C)		Temperature of maximum mass loss (°C)
ZB30	81,67	150	550	402,51
AT5	96,39	20	640	388,80
AT10	92,53	50	600	394,58
AT 15	90,16	75	600	395,58
AT 20	74,92	25	570	390,78
AT 25	74,82	20	525	392,42
AT 30	96,28	25	600	402,93

I :İnitial; **F**: Flammability

3.2. Burning Behaviors of Composites

3.2.1. Burning test results of 125mm flame height application (ASTM D-5048)

In the observations made after the burning test, color change occurred very clearly on the reference sample. In some samples containing additives, color changes were observed, although not as much as the reference sample. The images of all plates after ASTM D-5048 burning test were shown in Figure 11.

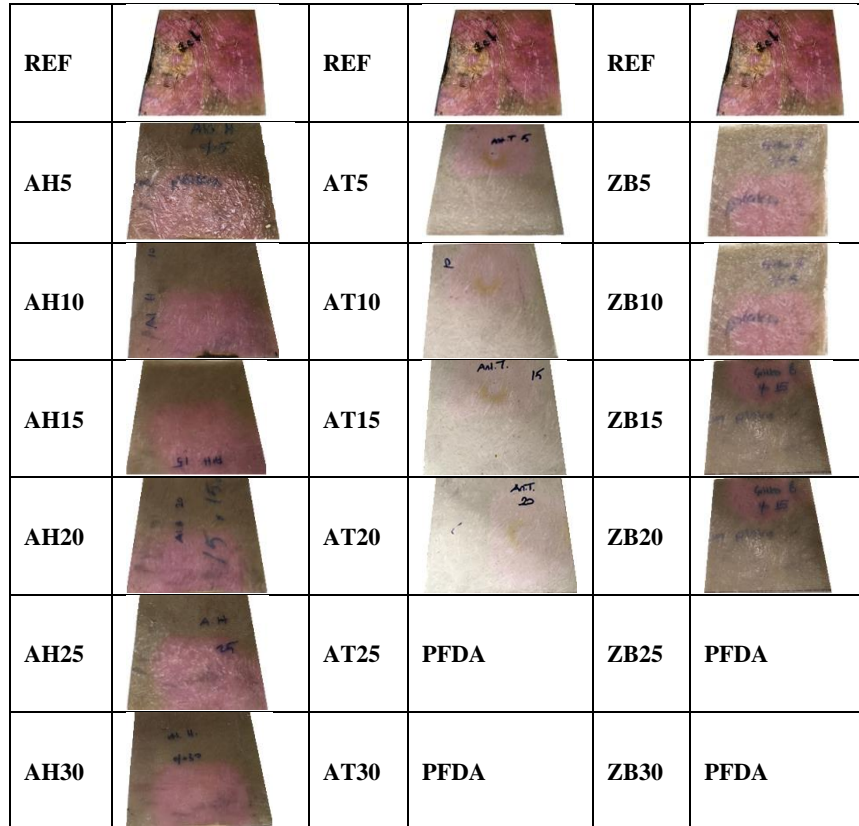


Figure 11. Images of All Plates After Astm D-5048 Burning Test

As seen in the figure, there was no puncture occurred on all plates and all samples showed a non-flammable material behavior according to ASTM D-5048 burning test. According to observational analysis when different additive types were compared among each other, all samples containing AH showed similar results and the increase of the additive content did not affect the color change on the surface under burning effect. It was observed that the color changed area decreased with the increase in the percentage of AT addition under the effect of flame. The behavior similar to the samples containing AT addition was also observed in the samples containing the ZB addition.

3.2.2. Vertical burning test (ASTM D3801)

Vertical burning test was applied to the samples according to ASTM D3801 standard. Figure 12 shows the images of composite samples produced at each percentage rate (5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30%) after the vertical burning test.

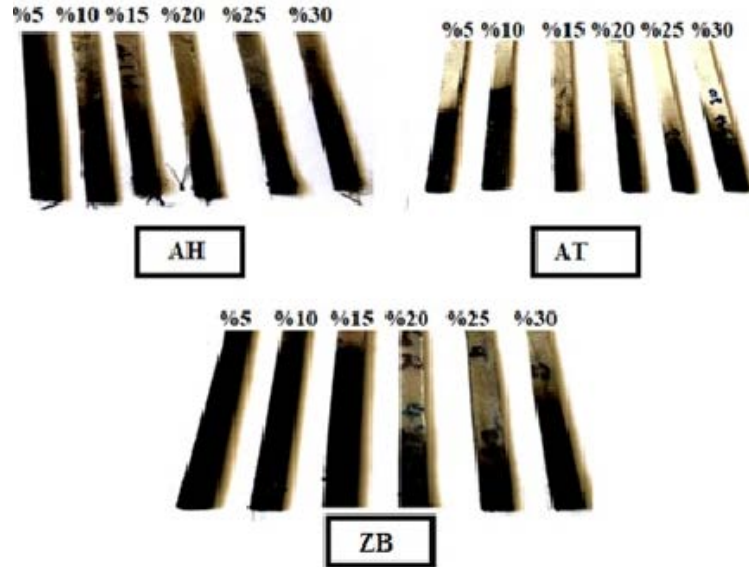


Figure 12. Post-burning images of composite samples after vertical burning test

In the vertical burning tests applied to the reference samples, the combustion behavior started in the first ten seconds and then continued increasingly. In the experiment, the whole body of non-additive reference sample was burnt. The combustion classes determined in ASTM D-3801 for vertical burning test were given in Table 6.

Table 6. Classifications of materials according to the ASTM D 3801 standard

Criteria conditions	V-0	V-1	V-2
After-flame time for each individual specimen (t_1 or t_2)	≤ 10 s	≤ 30 s	≤ 30 s
Total after-flame time for each specimen set (t_1+t_2 for the five specimens)	≤ 50 s	≤ 250 s	≤ 250 s
After-flame plus afterglow time for each individual specimen after the second flame application (t_2+t_3)	≤ 30 s	≤ 60 s	≤ 60 s
After-flame of any specimen up to the holding clamp	NO	NO	NO
Cotton indicator ignited by flaming particles or drops	NO	NO	YES

According to the findings, the fire resistance classes of all samples were given in Table 7. When Table 7 is examined, it is seen that only AT30 and AH30 samples correspond to V1 (ASTM D-3801 ratings are classified as V-0, V-1, and V-2, ordered by increasing flammability) as non-combustible material classes according to ASTM D-3801.

Table 7. Evaluation of the post-burning states of samples according to ASTM D-3801 standard

Sample code	CD, s		TCD, s		CDAFFA, s		CP		CI		Incombustibility class		
	≤ 10	≤ 30	≤ 50	≤ 250	≤ 30	≤ 60	YES	NO	YES	NO	V0	V1	V2
REF	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	✓	-	CMS	✓	NR	NR	NR
AH5	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	✓	CMS	✓	NR	NR	NR
AH10	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	✓	CMS	✓	NR	NR	NR
AH15	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	✓	CMS	✓	NR	NR	NR
AH20	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	✓	CMS	✓	NR	NR	NR
AH25	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	✓	CMS	✓	NR	NR	NR
AH30	CMS	✓	CMS	✓	CMS	✓	CMS	✓	CMS	✓	NR	✓	NR

Table 7 (*devam*). Evaluation of the post-burning states of samples according to ASTM D-3801 standard

Sample code	CD, s		TCD, s				CDAFFA, s		CP		CI		Incombustibility class		
	≤10	≤30	≤50	≤250	≤30	≤60	YES	NO	YES	NO	V0	V1	V2		
ZB5	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	✓	NR	NR	NR		
ZB10	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	✓	NR	NR	NR		
ZB15	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	✓	NR	NR	NR		
ZB20	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	✓	NR	NR	NR		
ZB25	CMS	CMS	CMS	✓	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	✓	NR	NR	NR		
ZB30	CMS	CMS	CMS	✓	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	✓	NR	NR	NR		

CMS: Couldn't match standart; **CD:**Combustion duration; **TCD:** Total combustion duration; **CDAFFA:** Combustion duration after the first flame application; **CP:** Combustion progress; **CI:** Cotton ignited by flaming particles **NR:** No Rated

3.2.3. Horizontal burning test (ASTM D635-14)

Horizontal burning test was applied to the samples according to ASTM D635-14 standard. In the reference sample, the flame reached the first 25 mm boundary line in less than 30 seconds and also the reference samples were completely burned rapidly in this test like other combustion tests. The images of all samples after the horizontal burning test were given in Figure 13.

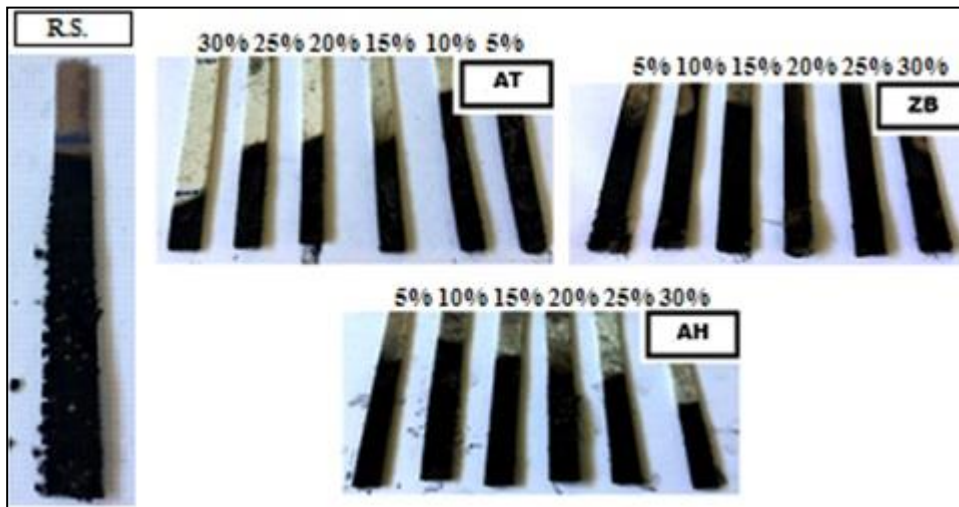


Figure 13. The images of all samples after the horizontal burning test

In the test, the reference sample was completely burned out in a short time shortly after the flame application for 30 seconds. It was concluded that the reference sample has a high burning rate according to the ASTM D-635 classification and exceeds the upper limit of 40 mm / min given in standard. According to this result, it can be said that the reference sample cannot be defined in the class of HB-Slow Burning Material according to ASTM D-635 - Horizontal Combustion Test classes. In all samples containing AT, AH and ZB with different ratios, the burning rate slowed down after the burning zone of the sample exceeded 25 mm, which is the reference region. Subsequently, all materials containing AT, AH and ZB with different ratios burned with slow Burning Rate (less than 40 mm/min) up to 75 mm distance.

According to these behaviors of materials, all materials can be classified as HB-Slow Burning Material according to ASTM D-635. The classifications of all samples according to ASTM D-635 were given in Table 8.

Table 8. Results of horizontal burning test ASTM D-635 HB for composites and reference sample

Sample code	BR mm/min ≤40 mm/dk	Classification
REF	-	NC
AH5	✓	HB
AH10	✓	HB
AH15	✓	HB
AH20	✓	HB
AH25	✓	HB
AH30	✓	HB
AT5	✓	HB
AT10	✓	HB
AT15	✓	HB
AT20	✓	HB
AT25	✓	HB
AT30	✓	HB
ZB5	✓	HB
ZB10	✓	HB
ZB15	✓	HB
ZB20	✓	HB
ZB25	✓	HB
ZB30	✓	HB

HB Burning Rate less than 40 mm/min
NC: Non classified
Sample type: Having thickness of ~3.2 mm

3.2.4. Axial tensile test (ASTM D638-14)

The average tensile strength results of all samples were presented in Table 9. According to the results in Table 9, the maximum tensile strengths were found as 138,32 MPa, 181,63 MPa, 146,21 MPa, 132 MPa in AH 20, AT10 and ZB15 coded samples according to the additive types. The minimum tensile strengths were found as 121,89 MPa, 127,74 MPa, 105,00 MPa and 98,60 MPa for AH15, AT20 and ZB25 respectively.

Table 9. Tensile test result of composites and reference sample

Sample code	Average tensile strength (MPa)
REF	152.33
AH5	131.62
AH10	134.44
AH15	121.89
AH20	138.32
AH25	135.26
AH30	128.97
AT5	142.49
AT10	181.63
AT15	146.54
AT20	127.74
AT25	140.83
AT30	142.54
ZB5	124.49
ZB10	121.28
ZB15	146.21
ZB20	105.27
ZB25	105.00
ZB30	109.64

Note: Three specimens were tested and their average values were noted.

The relative comparison of tensile strength results were given in Fig. 14 (a-d). It is clearly seen in Figure 14 (a-d) that only AT5 coded samples' tensile strength was found higher than reference sample. The most significant decreases in tensile strengths were observed in samples containing ZB in comparison to the reference sample.

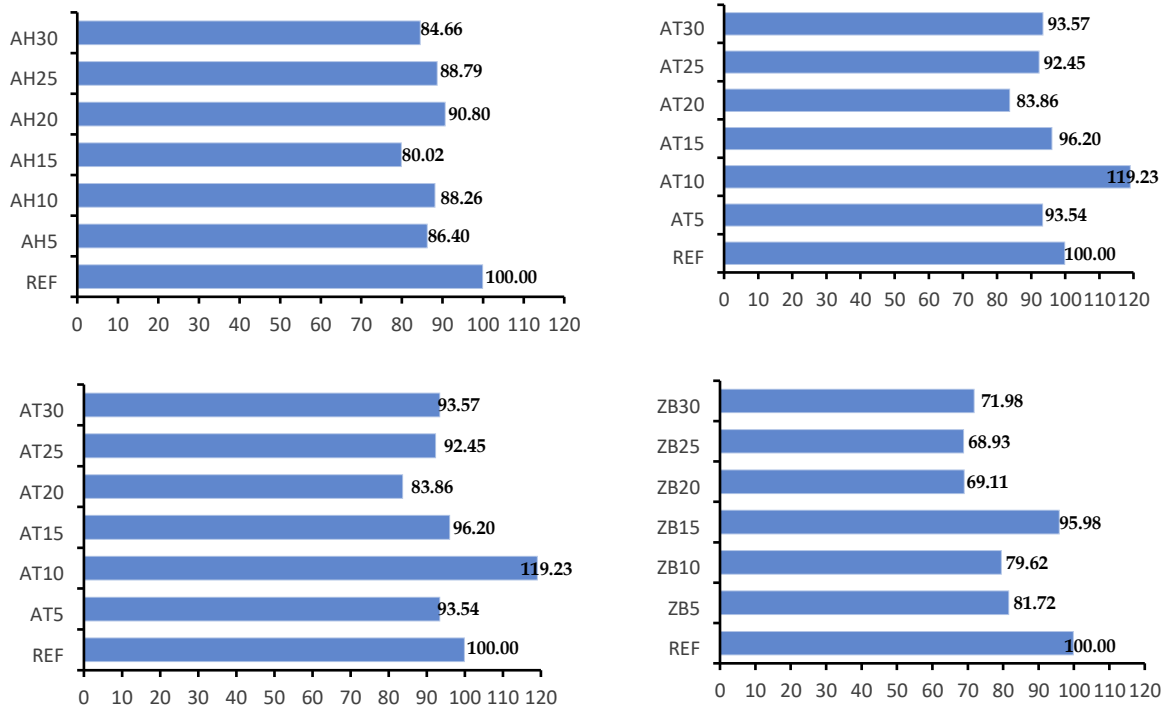


Figure 14. The relative comparison of tensile strength

When the experimental findings and relative comparison graphs are analyzed, it can be concluded that FR addition decreases the tensile strength. Furthermore, it is difficult to establish a meaningful relationship between the amount and type of additive and tensile strength. The highest tensile strength among all samples was found in the mixture coded as AT10.

4. Conclusions

Non-Flammability behavior of the composites

There was no puncture occurred on all plates (reference plate and plates produced by using FRs) thus all samples can be evaluated as non-flammable material according to the ASTM D-5048. It has been observed that the increase in the percentage of AT, ZB and AH addition caused a decrease in the area effected by combustion.

Composites containing 30% AT and 30% AH correspond to V1 which means the non-combustible material classes according to ASTM D-3801. Zhu et al., 2019 had already tried to explain non-combustible behavior of AH through the released water of crystallization. According to them the hydroxides in $Al(OH)_3$ may release water of crystallization when they are heated, absorbing part of the heat produced during the burning process, thus reducing the surface temperature of the materials and decreasing their rate of degradation. The results found in this research confirms to their research results.

Whereas the reference sample could not be classified as HB Slow Burning Material according to ASTM D-635, all samples containing AT, AH and ZB in different ratios should be classified as HB.

Mechanical properties of the composites

When the tensile strength results of the composite materials are examined; 10% AT added composite material showed higher tensile strength than the reference sample. Except 10% AT added composite, the tensile strengths of all composite samples containing flame retardant additives decreased. Although it has been observed that the use of additives decreases the tensile strength of composites, it is difficult to establish a meaningful relationship between the amount/type of additive and tensile strength.

Acknowledgment

This study was supported by Düzce University Scientific Research Projects Coordination Unit (Project No: 2017-0705527).

References

Bar, M., Alagirusamy, R., Das, A. (2015). Flame retardant polymer composites. *Fibers and Polymers*. 16, 705-717.

- Bulut, Y., Erdoğan Ü. H. (2011). Usability of cellulose based natural fibers as reinforcement materials in composite manufacturing. *Journal of Textiles and Engineer.* 82, 26–35.
- Camino, G., Costa, L., Cortemiglia, L. (1991). Polymer degradation and stability. *Journals & Books.* 33(2), 131-154. doi:10.1016/0141-3910(91)90014-I
- Carpentier, F., Bourbigot, S., Le Bras., M. (2000). Charring of fire retarded ethylene vinyl acetate copolymer magnesium hydroxide/zinc borate formulations. *Polymer Degradation and Stability.* 69 (1), 83–92. doi:10.1016/S0141-3910(00)00044-6
- Cullis, C.F., Hirschler., M.M. (1981). *The combustion of organic polymers.* Clarendon Press, Oxford.
- Dittenber, B.D., Gangarao, V.S.H. (2006). Composites part a: Applied science and manufacturing. *Journals & Books* 43 (8), 1419-1429. doi:10.1016/j.compositesa.2011.11.019
- Guan, F.L., Gui, C.X., Zhang, H.B. (2016). Enhanced thermal conductivity and satisfactory flame retardancy of epoxy/alumina composites by combination with graphene nanoplatelets and magnesium hydroxide. *Compos Part B: Eng.* 98 (1),134–140. doi:10.1016/j.compositesb.2016.04.062
- Hong, C.H., Lee, YB. (2005). Tensile properties and stress whitening of polypropylene/polyolefin elastomer/magnesium hydroxide flame retardant composites for cable insulating application. *Journal of Applied Polymer Science* 97 (6), 2311–2318. doi:10.1002/app.21776
- Hornsby, P.R. (1994). The application of magnesium hydroxide as fire retardant and smoke-suppressing additive for polymers. *Fire and Materials.* 18, 269–276. doi:10.1002/fam.810180502
- Kaya, A.İ. (2016). *Composite Materials and Their Properties.* Putech & Composites Magazine.
- Maira, B., Chammingkwan, P., Terano, M. (2015). New reactor granule technology for highly filled nanocomposites: effective flame retardation of polypropylene/magnesium hydroxide nanocomposites. *Macromolecular Materials and Engineering.* 300 (7),679–683. doi:10.1002/mame.201500012
- Manfredi, B.L., Rodriguez, S. E., Wladyka-Przybylak, M., Vázquez, A. (2006). Thermal degradation and fire resistance of unsaturated polyester, modified acrylic resins and their composites with natural fibres. *Polymer Degradation and Stability.* 91 (2). 255-261. do:10.1016/j.polymdegradstab.2005.05.003
- Raghavendra, T., Kavan, P. (2018). A novel study on thermal stability of camphor soot reinforced coir fibers. *Fibers and Polymers.* 19, 1567-1575. doi:10.1007/s12221-018-8033-2
- Saçak, M. (2005). *Polymer Technology*, 1th edition. Ankara
- Sain, M., Park, S.H., Suhara, F. (2004). Flame retardant and mechanical properties of natural fibre-PP composites containing Magnesium hydroxide. *Polym Degrad Stab.* 83 (2),363–367. doi:10.1016/S0141-3910(03)00280-5
- Sangcheol, K. (2003). Flame retardancy and smoke suppression of magnesium hydroxide filled polyethylene. *Journal of Polymer Science Part B Polymer Physics.* 41 (9), 936-944. doi:10.1002/polb.10453
- Sorathia, U., Rollhauser, C, M., Hughes, W.A. (1992). Improved fire safety of composites for naval applications. *Fire and Materials.* 16, 119-125. doi:10.1002/fam.810160303
- Tasdemir, M., Caneba, G.T., Tiwari, R. (2011). Characterization of PP/Mg(OH)₂ and PP/nanoclay composites with supercritical CO₂ (scCO₂). *Polymer-Plastics Technology and Engineering.* 50 (10), 1064–1070. doi:10.1080/03602559.2011.557919
- Titelman, G.I., Gonen, Y. (2002). Discolouration of polypropylene-based compounds containing magnesium hydroxide. *Polymer Degradation and Stability.* 77 (2), 345–352
- Valery, V., Evgeny, I. (2001). *Mechanics and Analysis of Composite Materials.*
- Zhu, Z.M., Shang, K., Wang, L.X., Wang, J.S. (2019). Synthesis of an effective bio-based flame-retardant curing agent and its application in epoxy resin: Curing behavior, thermal stability and flame retardancy. *Polymer Degradation and Stability.* 167. 179-178. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2019.07.005



İstanbul Havalimanı Yolcu Kapasitesinin Tahminine Yönelik Simülasyon Çalışması

Simulation Study for Estimating Istanbul Airport Passenger Capacity

Vecihi Yiğit¹ , Serdar Çelik² 

¹Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum, TÜRKİYE

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum, TÜRKİYE

Başvuru / Received: 12/11/2020

Kabul / Accepted: 02/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon / Final Version: 18/01/2021

Öz

Bu makalede İstanbul Havalimanının büyük ölçekli bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Çalışmanın amacı, uçak geliş ve kalkış operasyonlarının analizi ile pist kullanımının verimliliğinin değerlendirilmesidir. Havalimanlarının darboğazlarını genellikle pistler oluşturmaktadır ve kapasitesinin değerlendirilmesi havalimanı yönetimi için büyük önem taşımaktadır. Çalışma veri toplama, verilerin analizi, simülasyon modelinin kurulması, modelin doğrulanması, modelin tasarımı ve sonuçların analizi kısımlarından oluşmaktadır. Uçakların havalimanına gelişlerine ve kalkışlarına ilişkin veriler, 1 ayı içeren ve 25 binden fazla kayıt analiz edilerek, pist kapasite tahmin modeli oluşturmak için karmaşık bir ayrık olay simülasyon yazılımı olan ARENATM programında girdi olarak kullanılmıştır. Simülasyon modeli, kapasite üzerinde en önemli etkiye sahip olan uçakların gelişi, kalkışı ve taksi aşaması aynı zamanda yolcu sayısı bilgileri ile oluşturulmuştur. Yapılan analizler sonucunda İstanbul Havalimanının 2050 yılında hedeflenen yolcu kapasitesine ulaşip ulaşamayacağı tahmin edilmiştir. Model, pist kapasitesinin değerlendirilmesinde oldukça verimli görünmektedir.

Anahtar Kelimeler

“İstanbul Havalimanı, Kapasite Planlama, Simülasyon”

Abstract

In this article, a large-scale simulation model of Istanbul Airport has been developed. The aim of the study is to analyze the aircraft arrival and departure operations and to evaluate the efficiency of runway use. Runways often form the bottlenecks of airports and the assessment of their capacity is of great importance for airport management. The study consists of data collection, analysis of data, establishment of the simulation model, verification of the model, design of the model and analysis of the results. Data on arrivals and departures of aircraft at the airport were used as input in ARENATM, a sophisticated discrete event simulation software, to create a runway capacity estimation model by analyzing more than 25 thousand records, including 1 month. The simulation model was created with the arrival, departure and taxi stages of aircraft, which have the most significant impact on capacity, as well as the number of passengers. As a result of the analyzes made, it was estimated whether Istanbul Airport will reach the targeted passenger capacity in 2050. The model appears to be very efficient in evaluating runway capacity.

Key Words

“Istanbul Airport, Capacity Planning, Simulation”

1. Giriş

1970'lerin başından bu yana, havalimanlarında trafiğin zirveye ulaşması, dünyanın her yerindeki havalimanı operatörleri için artan bir endişe sorunu haline gelmiştir. Bu zorluk, çok sayıda trafik akışının sınırlı bir bölgede birleştiği pistlerde en belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu pistlerin rollerinin doğru bir şekilde atanmaması pist yönetim sorununu oluşturacaktır. Örneğin, bu durum bir nedensel zincir başlatabilir. Böylece, pistlerde oluşacak darboğaz etkisi, uçak kalkış ve inişlerinde gecikmelere, kullanılmayan pist kapasitesine ve kontrolör iş yükünün artmasına neden olabilecektir. Ayrıca, finansal ve çevresel maliyetlerin artmasına da neden olacaktır. Bir havalimanının kapasitesi, genel olarak belirli bir hacmi idare etme kabiliyeti olarak tanımlanabilir. Pist kapasitesi ise belirli koşullar altında tek bir veya birden fazla pist kombinasyonu tarafından barındırılması makul olarak beklenebilecek uçak operasyonlarının saatlik oranı olarak tanımlanmaktadır.

Havalimanı içerisinde meydana gelebilecek bir darboğaz doğrudan havalimanı kapasitesini sınırlayıcı bir etki oluşturabilmektedir. Uçağın piste inmesinden sonra yolcuların havalimanı dışına çıkmasına kadar gerekli olan tesislerin oluşturulması gerekmektedir. Bu şekilde sürekli ve tıkanmayan bir havalimanı dinamiği oluşturulabilmektedir. Uçakların kalkış ya da iniş sırasında oluşturdukları kuyruklar, uçuşların saatinde başlamamasına neden olmaktadır. Bu gecikme saatleri, maliyetlerin artmasına ve yolcular için zaman kaybına neden olmaktadır. Gecikmelerin nedenleri arasında, havalimanından hizmet almak isteyenler için yeteri kadar pist ve taksi yolu olmamasından kaynaklanmaktadır (Wells ve Young, 2014).


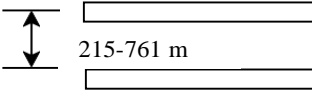
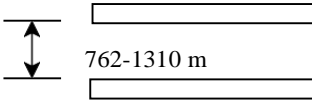
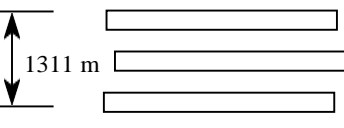
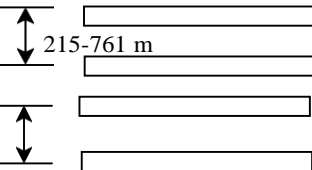
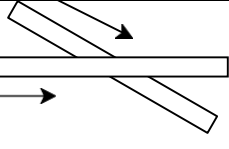
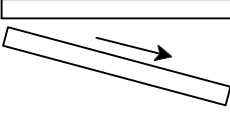
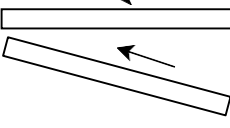
Havalimanı kapasitesi, pratik ve teorik kapasite şeklinde iki farklı şekilde tanımlanmaktadır (Airport Engineering, 1992). Pratik kapasite, uçak gecikmelerini dikkate alırken, teorik kapasite gecikmeleri dikkate almamaktadır. Havalimanlarının beklentileri, politikaları farklılık gösterdiğinden dolayı kabul edilebilir gecikme süresi bir havalimanından başka bir havalimanına göre değişmektedir (Horoñjeff ve diğerleri, 2010). Gecikme sürelerini en aza indirmek ve havalimanı kapasitesini arttırmak için hava ulaşım sistemindeki engellerin nedenleri iyi bir şekilde analiz edilmelidir. Hansen ,havalimanında meydana gelen gecikmelerin nedenleri hakkında çalışmalar yapmıştır (Hansen, 2002). Havalimanının kapasitesini azaltan ve uçakların kalkışında ve inişinde gecikmelere yol açan nedenler arasında yer ulaşım kapasitesi, yolcu terminal kapasitesi, hava sahası kapasitesi ve havalimanı hava kısmı kapasitesi yer almaktadır. Havalimanı hava kısmı kapasitesi; taksi yolu, pist, apron, kapı gibi kısımlardan oluşmaktadır. Havalimanı hava kısmı kapasitesi, güvenli gerçekleşen uçak kalkış ve iniş sayısıdır (Wells ve Young, 2014).

Genel olarak taksi yollarının kapasitesi pistlerin, apronların ve kapıların kapasitesinden daha fazladır fakat bir taksi yolu, bir pistin üzerinden geçiş sağlıyorsa taksi yolunun kapasitesi düşmektedir. Taksi yolları ve aprondaki faaliyetlerin pistlerin kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi olmaktadır. Taksi yolları, pistler, apronlar ve kapılar içerisinde en sınırlayıcı kısmın kapasitesi tüm havalimanı hava kısmı kapasitesini belirlemektedir (Horoñjeff ve diğerleri, 2010). En az esnekliğe sahip olan pistler ve taksi yolları, havalimanı tasarımı planlanırken ilk olarak düşünülmesi gereken elemanlardır. Havalimanı planlama ve tasarım aşamasında pist ve taksi yolları üzerinde durulması gereken noktalar, boyutunun ölçüleri, pist uzunluğu ve havalimanı kapasitesi konularıdır. Taksi yolu kapasitesinin pist ve apron kapasitesinden çok daha önemli olduğu yapılan çalışmalar ile gösterilmiştir. Uçak sayısı, taksi yolunun pistin baş kısmına olan uzaklığı ve biçimi gibi faktörler taksi yolu kapasitesini belirlemektedir. Bir hava sahasının kapasitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. En önemli faktörlerin bir listesi şunları içerir:

- Pist sisteminin konfigürasyonu, sayısı, aralığı ve yönü
- Taksi yolları ve pist çıkışlarının konfigürasyonu, sayısı ve konumu
- Apron alanındaki kapıların düzeni, boyutu ve sayısı
- Gelen ve giden uçak için pist kullanım süresi
- Tesisleri kullanan uçakların boyutu
- Hava durumu, görüş mesafesi, rüzgâr durumu
- Gürültü azaltma prosedürleri
- Kalkış sayısına göre iniş sayısı
- Art arda iniş sırasında oluşan rüzgâr girdapları
- Hava trafik kontrol tesislerinin niteliği ve kapsamı

Pist kapasitesini etkileyen en önemli faktör, birbirini izleyen uçaklar arasındaki mesafedir. Bu mesafe, büyük ölçüde hava koşulları, uçak boyutu ve uygun hava trafik kurallarına bağlıdır (Horoñjeff ve diğerleri, 2010). Pist tasarımına uygun taksi yollarının eklenmesi, pistin ulaşabileceği maksimum kapasitesine erişmesini sağlayarak havalimanının verimliliğini arttırmaktadır. Havalimanı sisteminin kapasitesine en çok etki eden ve hâkim olan havalimanı elemanı pist kapasitesidir. Farklı pist tasarımları için saat bazında kapasite ve yıllık bazında hizmet hacimlerine ait değerler Şekil 1'de verilmiştir.

Farklı pist konfigürasyonları için; paralel pist, tek pist, V tipi pist, açık V tipi pist, kapalı V tipi pist örnekleri verilmiştir. Pist kapasiteleri hakkında (De Neufville ve diğerleri, 2002) çalışması bulunmaktadır. Konu hakkında daha detaylı bilgi (Federal Aviation Administration, 2005) kitabında yer almaktadır.

No:	Pist kullanım konfigürasyonu	Saatlik kapasite işletim VFR	Saatlik kapasite işletim IFR	Yıllık hizmet hacmi işletim / kapasite
1		98 74 63 55 51	59 57 56 53 50	230,000 195,000 205,000 210,000 240,000
2		197 145 121 105 94	59 57 56 59 60	355,000 275,000 260,000 285,000 340,000
3		197 149 126 111 103	119 114 111 105 99	370,000 320,000 305,000 315,000 370,000
4		295 219 184 161 146	62 63 65 70 75	385,000 310,000 290,000 315,000 385,000
5		394 290 242 210 189	119 114 111 117 120	715,000 550,000 515,000 565,000 675,000
6		98 77 77 76 72	59 57 56 59 60	230,000 200,000 215,000 225,000 265,000
7		150 108 85 77 73	59 57 56 59 60	270,000 225,000 220,000 225,000 265,000
8		132 99 82 77 73	59 57 56 59 60	260,000 220,000 215,000 225,000 265,000

Şekil 1. Saatlik ve yıllık nihai kapasitelerin tahminleri (Horonjeff ve diğerleri, 2010)

2. Materyal ve Yöntem

Havalimanı kapasitesi fiziksel genişleme yoluyla artırılabilir; ancak böyle bir çalışma, yüksek yatırım maliyetleri ve genişleme için yeterli fiziksel arazi gerektirir. Bu nedenle, mevcut havalimanlarının maksimum kapasitede işletilmesi kritik ve iyileştirme önlemlerini belirlemek için doğru bir analiz gerekmektedir (Cetek ve Cetek, 2014).

Monte Carlo ve ayrık olay simülasyonu gibi simülasyon teknikleri, havalimanı operasyonlarının tasarımı ve geliştirilmesi için daha gerçekçi sonuçlar sağlamaktadır. Pitfield ve Jerrard, yaptıkları çalışmada üç alternatif pist kullanım senaryosu için Fiumicino Uluslararası Havaalanındaki kısıtlanmamış pist kapasitesini tahmin etmek için Monte Carlo simülasyonu kullanmışlardır (Pitfield & Jerrard, 1999).

Kesikli olay simülasyon teknikleri, havalimanlarının kapasite analizi için detaylı bilgi veren modelleri sağlamaktadır. SIMMOD, TAAM, CAST ve Airport Machine gibi bu tekniğe dayalı olarak çok sayıda araç geliştirilmiştir. Bu araçlarla ilgili ayrıntılı inceleme (Odoni vd., 1997; Zografos ve Madas, 2006) tarafından sağlanmıştır. Chao vd., (2008) SIMMOD kullanarak Gaoqi Uluslararası Havaalanı için bir hava tarafı kapasite geliştirme çalışması gerçekleştirmiştir. Başka bir çalışmada Bazargan vd., (2002) farklı seviyelerdeki yer ve hava sahası kısıtlamaları altında farklı pist konfigürasyonları için pist sistemi kapasite kullanımını araştırmak için TAAM'ı kullanmışlardır. Analizde, Philadelphia Uluslararası Havaalanı'nda maksimum verim kapasitesi açısından önerilen iki genişletme alternatifi karşılaştırılmıştır. Yukarıda belirtilen ayrık olay simülasyon araçları ayrıntılı ve güvenilir analizler sağlayabilseler de uçuş programları ve havaalanı yerleşimi ile ilgili aşırı girdi verisi gerektirmektedir. Bu nedenle, sonuçların güvenilirliği ile simülasyon tekniğini seçerken gereken maliyet ve çaba arasında bir denge bulunmaktadır. Barrer vd., (2005) verilen herhangi bir pist konfigürasyonu ve ayırma kuralları için pist kapasitesini tahmin etmek için simülasyon yoluyla havaalanı kapasite analizi adlı pratik bir simülasyon aracı geliştirmiştir. Araç, ayrıntılı uçuş programlarını kullanmak yerine belirli operasyon ve uçak tipi karışımları için ortalama kapasiteleri tahmin edebilmektedir. Bu nedenle, sonuçlar analitik yöntemlerden daha doğrudur ve karmaşık pist konfigürasyonları için açıklanan ayrık olay modellerinden daha hızlı üretilebilmektedir.

Ayrık olay simülasyon aracı olan ARENA, üretim, lojistik, dağıtım, depolama ve hizmet sistemleri dahil olmak üzere birçok endüstriyel sürecin hızlı ve doğru analizini sağlamaktadır. Yazılım, kullanıcıların modeli oluşturmasına ve simülasyon parametrelerini kolayca tanımlamasına olanak tanıyan çok sayıda işlem modülü sağlamaktadır (Law ve Kelton, 2001).

ARENA kullanılarak kara tarafı havalimanı operasyonları ile ilgili olarak hava kargo operasyonlarının değerlendirilmesi Nsakanda ve diğerleri, (2004), terminal binalarında yolcu akışlarının analizi Guizzi ve diğerleri, (2009) ve yolcu check-in prosedürlerinin modellenmesi Appelt ve diğerleri, (2007) gibi çeşitli çalışmalar yapmışlardır. ARENA ile hava tarafı simülasyon çalışmaları, varış trafiği modellemesi Kim ve diğerleri, (2005), kapı ve taksi yolu kapasiteleri ve bunların çevresel etkilerinin analizi Hasan ve diğerleri, (2010) ile sınırlıdır.

İstanbul Havalimanı için kapasite analizi yaparken gelen ve giden uçakların işlem süreleri 1 ay boyunca izlenmiştir ve 25 binden fazla veri kayıt altına alınmıştır. Verilerin içeriği gelen uçaklar arası süre, giden uçaklar arası süre, taksi yolu süreleri ve apronlarda bekleme sürelerini içermektedir. Elde edilen veriler kullanılarak Arena programında modelleme çalışması yapılmıştır.

Simülasyon modelleri genellikle uçak, yolcu veya araçlarla ilgili çok ayrıntılı tahminlere ihtiyaç duyulduğunda kullanılır. Bu modeller, yolcuların, uçakların veya araçların nasıl yönlendirileceğini belirleyen kesin kurallar koyar ve ardından sonuçları bir araya getirir, böylece karar vericiler, tahmini talebi karşılamak için havalimanının herhangi bir bileşeninin ihtiyaçlarını değerlendirebilir.

Uçak başına ortalama beklenen gecikme, sistemin performansını ölçmek için önemli bir çıktıdır. Verilen sistem için iki tür gecikme vardır: yerdeki ve havadan gelen gecikmeler. Ortalama yer gecikmesi, her uçak için kalkış kuyruğu noktasında ortalama bekleme süresini sağlamaktadır. Ortalama havada kalma gecikmesi ise, giriş kapısında son yaklaşıma başlamadan önce her uçak için ortalama bekleme süresini vermektedir. Kuyruk uzunluğu, kalkış için kalkış kuyruğu noktasında veya iniş için giriş kapısında bekleyen uçakların sayısını temsil etmektedir. Kuyruk uzunluğu, verilen simülasyon süresi için kuyrukta bekleyen uçakların zaman-ortalama ve maksimum sayısı olarak ifade edilebilir. Bunlar, verilen operasyon senaryosu için sistemdeki olası tıkanıklıkların konumunu ve büyüklüğünü belirlemek için kullanışlıdır. Son sistem çıktısı olan pist kullanımı, kalkış veya iniş operasyonları için pistin meşgul olduğu sürenin oranı olarak tanımlanabilir. Pistin aşırı derecede tıkalı olup olmadığını veya kapasitesinin altında kullanılıp kullanılmadığını belirlemede oldukça faydalıdır. Modeli tanımlarken aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır:

- Pist ve son yaklaşma yolu için aynı anda uçak doluluğuna izin verilmez.
- Gelen uçak, son yaklaşma yolunda sabit bir hıza sahiptir.
- Pist öncelikle yolcu uçaklarına hizmet eder.
- Güvenli ayırma VFR standartlarına Horonjeff ve diğerleri, (2010) göre belirlenir.
- İniş veya kalkış talebinin sürekli olduğu varsayılır.
- Rüzgârın yönündeki ve büyüklüğündeki değişiklikler dikkate alınmaz.

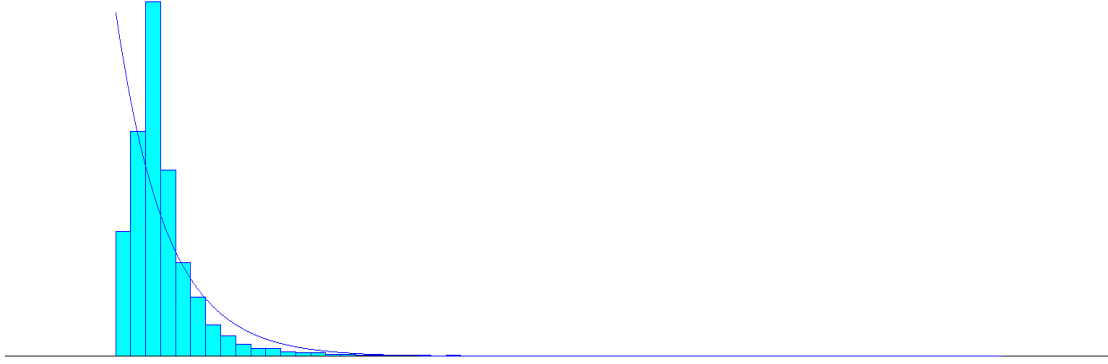
3. Bulgular

İstanbul Havalimanı için yapılan simülasyon modelini çalıştırmak için uçakların varışlar arası süreleri, taksi yolu süreleri ve apron süreleri gerekmektedir. Varışlar arası süre, pist sistemine arka arkaya giren herhangi iki uçak arasındaki sürelerdir. Kalkan uçaklar ve inen uçaklar için ayrı ayrı veriler toplanmıştır. Üstel dağılım, varışlar arası zamanları modellemek için kullanılmıştır. Gelen uçaklar için 1 aylık süre içerisinde 12016 veri toplanmış ve bunların analizi yapılmıştır. Toplanan tüm verilerin hangi tür dağılıma uygunluk gösterip göstermediği Ki-kare uygunluk testi yapılmış ve Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Havalimanı işlem süreleri dağılım listesi

İşlem Adı	Dağılım ve Parametre	Zaman Birimi
Gelen Uçaklar Arası Süreler	-0,5 + EXPO (3,35)	Dakika
Giden Uçaklar Arası Süreler	-0,5 + EXPO (3,12)	Dakika
Yolcu ve Yük Boşaltma İşlem Süreleri	UNIF (20,30)	Dakika
Yolcu ve Yük Yükleme İşlem Süreleri	UNIF (20,30)	Dakika
Gelen Uçakların Pistte Kalma Süreleri	TRIA (0,42 0,624 1,38)	Dakika
Kalkan Uçakların Pistte Kalma Süreleri	TRIA (0,68 1,24 1,58)	Dakika
Taksi Yolu Süreleri	EXPO (10)	Dakika

Tablo 1’de gösterilen gelen uçaklara ve giden uçaklara ait süre dağılımları Şekil 2 ve Şekil 3’te verilmiştir. Şekil 2 ve şekil 3 dikkatle incelenirse, zaman içerisinde gelen uçakların dağılımının üstel dağılıma uyduğu rahatlıkla görülebilir. X zaman eksenini boyutunda uçakların ortalama yoğunlukları veri girdi analizi ile belirlenmiştir.

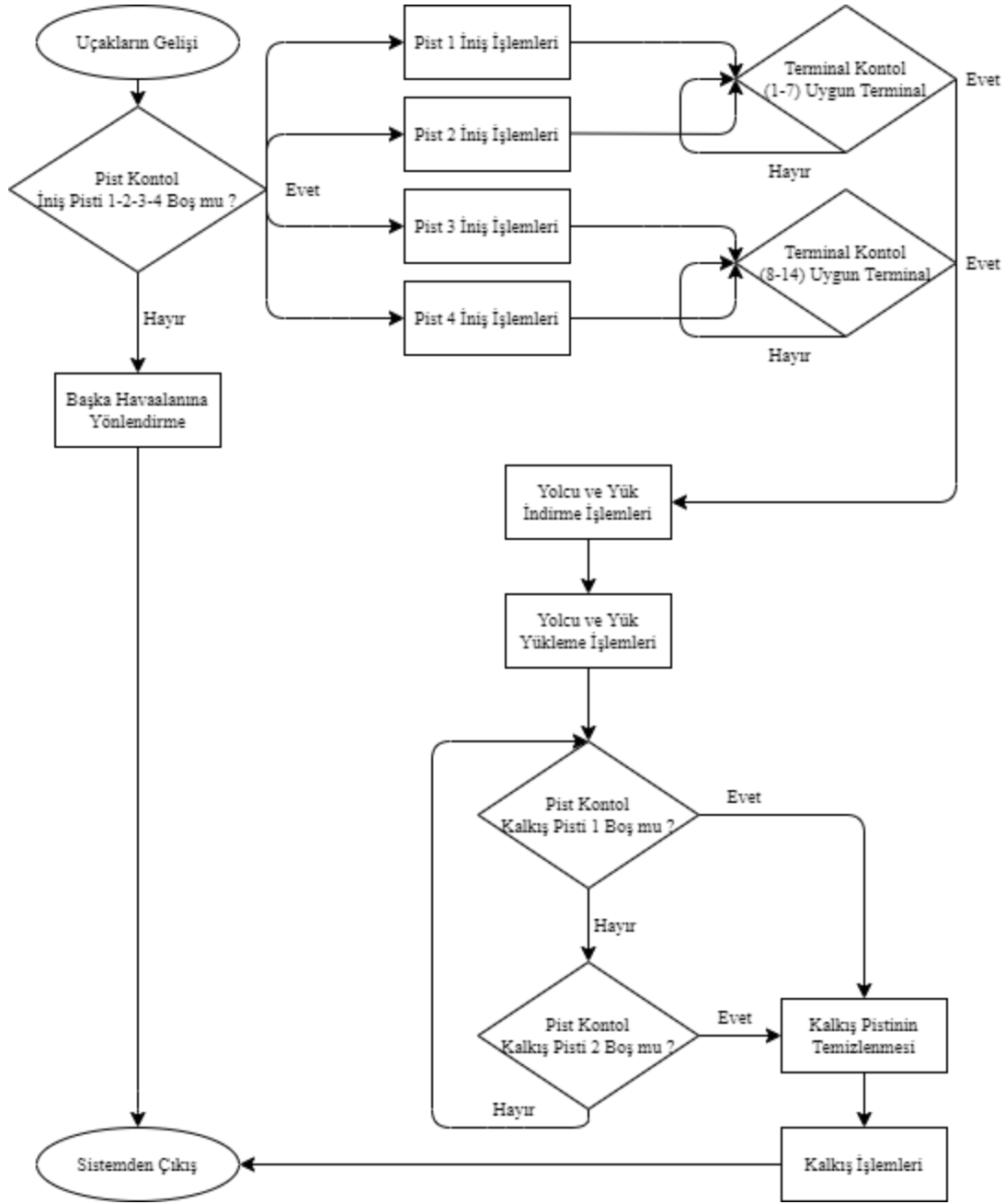


Şekil 2. Gelen uçaklar arası sürelerin dağılımı



Şekil 3. Giden uçaklar arası sürelerin dağılımı

İstanbul Havalimanı için bitmesi planlanan pistlerle birlikte planlanan kapasitesine ulaşmasına yönelik önerilen model ile ilgili yapılan çalışmanın süreç akış şeması Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. İstanbul havalimanı süreç akış şeması

Modelde toplam 6 pist bulunmaktadır. Bunlardan 4'ü iniş pisti olarak 2'si kalkış pisti olarak ele alınmıştır. İstanbul Havalimanı tamamlandığında 2 ayrı terminale kavuşacaktır. İlk 2 iniş pistine ve 1 kalkış pistine sahip olan terminal hali hazırda kullanıma açık olan terminaldir. İkinci terminalin açılışı henüz gerçekleşmemiş olup modelde gerçekleşmesi durumundaki senaryo incelenmiştir. Uçaklar havadayken kule ile iletişime geçerek boş pist varsa inişe geçmektedirler aksi halde başka havaalanına yönlendirilmektedir. İniş pisti karar modeli Şekil 5'te gösterilmiştir.

Doluluk yoksa, uçak son yalaşma ve iniş aşamalarından geçebilir. Kalkış işlemlerinde de benzer şekilde, pistte veya taksi yolunda herhangi bir uçak varsa kalkışa izin verilmez. İnen uçak sayısı, kalkan uçak sayısı, gelen ve giden yolcu sayısı, uçağın havada ortalama bekleme zamanı, pistlerin boş ve dolu kalma yüzdeleri, terminallerin boş ve dolu kalma yüzdeleri tek tek hesaplanır ve modelde ayrı ayrı gösterilir. Kalkış işlemi tamamlanan her uçak Dispose modülü kullanarak simülasyondan çıkar.

Tablo 2. Simülasyon sonuçları

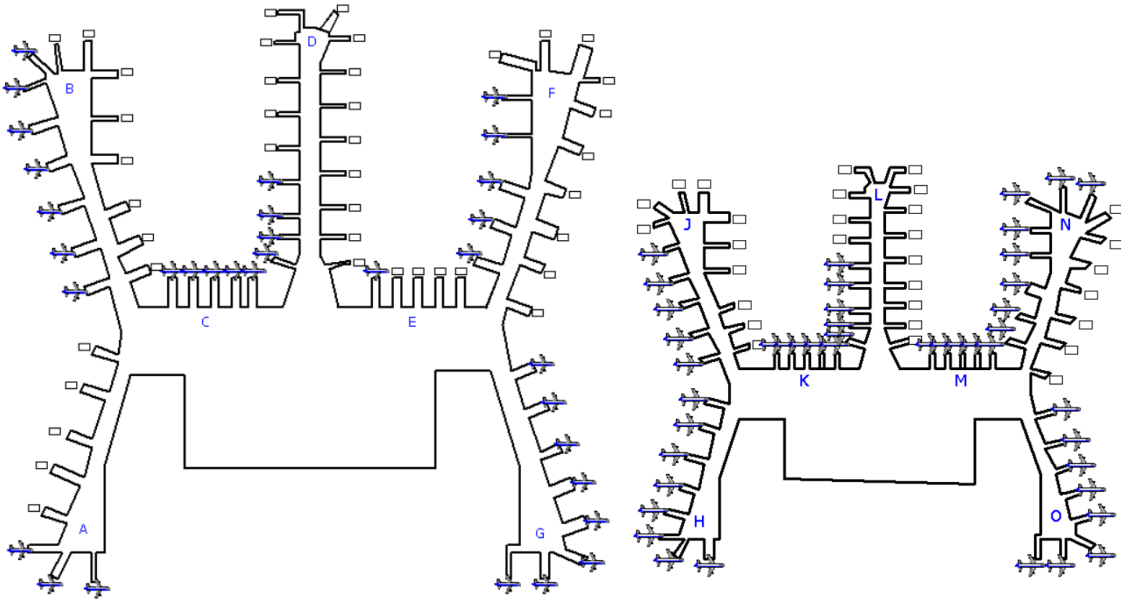
Simülasyon Uzunluğu (gün)	İnen Uçak Sayısı	Gelen – Giden Yolcu Sayısı	Uçağın Havada Ortalama Bekleme Zamanı (saat)
365	357,316	129,968,000	0,015

Model 365 gün 30 tekrar ısınma periyodu 1 hafta olarak çalıştırılmıştır. Sonuç olarak 357,316 adet uçak 1 yıl içerisinde havalimanına iniş yapmıştır. Havalimanının yolcu kapasitesi 129,968,000 olarak bulunmuştur. Modelin çalışmasına ait sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Gelen uçakların ortalama havada bekleme zamanı 0,015 saat olarak bulunmuştur. Uçakların bekleme zamanları dikkate alındığında pist sayısının gelen ve kalkan uçaklar için yeterli sayıda olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 3. Pist kullanımı doluluk yüzdeleri

İniş Pistleri	Doluluk (%)	Kalkış Pistleri	Doluluk (%)
Pist 1	25,660	Pist 1	53,165
Pist 2	35,523	Pist 2	30,460
Pist 3	45,125		
Pist 4	40,125		

Pistlerin kullanımına ait sonuçlar Tablo 3’te gösterilmiştir. 1 yıllık simülasyon sonucunda iniş ve kalkış pistlerinin doluluk oranlarının yeterli düzeyde olduğu ve daha da arttırılabilir olduğu görülmektedir. Havalimanının 4 adet iniş pisti, 2 adet kalkış pisti bulunmaktadır. 2 adet terminal bulunması planlanan İstanbul Havalimanında ilk iki iniş pistleri pist 1 ve pist 2 birinci terminal binasına bağlı bulunmaktadır. Pist 3 ve pist 4 yapılması planlanan ikinci terminal binasına bağlı olarak tasarlanmıştır. Terminallerin modelde oluşturulması Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. İstanbul havalimanı terminallerinin modelde gösterimi

Havalimanında toplam 14 terminal bulunmaktadır ve bu terminallerde bulunan apronların alabildiği toplam uçak kapasitesi 148 adettir. Gelen ve kalkan uçakların hizmet işlemlerinin terminallerde yapıldığı varsayılmıştır. Terminallere ait doluluk yüzdeleri Tablo 4’te verilmiştir. İstanbul Havalimanı için gelecekte yapılması planlanan pistler için oluşturulan senaryo sonucuna göre terminallerdeki doluluk oranları bulunmuştur. Tablo 3’te pistlere ait doluluk oranlarındaki artış yada azalış terminallerdeki doluluk oranlarını etkilemektedir ve aralarında doğru bir orantı olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Terminal doluluk yüzdeleri

Terminal No	Uçak Kapasitesi	Doluluk (%)
Terminal A	8	78,153
Terminal B	15	65,125
Terminal C	5	80,322
Terminal D	18	65,785
Terminal E	5	55,632
Terminal F	15	87,165
Terminal G	8	78,365
Terminal H	8	66,542
Terminal J	15	43,587
Terminal K	5	50,984
Terminal L	18	78,365
Terminal M	5	87,414
Terminal N	15	91,125
Terminal O	8	90,336

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma, çeşitli senaryolar altında İstanbul Havalimanının kapasitesini analiz etmek için pratik bir ayrık olay simülasyon modeli geliştirmeyi amaçlamıştır. İstanbul Havalimanı uçuş operasyonları için genel bir çerçeve sunmaktadır. Yıllık olarak gelen uçak sayısı, ortalama havada ve yerde gecikmeler, kuyruk uzunluğu ve pist kullanımı analiz için performans ölçütleri olarak seçilmiştir. Simülasyon modeli, pratik ve doğru bir analiz elde etmek için ARENATM programında geliştirilmiştir. Pist verimi, ortalama kara ve havada gecikmeler, kalkış ve gidiş noktası kuyruk uzunlukları, pist kullanımı, terminallerin doluluk yüzdeleri, verilen girdiler için sistem çıktısı olarak değerlendirilmiştir. Modelde kullanılan işlem süreleri, bu çalışma için seçilen İstanbul Havalimanı yerleşim planı ve trafik verilerine göre hesaplanmıştır. Ancak modelin standart özelliklerinden dolayı, boyut ve düzeni ne olursa olsun herhangi bir havalimanı sistemine küçük değişiklikler ile modellenerek uygulanabilir. Ayrıca, hava sahası ve hava tarafı gibi çerçevenin farklı bileşenleri, toplu veya ayrı ayrı analizler yapmak için kullanılabilir. 2019 yılı itibarıyla iç hatlar ve dış hatlar olmak üzere 52 milyon yolcu kapasitesine ulaşmış olan İstanbul Havalimanı model sonuçlarına göre tamamlanması halinde 130 milyon yolcu kapasitesine sahip olacağı tahmin edilmektedir. Bu tahmin 2050 yılına doğru tam kapasite çalışır hale geldiğinde 300 varış noktasına hizmet edecek ve 120 milyon kapasiteye ulaşması düşünülen havalimanının yolcu kapasitesi ile uyumaktadır. Çalışma, gelecekte yapılacak olan çalışmalarda İstanbul Havalimanı için yapılması planlanan pistlerden kaç tanesinin gelen uçaklar ve giden uçaklar için ayrılması gerektiğine yönelik birçok senaryolar oluşturularak havalimanının maksimum potansiyel kapasitenin belirlenmesine katkıda bulunabilir.

Referanslar

- Airport engineering. (1992). Choice Reviews Online, 30(02), 30-0944-30-0944. <https://doi.org/10.5860/CHOICE.30-0944>
- Appelt, S., Batta, R., Lin, L., & Drury, C. (2007). Simulation of passenger check-in at a medium-sized us airport. Proceedings Winter Simulation Conference. <https://doi.org/10.1109/WSC.2007.4419729>
- Barrer, J. N., Kuzminski, P., & Swedish, W. J. (2005). Analyzing the runway capacity of complex airports. Collection of Technical Papers - AIAA 5th ATIO and the AIAA 16th Lighter-than-Air Systems Technology Conference and Balloon Systems Conference. <https://doi.org/10.2514/6.2005-7354>
- Bazargan, M., Fleming, K., & Subramanian, P. (2002). A simulation study to investigate runway capacity using TAAM. Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2, 1235–1243. <https://doi.org/10.1109/WSC.2002.1166383>
- Cetek, F. A., & Cetek, C. (2014). Simulation modelling of runway capacity for flight training airports. Aeronautical Journal. <https://doi.org/10.1017/S0001924000009039>
- Chao, W., Xinyue, Z., & Xiaohao, X. (2008). Simulation Study on Airfield System Capacity Analysis Using SIMMOD. 2008 International Symposium on Computational Intelligence and Design, 87–90. <https://doi.org/10.1109/ISCID.2008.70>
- De Neufville, R., De Barros, A. G., & Belin, S. C. (2002). Optimal configuration of airport passenger buildings for travelers. Journal

of Transportation Engineering. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2002\)128:3\(211\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2002)128:3(211))

Federal Aviation Administration. (2005). Airport Capacity and Delay. In U.S. Department of Transportation.

Guizzi, G., Murino, T., & Romano, E. (2009). A Discrete Event Simulation to model Passenger Flow in the Airport Terminal. *Mathematical Methods and Applied Computing*.

Hansen, M. (2002). Micro-level analysis of airport delay externalities using deterministic queuing models: A case study. *Journal of Air Transport Management*. [https://doi.org/10.1016/S0969-6997\(01\)00045-X](https://doi.org/10.1016/S0969-6997(01)00045-X)

Hasan, S., Long, D., Hart, G., Graham, M., Thompson, T., & Murphy, C. (2010). Integrated analysis of airport capacity and environmental constraints. 10th AIAA Aviation Technology, Integration and Operations Conference 2010, ATIO 2010. <https://doi.org/10.2514/6.2010-9341>

Horonjeff, R., McKelvey, F., Sproule, W., & Young, S. (2010). Planning and Design of Airports. In *TRB Straight to Recording for All*.

Kim, C. J., Akinbodunse, D. A., & Nwakamma, C. (2005). Modeling arrival flight traffic using arena®. 18th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering 2005, CAINE 2005.

Law, A. M., & Kelton, W. D. (2001). Letters to the Editor. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 80(10), 785. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11805447>

Nsakanda, A. L., Turcotte, M., & Diaby, M. (2004). Air Cargo Operations Evaluation and Analysis through Simulation. *Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, 2004.*, 2, 711–719. <https://doi.org/10.1109/WSC.2004.1371531>

Odoni, A. R., Bowman, J., Delahaye, D., Deyst, J. J., Feron, E., Hansman, R. J., Khan, K., Kuchar, J. K., Pujet, N., & Simpson, R. W. (1997). Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts. *Europe*.

Pitfield, D. E., & Jerrard, E. A. (1999). Monte Carlo comes to Rome: A note on the estimation of unconstrained runway capacity at Rome Fiumucino International Airport. *Journal of Air Transport Management*. [https://doi.org/10.1016/S0969-6997\(99\)00012-5](https://doi.org/10.1016/S0969-6997(99)00012-5)

Vinet, L., & Zhedanov, A. (2011). A “missing” family of classical orthogonal polynomials. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 44(8), 085201. <https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201>

Zografos, K. G., & Madas, M. A. (2006). Development and demonstration of an integrated decision support system for airport performance analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2006.04.001>



420 ve 304L Farklı Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı Sonrası Radyografik Muayenesi

Radiographic Testing of 420 and 304L Dissimilar Stainless Steels after TIG Welding

Mustafa Gökhan Murat¹ , Aziz Barış Başyigit^{2*} 

¹, Naval Training and Education Command, Turkish Naval Forces, 34676 İstanbul, TURKEY

^{2*}Kırıkkale University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Material Engineering, 71450 Kırıkkale, TURKEY

Başvuru/Received: 07/12/2020

Kabul / Accepted: 24/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

SAE/AISI 304L östenitik paslanmaz çelikler oksitleyici ortamlardaki korozyon dayanımları için tercih edilirken, SAE/AISI 420 martenzitik paslanmaz çelikler genel olarak atmosferik korozyona karşı dayanım amaçlı kullanılmaktadırlar. Martenzitik paslanmaz çelikler birçok alaşımlı çeliklere yakın değerlerde yüksek mekanik dayanım değerleri sergilerken bunun yanında östenitik paslanmaz çelikler yüksek ve düşük sıcaklıklarda yüksek tokluk değeri ortaya koyarlar. Bu iki farklı alaşım grubu ekonomik koşullar ve mekanik özellik yaklaşımlarından dolayı bir yapıda bir arada kullanılabilirler. Kaynaklı bağlantıların kaynak metalleri ve ısının tesiri altındaki bölgeleri, güvenilir bir kaynaklı bağlantı elde etmek için; penetrant, ultrasonik ve radyografik muayene yöntemleri gibi tekniklerle detaylıca incelenmelidir. Bu çalışmada; 3 mm kalınlıktaki SAE/AISI 304L östenitik paslanmaz çelik levha ile 3mm kalınlıkta SAE/AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik levha TIG (Tungsten Asal Gaz) kaynak yöntemiyle saf argon koruyucu gazı altında ER312, ER316L, ER2209 olmak üzere 3 farklı ilave tel kullanılarak birleştirilmiştir. TIG kaynak teli bileşiminin kaynak metalinde oluşabilecek kusurlara etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, numunelerin kaynak metallerinin tamamı x- ışınları radyografik muayenesi ile test edilmiştir. ER312 ve ER2209 TIG teli ile birleştirilen numunelere kıyasla, ER 316L TIG teli ile birleştirilmiş olan numunelerin kaynak metalinde, dolgu telinin en düşük krom ve en yüksek nikel içeriğine sahip oluşu neticesinde en düşük miktarda olduğu düşünülen gevrek karbürlere bağlı olarak en düşük oranda süreksizlik tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

“Radyografik muayene, 420 ve 304L paslanmaz çelikler, kaynak metalindeki süreksizlikler”

Abstract

SAE/AISI 304L austenitic stainless steels are preferred for corrosion resistance in oxidizing medias while SAE/AISI 420 martensitic stainless steels are used generally for resistance to atmospheric corrosion environments. Martensitic stainless steels exhibit high mechanical strength values close to many alloyed steels besides austenitic stainless steels present high toughness at high and low temperatures. These two different alloys may be used in a construction for economical situations and mechanical property considerations. Weld metal and heat affected zones of weldments must be thoroughly examined for discontinuities by non-destructive tests such as penetrant, ultrasonic and radiographic methods to ensure secure weldments. In this work; 304L stainless steel plates with a thickness of 3mm are joined by TIG (Tungsten Inert Gas) welding method with 3mm 420 stainless steel plates under pure argon shielding gas by 3 different TIG welding rods of ER 312, ER316L, ER2209 types. The effects of TIG welding rod compositions on weld metal defects is investigated. For this purpose, weld metals of all samples are tested by x-ray radiographic inspection method. The fewest ratios of discontinuities are detected on samples weld metals joined by ER316L TIG welding rod because of rod having the minimum amounts of chromium and the maximum amounts of nickel and consequently having the least quantities of brittle carbides as compared to samples joined by ER312 and ER2209 TIG rods.

Key Words

“Radiographic testing, 420 and 304L stainless steels, discontinuities in weld metals.”

1. Introduction

AISI/SAE 420 martensitic stainless steels have strength values close to many alloyed steels as their dominant microstructure consists of martensite while these alloys exhibit satisfactory corrosion resistance in non-aggressive medias including atmospheric corrosion. However, these steels provide less corrosion resistance values as compared to other types of stainless steels. Common applications include knives, steam, gas and jet engine turbine blades that works at low temperatures, steam pipes and valves for petroleum gatherings. The largest group of stainless steels are the austenitic alloys that cannot be transformation hardened. They can only be strengthened by cold working within the limits. The dominant microstructure is mainly austenite as referring the term austenitic. The austenitic AISI/SAE 304L alloy exhibits good low temperature high impact properties and ensures the corrosion resistance especially at oxidizing medias (ASM Vol. 2, 2005; Lippold and Kotecki, 2005).

These two different types of stainless steels have to be used together in a construction for economical, corrosion and strength considerations. These alloys are joined mainly by fusion welding processes (Lippold and Kotecki 2005; Kou, 2002).

In this study these two separate groups of alloys are joined by TIG (or also defined as; Gas Tungsten Arc Welding) welding method with three different welding rods named; ER312, ER316L and ER2209 respectively. ER312 TIG rod has mainly delta-ferritic microstructure. ER316L TIG rod has dominantly austenitic microstructure. ER2209 TIG rod has balanced delta-ferritic and austenitic microstructure. As austenitic microstructure provides more toughness on weld metals as compared to solely delta-ferritic microstructure, ER316L TIG welding rod provides more tough weld metal and less amounts of weld defects as compared to ER312 and ER2209 TIG welding rods (ASM Vol. 2, 2005; Lippold and Kotecki, 2005; Kou 2002).

Radiographic inspection is mainly preferred for more precise determination of discontinuities especially within full section of industrial parts (ASM Vol. 17, 1997; Baldev R. et.al. 2002). Numerous studies are applied on radiographic inspection of welded materials (Saravanan et.al. 2020-Tippayasam et.al. 2020). However, this study covers radiographic inspection on dissimilar TIG welding of 304L and 420 stainless steel alloys with different TIG welding rods.

In this examination; 3 mm thickness of samples from 420 and 304L alloys for 15 couples of stainless steel plates are prepared for TIG welding. Three different TIG welding rods ER312, ER316L and ER2209 are used in order to investigate the effects of the TIG rod compositions on weld defects checked by non-destructive radiographic testing method.

2. Experimental Methods

15 specimen couples in dimensions by 3x40x150mm of 420 and 304L stainless steel plates are machined for welding operations as given in Figure 1.

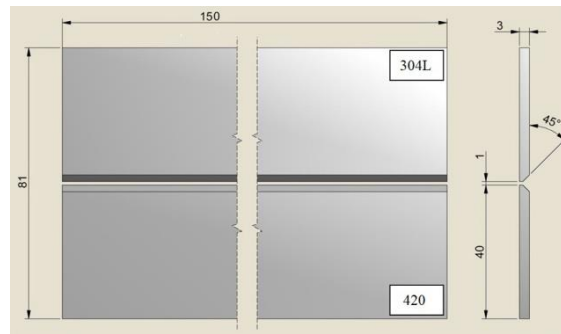


Figure 1. Samples prepared for welding operations

Optical emission spectral analysis results of 304L and 420 stainless steel raw alloys are given in Table 1. Experimental materials are consistent with the standard documents (ASM Handbook Vol. 2, 2005; ASTM A240, 2017).

Table 1. Chemical compositions of experimental materials

Material	Elements (Weight%)											
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	N	Fe	Others
420	0,238	0,512	0,631	0,0136	0,0023	13,37	0,0068	0,146	0,0418	0,0238	84,9	0,1147
304L	0,0241	0,374	1,18	0,0216	0,0037	18,26	0,0534	8,00	0,102	0,0684	71,6	0,3128

TIG welding is applied within two passes with direct current (-) under pure argon shielding and also backing gas. Chemical compositions of ER312, ER316L and ER2209 TIG welding rods are given in Table 2 provided from manufacturer.

Table 2. Chemical compositions of TIG welding rods provided by manufacturer

EN ISO 14343-A, AWS A5.9 TIG Rods (ISO14343,2017; AWS A.5.9, 2017)	Elements (by %weight)							
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	N
ER312	0.15<	1.6	0.4	8.8	30.7	0.2	0.14	--
ER316L	0.01<	1.7	0.4	12	18.2	2.6	0.10	0.04
ER2209	0.01<	1.5	0.5	8.5	22.7	3.2	0.01<	0.17

TIG welding operation parameters are given in Table 3.

Table 3. TIG welding parameters

TIG Welding Rod Type	Welding Current DC(-) (Amperes)		Welding Voltage (Volts)		Pure Argon Shielding Gas Flow (lt/min)		Welding Speed (mm/sec.)		TIG Welding Electrode
	Root	2 ^{nd.}	Root	2 ^{nd.}	Root	2 ^{nd.}	Root	2 ^{nd.}	
	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	
ER312							2.33	2.16	WT 20 (red) (2% Thoriaated)
ER316L	65-70	90-95	9	11	10	6	2.29	2.18	2.4 Ø mm
ER2209							2.25	2.20	

WT20 2% thoriaated welding electrode is used in joining operations. Root, final pass and backing shielding gas is pure argon. After TIG welding operation, samples are tested for discontinuities with radiographic inspection method.

The radiographic inspection instrument is MEDEX brand GEMX G-200 model and works with x-ray tube. Samples are tested by 1.2 mA current under 100kV amplitude of x-rays for 20 seconds.

3. Results and Discussion

3.1. Radiographic inspections of samples welded by ER312 TIG rod

5 samples are joined with ER312 TIG welding rod under the same welding parameters as already given in Table 3. Radiographic inspection result screens are shown in Figure 2 below.

Samples 1 and 2 among the 5 samples have exhibited no welding defects. But the remaining 3 samples have displayed (Samples 3, 4 and 5) lamellar discrete discontinuities of 70, 10 and 40 mm in lengths respectively throughout the weld centerline.


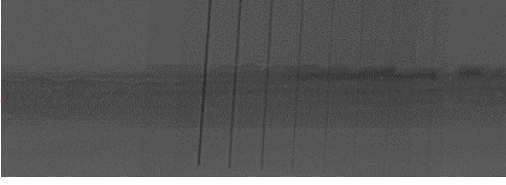



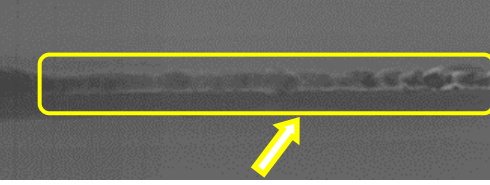
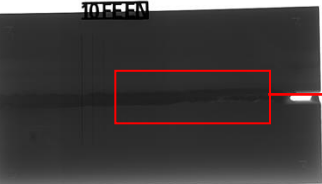
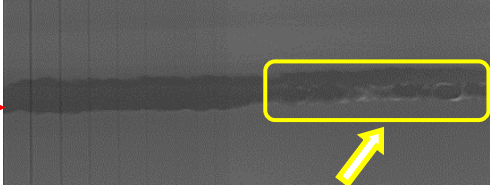
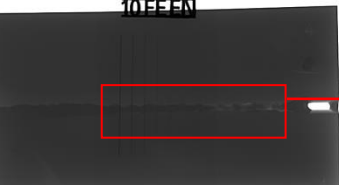
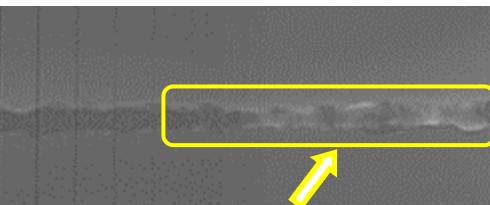
Welded Samples No.	Remarks on welded regions
 <p style="text-align: center;">Sample 1</p>	 <p style="text-align: center;">→ No discontinuity detected.</p>
 <p style="text-align: center;">Sample 2</p>	 <p style="text-align: center;">→ No discontinuity detected.</p>
 <p style="text-align: center;">Sample 3</p>	 <p style="text-align: center;">→ Lamellar discrete discontinuity length about 70 mm at the right side of weld metal detected.</p>
 <p style="text-align: center;">Sample 4</p>	 <p style="text-align: center;">→ Lamellar discrete discontinuity length about 10 mm at the right side of weld metal detected.</p>
 <p style="text-align: center;">Sample 5</p>	 <p style="text-align: center;">→ Lamellar discrete discontinuity length about 40 mm at the right side of weld metal detected.</p>

Figure 2. Radiographic inspection results of samples joined by ER312 TIG rods.

3.2. Radiographic inspections of samples welded by ER316L TIG rod

5 sample couples are joined with ER316L TIG welding rod under the same welding parameters. Radiographic inspection result screens are shown in Figure 3.

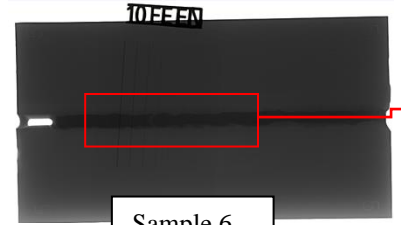
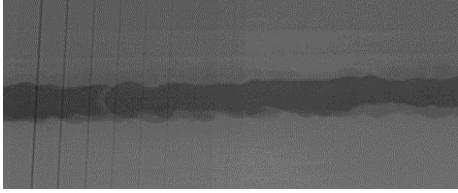
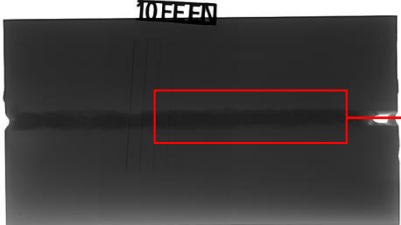
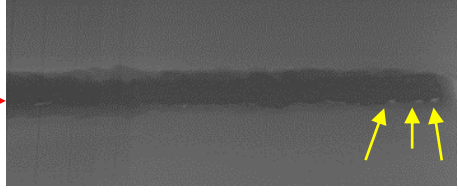
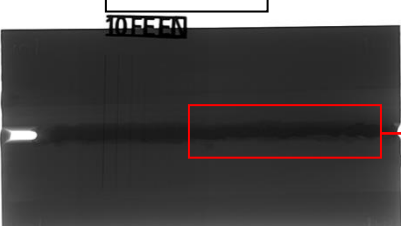
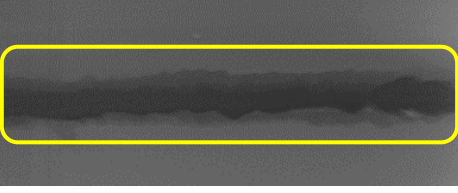
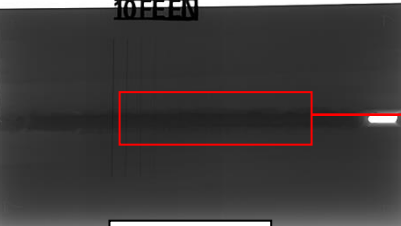

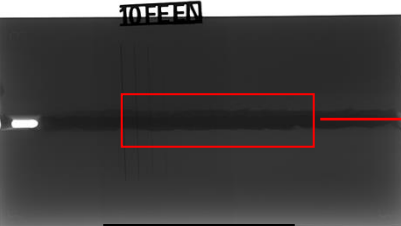
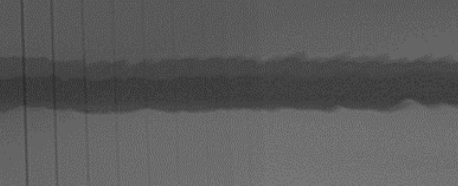
Welded Sample No.	Remarks on welded regions
 <p data-bbox="402 401 565 472">Sample 6</p>	 <p data-bbox="740 436 1040 464">→ No discontinuity detected.</p>
 <p data-bbox="402 720 565 791">Sample 7</p>	 <p data-bbox="740 716 1349 768">→ 3 spotted discrete discontinuity of 0.5mm in diameter are detected at the right hand side of weldment</p>
 <p data-bbox="402 1031 565 1102">Sample 8</p>	 <p data-bbox="740 1016 1349 1125">→ Regional seam width and thickness differences with a length about 60 mm detected at the right hand side of the weldment most probably in consequence of the changing (unstable) welding speed.</p>
 <p data-bbox="402 1367 565 1438">Sample 9</p>	 <p data-bbox="740 1394 1101 1421">→ No major discontinuity detected.</p>
 <p data-bbox="402 1682 565 1753">Sample 10</p>	 <p data-bbox="740 1709 1101 1736">→ No major discontinuity detected.</p>

Figure 3. Radiographic inspection results of samples joined by ER316L TIG rods.

3 samples (Sample No: 6, 9 and 10) have exhibited no discontinuities among the 5 samples joined by ER316L TIG Rods. However, Sample 7 has demonstrated 3 different spotted discrete discontinuities of approximately 0.5 mm in diameter while regional seam width and thickness differences with a length about 60 mm detected at the right hand side (tip end) of the Sample 8.

3.3. Radiographic inspections of samples welded by ER2209 TIG rod

Radiographic inspection result screens of 5 sample couples as welded with ER2209 TIG welding rod are shown in Figure 4.

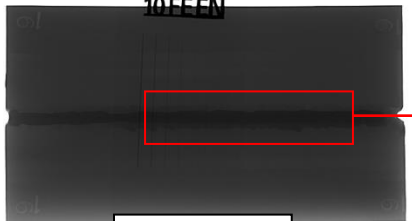
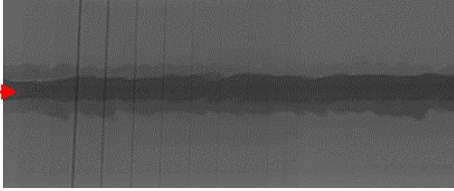
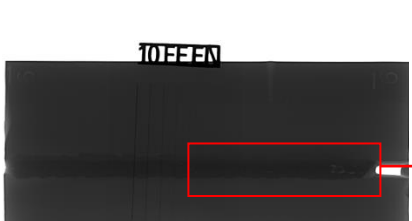
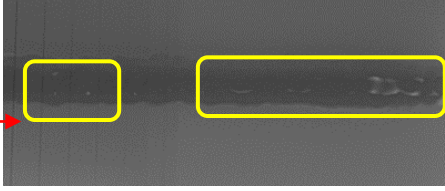

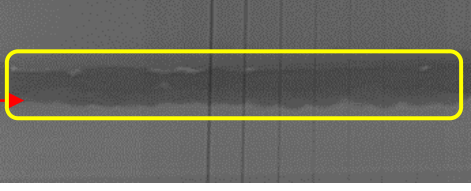

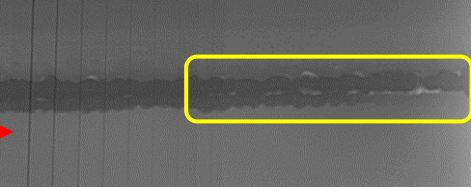
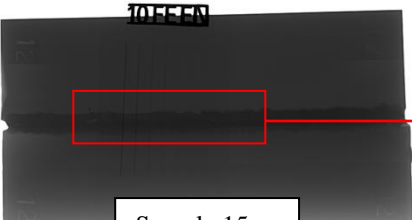
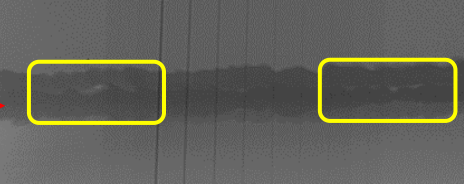
Welded Sample	Remarks on welded regions
 <p data-bbox="383 487 558 558">Sample 11</p>	 <p data-bbox="873 508 1175 537">→ No discontinuity detected.</p>
 <p data-bbox="399 814 574 886">Sample 12</p>	 <p data-bbox="704 802 1347 886">→ 4 Lamellar discrete discontinuities of length approximately about 3 mm and 2 lamellar discrete discontinuities of 1 mm in length at the left and right side of weld metal are observed.</p>
 <p data-bbox="367 1171 558 1243">Sample 13</p>	 <p data-bbox="704 1159 1347 1243">→ Lamellar discrete discontinuities with a length about 2, 8, 10 mm detected at the weld seam most probably in consequence of the changing (unstable) welding speed.</p>
 <p data-bbox="393 1528 568 1600">Sample 14</p>	 <p data-bbox="704 1507 1347 1612">→ 2 lamellar discrete discontinuities of length approximately about 2.4 mm and 2 lamellar discrete discontinuities of 4 mm in length and a long discontinuity of 28 mm at the weld metal are observed.</p>
 <p data-bbox="383 1843 558 1915">Sample 15</p>	 <p data-bbox="704 1873 1347 1927">→ 4 lamellar discrete discontinuities of length approximately about 3, 4, 8 mm at the weld metal are observed.</p>

Figure 4. Radiographic inspection results of samples joined by ER2209 TIG rods.

Sample 11 has exhibited no discontinuity among other 5 samples that joined by ER2209 TIG Rods. Sample 12 has showed 4 Lamellar discrete discontinuities of lengths approximately 3 mm and also 2 lamellar discrete discontinuities of 1 mm in length at the left and right end point side of weld metal.

Lamellar discrete discontinuities with a length about 2, 8 and 10 mm are detected at the weld seam on Sample 13. 2 lamellar discrete discontinuities of length approximately about 2.4 mm and 2 lamellar discrete discontinuities of 4 mm in length and a long discontinuity of 28 mm at the weld metal are observed on Sample 14. 4 lamellar discrete discontinuities of lengths approximately about 3, 4 and 8 mm at the weld metal are observed on Sample 15.

4. Conclusions

In this study, radiographic inspection of weld seams is made by an x-ray tube capable of producing radiographic x-rays for scanning discontinuities after joining samples by 3 different ER312, ER316L and ER2209 type TIG welding rods.

The fewest amounts of discontinuities are detected on samples weld metals joined by ER316L TIG welding rod most probably because of rod having the minimum amounts of Chromium and the maximum amounts of nickel elements as compared to ER312 and ER2209 TIG rods. Increasing amounts of chromium in weld metal forms much more chromium carbides thus these carbides are brittle in structure and may form detrimental weld defects.

On the other hand, increasing amounts of nickel element in weld metal increases toughness values. Hence ER316L TIG rod provided the minimum amounts of discontinuities on weld metals according to the radiographic test results.

On the contrary, the maximum amounts of discontinuities are detected on samples weld metals joined by ER2209 TIG rod as a result of having comparatively the highest molybdenum content and significant amounts of chromium to form brittle carbides among the other two TIG rods.

Discontinuities or weld defects in weld metals mainly forms because of improper welding parameters and unsuitable material for fusion welding. In this study, weld defects formed especially in consequence of TIG welding rod chemical composition differences.

ER316L TIG welding rod can be preferred in welding of 420 and 304L dissimilar stainless steel alloys for safely joints having the minimum amounts of weld defects according to radiographic inspection test results.

Acknowledgements

Authors express their thanks to Gazi University Welding Technologies Research and Application Center staff for radiographic testing instrument supports.

References

- Abbas, M; Hamdy, AS; Essam, A. (2020). The comparison of gas tungsten arc welding and flux cored arc welding effects on dual phase steel, *Materials Research Express*, Volume 7, Issue:3, Doi: 10.1088/2053-1591/ab7f5f.
- ASM Handbook Committee. (1997). *Non-Destructive Evaluation and Quality Control*, ASM Handbook Volume 17. pp. 628-761.
- ASM Handbook Committee. (2005). *ASM Handbook Volume 2, Properties and Selection: Wrought Stainless Steels*, p.1303.
- ASTM A240/A240M. (2017). *Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet and Strip for Pressure Vessels and for General Applications*; ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.
- AWS A5.9/A5.9M. (2017). *Welding Consumables-Wire Electrodes, Strip Electrodes, Wires, and Rods for Arc Welding of Stainless and Heat Resisting Steels- Classification*, American Welding Society.
- Baldev R. et.al. (2002). *Practical Non-Destructive Testing*, The Materials Information Society, ASM International, Narosa Publishing House, Materials Park Ohio, USA. p.54-76.
- Çolak, Z; Ayan, Y; Kahraman, N. (2020). Weld morphology and mechanical performance of marine structural steel welded underwater in a real marine environment, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Volume: 109 Issue:1-2, Doi: 10.1007/s00170-020-05679-y.
- Garcia-Martinez, M; Gonzalez, MPV; Meije, AG; Muro, AP. (2020). Failure Analysis of a Steel Elbow Pipe from a Gas Well, Volume 20, Issue 3, Doi: 10.1007/s11668-020-00870-5, p:723-733.
- Hou, WH; Zhang, DS; Wei, Y; Guo, J; Zhang, XL. (2020). Review on Computer Aided Weld Defect Detection from Radiography Images, *Applied Sciences-Basel*, Volume 10, Issue:5, Doi: 10.3390/app10051878.

- ISO 14343. (2017). Welding consumables, Wire electrodes, strip electrodes, wires and rods for arc welding of stainless and heat resisting steels, Classification.
- J.C. Lippold, D. Kotecki. (2005). Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels, Wiley Interscience, pp. 56-57.
- Kabasakaloglu, TS, Tugce S; Erdogan, M. (2020). Characterisation of figure-eight shaped oscillation laser welding behaviour of 5083 aluminium alloy, Science and Technology of Welding and Joining, 609-616, Volume:25 Issue:7, Doi: 10.1080/13621718.2020.1794652.
- Kou S. (2002). Welding Metallurgy, 2nd edition, Wiley Interscience Publications, Hoboken, NJ, USA.
- Lindner, S; Deike, R. (2020). Detection Method for Liquid Metal Embrittlement Cracks Inside the Intermediate Sheet Zone of Dissimilar Resistance Spot Welds, Steel Research International, Doi: 10.1002/srin.202000044.
- Saravanan, T; Mahadevan, S; Mukhopadhyay, CK. (2020). An improved quality assessment of fuel pin end plug welds using digital X-ray radiography, Insight, Volume: 62 Issue: 10, , 579-583, DOI: 10.1784/insi.2020.62.10.579.
- Tang, FD; Yu, Yanfeng. (2020). Nondestructive Testing Method for Welding Quality in Key Parts of Ocean-going Ships, Journal of Coastal Research, 91-94 Issue:10, Doi: 10.2112/JCR-SI110-022.1.
- Tippayasam, C.; Kaewvilai, A. (2020). Steel-Reinforced Polyethylene Pipe: Extrusion Welding, Investigation, and Mechanical Testing The effects of welding methods, with and without preheat conditions, on weld quality were investigated by visual and radiographic inspections, and crystalline analysis, Volume:99, Issue:2, Doi: 10.29391/2020.99.005.
- Yahaghi, E; Hosseini-Ashrafi ME. (2020). Comparison of the performance of three domain transform filters for radiographic contrast enhancement of welded objects, Insight, Volume: 62, Issue:6, Doi: 10.1784/insi.2020.62.6.352.



e-issn: 1308-5514