



ISSN : 2458-7494
E-ISSN: 2458-7613

KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

KIRKLARELİ UNIVERSITY
JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Cilt / Volume: 7

Sayı / Number: 2

Aralık / December 2021

Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

<http://fbedergi.klu.edu.tr>

e-mail:fbedergi@klu.edu.tr

editor@klu.edu.tr



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Sahibi / Owner

Kırklareli Üniversitesi Rektörlüğü Adına / Owner on Behalf of Kırklareli Rectorship
Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR (Rektör)

Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ

Editörler / Editors

Doç. Dr. Alptekin KISASÖZ
Doç. Dr. Mustafa ARSLAN
Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZŞAHİN
Dr. Öğr. Üyesi Erdiç KESKİN
Dr. Öğr. Üyesi Soner YELER

Yayın Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR
Prof. Dr. A. Sabih ATADAN
Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ
Prof. Dr. Meryem ÇAMUR
Prof. Dr. Serpil AKÖZCAN
Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZŞAHİN
Dr. Öğr. Üyesi Erdiç KESKİN
Dr. Öğr. Üyesi Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editing Manager

Sedat KEÇELİ

İnternet Adresi / Web Address

<http://fbedergi.klu.edu.tr>

Yazışma Adresi / Correspondence Address

Kırklareli Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
Rektörlük Kültür Merkezi B Blok Merkez/ Kırklareli
e-mail: fbedergi@klu.edu.tr
Tel: 0 (288) 246 15 16
Fax: 0 (288) 246 16 02

Baskı / Publisher

Kırklareli Üniversitesi Matbaası / Kırklareli University Publishing Centre

Yayın Türü / Publication Type

Yaygın Süreli Yayın / International Periodical

Yılda iki kez yayınlanır: Haziran, Aralık / Twice a year: June, December

Bu sayı 100 adet basılmıştır / This issue published as 100 copies

Basım Tarihi / Publication Date: 31.12.2021



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Danışma Kurulu / Advisory Board

Abdurrahman GÜNER, İstanbul Esenyurt Üniversitesi, İstanbul
A. Fevzi BABA, Marmara Üniversitesi, İstanbul
A. Sabih ATADAN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Aleksandar GEORGIEV, Sofya Teknik Üniversitesi, Bulgaristan
Asım KURTOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Bilal BALKAN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Bülent AKBAŞ, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli
Bülent ŞENGÖRÜR, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Deris STIAWAN, Sriwijaya University, Endonezya
Emrah DOĞAN, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
Erhan BUDAK, Sabancı Üniversitesi, İstanbul
Erol TÜRKEŞ, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Fahri VATANSEVER, Uludağ Üniversitesi, Bursa
F.Onur HOCAOĞLU, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar
Gökhan GÖKMEN, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Göksel DEMİR, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Hasan DEMİR, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ
Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
İsmail KIYAK, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Kadir GÜLER, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Kanat Burak BOZDOĞAN, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale
Kamil KAHVECİ, Trakya Üniversitesi, Edirne
Lambros EKONOMOU, Hellenic American University, Yunanistan
M. Hakan HOCAOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli
Meryem ÇAMUR, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
M.S. Bhaskar RANJANA, Marathwada Institute of Technology, Hindistan
Murat BOSTANCIOĞLU, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas
Murat KARAHAN, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
Mustafa BİRİNCİ, İnönü Üniversitesi, Malatya
Nadide SEÇKİN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Oğuzhan ERBAŞ, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
Osman KILIÇ, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Osman Nuri UÇAN, İstanbul Kemerburgaz Üniversitesi, İstanbul
Özlem AYTEKİN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Ramazan ÇAĞLAR, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Sarp ERTÜRK, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
Serpil AKÖZCAN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Sezai TAŞKIN, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa
Veselina Nedeva, Trakia Üniversitesi, Bulgaristan
Yılmaz ÇAN, Trakya Üniversitesi, Edirne
Youcef Soufi, University of Tébessa, Cezayir
Yunus BİÇEN, Düzce Üniversitesi, Düzce
Yüksel OĞUZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar
Zafer AĞDELEN, Girne Amerikan Üniversitesi, KKTC
Witold Charatonik, University of Wroclaw, Polonya




KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

İçindekiler / Contents

Yılmaz ÇAMLITEPE, Volkan AKSOY, Albena LAPEVA-GJONOVA, Kaan YENCE, Cansu DURLU, İlia GJONOV; PRELIMINARY RESEARCH ON SOME MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF EUROPEAN RED WOOD ANTS (FORMICA PRATENSIS RETZIUS, 1783) ALONG THE TURKEY-BULGARIA CROSS-BORDER AREA (<i>Araştırma</i>).....	187-195
Cemile ÖZCAN; DETERMINATION of Cu, Fe and Zn in Silybum marianum SEEDS AFTER DIGESTED USING MICROWAVE OVEN BY FAAS (<i>Araştırma</i>).....	196-204
Ezgi ARSLAN TUNCAR, İsmail KIYAK; ECONOMIC ANALYSIS OF MAGLEV TRAIN TECHNOLOGY A CASE STUDY FOR ANKARA-SIVAS LINE (<i>Araştırma</i>).....	205-220
Serkan UYAR, Burhan ÇOŞKUN, Mümin Mehmet KOÇ, Mustafa ERKOVAN; ELECTRICAL PROPERTIES OF ZnO:TiO ₂ NANOCOMPOSITE THIN FILMS (<i>Araştırma</i>).....	221-231
Erdal BÜYÜKBİÇAKCI, Ali Fuat BOZ; YENİ TİP 5-FAZLI SEGMENTAL ROTORLU ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORA AİT DURUM DENKLEMLERİNİN VE DİNAMİK SİMÜLASYON SONUÇLARININ İNCELENMESİ (<i>Araştırma</i>).....	232-256
Berkay SAĞLAM, İsmail KILIÇ; SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONLARDA MAKSİMUM AGREGA TANE ÇAPININ DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ (<i>Araştırma</i>).....	257-271
Mehmet Taciddin AKÇAY; METRO HATLARINDAKİ RAY GERİLİMİNİ EN 50122 STANDARDINA UYGUN OLARAK SINIRLANDIRILMADA KULLANILAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI (<i>Araştırma</i>).....	272-291
Pınar UZUN, İsmail TEMİZ; AKILLI ŞEBEKELERDE HABERLEŞME TEKNOLOJİSİ KULLANIMI (<i>Derleme</i>).....	292-304
Sinan AKBAL, Zübeyde ÖNER; SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDEN ELDE EDİLEN PEPTİTLERİN PATOJEN MİKROORGANİZMALAR ÜZERİNE ANTİMİKROBİYAL ETKİSİ (<i>Derleme</i>).....	305-322

PRELIMINARY RESEARCH ON SOME MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF EUROPEAN RED WOOD ANTS (*FORMICA PRATENSIS* RETZIUS, 1783) ALONG THE TURKEY-BULGARIA CROSS-BORDER AREA

Yılmaz ÇAMLITEPE^{1*}, Volkan AKSOY¹, Albena LAPEVA-GJONOVA²,
Kaan YENCE¹, Cansu DUMLU³, Iliia GJONOV²

¹Trakya University, Faculty of Sciences, Department of Biology, Balkan Campus, Edirne, Turkey

²Sofia University "St. Kliment Ohridski" Department of Zoology and Anthropology, 8 Dragan Tzankov Blvd., Sofia, Bulgaria

³Trakya University, Institute of Natural and Applied Sciences, Balkan Campus, Edirne, Turkey

Abstract

Formica pratensis Retzius, 1783 (Hymenoptera: Formicidae) is one of the members of the wood ants group and is represented in Europe with the hairy N morph common in the south and the less hairy P morph common in the north. The species is naturally distributed in European part of Turkey (Thrace Region) and in the neighboring parts of Bulgaria. Former studies of Bernhard Seifert showed that the N morph is the dominant morph in south Bulgaria, but the situation in Turkey is not known. In the present study, we sampled workers from some colonies of *F. pratensis* in Turkey and Bulgaria and obtained a pilosity data for each colony in the two countries. The comparison of our data with that of Seifert showed that the Bulgaria samples well fit with the pilosity data of P morph and Turkey samples were apparently less hairy but hairs are longer than all other populations. The results helped us to show that *F. pratensis* can have ecomorphological traits other than that fitting the definition of N and P morphs and that traits may differ from one to another population distributed even along in a small scale of area.

Keywords: *Formica pratensis*, Pilosity, Ecomorphology, European Red Wood Ant

Sorumlu Yazar: Yılmaz ÇAMLITEPE, yilmazc@trakya.edu.tr

TÜRKİYE-BULGARİSTAN SINIR BÖLGESİNDEKİ AVRUPA KIRMIZI ORMAN KARINCASININ (*FORMICA PRATENSIS* RETZIUS, 1783) MORFOMETRİK KARAKTERLERİ ÜZERİNE BİR ÖN ÇALIŞMA

Öz

Formica pratensis Retzius, 1783 (Hymenoptera: Formicidae) orman karıncaları grubunun bir üyesidir ve Avrupa’da güneyde daha yaygın olan kıllı N morf ile kuzeyde daha yaygın olan daha az kıllı P morf ile temsil edilmektedir. Tür Türkiye’de Trakya Bölgesinde ve Bulgaristan’ın bu bölgeye komşu sınır alanlarında doğal olarak yayılış göstermektedir. Bernhard Seifert’in daha önceki çalışmaları güney Bulgaristan’da türün N morfunun baskın olduğunu göstermişken Türkiye’deki durumu bilinmemektedir. Bu çalışmada Türkiye ve Bulgaristan’dan bazı *F. pratensis* kolonilerinden işçi sınıfına giren karıncalar örneklenmiş ve her iki ülke örnekleri için bir kıllılık veri seti oluşturulmuştur. Elde edilen veri setinin Seifert’in bulguları ile karşılaştırılması Bulgaristan’daki örneklerin P morf ile uyduğunu, Türkiye örneklerinin ise belirgin şekilde daha az kıllı olduğunu ancak bu kılların diğer tüm popülasyonlardakinden daha uzun olduğunu göstermiştir. Sonuçlar *F. pratensis*’in N ve P morf tanımlarına uyanlar dışında ekomorfolojik özelliklere sahip olabileceğini ve bu özelliklerin çok dar bir alanda dağılım gösteren popülasyonlar arasında dahi farklılık gösterebileceğini göstermemize olanak tanımıştır.

Anahtar kelimeler: *Formica pratensis*, Kıllılık, Ekomorfoloji, Avrupa Kırmızı Orman Karıncası

Introduction

In his referred publication on lizard evolution in an island fauna, Williams (1972) defined the term ecomorph as “species with the same structural habitat/niche, similar in morphology and behavior, but not necessarily close phyletically” [1]. The term was covered in many studies on various invertebrate taxa and is used as an equivalent of ecological specialist in recent uses [2-5]. A number of ant traits such as femur length, eye size and overall body size [6-8] are known to be correlated with the ecological niche in a given habitat [9]. Thus, the trait morphology is a useful tool to predict ecology and can be used to define ant ecomorphs. For instance, the ant genus *Strumigenys* is characterized with two main ecomorphs as short-mandibled and long-mandibled forms, the former employing a strategy of luring or cautiously approaching prey and the latter hunting as more active hunters using the trap-jaw mechanism of their mandibles [10]. Seifert reported a climate based

adaptation for ecomorphs of the ant *Lasius japonicus* Santschi, 1941 in which darker forms, in terms of body coloration, were reported to be slightly smaller with longer heads possibly representing the ecomorph adapted to cooler climates [11]. Although researchers are suggested to approach with suspicion for such cases considering the possibility of polymorphism of one species or the existence of highly similar siblings, the ecomorph phenomenon may be a reliable tool to solve some taxonomic controversies as in the case of *Formica nigricans* Emery, 1909.

Following the description of *Formica rufa pratensis* var. *nigricans* by Carlo Emery in 1909, myrmecologists adopted two opposing views. Kutter and later Collingwood argued that it was a separate species [12-13] and Dlusskii and Paraschivescu refused this separation [14-15]. Seifert sampled specimens of *Formica pratensis* Retzius, 1783 from all over Europe and decided, based particularly on pilosity data, that *nigricans* was in fact a hairy morph of *F. pratensis* which he thought to have differing ecological adaptations [11]. The hairy morph was termed as N morph and the less hairy as P morph. The data of Seifert showed that N morph was more common in the south and the P morph was more common in the north of Europe, although both could be found as sympatric populations. In Turkey, *F. pratensis* is naturally distributed only in European part of the country (the Thrace Region) and is represented with colonies in low numbers particularly throughout the northern parts of the region. It is also present in the neighboring Bulgaria, also in low numbers [16-18]. Studies over the last the decade showed that the species is in Vulnerable (VU) status in its distribution area in Turkey and most probably in Bulgaria [19-21]. Studies also showed that most of the colonies were established in open forest areas, some under relatively dense forest cover and a few in open field areas with increased sun exposure. Following our preliminary observations on some morphological traits on colony level in laboratory and on ecological preferences in the field in both countries, we predicted that the species may have local morphological adaptations. In order to test our prediction, we sampled colonies during a field study in the transborder areas of Turkey and Bulgaria and produced a comparable data set on some morphological traits of workers about pilosity. The results helped us to show that *F. pratensis* can have ecomorphological traits other than that fitting the definition of N and P morphs and that traits may differ from one to another population distributed even along in a small scale of area.

Materials and Methods

The field studies were performed in the transborder areas of Turkey and Bulgaria where *F. pratensis* colonies are distributed. 29 nests in 9 localities in Turkish Thrace and 8 nests in 3 localities in Bulgaria were visited (Figure 1). For each nest, 30 workers were sampled randomly, put in 70% ethanol containing tubes and brought to the laboratory for further analysis. Each specimen was mounted on a special triangle label following standard mounting procedures used for ants. The morphological characters used by Seifert for the worker caste were considered in the study. For this purpose, maximum measurable head width (HW), number of standing hairs on one half of occipital margin frontad to eye level and seen in straight dorsal view (NBH), length of the longest hair on occipital margin of head seen in straight dorsal view (LBH) and number of standing hairs on extensor profile of hind tibia (NHTI) were measured and counted for each specimen under a stereomicroscope (Olympus brand) with 30×10 magnification. The mean values of each data were measured and a comparative analysis with that reported by Seifert for N and P morphs in Europe was performed.



Figure 1. Map showing the localities where *F. pratensis* workers were sampled in Turkey (solid red circles) and Bulgaria (solid yellow circle).

Results and Discussion

The results of measurements for Turkish and Bulgarian *F. pratensis* samples are given in Table 1 and the comparison of pilosity data (based on NBH and LBH) is given in Figure 2.

Table 1. The measured morphological traits of *F. pratensis* workers are given with mean \pm SD values. Data reported by Seifert (1992) were also included in the table for comparison. HW and LBH values are in mm.

	Turkish Samples (n= 870)	Bulgarian Samples (n=240)	N Morph (Seifert, 1992) (n=794)	P Morph (Seifert, 1992) (n=962)
HW	1.94 \pm 0.14	1,69 \pm 0.117	1.77 \pm 0.21	1.81 \pm 0.21
NBH	12.51 \pm 2.64	21.33 \pm 2.82	28.17 \pm 6.42	17.87 \pm 5.74
LBH	0.229 \pm 0.08	0.13 \pm 0.02	0.14 \pm 0.02	0.109 \pm 0.026
NHTI	18.03 \pm 2.34	15.87 \pm 3.29	25.12 \pm 5.11	17.83 \pm 5.21

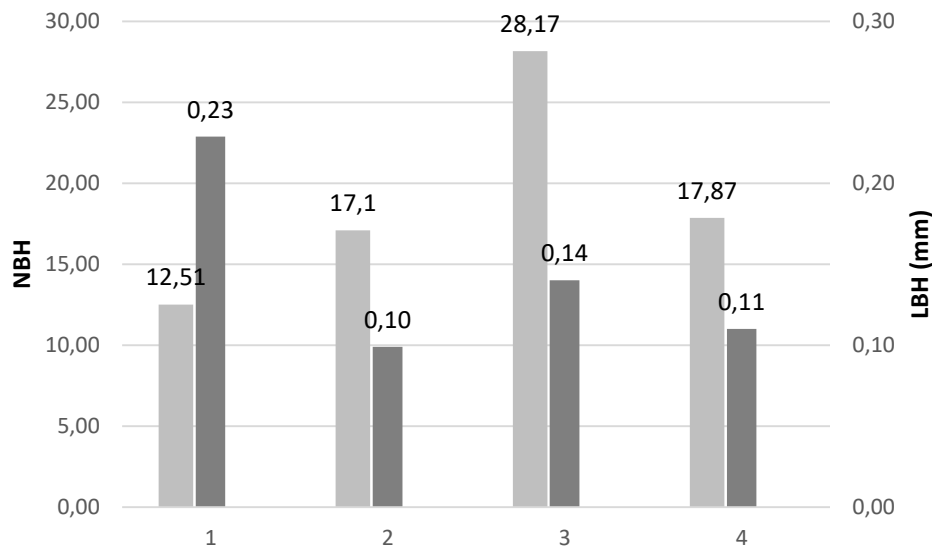


Figure 2. NBH and LBH values of 1) Turkish and 2) Bulgarian specimens and 3) N and 4) P morphs reported by Seifert (1992). Light gray bars correspond to NBH and dark gray bars correspond to LBH values. All values are given in mm.

It is clear from the comparison graph that Bulgarian *F. pratensis* well fits with the pilosity data of P morph. Interestingly, Seifert reported that the N morph dominates P morph in south Bulgaria

with a 5:1 ratio [11]. On the other hand, although we may expect considerable intraspecific variability of individuals of colonies of wood ants [22], the pilosity data of Turkish population is striking. The workers of Turkish colonies are apparently less hairy, at least in terms of standing hairs on one half of occipital margin of the head, but the length of these hairs are longer not only than workers in Bulgarian colonies but also from mean data reported for N and P morphs in Europe. Although Seifert defined significant differences between the two morphs based on body size, pilosity, geographic frequency, habitat selection and mound characteristics, the difference of morphometric data of Turkish *F. pratensis* in comparison with others cannot be conveniently explained with one or more of these characteristics. The mounds of the colonies in both countries were typical for the species, the habitats where the colonies were found did not differ from each other in most habitat features. Morphological traits are directly related to the interaction of a species with its environment [23] and a number of functions, including defense against predation, prevention of water immersion, desiccation tolerance and thermoregulation were hypothesized for pilosity related traits [24]. We conclude that being less hairy may not be an adaptive character for workers particularly in terms of sun exposure but is compensated with an increase in hair length which might have taken over the UV protection role of dense hairs. Hairiness, in addition to some other traits in red wood ants might be useful traits for monitoring habitat degradation. For instance, Fedoseeva reported for *Formica aquilonia* ants collected in 1969–1992 from two settlements in Solnechnogorsk Forestry in Moscow that workers from the two settlements differed from each other in terms of size and pilosity [25]. Comparison of workers covering three generations from a single settlement revealed that a significant pilosity increase occurred coinciding with settlement degradation after mass destruction of ant nests by various animals. A more strong explanation with more powerful evidence is expected with further studies in both Turkey and Bulgaria which may be planned for consecutive seasons for the same colonies to see if any change will occur in pilosity data. Such a long term study will also help us to better understand whether the different pilosity pattern in Turkish *F. pratensis* population is an ecomorphological adaptation or response, either long lasting or short-term, to environmental features or stress factors.

Acknowledgements

This study was financially supported by the project CB005.2.12. 012 “Joint initiatives for the conservation of zonal European red wood ants facing the danger of extinction”, INTERREG – IPA CBC BULGARIA – TURKEY PROGRAMME 2014-2020 CCI NO 2014TC1615CB005.

REFERENCES

- [1] Williams, E. E. The origin of faunas. Evolution of lizard congeners in a complex island fauna: a trial analysis. In *Evolutionary biology* (pp. 47-89). Springer, New York, 1972.
- [2] Brady, S. G., Schultz, T. R., Fisher, B. L., Ward, P. S., Evaluating alternative hypotheses for the early evolution and diversification of ants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, C 103(48), S 18172-18177, 2006.
- [3] Branstetter, M. G., Revision of the Middle American clade of the ant genus *Stenamma* Westwood (Hymenoptera, Formicidae, Myrmicinae). *ZooKeys*, C 295, 1, 2013.
- [4] Gillespie, R., Community assembly through adaptive radiation in Hawaiian spiders. *Science*, C 303(5656), S 356-359, 2004.
- [5] Gillespie, R. G., Benjamin, S. P., Brewer, M. S., Rivera, M. A. J., Roderick, G. K., Repeated diversification of ecomorphs in Hawaiian stick spiders. *Current Biology*, C 28(6), S 941-947, 2018.
- [6] Gibb, H., Stoklosa, J., Warton, D. I., Brown, A. M., Andrew, N. R., Cunningham, S. A., Does morphology predict trophic position and habitat use of ant species and assemblages?. *Oecologia*, C 177(2), S 519-531, 2015.
- [7] Guilherme, D. R., Souza, J. L. P., Franklin, E., Pequeno, P. A. C. L., das Chagas, A. C., Baccaro, F. B., Can environmental complexity predict functional trait composition of ground-dwelling ant assemblages? A test across the Amazon Basin. *Acta Oecologica*, C 99, S 103434, 2019.
- [8] Weiser, M. D., Kaspari, M., Ecological morphospace of New World ants. *Ecological Entomology*, C 31, S 131–142, 2006.
- [9] Sosiak, C. E., Barden, P., Multidimensional trait morphology predicts ecology across ant lineages. *Functional Ecology*, C 35(1), S 139-152, 2021.
- [10] Brown Jr, W. L., Wilson, E. O., The evolution of the dacetine ants. *The Quarterly Review of Biology*, C 34(4), S 278-294, 1959.

- [11] Seifert, B., *Formica nigricans* EMERY, 1909-an ecomorph of *Formica pratensis* RETZIUS, 1783 (Hymenoptera, Formicidae). Entomologica Fennica, C 2(4), S 217-226, 1992.
- [12] Kutter, H., Hymenoptera - Formicidae. - Fauna Insecta Helvetica 6. Zurich, 1977.
- [13] Collingwood, C. A., The Formicidae of Fennoscandia and Denmark. - Fauna Entomol. Scandinavica 8. Klampenborg, 1979.
- [14] Dlusskii, G., Ants of the genus *Formica*. (In Russian) - Izd. Nauka, Moscow, 1967.
- [15] Paraschievescu, D., Pozitia sistematica a speciilor *Formica pratensis* Retz. si *F. nigricans* Emery.- Stud. Cercet. Bioi. Seria Zoologie, C 24(6), S 527-535, 1972.
- [16] Antonova, V., Marinov, M. P., Red wood ants in Bulgaria: distribution and density related to habitat characteristics. Journal of Hymenoptera Research, C 85, S 135, 2021.
- [17] Lapeva-Gjonova, A., Antonova, V., Radchenko, A., Atanasova, M., Catalogue of the ants (Hymenoptera: Formicidae) of Bulgaria. ZooKeys, C 62, S 1–124, 2010.
- [18] Lapeva-Gjonova, A., Antonova, V., Ljubomirov, T., Ants (Hymenoptera, Formicidae) of Sarnena Sredna Gora Mountains (Bulgaria). In: Georgiev D, Bechev D, Yancheva V (Eds) Fauna of Sarnena Sredna Gora Mts, Part 2, Zoonotes, Supplement 10: 18–27, 2021.
- [19] Çamlıtepe, Y., Aksoy, V., Distribution and Conservation Status of the European Red Wood Ant Species *Formica pratensis* Retzius, 1783 (Hymenoptera, Formicidae) in (European) Turkey. Journal of the Entomological Research Society, C 21(2), S 199-211, 2019.
- [20] Kırın, K., Karaman, C., First annotated checklist of the ant fauna of Turkey (Hymenoptera: Formicidae), Zootaxa, C 3548(1), S 1-38, 2012.
- [21] Kırın, K., Karaman, C., Additions to the ant fauna of Turkey (Hymenoptera, Formicidae), Zoosystema, C 42, S 285-329, 2020.
- [22] Czechowski, W., Radchenko, A., Do permanently mixed colonies of wood ants (Hymenoptera: Formicidae) really exist? Annales Zoologici, C 56(4), S 667-673, 2006.
- [23] Yates, M. L., Andrew, N. R., Binns, M., Gibb, H., Morphological traits: Predictable responses to macrohabitats across a 300 km scale. PeerJ, 2, e271, 2014.
- [24] Buxton, J. T., Robert, K. A., Marshall, A. T., Dutka, T. L., Gibb, H., A cross-species test of the function of cuticular traits in ants (Hymenoptera: Formicidae). Myrmecological News, C 31, S 31-46, 2021.



[25] Fedoseeva, E. B., Morphometric characteristics of *Formica aquilonia* ants in monitoring of their settlements. Entomological Review, C 91(2), S 152-168, 2011.

DETERMINATION OF Cu, Fe AND Zn IN *SILYBUM MARIANUM* SEEDS AFTER DIGESTED USING MICROWAVE OVEN BY FAAS

Cemile ÖZCAN^{1*} 

Kırklareli University, Science and Art Faculty, Chemistry Department, Kırklareli

Abstract

This study, the concentrations of necessary trace and microelements like Cu, Fe and Zn were determined in the *Silybum marianum* seeds used to medicine purpose for many years. For this intention, the digestion procedure based on closed vessel-assisted microwave oven (MW) was determined a rapid, reliable, and simple digestion method for the flame atomic absorption spectrophotometric (FAAS) analysis of herbal plant. Various periods for different powers and acid mixture of the MW were examined. The obtained data show that the MW is an excellent method because it is fast and results in fewer losses and contaminants. The metal concentrations were of Fe>Cu>Zn for herbal seed, respectively.

Keyword: *Silybum marianum* seeds, Flame atomic absorption spectrophotometry, Microelements

SILYBUM MARIANUM TOHUMLARINDA FAAS İLE MİKRODALGA FIRIN KULLANILARAK ÇÖZÜNÜRLEŞTİRMEYEN SONRA Cu, Fe ve Zn TAYİNİ

Öz

Bu çalışmada, uzun yıllardır ilaç olarak kullanılan *Silybum marianum* tohumlarında gerekli olan Cu, Fe ve Zn gibi eser elementlerin konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu amaçla, tıbbi bitkinin alevli atomik absorpsiyon spektrofotometrik (FAAS) analizi için kapalı sistem destekli mikrodalga fırına (MW) dayalı çözünürleştirme prosedürü hızlı, güvenilir ve basit bir çözünürleştirme yöntemi olarak belirlenmiştir. MW'nin farklı güçleri ve asit karışımı için çeşitli periyotlar incelenmiştir. Elde edilen veriler, MW'nin hızlı olması ve daha az kayıp ve kirlenici ile sonuçlanması nedeniyle mükemmel bir yöntem olduğunu göstermektedir. Tıbbi tohum için metal konsantrasyonları sırasıyla Fe>Cu>Zn olarak bulundu.

Anahtar kelimeler: *Silybum marianum* tohumu, Alevli atomik absorpsiyon spektrometresi, Mikro elementler.

Sorumlu Yazar: Cemile ÖZCAN, cemilebal.ozcan@klu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Herbal materials are either whole plants or parts of medicinal plants in the crude state. They include herbs, fresh juices, gums, fixed oils, essential oils, polyphenols, flavonoids, resins, seeds, several mineral elements, and dry powders of medicinal plants [1-4]. Therefore, metal analysis of them are an essential and significant feature of environmental, biological and chemical research.

The essential trace elements determined in this study (Cu, Fe, Zn) have many major functions in the body and are used as commonly in medicinal plants as natural components [5]. Zn, Fe and Cu are the prosthetic group of some metalloenzymes containing super oxide dismutase (SOD), which is an important antioxidant enzyme for cellular protection from reactive oxygen species (ROS) [6,7]. Cu helps to form hemoglobin in the blood, facilitates the absorption and use of Fe so that blood cells can transport oxygen to the tissues, and assists in regulating the blood pressure and heart rate. Cu also takes a role in activating more than 30 enzymes including ceruloplasmine, cytochrome oxidase, lysine oxidase, dopamine–hydroxylase, ascorbate oxidase, and tyrosinase, some of which are involved in collagen synthesis. Moreover, copper is necessary for the healthy development of the connective tissue, nerve coverings, and the bones.

Cu and Zn are essential for the proper formation and maintenance of bone, cartilage and connective tissue. It contributes to the synthesis of proteins and the genetic material, and helps to produce energy for the body from foods [6]. On the other hand, excessive exposure to these essential metals can cause some diseases such as anemia, liver and kidney damage, stomach and intestinal irritation, aggressive behavior, delinquency and attention disorders [8]. The acceptable daily intake (ADI) recommended by authorized agencies (the FAO/WHO) and the U.S. Recommended Daily Allowances (US RDA) for adults was established as 2.0 to 4.0 mg/day for Cu [9]. Zn is another micronutrient essential for both plant growth and human health and is involved in the activity of more than 300 metalloenzymes. Zn contributes to the membrane structure and has a central role in the immune system [10-12]. Dietary reference values for Zinc suggested by various sources range from 9.4 to 11.0 mg/day for male adults and from 6.5 to 8.0 mg/day for female adults [12].

Fe is also a necessary trace element found in almost all living organisms. Moreover, Fe has an important role transport of heme proteins and in the electron transport through the enzymes [10].

In the wet and dry ashing procedures, the sample digestion steps are often the most time-consuming steps of the analysis. These methods are laborious and tedious, often accompanied with a high tendency for contamination. Some authors reported that 15 to 24 hours are required for dry ashing [13,14] or one night (about 12 hours) for both wet and dry ashing [15,16] for the digestion of herbal plants or similar samples. In addition, some potential problems such as incomplete dissolution, precipitation of insoluble analyte, contamination, and loss of some volatile elements can cause contradictory results. With closed vessel microwave digestion, the analysis time, amount of reagents, and risk of contamination or volatile analyte loss can be greatly reduced. So, use of the MW for reliable and rapid sample digestion seems an interesting procedure. A digestion time of several hours for conventional wet digestion can be reduced to a few minutes by using microwave energy [17]. Analytical applications of microwave energy include both a commercial domestic MW [18] for biological samples and a commercial MW equipped with temperature and pressure regulators for biological and environmental matrices [19-21]. The development of the microwave-assisted acid leaching method for extraction of trace elements from products was reported [22]. A mixture or mixtures of HCl, HNO₃, and HF, were used for quantitative extraction of micro- and macro- elements.

We reviewed only macro-elements and trace-elements contents of only seeds of *Silybum marianum*, which are traditionally used in Turkey for the treatment of sundry ailments, including cancer, diabetes, blood purification (for the health of the liver and the bones), sedative and ulcer (stomach upset). Therefore, in the present work, for determination of these metals (Cu, Fe and Zn) in medicinal plant seeds, Turkey were used by flame atomic absorption spectrometry (FAAS) after microwave digestion with different acid mixtures.

2. EXPERIMENTAL

An Agilent 240 Duo Model flame atomic absorption spectrophotometer (FAAS) equipped and Agilent hollow cathode lamps was used for metal determinations. The applied optimum conditions for FAAS are listed in Table 1. Seed samples were prepared with microwave digestion by Mars 6 (CEM Corporation). All chemicals used were of analytical-reagent grade (Merck quality). Throughout all analytical work, ultrapure water was obtained from water purification system

(ELGA). In the digestion procedures, concentrated nitric acid (65%, Merck) and hydrogen peroxide (35 %, Merck) were used. Stock solutions of metals (1000 mg L⁻¹) were prepared from Merck stocks (Darmstadt, Germany). Afterwards, calibration standards of each metal were prepared by appropriate dilution (0.2 mol L⁻¹ HNO₃) of the stock solution. All glass apparatus (Pyrex) were kept permanently full of 2.5% nitric acid when not in use.

Table 1: Instrumental operating conditions for FAAS

Element	Parameters					
	Wavelength (nm)	HCL curent (mA)	Acetylene flow rate (L min ⁻¹)	N ₂ O flow rate (L min ⁻¹)	Air Flow rate (L min ⁻¹)	Slit width (nm)
Cu	324.8	4.0	2.00	-	13.50	0.5
Fe	372.0	5.0	2.00	-	13.50	0.2
Zn	213.9	5.0	2.00	-	13.50	0.5

2.1 Sample collection and preparation

The herbal seeds of *Silybum marianum* were collected from its natural habitat the region in Thrace, Turkey during their growing season (June and July) in 2020. The seeds were carefully washed with deionized water and oven-dried at 40 °C. The *Silybum marianum* samples were powdered using an agate mortar and pestle to reduce the size to fit through a 400-mesh sieve and ground for 20 min to get a fine homogenized mixture.

2.2 Digestion by MW

Exactly 2.5-3.0 mL of the acid mixture of HNO₃/H₂O₂ (2:1 or 1:1) was added to 0.5 g of plant samples. The mixture was placed into a 50 °C water bath for 30 minutes and stirred occasionally. Then, 1.0 mL of the same acid mixture was added and the mixture transferred into a 75 mL Teflon express vessel in a MW using a program in one stages (time 15 min, temperature 120 °C, power 450 W or 600 W or 800 W). The Teflon vessel was closed and placed inside the MW. Radiation was applied for 15 minutes at selected power. If necessary, minimum volume (approximately 0.5 mL) of the same digestion mixture was added.

After 10 minutes of cooling, 10 mL of ultra pure water was added, and the solution transferred into a falcon tube. The final volume was completed to be about 20 mL. After centrifugation, the clear solution was analyzed by FAAS. The blank digests were carried out in the same way for each digestion. Three different portions of each sample were digested and the average value was calculated for the same sample.

2.3 Method Validation

The samples were at least five repetitions were chosen for analysis to get their mean and standard deviation values by FAAS. LODs were calculated from standard deviations of five repeat analyzes of samples. The limit of detection and limit of quantification were computed by the formulas;

$$\text{LOD} = 3 \times \text{Standard Deviation}$$

and

$$\text{LOQ} = 10 \times \text{Standard Deviation}$$

The standard reference material (Apple and Spinach) was analyzed as certified a reference material to calculate the reliability and accuracy of the method:

$$\% \text{Recovery} = (\text{Experimental Value} / \text{Certified Value}) \times 100$$

The obtained concentrations of trace metals were ten times higher than their LOD values, so we quantified the above trace elements by 95% confidence limits using FAAS. The calculated RSD (%), LOD, LOQ, linearity ($y=mx + n$), correlation coefficient values (R^2) were shown in the Table 2, which validating the precision of the method.

Table 2: Validation process values of the analyzed metals for validating the precision of the method

	Linearity	R^2	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)	RSD%<
Cu	0.115 X – 0.0031 (0.05-2.5 mg/L)	0.9994	0.0147	0.049	0.4
Fe	0.0586 X + 0.0026 (0.1-5.0 mg/L)	0.9999	0.018	0.060	1.1
Zn	2.0643 x + 0.0522 (0.05-0.5 mg/L)	1.000	0.0135	0.045	0.9

3. CONCLUSION

This study shows which the determination of trace metals (Cu, Fe and Zn) in *Silybum marianum* by FAAS. To solve the samples were used methods closed vessel microwave digestion. The methods had been validated for the determination of metals in medicinal plants. But, wet decomposition has been performed in open systems for many years. In our study, the sensitivity of analyses was similar for all methods. Closed-vessel microwave (MW) digestion from these methods is rapid and simple. The best result of digestion was obtained MW higher than the dry ashing. In addition to, the best method for samples was observed with 1/1 acid mixture by MW digestion.

Some trace elements are essential for human and plant growth under the permissible limits. However, if trace metal concentrations exceed the critical levels, then they are toxic to both humans and plants [23-25]. Major metal concentrations were in the order of Fe>Cu>Zn for *Silybum marianum*. The highest mean levels of Cu, Fe and Zn were detected in plant seeds.

The results of MW digestion were given in Table 3. It can be seen that the Cu, Fe and Zn concentrations are in range of 62.8-190 mg kg⁻¹, 1974-3588 mg kg⁻¹ and 56.5-115 mg kg⁻¹, respectively in 1/1 and 2/1 acid mixture in MW digestion for seed.

Table 3: Comparison of MW digestion Method for Metals Determination in the plant seeds (mg kg⁻¹)

Herbal plant	Power (Watt)	HNO ₃ /H ₂ O ₂ acid mixture	Cu	Fe	Zn
<i>Silybum marianum</i>	450	1/1	79.7 ± 2.6	2091 ± 11	60.1 ± 5.2
	450	2/1	62.8 ± 5.3	1974 ± 77	56.5 ± 4.3
	600	1/1	157 ± 8	2928 ± 24	81.2 ± 2.7
	600	2/1	108 ± 4	2653 ± 56	76.8 ± 6.4
	800	1/1	190 ± 5	3588 ± 37	115 ± 8
	800	2/1	178 ± 2	3242 ± 54	106 ± 5

The procedure was applied for the analytes determination in the plant seed with satisfactory results (recoveries >95% and relative standard deviation's (RSD) lower than 4%). The *Silybum marianum* was found to quite high concentration of Fe and Zn. Moreover, to prevent and treat iron deficiency, exogenous inorganic iron supplementation can used as food supplement in the industry.

ACKNOWLEDGMENTS

The author thanks the Kırklareli University Research Foundation for their supports (DPT-2010K121120; KLUBAP-120; KLUBAP-198).

REFERENCES

- [1] WHO guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues, World Health Organization, ISBN 978-92-4-159444-8, 2007.
- [2] Ozcan, C., Yaman, M., Determination of Myricetin in Medicinal Plants by High-Performance Liquid Chromatography, *Instrumentation Science & Technology*, 43(1), 44-52, 2015.
- [3] Ozcan, C., Yaman, M., Determination of kaempferol in *Rosa canina*, *Urtica dioica*, *Terebinthina chica* and *Portulace oleracea* by HPLC-MS, *Asian Journal of Chemistry*, 25(17), 9758-9762, 2013.
- [4] Ozcan, C., Dilgin, Y., Yaman, M., Determination of quercetin in medicinal plants such as rose hip (*Rosa canina*), nettle (*Urtica dioica*), terebinth (*Terebinthina chica*) and purslane (*Portulace oleracea*) using HPLC-MS method, *Asian Journal of Chemistry*, 24(8), 3396-3400, 2012.
- [5] Feinendegen, L. E., Kasperek, K., Medical aspects of trace element research, *Trace Elem. Anal. Chem Med. Biol.* 1-17, 1980.
- [6] Mertz, W., Trace elements in human and animal nutrition, Vol. 1-2, San Diego, CA, USA, Academic Press, 1987.
- [7] White, P. J., Broadley M. R., Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets-iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine, *New Phytologist*, 182(1), 49-84, 2009.
- [8] Ozcan, C., Kırklareli İl Merkezinde Yetişen Bazı Bitki Türlerinin Eser Element Analizleri, *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 3(1), 184-193, 2013.
- [9] Noel, L., Leblanc, J. C., Guerin, T., Determination of several elements in duplicate meals from catering establishments using closed vessel microwave digestion with inductively coupled plasma

mass spectrometry detection: estimation of daily dietary intake, *Food Additives & Contaminants*, 20(1), 44-56, 2003.

[10] Prasad, M. N. V., Trace elements as contaminants and nutrients: Consequences in ecosystems and human health, ISBN 978-0-470-18095-2, 2008.

[11] Çelik, A., Kartal, A. A., Akdoğan, A., Kaska, Y., Determining the heavy metal pollution in Denizli (Turkey) by using Robinio pseudo-acacia L., *Environment International*, 31, 105 2005.

[12] Ozturk, L., Yazici, M. A., Yucel, C., Torun, A., Cekic, C., Bagci, A., Ozkan, H., Braun, H-J., Sayers, Z., Cakmak, I., Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat, *Physiologia Plantarum* 128, 144-152, 2006.

[13] WHO, 1996. World Health Organization, Geneva, Switzerland, EB109/33. 2001.

[14] Del Río-Celestino M., Font R., Moreno-Rojas R., De Haro-Bailón A., Uptake of lead and zinc by wild plants growing on contaminated soils, *Industrial Crops and Products*, 24(3), 230-237, 2006.

[15] Karadjova, I., Izgi, B., Gucer, S., Fractionation and speciation of Cu, Zn and Fe in wine samples by atomic absorption spectrometry, *Spectrochimica Acta, Part B: Atomic Spectroscopy*,57(3), 581-590, 2002.

[16] Oliva, S.,R., Raitio, H., Mingorance, M. D., Comparison of two wet digestion procedures for multi-element analysis of plant samples, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34, 2913-2923, 2003.

[17] Hacisalihoglu, G., Kochian, L. V., How do some plants tolerate low levels of soil zinc? Mechanisms of zinc efficiency in crop plants, *New Phytologist*, 159, 341-350, 2003.

[18] Demirezen, D., Aksoy, A., Heavy Metal Levels in Vegetables in Turkey are within safe limits for Cu, Zn, Ni and exceeded for Cd and Pb, *Journal of Food Quality*, 29, 252-265, 2006.

[19] Colak Esetlili, B., Pekcan, T., Çobanoğlu, Ö., Aydoğdu, E., Turan, S., Anaç, D., Essential plant nutrients and heavy metals concentrations of some medicinal and aromatic plants, *Journal of Agricultural Sciences*, 20, 239-247, 2014.

[20] Smith F.E., and Arsenault E.A. Microwave-assisted sample preparation in analytical chemistry, *Talanta*, 43(8), 1207-1268, 1996.

[21] Ozcan, C., Balkan, S., Multi-residue determination of organochlorine pesticides in vegetables in Kırklareli, Turkey by gas chromatography-mass spectrometry, *Journal of Analytical Chemistry*, 72(7), 761-769, 2017.



[22] Baranowska, I., Srogi, K., Wlochowicz, A., Szczepanik, K., Determination of heavy metal contents in samples of medicinal herbs, Polish Journal of Environmental Studies, 11(5), 467-471, 2002.

[23] Divrikli, U., Horzum, N., Soylak, M., Elci, L., Trace heavy metal contents of some spices and herbal plants from western Anatolia, Turkey, International Journal of Food Science & Technology, 41, 712-716, 2006.

[24] Kaya, G., Ozcan, C., Yaman, M., Flame atomic absorption spectrometric determination of Pb, Cd, and Cu in *Pinus nigra* L. and *Eriobotrya japonica* leaves used as biomonitors in environmental pollution, Bulletin of environmental contamination and toxicology, 84(2), 191-196, 2010.

[25] Ozcan, C., Yaman, M., Determination of Ni, Pb and Cu in plant and soil samples to monitor pollution extent: comparison of Kırklareli-Elazığ cities, Turkey, Fresenius Environmental Bulletin 27 (3), 1319-1328, 2018.



ECONOMIC ANALYSIS OF MAGLEV TRAIN TECHNOLOGY: A CASE STUDY FOR ANKARA-SIVAS LINE

Ezgi ARSLAN TUNCAR^{1*} , İsmail KIYAK²

¹ *Department of Mechanical and Metal Technology University of Atasehir Adiguzel Vocational School, İstanbul*

² *Faculty of the Technology Department of Electrical-Electronics Engineering University of Marmara University, İstanbul, Turkey*

Abstract

Population density has been rapidly shifting from rural areas to city centers. The increase of population in cities brings transportation problems with it. Conventional public transportation is not enough to solve these problems. One of the alternative transportation methods developed for this matter is maglev train transportation. Maglev train km-passenger transport rates reveal that this technology provides per capita environmental contribution. Maglev trains have various advantages over conventional trains. Since there is no contact with the guide track, there is no friction. It is less noisy and faster than other trains. In this study, the application for a maglev train line Ankara-Sivas in Turkey. That can be applied in the economic analysis was conducted for four different versions. According to the analysis, version 1, which has 2.1% more cost considering the number of wagons, but which has twice the number of wagons of the alternative version and has 4 stations with 0.5% more cost considering the number of stations, was found suitable.

Keywords: EMS, Guideway, HSR, Maglev Economics, Maglev Train

Sorumlu Yazar: Ezgi ARSLAN TUNCAR, ezgiarslantuncar@adiguzel.edu.tr

MAGLEV TREN TEKNOLOJİSİNİN EKONOMİK ANALİZİ: ANKARA-SİVAS HATTI İÇİN BİR DURUM ÇALIŞMASI

Öz

Nüfus yoğunluğu hızla kırsal alanlardan şehir merkezlerine kaymaktadır. Şehirlerde nüfus artışı beraberinde ulaşım sorunlarını da beraberinde getiriyor. Konvansiyonel toplu taşıma bu sorunları çözmek için yeterli değil. Bu konuda geliştirilen alternatif ulaşım yöntemlerinden biri de maglev tren taşımacılığıdır. Maglev tren km-yolcu taşıma oranları, bu teknolojinin kişi başına çevresel katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Maglev trenlerinin geleneksel trenlere göre çeşitli avantajları vardır. Kılavuz ray ile temas olmadığı için sürtünme yoktur. Diğer trenlere göre daha az gürültülü ve daha hızlıdır. Bu çalışmada, Türkiye'de bir maglev tren hattı Ankara-Sivas uygulaması. Ekonomik analizde uygulanabilen dört farklı versiyon için yapılmıştır. Yapılan analize göre, vagon sayısına göre% 2,1 daha fazla maliyeti olan, ancak alternatif versiyonun iki katı vagon sayısına sahip olan ve istasyon sayısına göre% 0,5 daha fazla maliyetle 4 istasyona sahip olan versiyon 1 uygun bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: EMS, Kılavuz Yolu, HSR, Maglev Ekonomisi, Maglev Treni

1. Introduction

In 2050, 68% of the world's population is expected to live in city centers [1]. Population density is rapidly shifting from rural areas to city centers. The increase of life in cities brings transportation problems with it. Many different transportation alternatives have been developed to solve this problem, which has been increasing for years. One of them is maglev train transportation. Maglev trains will save time in transportation. It is possible that this time saving brings different demands. Despite these demands, maglev train km-passenger transport rates reveal that this technology provides per capita environmental contribution [2].

Maglev trains have some advantages over traditional trains. As the train does not touch the ground along the guide road, it does not have any moving parts, so there is no part to wear. For this reason, the maintenance cost is low. Since there is no contact with the guide track, there is no friction. It is less noisy than other trains and as a result of all these advantages, it is high speed [3].

Reza Nasiri-Zarandi and Arsalan Hekmati have compared different suspension types, traction designs and control techniques applied to maglev trains. He stated that electromagnetic suspension linear asynchronous motors are used in low-speed maglev trains and suggestions are given for both suspension and control systems to increase their performance [4].

Many studies have investigated the effects of aerodynamic distribution. Changda Tan et al. investigated the aerodynamic distribution of maglev trains in the open air and without wind, according to the number of wagons, the highest current flow and the flow structure around the train. It showed that the buoyancy coefficient has a negative correlation as the number of wagons increases [5]. Sha Huang et al also addressed the safety risks of aerodynamic effects. They have listed the necessary precautions to be taken as a result of the pressure that the two trains will apply to each other [6].

Qing Yang et al. Investigated the eddy current effect that emerged as a result of the high-speed operation of the electromagnetic suspension maglev train and investigated the relationship between eddy current and suspension force [7].

Gang Liang et al. Investigated the effect of integration of high-temperature superconductor into the maglev system on system performance. The results showed that the stability of the maglev system depends on the arrangement of high-temperature superconductor stacks for a permanent magnet guideway [8].

You-Lin Xu et al. Analyzed the dynamic response of trains passing through flexible transition viaducts for the Shanghai maglev line and made comparisons with the results of straight and circular viaducts. The results showed that the height difference and the length of the transition viaduct directly affect the lift force and the angular velocity of the vehicle for the vehicles moving along the passageway [9].

Long Zhang and JingYu Huang, in their study, presented a practical guideline by performing a simulation based on in-situ vibration testing and model updating method in maglev system design. The effects of random surface irregularity and distributed magnetic forces are investigated here and the frequency response of the guideway has been analyzed in detail. The results showed that the proposed model can provide a practical response prediction and analysis [10].

Yongpan Hu et al. created a mathematical model of the eddy current effect that occurs during the high-speed maglev train running at different speeds and investigated its effect on the optimal design of the guideway [11].

Jun-ge Zhang et al. Emphasized the importance of determining the absolute position of the train in maglev train systems in terms of system reliability. They pointed out the necessity of the system by showing that the sensors used for positioning play an important role in condition monitoring, diagnosis and maintenance decisions in general design [12].

Hamid Yaghoubi and his colleagues made a comparison of high-speed trains and maglev trains. Within the scope of this study, some advantages of maglev trains can be listed as follows. Maglev trains compare to high-speed trains with noise, environmental problems, land occupations, loading, speed, acceleration and deceleration, braking, maintenance costs, passenger comfort, safety, travel time, etc. It is superior for reasons such as. Besides, maglev trains can travel at higher angles, so shortening the route and construction of maglev trains in mountainous areas is more preferable to high-speed trains [13].

Wei Xu and Cuiying Huang highlighted the importance of reliability, availability, sustainability and safety management (RAMS) in the development of the maglev train industry. The basic reliability of the system should be ensured according to international standards [14].

Compared with other rail systems in the world, the maglev train example is not available in large numbers. The Northeast superconducting maglev train in America can speed up to 374 miles per hour. The train, which can be used with up to 16 wagons, operates between Washington DC and New York. The lack of electrical resistance in superconducting magnets allows SCMAGLEV to consume 30% less energy than other high-speed maglev trains and 50% less than a commercial aircraft. Reducing the number of vehicles on the roads means big reductions in harmful air emissions. Thanks to this line, 2,000,000 tons of greenhouse gas emissions were achieved [15].

The maglev train, which started operation in 2001 in Shanghai, China, is about 30 km long and can speed 430 km per hour. The train runs between Beijing and Shanghai [16].

Located in Japan, Chuo Shinkansen superconducting maglev train travels between Tokyo and Osaka City at a speed of 505 km per hour [17].

The maglev train used on the 6.1 km long line in North Korea is designed to speed up to 110 km per hour. It operates between Incheon International Airport and Yongyu Station [18].

The 432km California Nevada Interstate Maglev Project, which will connect California and Las Vegas, has been planned for many years [19].

In Table 1, high-speed trains and maglev train technologies are compared with each other in terms of travel time factors, intermodal compatibility, cost and additional factors [20].

Table 1. Comparison of Maglev Trains and High-Speed Trains [20].

SYSTEM FEATURES	MAGLEV	HSR
a. Travel time factors		
*Maximum speeds	420-450km/h	300-350km/h
*Acceleration rates	Higher at upper speed range	
b. Intermodal compatibility		
*Network connectivity	None/single lines	Excellent/extensive networks
*Use of existing infrastructure	New and elevated guideways, tunnels and station needed	New lines combined with existing lines and stations can be used
c. Costs		
*Investment costs	\$12-55M/km	\$6*25M/km
*Operating and maintenance costs	Uncertain	Known
*Energy consumption	Higher than HSR	
d. Additional factors		
*Riding comfort		Superior
*System image/passenger attraction	Excellent, plus initial innovation interest	Excellent/ superior network accessibility
*Impacts on surroundings	Lower noise and vibration	Tracks mostly at grade

Maglev trains have been investigated from many aspects in the literature. Suspension types, engine differences, rail design, effects arising from differences in the number of wagons, aerodynamic effects, safety and control requirements can be given as examples to these studies.

In this study, the application for a maglev train line Ankara-Sivas in Turkey, 405 km in length that can be applied economic analysis was conducted for four different versions.

2. Project Details

The necessary infrastructure must be established for the use of Maglev technology. Maglev trains are not compatible with traditional rail lines. This situation shows that they cannot use the existing infrastructure together. Maglev systems should be designed as a complete transportation system.

Within the scope of this study, electromagnetic suspension, linear synchronous motor vehicles will be used in the designed system, and a double-sided guideway has been preferred.

2.1 Levitation Technique

Maglev trains can be classified as electromagnetic suspension (EMS) and electrodynamic suspension (EDS) trains according to suspension systems. In EMS trains, energy is supplied to create an electromagnetic field between the electromagnet placed under the rail and the rail. Thus, the train is suspended. The suspension distance between the electromagnet and the rail takes a value between 8-10 mm. The most important advantage of the suspended maglev system is that it can operate at all speeds. However, this methodology is unstable due to the characteristics of the magnetic circuit. The higher the speed, the harder it is to maintain the air gap. A control system is required for this [21-22]. Fig 1 EMS train for suspension system is observed[21].

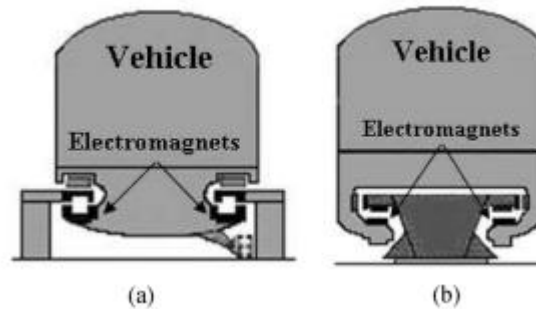


Figure 1. Electromagnetic suspension. (a) Levitation and guidance integrated. (b) Levitation and guidance separated [21].

In obtaining the state equation of the electromagnetic suspension system, magnetic leakage should be neglected. It should be assumed that the electromagnetic gravitational force is at the center of mass and vertical movement should be taken into account.

State equation of electromagnetic suspension system [23]:

The electrical equation of the electromagnet:

$$u(t) = Ri(t) + \frac{\mu_0 N^2 A}{2} * \frac{i(t)}{z(t)} - \frac{\mu_0 N^2 Ai(t)}{2} * \frac{z(t)}{[z(t)]^2} \quad (1)$$

The electromagnetic force:

$$F(i, z) = \frac{\mu_0 N^2 A}{4} * \left[\frac{i(t)}{z(t)} \right]^2 \quad (2)$$

The kinetic force equation of the electromagnetic suspension system is presented:

$$m\ddot{z}(t) = (m + M)g - F(i, z) \quad (3)$$

The mathematical model of the electromagnetic suspension system is obtained so that the state variable is specified:

$$x = (x_1 \ x_2 \ x_3)^T = (z \ \dot{z} \ i)^T \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{M+m}{m} * g - \frac{K}{m} * \frac{x_3^2}{x_1^2} \\ \dot{x}_3 &= \frac{x_2 * x_3}{x_1} - \frac{R * x_1 * x_3}{2K} + \frac{x_1}{2K} * u \end{aligned} \quad (5)$$

Some expressions in these equations: m: quality of electromagnet, M: equivalent quality of the vehicle, z: suspension gap, i: suspension current, u: suspension voltage, R: resistance, L: length of the electromagnet

2.2 Propulsion

Maglev trains get their driving force from a linear motor. The structure of the linear motor is simpler and more robust than the structure of the conventional rotary motor. Even if the working principle is the same as the rotary motor, the linear motor is superior to the rotary motor since there is no mechanical contact. Linear synchronous motors (LSM) have a magnetic source within

themselves. The repulsion force is created by this magnetic force. LSMs have a high-efficiency rate in high-speed maglev trains [23].

2.3 Guidance

The rail system in maglev trains is a non-contact system. Magnetic repulsion or magnetic pull force is used in the state of motion as in the suspended state. In the use of the magnetic repulsion force, the lifting coils are connected in opposing two rails and these coils form a guide system. When the train moves, the electromagnets on the train provide a two-sided average so that the train is guided. In magnetic attraction force, the inductance will increase when the train moves. Due to the energy flow direction, the vehicle will be centered and the movement will be provided by the pulling force [10]. Fig 2 shows the costs of one-way and two-way lines for some locations [24].

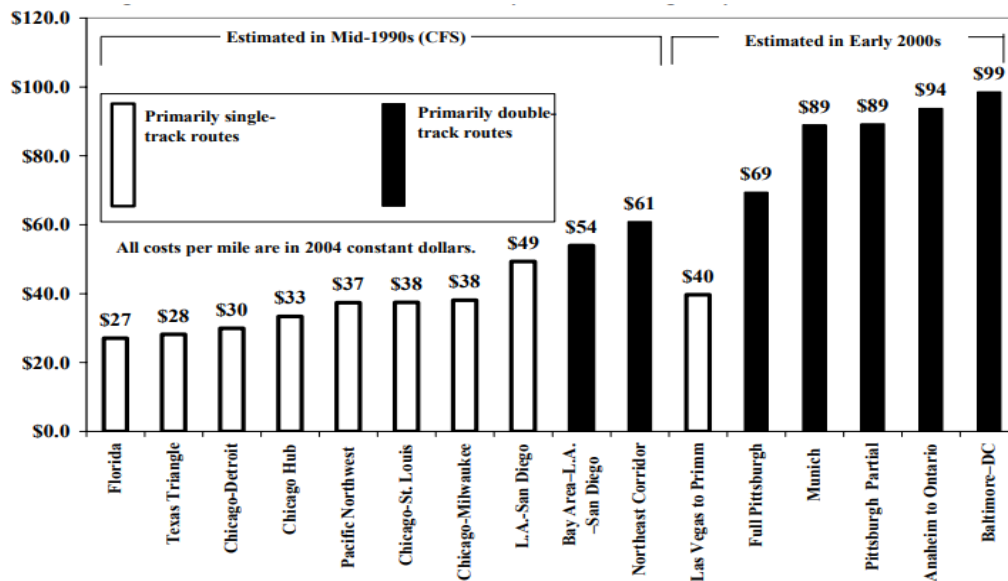


Figure 2. Single and bi-directional guideway cost examples [24].

3. Metodology

In this study, an economic analysis of a maglev line that can be established between Ankara and Sivas has been made for different scenarios. Fig 3 is given in the route of the planned high-speed

train line are made in Turkey. This route is 405 km [25]. This route will be used within the scope of the study. There are 49 tunnels with 66.08 km and 49 viaducts with 27.2 km along the route [26].

When designing the Maglev line, not only the train but also the necessary infrastructure must be created. A new guiding line should be determined. Rail costs are similar in most of the studies. The cost of the double-track is different from the one-way track but not twice as much. The cost of creating the rails is quite high in the cost of the system. The cost of a duplex track is approximately €17million per km. Besides, one of the most important costs is the vehicle cost. The price of a single wagon is approximately €20 million. Besides these two important costs, station costs are important. Station costs are approximately €40 million for each station [27-28]. Guide rails are designed to be used for 80 years. This time can be accepted as the operation time of the system [27]. In the light of the information contained in Reference 29, it was calculated that the cost of the tunnel is approximately 2.6 times the rail cost on the open road. In this case, the tunnel rail cost is €44million per km [29]. The viaduct cost calculation was calculated using the data in source number 30 and is approximately €21million per km [30]. Electrification and communication control cost is approximately €1.5million per km [31].



Figure 3. Ankara- Sivas HSR Line [25].

The initial investment costs of the systems for 4 different scenarios are shown below.

3.1. Version 1

If a system is designed for 20 wagons on the approximately 405 km Ankara-Kırıkkale-Yozgat-Sivas line, which consists of 4 stations, the initial investment cost is as in Table 2 below.

The system cost per kilometer is € 24.55 million.

Table 2. Version 1 Investment Costs

	Unit price (million €)	Quantity	Total (million €)
Rail cost per km (open area)	17	312	5304
Rail cost per km (tunnel)	44	66	2904
Rail cost per km (viaduct)	21	27	567
Vehicle cost	20	20	400
Station cost	40	4	160
Electrification ve Communication Controls cost	1,5	405	607,5
Total initial investment costs			9942,5

3.2. Version 2

If a system is designed for 10 wagons on the approximately 405km Ankara-Kırıkkale-Yozgat-Sivas line consisting of 4 stations, the initial investment cost is as in Table 3 below.

The system cost per kilometer is € 24.05 million.

Table 3. Version 2 Investment Costs

	Unit price (million €)	Quantity	Total (million €)
Rail cost per km (open area)	17	312	5304
Rail cost per km (tunnel)	44	66	2904
Rail cost per km (viaduct)	21	27	567
Vehicle cost	20	10	200
Station cost	40	4	160
Electrification ve Communication Controls cost	1,5	405	607,5
Total initial investment costs			9742,5

3.3.Version 3

If a system is designed for 20 wagons on the approximately 405km Ankara-Yozgat-Sivas line consisting of 3 stations, the initial investment cost is as in Table 4 below.

The system cost per kilometer is € 24.45 million.

Table 4. Version 3 Investment Costs

	Unit price (million €)	Quantity	Total (million €)
Rail cost per km (open area)	17	312	5304
Rail cost per km (tunnel)	44	66	2904
Rail cost per km (viaduct)	21	27	567
Vehicle cost	20	20	400
Station cost	40	3	120
Electrification ve Communication Controls cost	1,5	405	607,5
Total initial investment costs			9902,5

3.4. Version 4

If a system is designed for 10 wagons on the approximately 405km Ankara-Kırıkkale-Yozgat-Sivas line consisting of 3 stations, the initial investment cost is as in Table 5 below.

The system cost per kilometer is € 23.95 million.

Table 5. Version 4 Investment Costs

	Unit price (million €)	Quantity	Total (million €)
Rail cost per km (open area)	17	312	5304
Rail cost per km (tunnel)	44	66	2904
Rail cost per km (viaduct)	21	27	567
Vehicle cost	20	10	200
Station cost	40	3	120
Electrification ve Communication Controls cost	1,5	405	607,5
Total initial investment costs			9702,5

After the initial investment cost is calculated, the recycling cost should be calculated. In order to make this calculation, it is necessary to calculate the operating life of the system, annual operating cost, annual passenger capacity along the route, annual income values based on ticket prices.

According to TCDD 2019 sector report, the number of HSR passengers is 6677 per km in 2019 data [32]. According to the related report, this average of 2,704,185 passengers is foreseen for the line of 405 km.

Annual operation and maintenance cost is approximately €154,000 per km[31-33]. Annual maintenance and operating costs for 405km are €62.4 million.

4. Result and Discussion

When looking at 4 different scenarios, the number of wagons or the number of stations does not cause major changes in the total cost. The biggest cost for a 405 km line is the rail and tunnel cost. Considering the number of different stations and wagons, an initial investment cost of €9.70-9.94 billion is required for the line.

The operating cost calculated for this line is approximately €62.4million. If the initial investment costs are excluded from the calculation with the estimation of 2,704,185 passengers, the ticket price of €23 will be sufficient to cover the operating costs.

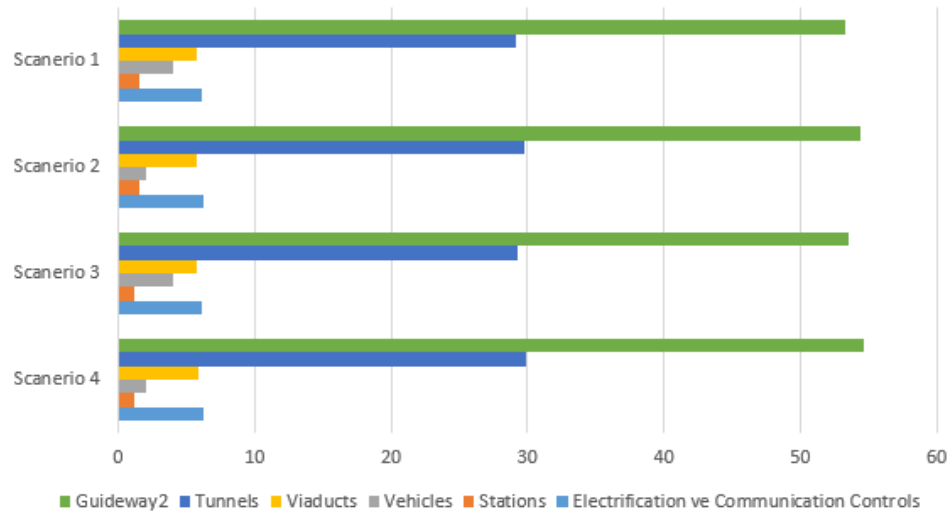


Figure 4. Percentage of parameters in the initial investment cost

5. Conclusion

Maglev train technology is more than other train technologies as an initial investment cost. However, maintenance costs are less than high-speed train technology. The applicability of the route was investigated, taking into account the annual operating and maintenance expenses, the high initial investment cost and the passenger capacity. Population growth estimates and industrial investments on the route should be taken into account. Maglev trains save time due to their high speed. Considering the public interest, it is recommended to increase the applications of maglev train technology due to both economic and environmental benefits.

If it is necessary to make an assessment by keeping the number of wagons at the forefront, according to the cost / benefit analysis, version 1 is 2.1% more costly than version 2 and version number 3 is approximately 2.1% more expensive than version 4, but in version 1, the number of wagons is 2 times the number of wagons in version 2. The number of wagons in version 3 is 2 times the number of wagons in version 4.

If it is necessary to evaluate the number of stations in the forefront, according to the benefit / cost analysis, version number 1 is approximately 0.5% more costly than version number 3 and version number 2 is approximately 0.5% more costly than version number 4, but in version 1, the number

of stations is 1 more than the number of stations in version 2. The number of stations in version 2 is 1 more than the number of stations in version 4.

Considering all these results, it is seen that the number of stations and wagons does not cause major changes in the initial investment cost. Within the scope of the study, we believe that the application of version number 1 will be more ergonomic.

REFERENCES





- [1] Center for Sustainable Systems. (2019). U.S. Cities Factsheet. Pub. No.CSS09.Michigan. http://css.umich.edu/sites/default/files/US%20Cities_CSS09-06_e2019.pdf
- [2] Spielmann, M., Haan, P., Scholz, R.W., Environmental rebound effects of high-speed transport technologies: a case study of climate change rebound effects of a future underground maglev train system, *Journal of Cleaner Production*, Volume 16, Issue 13, 2008, Pages 1388-1398, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.08.001>.
- [3] <https://www.cambridgeinternational.org/images/156337-june-2012-pre-released-material-2.pdf> University of Cambridge International Examinations, PHYSICS, 9792/02, May/June 2012, Accessed 13 December 2020
- [4] Zarandi, R.N., Hekmati, A., A Review of Suspension and Traction Technologies in Maglev Trains, 2019 International Power System Conference (PSC), Tehran, Iran, 2019, pp. 129-135, doi: 10.1109/PSC49016.2019.9081455.
- [5] Tan, C., Zhou, D., Chen, G., Sheridan, J., Krajnovic, S., Influences of marshalling length on the flow structure of a maglev train, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Volume 85, 2020, 108604, ISSN 0142-727X, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2020.108604>
- [6] Huang, S., Li, Z., Yang, M., Aerodynamics of high-speed maglev trains passing each other in open air, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Volume 188, 2019, Pages 151-160, ISSN 0167-6105, <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2019.02.025>
- [7] Yang, Q., Yu, P., Li, J., Chi, Z., Wang, L., Modeling and Control of Maglev Train Considering Eddy Current Effect, 2020 39th Chinese Control Conference (CCC), Shenyang, China, 2020, pp. 5554-5558, doi: 10.23919/CCC50068.2020.9188534.
- [8] Liang, G., Zhao, L., Yang, J., Ma, J. Zhang, Y., Wang, X., Zhao, Y., Study of the Maglev Performance of the Side- Mounted High-Temperature Superconductor Maglev Rotating System, *Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 25, no. 4, pp. 1-6, Aug. 2015, Art no. 3601406, doi:10.1109/TASC.2015.2409193.

- [9] Xu, Y.L., Wang, Z.L., Li, G.Q., Chen, S., Yang, Y.B., High-speed running maglev trains interacting with elastic transitional viaducts, *Engineering Structures*, Volume 183, 2019, Pages 562-578, ISSN 0141-0296, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.012>.
- [10] Zhang, L., Huang, J., Dynamic interaction analysis of the high-speed maglev vehicle/guideway system based on a field measurement and model updating method, *Engineering Structures*, Volume 180, 2019, Pages 1-17, ISSN 0141-0296, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.031>.
- [11] Hu, Y., Zeng, J., Long, Z., Zhai, M., Eddy Current Effects on the Guiding System of High-Speed Maglev Train, 2019 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Harbin, China, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICEMS.2019.8922563.
- [12] Zhang J., He N., Chen T., Xue S. (2012) Design and Analysis of Built-In Test for the Absolute Locating Sensor of Maglev Train. In: Zhang T. (eds) *Mechanical Engineering and Technology. Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol 125. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-27329-2_15
- [13] Yaghoubi, H., Barazi, N., Kahkeshan, K., Zare, A., Ghazanfari, H., Technical Comparison of Maglev and Rail Rapid Transit Systems, The 21st International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives, October 10-13, 2011, Daejeon, Korea
- [14] Xu, W., Huang, C., Control system of maglev train based on RAMS, 2011 International Conference on Electrical and Control Engineering, Yichang, 2011, pp. 2943-2946, doi:10.1109/ICECENG.2011.6057650
- [15] <https://northeastmaglev.com/environmental-benefits/>, Accessed 20 December 2020
- [16] <http://www.smtdc.com/en/>, Accessed 20 December 2020
- [17] Uno, M., Chuo Shinkansen Project Using Supercconducting Maglev System, *Japan Railway & Transport Review*, No:68, 2016
- [18] Park, D.Y., Gieras J.F., Incheon Airport Maglev Line, *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 95 NR 6/2019
- [19] Cummings, M.N., Baldi, B., Buss, W., Chin, H., Hirschfeld, W. W., Shearin, G., California-Nevada Interstate Maglev Project (CNIMP), *MAGLEV'2006: The 19th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives*, 13-15 September 2006, Dresden, Germany
- [20] Vuchic, V.R., Casello, J.M., An Evaluation of Maglev Technology and Its Comparison With High Speed Rail, *Transportation Quarterly* 56(2), 33-49. January 2002.



- [21] Lee, H.W., Kim, K.C., Lee, J., Review of maglev train technologies, Transactions on Magnetics, vol. 42, no. 7, pp. 1917-1925, July 2006, doi: 10.1109/TMAG.2006.875842.
- [22] Pandey, N.D., Kumar, M., Tiwari, P., Analysis of Magnetic Levitation and Maglev Trains, IJISSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 3 Issue 12, December 2016 ISSN (Online) 2348 – 7968
- [23] Ren, Z., Xiao, L., Liu, H., Wang, Q., Research on Control System of Electro-Magnetic Suspension Maglev Train, 2020 IEEE International Conference on Information Technology, Big Data and Artificial Intelligence (ICIBA), Chongqing, 2020, pp. 1085-1089, doi: 10.1109/ICIBA50161.2020.9277002.
- [24] U. S. Department of Transportation Federal Railroad Administration, Report to Congress: Costs and Benefits of Magnetic Levitation, September 2005
- [25] <https://tr.railturkey.org/2015/11/04/ankara-sivas-yuksekk-hizli-tren-hatti/>, Accessed 13 December 2020
- [26] <https://www.tcddtasimacilik.gov.tr/haber/453/>, Accessed 13 December 2020
- [27] Behbahani, H., Yaghoubi, H., Rezvani, M. A., Development of technical and economical models for widespread application of magnetic levitation system in public transport, International Journal of Civil Engineering, Vol. 10, No. 1, March 2012
- [28] Plotkin, D., Kim, S., Maglev Guideway Cost and Construction Schedule Assessment, Journal of Transportation Engineering, 1997, p:195
- [29] Sawada, K., Outlook of the Superconducting Maglev, The 21st International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives, October 10-13, 2011, Daejeon, Korea
- [30] U. S. Department of Transportation, Advanced Guideway System (AGS) Feasibility Study, Chapter 4 Cost Estimation, August 2014
- [31] U. S. Department of Transportation, Urban Maglev Technology Development Program Colorado Maglev Project Executive Summary, JUNE 2004
- [32] Turkish State Railways General Directorate Of Business, Railway Sector Report 2019, Ankara, May 2020
- [33] HNTB, SANDAG Maglev Study Phase 1 Final Report, March 17, 2006

ELECTRICAL PROPERTIES OF ZnO:TiO₂ NANOCOMPOSITE THIN FILMS

Serkan UYAR¹, Burhan COŞKUN¹, Mümin Mehmet KOÇ*^{1,2}, Mustafa ERKOVAN^{3,4}

¹Department of Physics, Faculty of Literature and Science, Kırklareli University, Kırklareli, TURKEY

²School of Medical Service, Kırklareli University, Kırklareli, TURKEY

³Department of Computer Engineering, Beykoz University, Istanbul, TURKEY

⁴INESC-Microsystems and Nanotechnologies, Lisboa, PORTUGUAL

Abstract

In this work, ZnO:TiO₂ nanocomposites thin films were produced, and electrical properties were evaluated. Nanocomposite nanoparticles were used as thin film source in the preparation which was produced using sol-gel synthesis in different concentrations. Spin coating process was adopted in the preparation of ZnO:TiO₂ nanocomposites films. In the thin film preparation pure TiO₂, and nanocomposites in 1:5 ZnO:TiO₂ and 1:2 ZnO:TiO₂ concentrations were prepared. Electrical properties of the ZnO:TiO₂ composites were assessed where capacitance–voltage and conductance–voltage measurements were performed. Adjusted conductance (G_{adj})–voltage (V) and adjusted capacitance (C_{adj})–voltage (V) characteristics were studied. Frequency dependent characteristics were obtained in the electrical measurements. The density of interface states (D_{it}) was assessed; results illustrated that the D_{it} has frequency dependent characteristics.

Keywords: ZnO:TiO₂ Nanocomposites; Thin films; Photodiodes; Photodetectors

ZnO:TiO₂ NANOKOMPOZİT İNCE FİMLERİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

Öz

Bu çalışmada, ZnO:TiO₂ nanokompozit ince filmler üretildi ve bu filmlerin elektriksel özellikleri incelendi. Nano kompozitler üretilirken hidrotermal sentez yöntemi kullanıldı. Üretilen ZnO:TiO₂ nano kompozitlerden filmler üretilirken spin kaplama metodu kullanıldı. Film hazırlık süresince katkısız TiO₂ filmler, 1:5 ZnO:TiO₂ ve 1:2 ZnO:TiO₂ oranında nanokompozit filmler üretilmiştir. ZnO:TiO₂ nano kompozitlerin elektriksel özellikleri kapasitans–voltaj ve kondüktans–voltaj grafikleri incelenerek elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerden ayarlanmış kondüktans–voltaj ve ayarlanmış kapasitans voltaj grafikleri hesaplanmıştır. ZnO:TiO₂ nanokompozit ince filmlerin frekansa bağımlı özellik gösterdiği anlaşılmıştır. Elektriksel karakteristikler kullanılarak ara yüz durum yoğunlukları hesap edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda ara yüz durum yoğunluklarının da frekansa bağlı karakteristiğe sahip olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: ZnO:TiO₂; Nano kompozitler; İnce filmler; Fotodedektörler; Fotodiyotlar

Sorumlu Yazar: Mümin Mehmet KOÇ, muminmehmetkoc@klu.edu.tr

1. INTRODUCTION

Nanoparticles has mesmerizing structure which was allocated with outstanding optical, electrical, optoelectronic, magnetic properties [1]–[4]. Therefore, nanostructures were deeply researched by researchers from different fields. It was previously reported that intrinsic properties of the nanoparticles can be altered depending on their size [5], [6]. Moreover, producing nanostructures in different chemical compositions and structures often alters their characteristics [7]–[9]. For example, core@shell structures were generally produced for multipurpose applications. Iron oxide based core gives magnetic characteristics to the nanoparticles. Besides, organic shells were often used to reduce cytotoxicity and increase cellular intake. Similarly, producing nanocomposites and nanoalloys can also be used to produce nanostructures with multiple purpose properties. For example, certain metallic nanocomposites addressed as multi modal and multi-purpose nanodrugs [10]–[12]. Producing alloys or composites with iron oxide based materials gives nanostructures a magnetic characteristic.

Transition metals have good electron affinity with outstanding electrical properties. Due to their phenomenal characteristics, transition metal oxides such as AgO, CuO, ZnO, TiO₂ are vastly used in electric, catalytic, optoelectronic applications [2], [8], [13]–[18]. Among those materials, ZnO and TiO₂ nanostructures has an important role in optoelectronic applications ZnO and TiO₂ based materials were commonly researched and successful results were implied in photovoltaics and photodetector applications. ZnO and TiO₂ has good electrical properties with tolerable reflectance and promising absorbance properties. Therefore, ZnO and TiO₂ were found to be two of the most promising photovoltaic device materials.

In our previous study, we investigated the photosensitivity and photoresponsivity properties of our nanocomposite thin films. It was illustrated that our nanocomposite thin films were responsive to light where illumination intensity related photocurrent was observed. In this work electrical and electronical properties of the ZnO:TiO₂ nanocomposite thin films were assessed.

2. MATERIALS AND METHOD

In our previous work, production of nanoparticles and sol-gel films were described in detail [19]. Please see the related paper. To sum up, nanoparticles were produced using sol gel method where Titanium(IV)isopropoxide ($\text{Ti}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_4$) were dissolved in 10ml 2-methoxyethanol and zinc acetate dihydrate ($(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2\text{Zn}$) were stirred in 10ml 2-methoxyethanol where ZnO doped TiO_2 solution were mixed different molar rates. P- type Si was cleaned following cleaning protocols [20]. Cleaned wafers were nitrogen gas dried and nanoparticle solutions were dripped on the wafer. Nanocomposite solutions were spin coated for 30 secs. Nanocomposite coated thin films were baked and Al contacts were applied using thermal evaporation. FYTRONIX FY-7000 solar simulator and electrical characterization device was used in the electrical investigations.

3. RESULT AND DISCUSSION

Capacitance – Voltage (C - V) characteristics of the pure TiO_2 and ZnO doped TiO_2 photodiodes were investigated in Figure 1. C – V behaviours of the nanocomposite thin films were assessed between -5 V and 5 V in varying frequencies between 10 kHz and 1 MHz were used in the assessments. A prominent peak was seen in each graph. The tip of the peak was measured around -2 V, -1 V and 0.8 V for pure TiO_2 photodiodes, 1:5 and 1:2 ZnO doped TiO_2 photodiodes, respectively. The position of the peaks shifts towards positive region with increased ZnO dopant rate. The peaks illustrate the frequency dependence of the diodes where augmented capacitance was observed in low AC signal frequencies. The case confirms that low AC frequencies cannot move the free charges which causes them to stack. Therefore, the increased capacitance was measured for higher frequencies. Higher AC signal frequencies can better trigger the charges and force charges to move within the diode. Hence, the lower capacitance was measured for higher AC signal frequencies. Frequency dependence of the capacitance may be attributed to different artifacts such as hopping mechanism, interface states, series resistance, etc.

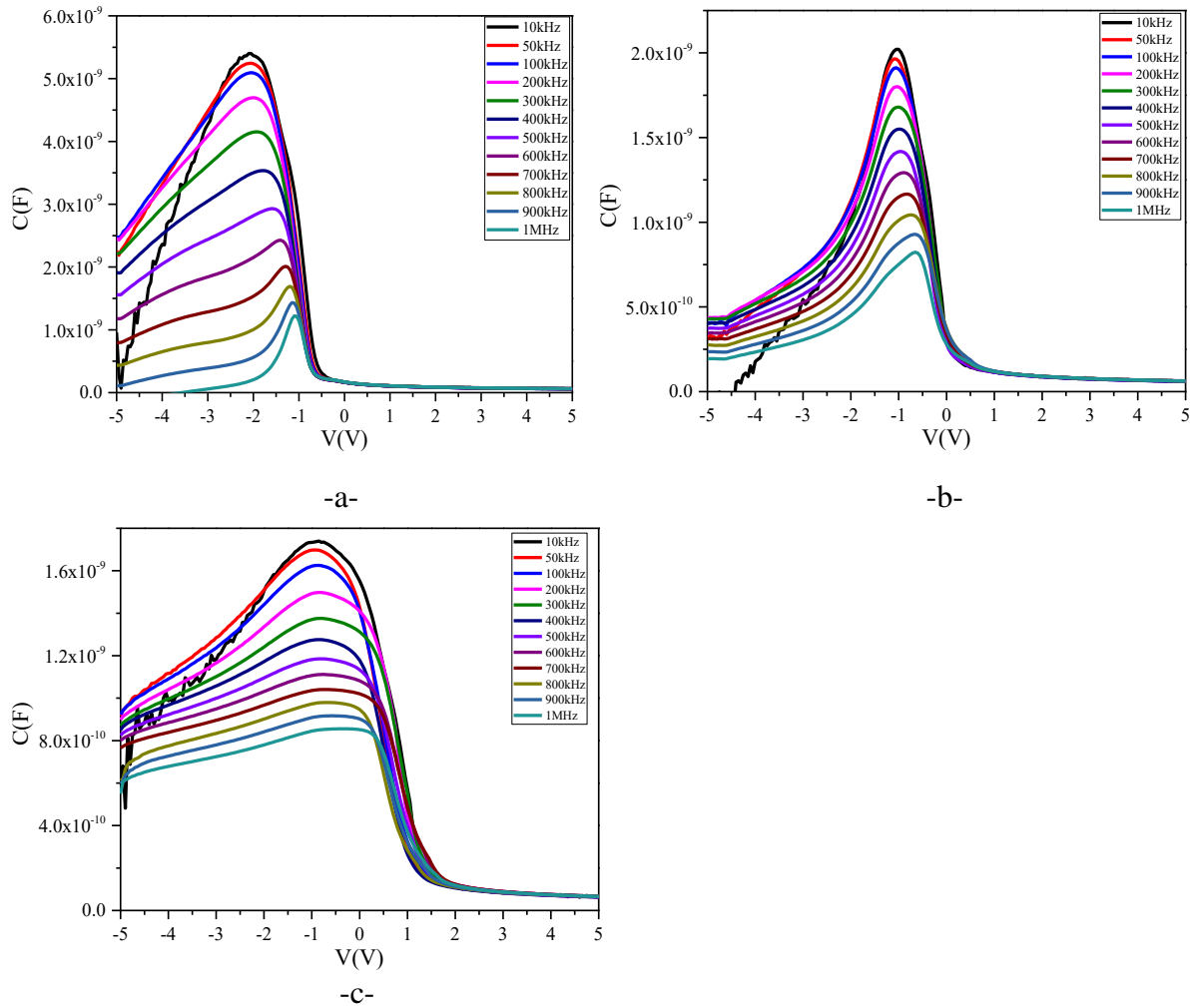


Figure 1: C – V characteristics of pure TiO_2 (a), 0.5 mol ZnO doped 2.5 TiO_2 (1:5 molar rate) (b), and 1 mol ZnO doped 2 mol TiO_2 (1:2 molar rate) (c) photodiodes.

Conductance – voltage (G – V) characteristics of diodes were evaluated between -5 V and +5 V and presented in Figure 2. It was seen that photodiodes illustrate frequency dependent characteristics. Increased signal frequency increases the conductance of the photodiodes. Such characteristics were found to be coherent with the C - V characteristics of the photodiodes. An apparent rise in the conductance was seen in higher frequency where the maximum conductance values were found to be 2×10^{-2} S, 8×10^{-3} S and 6×10^{-3} S for pure TiO_2 photodiodes, 1:5 and 1:2 ZnO doped TiO_2 photodiodes, respectively. It was concluded that ZnO dopant rate slightly decreases the measured conductance of the nanocomposite thin films. Both C – V and G – V behaviours were affected by ZnO dopant and AC signal frequency.

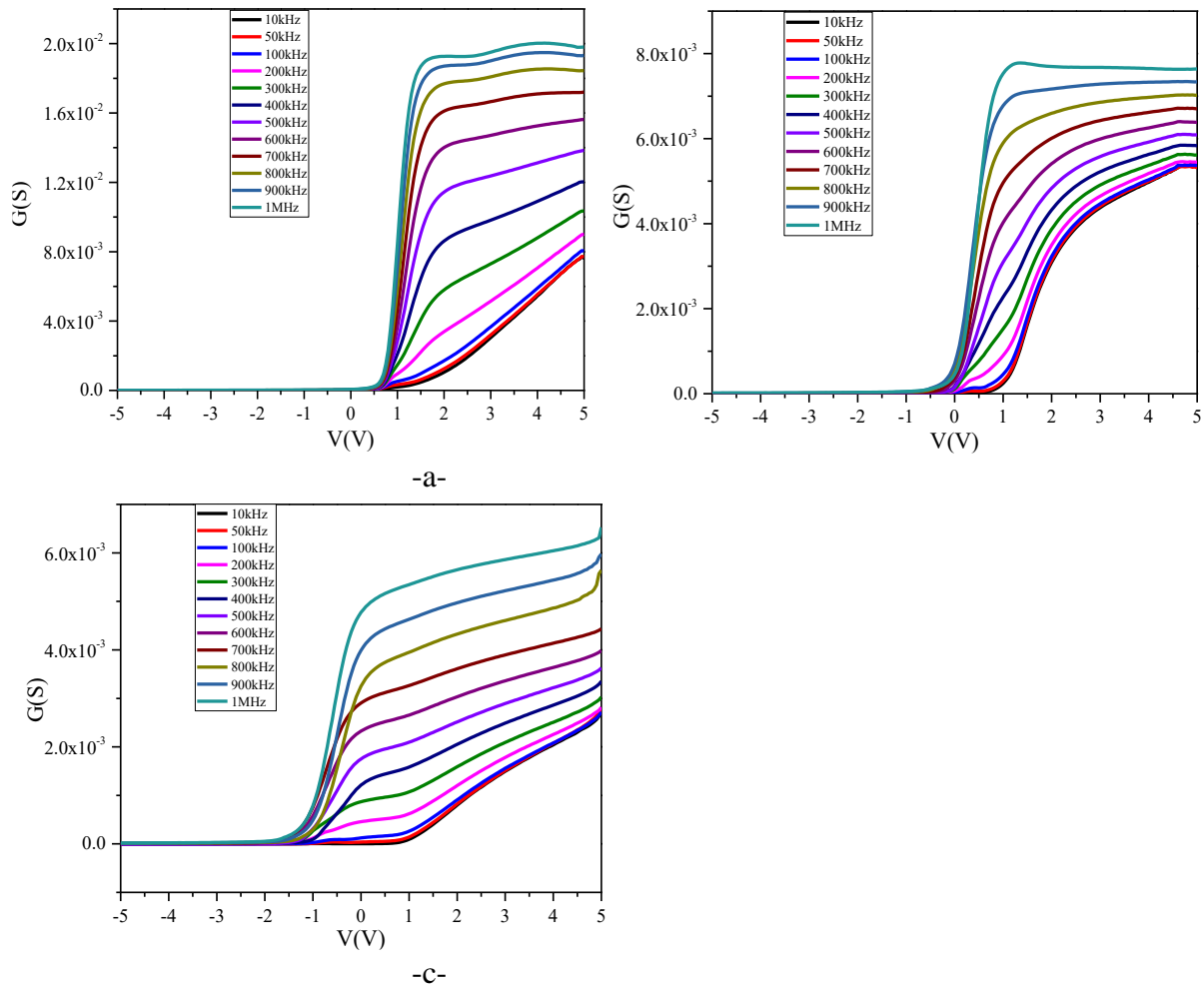


Figure 2: G– V characteristics of pure TiO₂ (a), 0.5 mol ZnO doped 2.5 TiO₂ (1:5 molar rate) (b), and 1 mol ZnO doped 2 mol TiO₂ (1:2 molar rate) (c) photodiodes.

C - V and G - V plots illustrate frequency dependent characteristics, G_{adj} (corrective conductance) and C_{adj} (corrective capacitance) and of the pure TiO₂ photodiodes, 1:5 and 1:2 ZnO:TiO₂ nanocomposite thin films were assessed by the following formula

$$C_{adj} = \frac{[G_m^2 + (wC_m)^2]C_m}{a^2 + (wC_m)^2} \quad (1)$$

and

$$G_{adj} = \frac{[G_m^2 + (wC_m)^2]a}{a^2 + (wC_m)^2} \quad (2)$$

Where “ G_m ” and “ C_m ” are measured conductance and measured capacitance and, “ ω ” is frequency, and “ α ” is variable parameter [21]

Calculated Corrective capacitance – Voltage (C_{adj} -V) graphs were presented in Figure 3. Peaks were identified for low signal frequencies. The peaks could be seen in positive region. Increased frequency result in a shift in the peaks. In addition, increased ZnO doping also cause a shift in the peaks observed at the C_{adj} -V graphs.

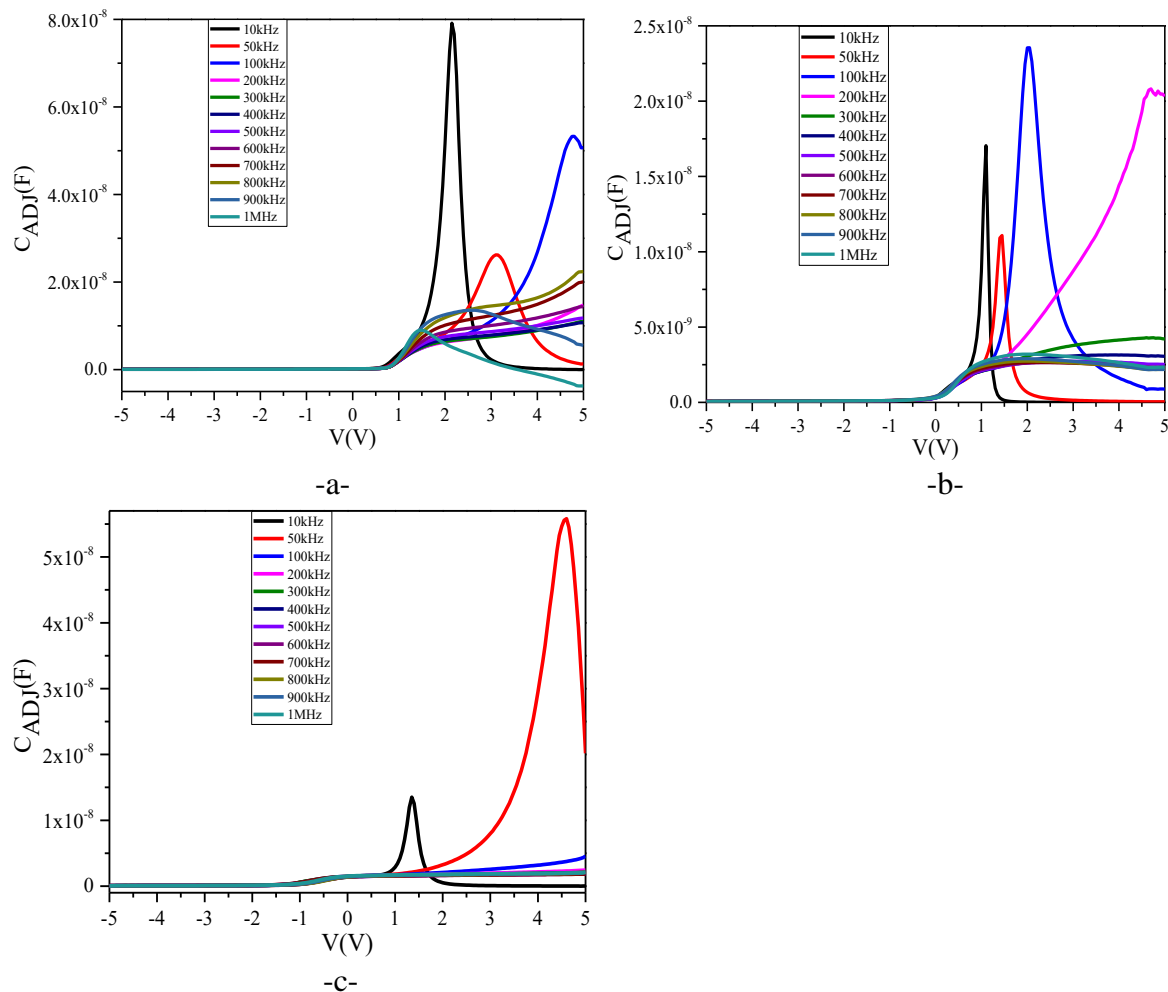


Figure 3: C_{adj} - V characteristics of pure TiO_2 (a), 0.5 mol ZnO doped 2.5 TiO_2 (1:5 molar rate) (b), and 1 mol ZnO doped 2 mol TiO_2 (1:2 molar rate) (c) photodiodes.

Calculated Corrective conductance – Voltage (G_{adj} - V) plots were given in Figure 4. Apparent peaks were identified in all graphs. The position of the peaks alters depending on the doping rate of ZnO. The position of the peaks observed in G_{adj} -V graphs slightly shift towards the negative

region when the ZnO dopant rate was increased. Peaks show frequency dependent characteristics. Decreased corrective conductance was seen with enhancing frequency values. The case also confirms our previous assumptions that high AC signal frequency helps electrons to move in diodes. The frequency dependent $G_{adj} - V$ characteristics of the diodes also illustrate the existence of interface state; therefore, interface state characteristics of the diodes were also investigated.

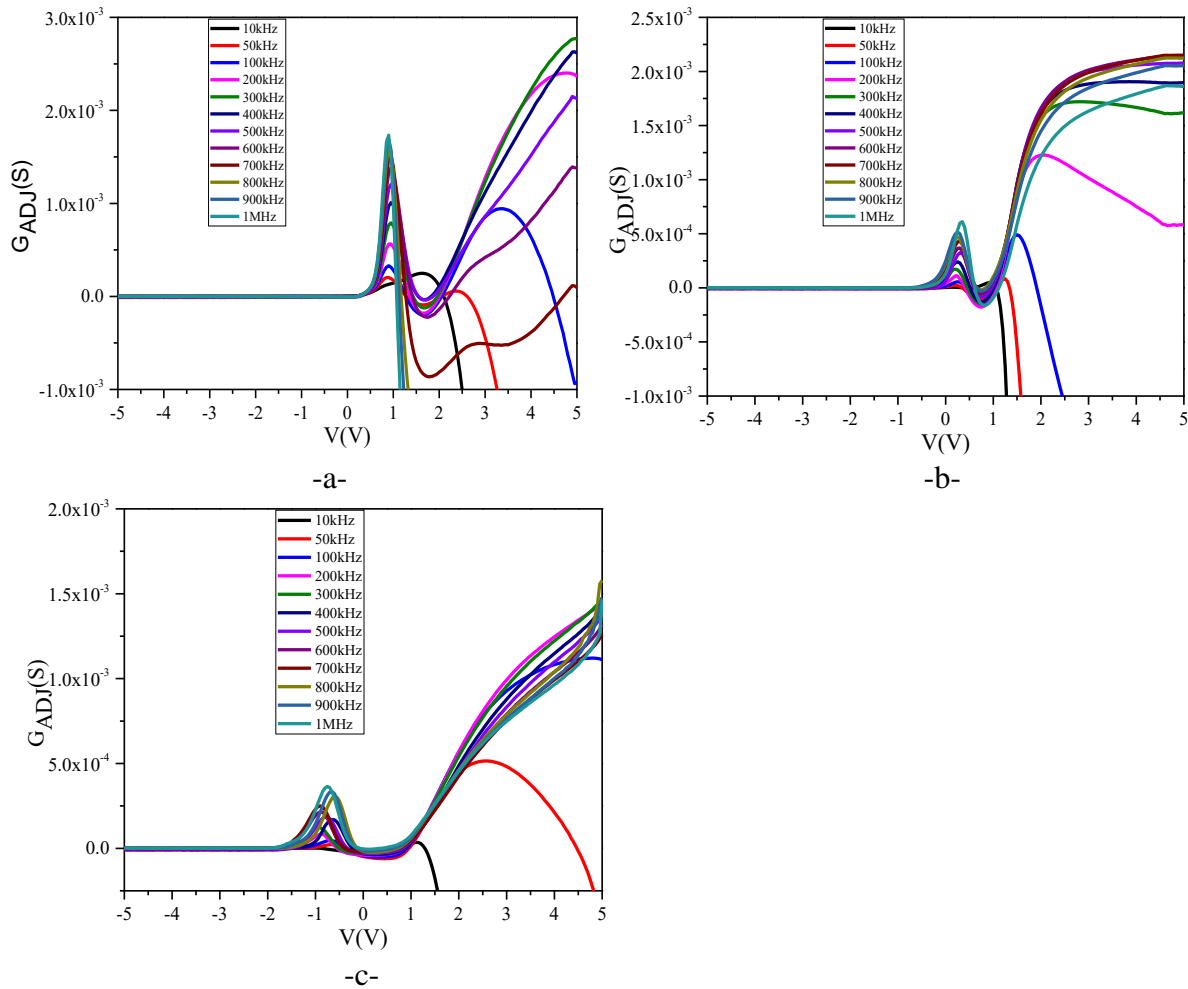


Figure 4: $G_{adj} - V$ characteristics of TiO_2 (a), 0.5 mol ZnO doped 2.5 TiO_2 (1:5 molar rate) (b), and 1 mol ZnO doped 2 mol TiO_2 (1:2 molar rate) (c) photodiodes.

To evaluate the D_{it} (density of interface states) following formula was used.

$$D_{it} = \left(\frac{2}{qA} \right) \left[\frac{(G_{max}/w)}{[(G_{max}/wC_{ox})^2 + (1 - C_m/C_{ox})^2]} \right]$$

where, the measured capacitance is “ C_m ”, A is the thin film surface area, the measured

conductance is “ G_m ”, capacitance of the insulator layer is “ C_{ox} ”, ω is frequency which is taken as $2\pi f$ [22].

$D_{it} - f$ characteristics of the diodes were presented in Figure 5. Figure 5 shows that the D_{it} is affected by signal frequency where the lower D_{it} was calculated for augmented frequency. ZnO dopant also affects the D_{it} characteristics of the photodiodes. The highest D_{it} was measured for pure TiO_2 photodiodes that ZnO doping decreases the measured density of states. The highest density of states was found to be $8 \times 10^{12} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, $4 \times 10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ and $2.4 \times 10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ for pure TiO_2 photodiodes, 1:5 and 1:2 ZnO doped TiO_2 photodiodes, respectively. Results illustrate that ZnO doping decreases the number of the measured density of state.

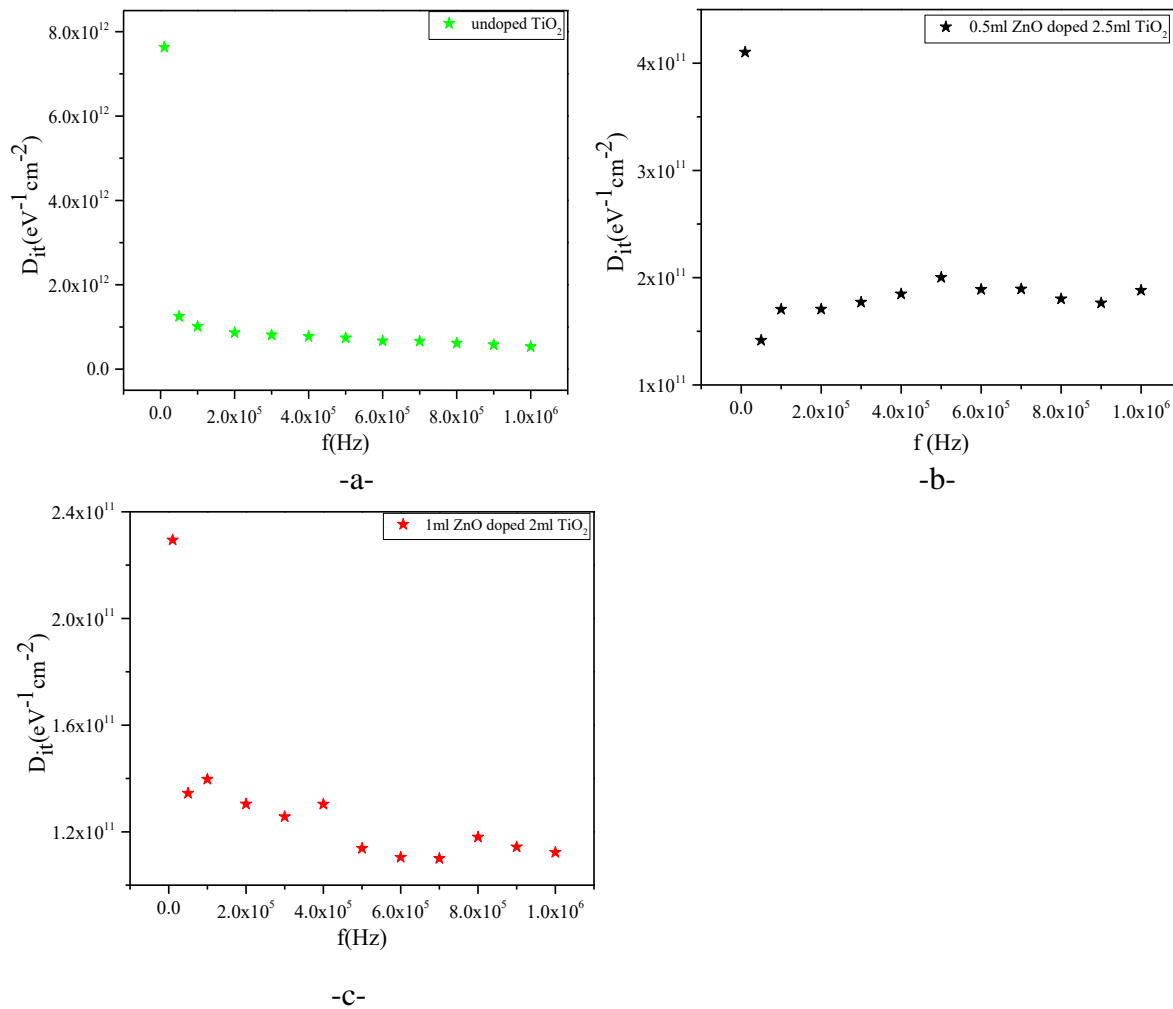


Figure 5: $D_{it} - f$ characteristics of pure TiO_2 (a), 0.5 mol ZnO doped 2.5 TiO_2 (1:5 molar rate) (b), and 1 mol ZnO doped 2 mol TiO_2 (1:2 molar rate) (c) photodiodes.

4. CONCLUSION

Sol gel method was used in the preparation of TiO₂ and ZnO doped TiO₂ nanocomposite thin films. In our previous paper, photovoltaic properties of the photodiodes confirmed where photodiodes response to the visible light. In the paper, enhanced photocurrent and enhanced photocapacitance were observed for augmented illumination intensity. Such a case was confirmed that nanocomposite thin films have the potential to be used in solar tracking applications. In the present work, electrical properties were investigated under various frequencies. Increased AC frequency enhanced the electrical behaviours. Results illustrated that the electrical behaviours of the nanocomposite thin films closely related to the AC frequency properties which were found to be related to the D_{it}. The D_{it} investigations confirmed that increased frequency decreases the D_{it}.

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to acknowledge that a part of this work was supported by KLUBAP 202, KLUBAP 207 and KLUBAP 209.

REFERENCES

- [1] McNally, M. J., Koç M. M., Torricelli, G. and Von Haeften, K., Nanoscale Stripe Arrays Templated on Moiré Patterns in Graphite, Surf. Sci., vol. 646, no. April 2016, pp. 108–113, 2016.
- [2] Kurnaz Yetim, N. et al., Structural, Electrochemical and Optical Properties of Hydrothermally Synthesized Transition Metal Oxide (Co₃O₄, NiO, CuO) nanoflowers, J. Mater. Sci. Mater. Electron., vol. 31, no. 15, pp. 12238–12248, 2020.
- [3] Kurnaz Yetim, N., Aslan, N. and Koç, M. M. Structural and Catalytic Properties of Fe₃O₄ Doped Bi₂S₃ Novel Magnetic Nanocomposites: P-Nitrophenol Case, J. Environ. Chem. Eng., vol. 8, no. 5, p. 104258, 2020.
- [4] Kurnaz Yetim, N., Kurşun Baysak, F., Koç, M. M. and Nartop, D., Characterization of Magnetic Fe₃O₄@SiO₂ Nanoparticles with Fluorescent Properties for Potential Multipurpose Imaging and Theranostic Applications J. Mater. Sci. Mater. Electron., vol. 31, no. 20, pp. 18278–18288, 2020.



- [5] Aktas, S., Thornton, S. C., Binns, C. and Denby, P., Gas Phase Synthesis of Core-Shell Fe@FeO_x Magnetic Nanoparticles into Fluids, *J. Nanoparticle Res.*, vol. 118, p. 365, 2016.
- [6] Khan, I., Saeed, K. and Khan, I., Nanoparticles: Properties, Applications and Toxicities, *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 12, no. 7. Elsevier B.V., pp. 908–931, 01-Nov-2019.
- [7] Qu, F., Wang, Y., Liu, J., Wen, S., Chen, Y. and Ruan, S., Fe₃O₄-NiO Core-Shell Composites: Hydrothermal Synthesis and Toluene Sensing Properties, *Mater. Lett.*, vol. 132, pp. 167–170, Oct. 2014.
- [8] Kurnaz Yetim, N., Hidrotermal Olarak Sentezlenen Çiçek Benzeri NiO@Fe₃O₄'ün Katalitik Özellikleri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, vol. 8, no. 3, pp. 1964–1974, Jul. 2020.
- [9] Kurnaz Yetim, N., Kurşun Baysak, F., Koç, M. M. and Nartop, D., Synthesis and Characterization of Au and Bi₂O₃ Decorated Fe₃O₄@PAMAM Dendrimer Nanocomposites for Medical Applications, *J. Nanostructure Chem.*, pp. 1–11, Feb. 2021.
- [10] Kavousi, F., Goodarzi, M., Ghanbari, D. and Hedayati, K., Synthesis and Characterization of a Magnetic Polymer Nanocomposite for the Release of Metoprolol and Aspirin, *J. Mol. Struct.*, vol. 1183, pp. 324–330, May 2019.
- [11] Endo, T., Yoshimura, T. and Esumi, K., Synthesis and Catalytic Activity of Gold-Silver Binary Nanoparticles Stabilized by PAMAM Dendrimer, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 286, no. 2, pp. 602–609, Jun. 2005.
- [12] Liu, H. et al., Facile Formation of Folic Acid-Modified Dendrimer-Stabilized Gold-Silver Alloy Nanoparticles for Potential Cellular Computed Tomography Imaging Applications, *Analyst*, vol. 7, no. 138, pp. 1979–1987, 2013.
- [13] Singh, K. et al., In Situ Green Synthesis of Au/Ag Nanostructures on a Metal-Organic Framework Surface for Photocatalytic Reduction of P-Nitrophenol *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 81, pp. 196–205, Jan. 2020.
- [14] Lamei, K., Eshghi, H. Bakavoli, M., Rounaghi, S. A. and Esmaeili, E. Carbon Coated Copper Nanostructures as a Green and Ligand Free Nanocatalyst For Suzuki Cross-Coupling Reaction, *Catal. Commun.*, vol. 92, pp. 40–45, Mar. 2017.
- [15] Hariharan, C., Photocatalytic Degradation of Organic Contaminants in wWater by ZnO Nanoparticles: Revisited, *Appl. Catal. A Gen.*, vol. 304, no. 1–2, pp. 55–61, May 2006.
- [16] Aslan, N. et al., Ti Doped Amorphous Carbon (Al/Ti-a:C/p-Si/Al) Photodiodes for Optoelectronic Applications, *J. Mol. Struct.*, vol. 1155, pp. 813–818, 2018.



- [17] Koç, M. M., Photoelectrical Properties of Solar Sensitive CuO Doped Carbon Photodiodes, *J. Mol. Struct.*, vol. 1208, p. 127872, May 2020.
- [18] Coşkun, B. et al., Optoelectrical Properties of Al/p-Si/Fe:N Doped ZnO/Al Diodes, *Thin Solid Films*, vol. 653, pp. 236–248, May 2018.
- [19] Uyar, S., Coşkun, B., İlhan, M. and Koç, M. M., Optoelectronic Properties of ZnO:TiO₂ Nanocomposite Thin Films, *J. Mater. Electron. DEVICES*, vol. 5, no. 1, pp. 21–27, Sep. 2021.
- [20] Özden, S. and Koç, M. M. Wet-Chemical Etching of GaAs(211)B Wafers for Controlling the Surface Properties, *Int. J. Surf. Sci. Eng.*, vol. 13, p. 79, 2019.
- [21] Nicollian E. H. and Goetzberger, A., The Si-SiO₂ Interface-Electrical Properties as Determined by the Metal-Insulator-Silicon Conductance Technique, *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 46, no. 6, pp. 1055–1133, Jul. 1967.
- [22] Yakuphanoglu, F. and Aslam Farooq, W., Photoresponse and Electrical Characterization of Photodiode Based Nanofibers ZnO and Si, *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 14, no. 3–4, pp. 207–211, Sep. 2011.

YENİ TİP 5 – FAZLI SEGMENTAL ROTORLU ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTORA AİT DURUM DENKLEMLERİNİN VE DİNAMİK SİMÜLASYON SONUÇLARININ İNCELENMESİ

Erdal BÜYÜKBİÇAKCI^{1*}, Ali Fuat BOZ²

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Güç Elektroniği Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, TÜRKİYE

Öz

Bu çalışmada, 5-fazlı, 10/8 kutup konfigürasyonlu, segmental rotorlu olarak tasarlanmış ve literatüre girmiş olan yeni bir model anahtarlamalı relüktans motorun (SARM) yapısal özelliklerinin bir incelemesi sunulmuştur. SARM'nin klasik yapıda bir anahtarlamalı relüktans motorla (ARM) farklılıkları açıklanmıştır. Beş fazlı SARM'nin durum denklemleri temel elektrik motorları modeli kullanılarak farklı bir rotor yapısına sahip SARM'ye ait faz akımları, manyetik akı değişimleri ve faz durumları, görünür endüktans profilinin hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Çalışmanın devamında SARM'den elde edilen durum denklemleri kullanılarak dinamik simülasyon sonuçları geliştirilmiştir. Bilgisayar ortamında ilgili yazılım dili ile geliştirilen algoritmada çalıştırılan kod parçaları, SARM'ın 0°'den 90°'ye kadar 1°'lik açı ile döndürülerek ideal akım kaynakları ile uygulanan akımın fonksiyonunun değişimi görülmüştür. SARM'nin her dönüş açısında bitişik olan iki fazı ortak endüktans oluşturacak şekilde enerjilendirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde elde edilen akımın değişimleri her bir faz için faz akımlarının simülasyon sonucu değişimleri görselleştirilerek açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Anahtarlamalı relüktans motor, matematiksel model, dinamik simülasyon.

INVESTIGATION OF STATE EQUATIONS AND DYNAMIC SIMULATION RESULTS OF A NEW TYPE 5-PHASE SEGMENTAL ROTOR SWITCHED RELUCTANCE MOTOR

Abstract

In this study, a review of the structural features of a new model switched reluctance motor (SARM), which was designed as a 5-phase, 10/8 pole configuration, segmental rotor and entered the literature, is presented. The differences between SARM and a switched reluctance motor (ARM) were obtained. The phase currents, magnetic flux changes and phase states of the SARM with a different rotor structure were figured out by calculating the profile of the apparent inductance, using the basic electric motor model of the five-phase SARM's equations of state. Besides these, the dynamic simulation results of a new five phases segmental switched reluctance motor were developed by using gained statement equations of them. In computer media, the SARM was rotated from 0° to 90° by 1° increment to see the change of function of current by using algorithmic code parts. In every rotation angle of SARM, the adjacent two phases were energized to generate common inductance. In analyses, the variation of obtained phase currents was explained by simulating and visualizing every current.

Keywords: Switched reluctance motor, mathematical model, dynamic simulation.

1. GİRİŞ

Anahtarlamalı Relüktans Motorlar (ARM), rotor profilinin yapısına göre farklı rotor–stator birleşimlerine göre tasarlanabilen, değişen relüktans ve endüktansın etkisi ile elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirirken rotor pozisyon bilgisi ve sürücü devresi kullanımı gerektiren basit yapısı yanında üstün özelliklere sahip özel elektrik makinasıdır. ARM'ler basit mekanik ve geometrik yapılarının yanında düşük rotor kayıplarından dolayı da değişken hızlı yüksek moment istenilen endüstriyel uygulamalarda yaygın oranda kullanılmaktadır [1]. ARM'lerin 1838 yılında elektrikli lokomotif hareket ettirmek amacıyla başlayan yolculuğu, 1960'lı yılların başında güç elektroniğindeki gelişmelere bağlı olarak motorun sürücü devresi tekniğindeki olumlu gelişimler sonucunda ancak devam eder hale gelmiştir. Gelişimi oldukça uzun zaman dilimine dayanan bir motor tipi olmasına rağmen bu motorların daha detaylı olarak incelenerek araştırılması, geliştirilmesi ve uygulamada diğer motorlarla rekabet edebilir duruma getirilmesi yakın yıllar

içinde yer almaktadır. ARM'ler üzerinde yapılan farklı bilimsel çalışmaların artması ve hem ticari hem de değişik endüstriyel uygulama alanlarında yer bulmasının 1980 yılından sonra artarak yoğunlaştığı görülmektedir [2-4]. Bu motorların günümüzde imalatının basit ve ucuz olması; elektrikli otomobil, uzay araçları, ev araçları, radarlar, madencilik, havacılık sanayi, enerji üretim sektörleri, çamaşır makineleri, su pompaları, yazıcılar, hızlı trenler, otomatik kapı sistemleri gibi çok değişik kullanım alanlarında pay sahibi olmayı sağlamıştır.

ARM'lerin en önemli genel özelliği, rotor pozisyon bilgisine ve faz akımlarına bağlı olarak manyetik devresinin doğrusal olmayan yapıda olmasıdır. Bu yüzden ARM'ler maksimum dönme momenti üretebilmek ve moment dalgalanmasını en aza indirebilmek amacıyla güçlü bir denetleyici devreye ihtiyaç duyarlar [5]. Klasik anahtarlama relüktans motorların geometrik yapı, moment performansı ve sürücü devre geliştirme teknolojilerinden elde edilen başarılı sonuçların yanında ilgili çalışmanın tabanını oluşturan segmental rotorlu ve bitişik iki faz enerjilendirme esasına dayanan anahtarlama relüktans motorlar yerine SARM kullanılarak yapılan bilimsel çalışmalarda da önemli ilerlemeler yaşanmıştır. Literatürde matematiksel model çıkarımları kullanılarak değişik rotor geometrileri tasarımları, sürücü optimizasyonları ve farklı kontrol teknikleri kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır.

Anahtarlama relüktans motorlar yapıları gereği direkt olarak enerji kaynağına bağlı olarak çalışmadıklarından dolayı bir sürücü sistemine ihtiyaç duymaktadırlar.

ARM ifadesinde, stator ve rotor arasındaki hava mesafesinde çıkıntılı kutup yapısı gereği relüktans değişimi meydana geldiği için ve bir sürme sistemi birlikte kullanıldığı için böyle adlandırılmıştır [6, 7]. ARM'nin çalışma prensibi elektromanyetik alan kuralı gereği rotor ve statorunda oluşan manyetik akının minimum relüktansa doğru ilerlemesi ilkesine dayanmaktadır. Manyetik devredeki relüktans değerinin değişimi rotor konumuna göre halkalanma akılarının izlediği yolun değişmesi sonucunda oluşmaktadır.

Davidson ilk olarak ARM'yi 1838 yılında İskoçya'da elektrikli tren lokomotifini hareket ettirmek için kullanırken karşılaşmıştır [8]. W.H. Taylor ise 19. yy. başında bugün ki ARM'lerin özelliklerini taşıyan ilk relüktans motoru yapmıştır [9]. İki faz enerjilendirme yöntemine sahip, asimetrik yapıda ve yüksek moment uygulamalarında kullanılmak üzere 12/10 kutup yapısına sahip anahtarlama relüktans motor Khor ve Sotudeh tarafından sunulmuştur [10]. Motor performansına

yönelik rotor ve statorun kutup geometrilerinde yapılan değişikliklere ait çalışmalar 2005 yılında Pandey ve Rajagopal tarafından yapılmıştır [12]. ARM'lerin farklı tasarımından elde edilen olumlu gelişmeler sonucunda bu motorların robot uygulamalarında da kullanılması ile ilgili olarak ilk çalışma 2006 yılında Ashok ve Tesar tarafından gerçekleştirilmiştir [12].

ARM'ler aynı zamanlar otomotiv sektöründe taşıtın tekerlek jantının içine yerleştirilmesi amacıyla doğrudan tahrikli dış rotorlu ve radyal akı yoluna sahip olarak geliştirilmeye başlayan sistemlerde kullanılmaya başlanmıştır [13, 14]. Aynı yıllarda stator yapısı farklılaştırılarak E tipi ve Helisel yapıya sahip iki fazlı ARM tasarımları geliştirilerek deneysel sonuçları literatürde paylaşılmıştır [15]. ARM'ler mekanik enerjinin ihtiyaç duyulduğu ev aletlerinde de kullanılmaya aynı dönemlerde başlamıştır. Ekram, Ravi, Rajagopal ve Mahajan yaptıkları çalışmada bir çırpıcı uygulamasını ARM ile gerçekleştirerek sonuçlarını paylaşmışlardır [16]. Franke, Brutscheck ve Schmucker tarafından tekerlek rotorlu ARM uygulaması geliştirerek hata tolerans kapasitesine bağlı olarak performansına ilişkin olarak etkili sonuçları göze çarpmaktadır [17]. 2009 yılında Daldaban ve Ustkoyuncu MagLev tren ve asansörleri etkisi altında çalışan yeni bir doğrusal ARM tasarımı, sürücü uygulaması gerçekleştirmişlerdir [18]. Bu çalışma günümüzde doğrusal ARM için asansör ve trenlerinde kullanımın temelinin teşkil etmektedir.

Brauer ve Arkadaşları 2009 ve 2010 yılında da Ruba, Bentia ve Szabo, ARM'lerin farklı sargılarında arıza olmasına rağmen çalışmalarını devam ettireceklerini göstermek amacıyla kritik güvenlik katsayısı olan uygulamalarda sürme hassasiyeti çok yüksek olan 5 faklı sargı için hata oluşturarak çalışma yapısını ve tercih edilme nedenlerini ortaya koymaya çalışmıştır [19, 20].

Klasik yapıda olan ARM'lerin performans ve yapılarından elde edilen sonuçlara paralel olarak çalışmamızda kullandığımız segmental rotor yapısına ve bitişik faz enerjilendirme prensibine göre çalışan SARM'ler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda da önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Literatürde bu konu ile ilgili olarak Lawrenson ve Agu 1964 yılında çok fazlı relüktans makinelerin teorisi ve performansı başlığıyla ilk çalışmayı gerçekleştirilmiştir [21]. Bu çalışmanın devamında 1967 yılında Lawrenson ve Gupta, segmental rotorlu relüktans motorlar için deneysel ve teorik olarak yaptıkları iyileştirmeleri açıklamış [22] olsalar da yarı iletken teknolojisindeki eksiklikler motorun sürülmesinde karşılaşılan zorlukları beraberinde getirmiş ve bu alanda yapılan çalışmalar 90'lı yıllara kadar geliştirilememiştir. Yüksek moment uygulamaları gerektiren yerler için Toliyat

ve Lipo tarafından gerçekleştirilen çalışmada 5 fazlı ARM tasarlanmıştır [23]. 1992 yılında yalıtılmış SARM tasarımı Horst tarafından bulunarak patentte sunulmuştur [24]. Chris ve Arkadaşları tarafından 8/6 konfigürasyona sahip bipolar ARM için hava boşluğundaki elektromanyetik kuvvetin bileşenlerinin Maxwell yöntemi kullanılarak deneysel modellenmesi ile beraber bu alanında yapılan çalışmalar da hız kazanmıştır [25]. Bu gelişmeler neticesinde otomotiv bipolar teknoloji otomotiv sektörüne yönelik kayda değer gelişmeleri beraberinde getirmiştir. SARM ağırlığına ve hacmine göre moment üretme kapasitesi çok yüksek olan yeni bir SARM deneysel olarak farklı SARM yapılarıyla kıyaslanarak 2008 yılında Nareshi ve Arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada tanıtılmıştır [26].

ARM'lerin denetim sistemlerine yönelik olarak literatür incelendiğinde birbirinden farklı birçok çalışmanın yapıldığı görülmektedir. Lawrenson 1989 yılında gerçekleştirdiği çalışmada yüksek hız ve tork çalışma aralığı için daha az anahtarlama devrelerine sahip, performanslı sürücü devresi ortaya koymuştur [27]. Gan ve Arkadaşları ise doğrusal yapıda olmayan servo sistemlerin kontrolünü esas alan yüksek kararlılık seviyesinde çalışan bir ARM denetleyicisi geliştirmiştir [28]. Farklı bir önemli çalışma olarak gösterilen Pollock ve Arkadaşları 1997 yılında ARM statorunda radyal titreşimleri engelleyen sürücülerinde üç aşamalı komitasyon yöntemi kullanarak akustik gürültüyü gidermeye yönelik deneysel çalışmalarını simüle ederek karşılaştırmalı sonuçlarla sunmuşlardır [29]. Rahman ve Arkadaşları da dinamik yapıda bir ARM geliştirerek moment, referans akım ve hız gibi değerleri yapay sinir ağları kullanarak motor sürücüsü ile tüm rejimlerde optimal kontrolünü gerçekleştirmeye ait bir çalışma ortaya koymuşlardır [30]. Klasik yapıda tasarlanan ARM ve rotor yapısının değiştirildiği SARM için motor sürücülerini, denetleyicileri üzerine gerçekleştirilmiş PWM, PI ve/veya PID denetleyicilere yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi algoritmaların kullanıldığı kapsamlı çalışmalar 1999-2021 yılları arasında kesintisiz devam etmiştir.

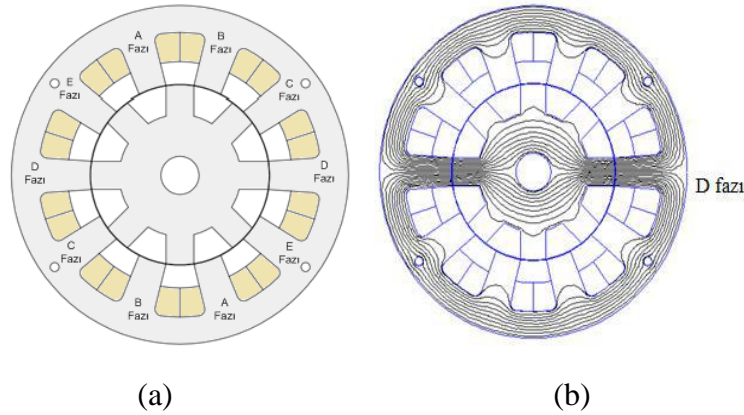
Çalışmamızın yapısını oluşturan yeni tip 5-fazlı SARM'nin klasik ARM yapısından değişik olarak rotor yapısının, geometrisinin değiştirilerek uyarma yönteminde farklılıklar barındırması kısaca özetlenebilir. Her iki tip motorun aynı kaymaktan beslenmeleri durumunda üretilen moment miktarları ve motorların faz başına sargılarında oluşan akı miktarları, sargıların endüktansları ve fazlarda oluşan ortak endüktans değerlerine göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada, 5-faz

yapısında 10/8 kutup konfigürasyonuna sahip, SARM olarak tasarlanmış ve daha önce literatüre girmiş olan SARM yapısının karmaşık durumunu çalışma şartları dikkate alınarak, geliştirilecek sürücü/denetleyici devrelerine açıklık getirebilmek amacıyla temel elektrik motorları denklemlerinden de yararlanılarak SARM'nin durum denklemleri ortaya konulmuştur. Aynı zamanda çalışmada, SARM için elde edilen durum denklemleri kullanılarak dinamik simülasyon sonuçları geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde elde edilen akımın değişimleri her bir faz için faz akımlarının simülasyon sonucu değişimleri de görselleştirilerek açıklanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. 5-Fazlı SARM'nin Yapısal Özellikleri

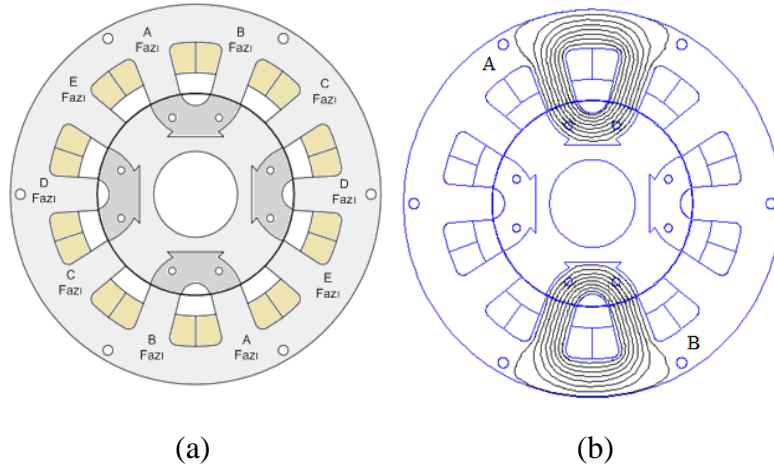
Bu bölümde SARM'ye ait motorun yapısal ve karakteristik özelliklerinden ve klasik ARM ile olan farklılıklarından bahsedilmiştir. Bipolar uyarımlı SARM ile aynı konfigürasyona sahip (5- fazlı 10/8) klasik ARM nin Şekil 1 (a)'da kesit görüntüsü sunulmaktadır. Şekil 1 (b)'de stator ve rotor kutuplarının karşılıklı olarak aynı eksene geldiklerinde endüktans en büyük değerinde oluşmaktadır. Klasik ARM yapısı ile çalışmada kullanılan SARM'nin yapısı, faz enerjilendirme durumu ve aksenal akı dağılımları birbirinden tamamen farklılıklar göstermektedir.



Şekil 1. a) Klasik ARM'nin kesit gösterimi b) 5 Fazlı Klasik ARM' de oluşan akı yollarının bir faz için görünümü

Çalışmamızda kullanılan SARM için klasik ARM ile olan farklılıkları da düşünülerek elde edilen sonuçlar Şekil 2 (a) 'daki kesit görünümü üzerinden şu şekilde ifade edilebilir. 10/8 konfigürasyona sahip SARM, klasik ARM rotor kutup geometrisine ve yapısına sahiptir. Ancak rotor yapı olarak;

silisli saclardan oluşturulmuş olan paketlerden ve bu paketlerin yerleştirildiği dayanıklılığı yüksek alüminyum bir bloktan oluşmaktadır. Alüminyum diğer metal elementlere göre hafif oluşu, oluşan manyetik alanı sınırlama özelliği ve mekanik dayanıklılığının yüksek oluşu gibi nedenlerden dolayı kullanımı klasik ARM rotor yapısına göre önemli farklılıklar doğurmuştur.

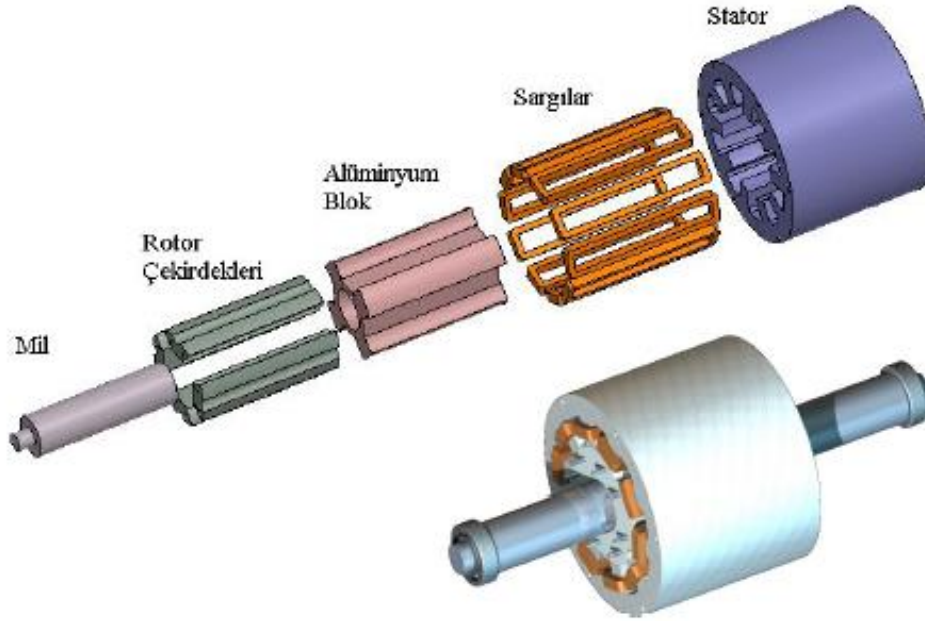


Şekil 2. a) Yeni SARM'nin kesit gösterimi b) SARM' de karşılıklı A ve B fazları için oluşan akı yollarının durumu

Aynı zamanda motordan elde edilecek moment değeri de Nm/kg başına düşen ağırlık azalacağından dolayı önemli ölçüde artacaktır. Model olarak kullanılan SARM'de bitişik iki fazı besleme yöntemi klasik ARM'lerde kullanılan karşılıklı fazları enerjilendirme yöntemine göre motorun verimliliği açısından daha avantajlı olmaktadır. Bu yöntemle elde edilen önemli katkı ise motorun manyetik kutuplarının daha kısa akı yolu takip ederek çalıştığı, klasik ARM yapısına göre önemli farklılıkları arasında sayılmaktadır. Bu durumda akı yollarının kısalması motor saclarındaki sıcaklık değerinin ve kayıpların azalmasına katkı sağlayacaktır. Şekil 2 (b)'de görüldüğü gibi SARM modelinde karşılıklı fazların klasik ARM'den ayrı olarak uzun akı yolları yerine daha kısa akı yolları kullanarak çalışmaktadır. Çalışma anında karşılıklı iki faz enerjili kaldığı için fazlar arasında oluşacak ortak endüktans SARM'nin doğrusal olmayan matematiksel modelinin ortaya konulmasında karmaşıklık oluşturacağı ön görülmektedir.

Şekil 3'de, model SARM yapısında bulunan parçalarına ait katı görünüm vermiştir. SARM statorunun gövdeye yerleştirilmesi ve dış bağlantıların yapılarak yatak, kapakların birleştirilmesi ile elde edilmiş olan SARM'nin genel görünüşleri Şekil 4'te verilmektedir. SARM'nin tasarıma

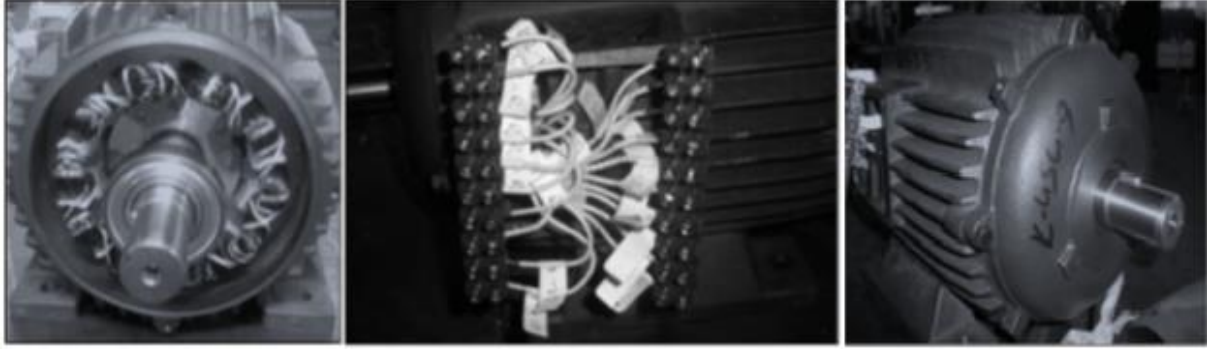
esas analiz parametreleri, yapısal ve fiziksel ölçü değerleri ile ilgili detaylı bilgiler Tablo 1’de sunulmaktadır.



Şekil 3. (a) Yeni SARM’nin katı görünümü

Tablo 1. Prototip SARM’a ait yapısal ve fiziksel özellikler

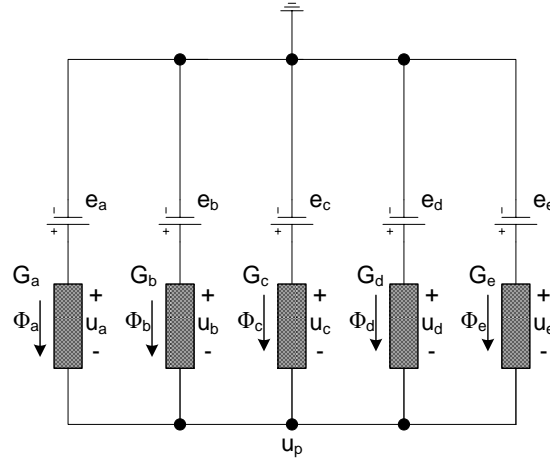
Model SARM Tasarım Ölçüleri	Değeri
Faz durumu	5
Stator/rotor sayısı	10/8
Stator dış çap uzunluğu	150 mm
Rotor dış çap uzunluğu	79.4 mm
Motor boyunduruğu uzunluğu	120 mm
Hava aralığı uzunluğu	0.3 mm
Stator kutup açısı	0.314 rad
Rotor kutup açısı	0.331 rad
Faz başına sarım sayısı	100
Stator/rotor malzemesi	M530-50A silikon çelik (0.5 mm kalınlığında)
Bakır tel çap kesiti	1.25 mm
Faz başına düşen sargı direnci	0.56 Ω
Maksimum faz indüktansı	67.91 mH



Şekil 4. 5 Fazlı 10/8 konfigürasyonlu bipolar uyarımlı segmental tip ARM için prototip görüntü

2.2. SARM'nin Durum Denklemleri

Genel olarak elektrik makinalarının sınıflandırılmasında motor–generatör çalışma durumlarının daha iyi anlaşılabilmesi, deneysel ve/veya simülasyon uygulamalarının doğru bir şekilde sonuçlandırılabilmesi, oluşabilecek hata-arıza gibi problemlerinin çözümlerine kalıcı çözümler bulunabilmesi gibi amaçlarla matematiksel modellerinin ortaya konulması gerekmektedir. Bu bölümde 5-fazlı model olarak kullanılan SARM çalışması temel alınarak ve temel motor denklemleri de kullanılarak motora ve denetleyicisine ait matematiksel model ortaya konulmuştur. Şekil 3’de, 5-fazlı SARM’a ait manyetik eşdeğer devresi verilmiştir. Model SARM’de klasik ARM yapısında olduğu gibi akı stator kutbundan çıkarak hava aralığı üzerinden rotor kutbuna geçmemektedir. SARM’de akı stator kutbu, hava yolu ile rotor kutbunun ön yüzeyindeki alüminyum blok yüzeyine ulaşmaktadır. Dolayısıyla SARM’de akı yolu daha kısa olmaktadır. Klasik yapıdaki ARM’lerin çalışma prensibi relüktans kuvvetine dayanmakta ve rotorun, bulunduğu manyetik devre içerisindeki akının, en kolay yol bulabileceği, relüktansın en küçük olduğu konumuna kadar kuvvet uygulanarak çekilmesi şeklinde esasına dayanmaktadır.



Şekil 3. Segmental ARM'nin manyetik eşdeğer devresi

Klasik yapıdaki ARM temel denklemlerine göre motorun ürettiği moment değeri doğrusal akı modeline göre ve değişen ko-enerjiye bağlı olarak açısal değişim de dikkate alınarak denklem (1) de görüldüğü gibi yazılmıştır:

$$T(\theta, i) = -\frac{\partial W_C(\theta, i)}{\partial \theta} \quad (\lambda = \text{Sabit}) \quad (1)$$

Denklem (1) ifadesi kullanılarak SARM'nin ürettiği moment, eşdeğer devre modeli ve motorun her bir fazı fazları kullanılarak hesaplanırsa;

$$T = \frac{1}{2} \left(\frac{dL_{aa}}{d\theta} i_a^2 + \frac{dL_{bb}}{d\theta} i_b^2 + \frac{dL_{cc}}{d\theta} i_c^2 + \frac{dL_{dd}}{d\theta} i_d^2 + \frac{dL_{ee}}{d\theta} i_e^2 \right) + i_a i_b \frac{dM_{ab}}{d\theta} + i_a i_c \frac{dM_{ac}}{d\theta} + i_a i_d \frac{dM_{ad}}{d\theta} + i_a i_e \frac{dM_{ae}}{d\theta} + i_b i_c \frac{dM_{bc}}{d\theta} + i_b i_d \frac{dM_{bd}}{d\theta} + i_b i_e \frac{dM_{be}}{d\theta} + i_c i_d \frac{dM_{cd}}{d\theta} + i_c i_e \frac{dM_{ce}}{d\theta} + i_d i_e \frac{dM_{de}}{d\theta} \quad (2)$$

elde edilir. Denklem (2) de T üretilen momenti (Nm), L çakışık konum faz endüktansını (mH), θ rotor konum açısını (derece), M ortak endüktansı (mH), i faz akımını (amper) göstermektedir.

Kirşof'un akı kuralına göre genel olarak şu denklem yazılabilir:

$$\phi_a + \phi_b + \phi_c + \phi_d + \phi_e = 0 \quad (3)$$

ϕ_x ($x=a, b, c, d, e$ olmak üzere) faz akılarını göstermesi için kullanılmıştır. Her bir faza ait akı değişim değerleri Manyetik iletkenliğe de bağlı olarak denklem (4) deki gibi ifade edilmektedir:

$$\phi_x = G_x(\theta) u_x \quad (4)$$

Burada ifade edilen G_x fazlar için manyetik geçirgenliği temsil ederken u_x gerilim düşümünü olarak alınmıştır. Ayrıca kaynakların değerleri denklem (5) deki gibi hesaplanır:

$$e_x = N \cdot i_x \quad (5)$$

e_x kaynağın her faz için ürettiği zıt elektromotor kuvvet değerini, N her faza ait sarım sayısını ve i_x fazlara ait akımı ifade etmektedir. u_p potansiyelin mmk değeri olarak düşünülürse;

$$u_x = e_x - u_p \quad (6)$$

ifadesine ulaşılmış olunmaktadır. Bu genişletilmiş denklemden faz akıları denklem (7) deki gibi hesaplanabilir;

$$\phi_x = G_x(\theta)(e_x - u_p) \quad (7)$$

Model SRM' nin tüm fazlarına akı bağıntıları $\lambda_x = N \cdot \phi_x$ ile ifade edildiğinden denklem (3) deki akı bağıntısı için kullanılarak ayrıca akı bağıntıları aşağıdaki denklemle de ifade edilir ve;

$$\lambda_a + \lambda_b + \lambda_c + \lambda_d + \lambda_e = 0 \quad (8)$$

şeklinde yazılır. Her fazın manyetik geçirgenliği aynı zamanda fazların endüktanslarının bir fonksiyonu olarak düşünüldüğünde;

$$G_x = \frac{L_x}{N^2} \quad (9)$$

elde edilir. Fazlara ait akı bağıntıları denklem (9) a bağlı olarak genişletildiğinde;

$$\lambda_x = L_x(\theta) \left(\frac{e_x - u_p}{N} \right) \quad (10)$$

olmaktadır. $i_p = \frac{u_p}{N}$ olmak üzere isteğe bağlı bir akım tanımlanırsa;

$$\lambda_x = L_x(\theta)(i_x - i_p) \quad (11)$$

ifadesine ulaşılır. Bulmuş olduğumuz bu ifade ise denklem (8) de yerine konursa;

$$\begin{aligned} L_a(\theta)(i_a - i_p) + L_b(\theta)(i_b - i_p) + L_x(\theta)(i_x - i_p) + L_c(\theta)(i_c - i_p) \\ + L_d(\theta)(i_d - i_p) + L_e(\theta)(i_e - i_p) = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

bulunur. Bu denklemden i_p değeri çekilerek çıkarıldığında;

$$i_p = \frac{L_a(\theta)i_a + L_b(\theta)i_b + L_c(\theta)i_c + L_d(\theta)i_d + L_e(\theta)i_e}{L_a(\theta) + L_b(\theta) + L_c(\theta) + L_d(\theta) + L_e(\theta)} \quad (13)$$

elde edilir. Bunun sonucunda denklem (9), tekrar denklem (11) e göre işlem yaparak düzenlendiğinde SARM' nin A fazı için akı değeri olan denklem (14) bulunur:

$$\lambda_a = \left(L_a(\theta) - \frac{L_a^2(\theta)}{L_a(\theta) + L_b(\theta) + L_c(\theta) + L_d(\theta) + L_e(\theta)} \right) i_a - \left(\frac{L_a(\theta)L_b(\theta)i_b + L_a(\theta)L_c(\theta)i_c + L_a(\theta)L_d(\theta)i_d + L_a(\theta)L_e(\theta)i_e}{L_a(\theta) + L_b(\theta) + L_c(\theta) + L_d(\theta) + L_e(\theta)} \right) \quad (14)$$

Aynı ifade diğer fazlar için de aynı durumlar elde ederek yazılabilir. Denklem (14) den de rahatlıkla anlaşılacağı üzere, A fazı için öz-endüktans değeri;

$$L_{aa} = L_a(\theta) - \frac{L_a^2(\theta)}{L_a(\theta) + L_b(\theta) + L_c(\theta) + L_d(\theta) + L_e(\theta)} \quad (15)$$

olarak görülmektedir. SARM'nin yalnızca yan yana bulunan A ve B fazları için enerjilendirildiğini kabul ederek bu iki faz arasındaki endüktans değeri denklem (14) kullanılarak bulunur. Aynı şekilde ortak endüktans değerleri ise A ve B fazları arasında;

$$M_{ab} = - \frac{L_a(\theta)L_b(\theta)}{L_a(\theta) + L_b(\theta) + L_c(\theta) + L_d(\theta) + L_e(\theta)} \quad \text{elde edilmektedir.} \quad (16)$$

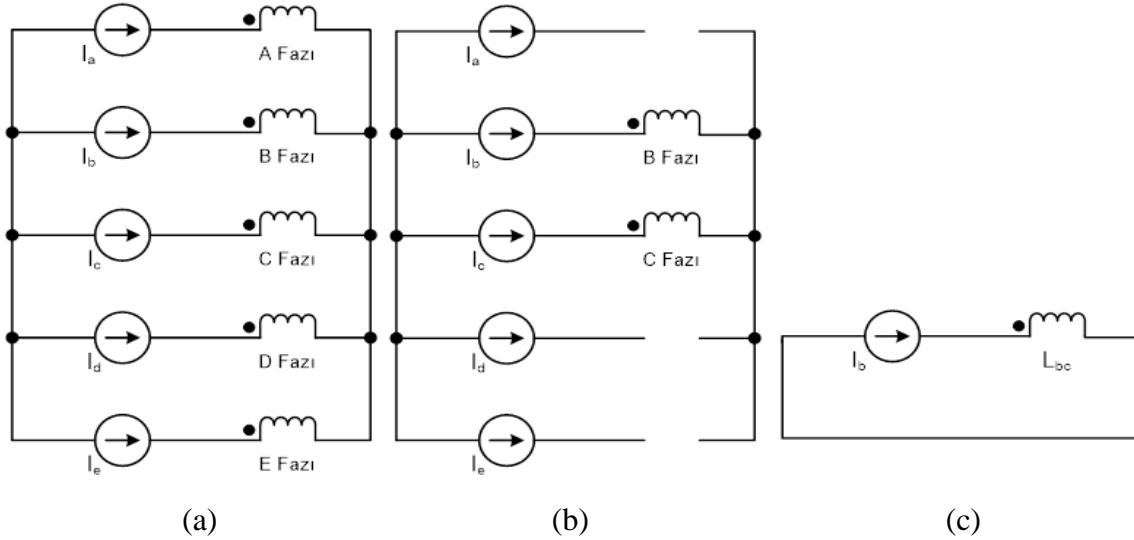
Diğer fazlar arasında da ortak endüktans değerleri aynı matematiksel ifade kullanılarak ve bitişik fazlar dikkate alınarak ifade edilebilir.

2.3. SARM'nin Görünür Endüktans Profili

Model SARM için görünür endüktans profillerinin elde edilmesi çalışmasının daha açık şekilde anlaşılması için önem taşımaktadır. Görünür endüktans değerlerinin bulunabilmesi amacıyla SARM'nin fazlarının ideal akım kaynağı ile sürüldüğü kabul edilerek her anda farklı fazların durumları da ortaya çıkarılarak endüktansların değerleri bulunmaktadır. Şekil 4 (a)'da hesaplama yöntemi gereği faz dirençleri ihmal edilerek, fazların yıldız olarak bağlantısı görülmektedir.

Tablo 2'de, model olarak kullanılan SARM'nin herhangi bir çalışma zamanı için fazların beraber çalışacağı durumlar verilmiştir. Buna göre ilk anda SARM'de yalnızca B ve C fazlarının sürüldüğü

düşünülürse Şekil 4 (b)'deki devre elde edilecektir. Aynı zamanda en basit hali ile eşdeğer devre Şekil 4 (c)'deki şekliyle de elde edilmektedir.



Şekil 4. a) SARM'nin ideal akım kaynakları kullanıldığında eşdeğer devresi, b) Sadece B ve C fazları enerjilendirildiğinde eşdeğer devrenin durumu, c) B ve C fazları için elektriksel eşdeğer devre

Model SARM'nin B ve C fazlarının ideal akım kaynağı ile sürüldüğü durumda;

$$i_b = -i_c, \quad i_a = 0, \quad i_d = 0, \quad i_e = 0 \quad (17)$$

eşitlik grubu elde edilebilir. Bu enerjilendirme durumu için akı bağıntılarını λ_b ve λ_c için ayrı ayrı bulunarak ifade edebiliriz. Akının takip ettiği yol; A fazının hava aralığından geçerek B fazına geçen akının değeri $\lambda_{ab} = \lambda_a - \lambda_b$ olduğu için;

$$\lambda_{bc} = \left(\frac{L_b(\theta) + L_c(\theta) - \frac{L_b^2(\theta) + L_c^2(\theta)}{L_a(\theta) + L_b(\theta) + L_c(\theta) + L_d(\theta) + L_e(\theta)} + \frac{2L_b(\theta)L_c(\theta)}{L_a(\theta) + L_b(\theta) + L_c(\theta) + L_d(\theta) + L_e(\theta)} \right) i_b \quad (18)$$

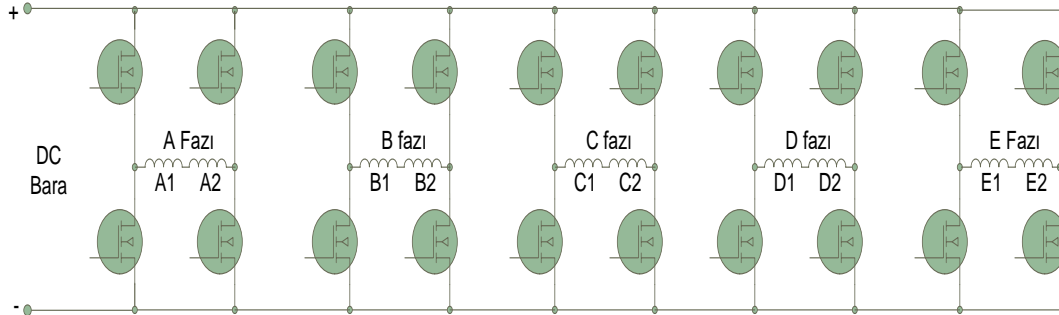
ifadesine ulaşılmaktadır. L_{bc} olarak adlandırdığımız görünür endüktans değeri ise daha önce ifade edilen akı ifadesi kullanılarak $L = \lambda/i$ eşitliğinde yerine konularak hesaplanmıştır. Bulunan bu ifade; B ve C fazları arasındaki ortak endüktans eşitliği olup;

$$L_{bc} = L_b(\theta) + L_c(\theta) - \frac{L_b^2(\theta) + L_c^2(\theta)}{L_a(\theta) + L_b(\theta) + L_c(\theta) + L_d(\theta) + L_e(\theta)} + \frac{2L_b(\theta)L_c(\theta)}{L_a(\theta) + L_b(\theta) + L_c(\theta) + L_d(\theta) + L_e(\theta)} \quad (19)$$

olarak elde edilmektedir.

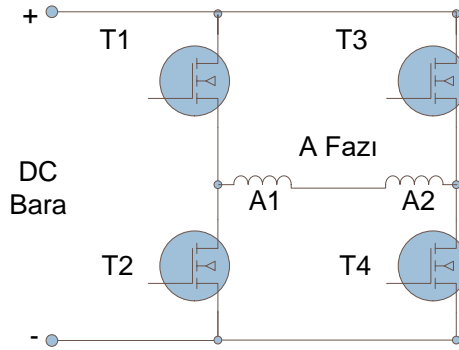
2.4. Bipolar Sürülen SARM Konvertörü

Model SARM'nin sürülmesi ve üzerinde farklı deneylerin gerçekleştirilerek sonuçların alınabilmesi amacıyla H – köprü konvertör kullanılmıştır. Bu sürücü devresi modüler durumda ve fazların herhangi birinde oluşacak hatanın otomatik olarak diğer fazlardan izole edildiği, yani fazları tamamen birbirinden ayırma topolojisini kullandığı için tercih edilmiştir. SARM'nin denetimi için tasarlanan H-köprü konvertör devresi Şekil 5'de görülmektedir. Bu sistem hata tolerans topolojisi özelliği ile birçok uygulamada rahatlıkla kullanılabilir özelliktedir.



Şekil 5. Model SARM' nin sürülmesinde kullanılan 5-fazlı bipolar topolojiye sahip H-köprü konvertör devresi

SARM'nin denetiminde kullanılan H-köprü çevirici devresi sadece bir faz için gösterilecek olursa Şekil 6'daki devre elde edilmektedir.



Şekil 6. Bir faz için basitleştirilmiş H-köprü konvertör devresi

SARM'nin bir fazı için geçerli olan Şekil 6'daki devre tüm fazlar için geçerli olup motor 5-faz yapısına sahip olduğundan çalışma esnasında kısa akı yolları oluşturmak amacıyla bitişik fazların birbirlerine göre ters polarite oluşturacak şekilde tetiklenmesi gerekmektedir. SARM'nin miline bağlı olan 5 adet optik sensörden gelen rotor konum bilgisine göre tetikleme sinyallerinin frekansı motor hızına da bağlı olarak bir düzen almaktadır. Bu durumu daha iyi anlaşılabilmesi için SARM milinin saat yönünde (CW) 90° dönüşü süresinde her 18° aralığında motor sargılarından geçen akımın yönü değiştiği için 5 döngülük tetikleme durumları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Model SARM'nin 90° dönüşü boyunca fazlardaki akım yönlerinin değişimi

Fazlar	$0^\circ-18^\circ$	$18^\circ-36^\circ$	$36^\circ-54^\circ$	$54^\circ-72^\circ$	$72^\circ-90^\circ$
A Fazı	0	+	0	0	-
B Fazı	0	0	-	0	+
C Fazı	-	0	+	0	0
D Fazı	+	0	0	-	0
E Fazı	0	-	0	+	0

Tablo 2'deki durum daha geniş bir ifade ile açıklanacak olursa; Şekil 6'da verilen sargının C-fazına ait olduğu düşünüldüğünde bu fazın iletimde kalma aralığı $0^\circ-18^\circ$ aralığındadır. Bu durumda şekle göre faz sargısından varsayıma göre “-” yönde akım geçirmek için T1 ve T4 MOSFET'lerinin tetiklenmesi gerekmektedir. C-faz sargısının iletime geçtiği bir sonraki aralık $36^\circ-54^\circ$ “+” yöndeki aralıktır. Fakat bu durumda bir öncekinin tersine sargıdan geçen akım yönünün değiştirilmesi gerektiğinden, T2 ile T3 MOSFET'lerinin tetiklenmesi gerekmektedir.

Tablo 2’ de “0” olarak adlandırılan durumlar ise o faza ait sargı ya da sargı gruplarının iletimde olmadığı anlamını taşımaktadır. Gerçekleştirilmiş olan model ve simülasyonlarda bu durum dikkate alınarak kodlama yapılmıştır.

2.5. Bipolar Sürülen SARM’ye Ait Durum Denklemleri ve Dinamik Simülasyonlar

Model SARM’nin akı bağıntılarının sadece pozisyonun bir fonksiyonu değil aynı zamanda akıma göre değişim gösteren parametreler olarak dikkate alınması gerekmektedir. Bu ifadeye göre akı değişiminin aslında akımın bir fonksiyonu olduğu hatırlanırsa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\lambda_x = f(i_a, i_b, i_c, i_d, i_e, \theta) \quad (20)$$

Genel elektrik makinaları denklemlerinde bahsedildiği üzere motorda üretilen zıt emk akımın zamana bağlı değişiminin bir fonksiyonu olmaktadır. Buna göre herhangi bir faza ait zıt EMK

değerleri açısal hızın pozisyonun bir fonksiyonu olduğunu düşündüğümüzde ($\omega = \frac{d\theta}{dt}$) aşağıdaki

denklem (21) elde edilir

$$e_x = \frac{d\lambda_x(t)}{dt} = \frac{\partial\lambda_x(t)}{\partial i_a} \frac{di_a(t)}{dt} + \frac{\partial\lambda_x(t)}{\partial i_b} \frac{di_b(t)}{dt} + \frac{\partial\lambda_x(t)}{\partial i_c} \frac{di_c(t)}{dt} + \frac{\partial\lambda_x(t)}{\partial i_d} \frac{di_d(t)}{dt} + \frac{\partial\lambda_x(t)}{\partial i_e} \frac{di_e(t)}{dt} + \frac{\partial\lambda_x(t)}{\partial \theta} \omega \quad (21)$$

Bu ifadeye göre tüm fazlara ait zıt emk’lar matris formuna dönüştürülerek, eşdeğer devrenin çözümü için düğüm gerilimleri metodu da kullanıldığında motor faz uçları yıldız bağlı olduğu için, ortak nokta V_{com} olarak değerlendirilerek faz gerilimleri şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \\ e_d \\ e_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a - V_{com} - i_a R \\ V_b - V_{com} - i_b R \\ V_c - V_{com} - i_c R \\ V_d - V_{com} - i_d R \\ V_e - V_{com} - i_e R \end{bmatrix} \quad (22)$$

Denklem (22) ve fazların zıt emk ifadesi matris formunda birleştirildiğinde;

$$\begin{bmatrix} V_a - V_{com} - i_a R \\ V_b - V_{com} - i_b R \\ V_c - V_{com} - i_c R \\ V_d - V_{com} - i_d R \\ V_e - V_{com} - i_e R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial \theta} \omega \\ \frac{\partial \lambda_b(t)}{\partial \theta} \omega \\ \frac{\partial \lambda_c(t)}{\partial \theta} \omega \\ \frac{\partial \lambda_d(t)}{\partial \theta} \omega \\ \frac{\partial \lambda_e(t)}{\partial \theta} \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_a} & \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_b} & \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_c} & \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_d} & \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_e} \\ \frac{\partial \lambda_b(t)}{\partial i_a} & \frac{\partial \lambda_b(t)}{\partial i_b} & \frac{\partial \lambda_b(t)}{\partial i_c} & \frac{\partial \lambda_b(t)}{\partial i_d} & \frac{\partial \lambda_b(t)}{\partial i_e} \\ \frac{\partial \lambda_c(t)}{\partial i_a} & \frac{\partial \lambda_c(t)}{\partial i_b} & \frac{\partial \lambda_c(t)}{\partial i_c} & \frac{\partial \lambda_c(t)}{\partial i_d} & \frac{\partial \lambda_c(t)}{\partial i_e} \\ \frac{\partial \lambda_d(t)}{\partial i_a} & \frac{\partial \lambda_d(t)}{\partial i_b} & \frac{\partial \lambda_d(t)}{\partial i_c} & \frac{\partial \lambda_d(t)}{\partial i_d} & \frac{\partial \lambda_d(t)}{\partial i_e} \\ \frac{\partial \lambda_e(t)}{\partial i_a} & \frac{\partial \lambda_e(t)}{\partial i_b} & \frac{\partial \lambda_e(t)}{\partial i_c} & \frac{\partial \lambda_e(t)}{\partial i_d} & \frac{\partial \lambda_e(t)}{\partial i_e} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{di_a(t)}{dt} \\ \frac{di_b(t)}{dt} \\ \frac{di_c(t)}{dt} \\ \frac{di_d(t)}{dt} \\ \frac{di_e(t)}{dt} \end{bmatrix} \quad (23)$$

elde edilmektedir. Benzer şekilde düğüm akımları yöntemi ile fazlara ait akımların toplamı

$$i_a + i_b + i_c + i_d + i_e = 0 \text{ olacağı için akımların türevi alındığında } \left(\frac{di_a}{dt} + \frac{di_b}{dt} + \frac{di_c}{dt} + \frac{di_d}{dt} + \frac{di_e}{dt} = 0 \right) \text{ ve}$$

Bilinenler ve bilinmeyenler düzenli olacak şekilde denklem tekrar düzenlenir ise;

aşağıdaki matris formu elde edilir;

$$\begin{bmatrix} \frac{di_a(t)}{dt} \\ \frac{di_b(t)}{dt} \\ \frac{di_c(t)}{dt} \\ \frac{di_d(t)}{dt} \\ \frac{di_e(t)}{dt} \\ V_{com} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_a} & \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_b} & \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_c} & \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_d} & \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_e} & 1 \\ \frac{\partial \lambda_b(t)}{\partial i_a} & \frac{\partial \lambda_b(t)}{\partial i_b} & \frac{\partial \lambda_b(t)}{\partial i_c} & \frac{\partial \lambda_b(t)}{\partial i_d} & \frac{\partial \lambda_b(t)}{\partial i_e} & 1 \\ \frac{\partial \lambda_c(t)}{\partial i_a} & \frac{\partial \lambda_c(t)}{\partial i_b} & \frac{\partial \lambda_c(t)}{\partial i_c} & \frac{\partial \lambda_c(t)}{\partial i_d} & \frac{\partial \lambda_c(t)}{\partial i_e} & 1 \\ \frac{\partial \lambda_d(t)}{\partial i_a} & \frac{\partial \lambda_d(t)}{\partial i_b} & \frac{\partial \lambda_d(t)}{\partial i_c} & \frac{\partial \lambda_d(t)}{\partial i_d} & \frac{\partial \lambda_d(t)}{\partial i_e} & 1 \\ \frac{\partial \lambda_e(t)}{\partial i_a} & \frac{\partial \lambda_e(t)}{\partial i_b} & \frac{\partial \lambda_e(t)}{\partial i_c} & \frac{\partial \lambda_e(t)}{\partial i_d} & \frac{\partial \lambda_e(t)}{\partial i_e} & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_a - i_a R - \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial \theta} \omega \\ V_b - i_b R - \frac{\partial \lambda_b(t)}{\partial \theta} \omega \\ V_c - i_c R - \frac{\partial \lambda_c(t)}{\partial \theta} \omega \\ V_d - i_d R - \frac{\partial \lambda_d(t)}{\partial \theta} \omega \\ V_e - i_e R - \frac{\partial \lambda_e(t)}{\partial \theta} \omega \\ 0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

olur. Elde edilen matris formu basitleştirilerek $[x] = [y]^{-1} [z]$ formunda yazıldığında durum denklemleri geliştirilen iterasyon metodu ile nümerik olarak çözümlendikten sonra elde edilen kısmi türevler aşağıdaki gibi özetlenebilir (Örnek olarak A fazındaki değişim göz önünde bulundurulmuştur. Bu ifadeler diğer fazlar için çoğaltılabilir).

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_a} &\cong \frac{\Delta \lambda_a(t)}{\Delta i_a} = \frac{\lambda_a(i_a + \Delta i, i_b, i_c, i_d, i_e, t) - \lambda_a(i_a, i_b, i_c, i_d, i_e, t)}{\Delta i} \\ \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_b} &\cong \frac{\Delta \lambda_a(t)}{\Delta i_b} = \frac{\lambda_a(i_a, i_b + \Delta i, i_c, i_d, i_e, t) - \lambda_a(i_a, i_b, i_c, i_d, i_e, t)}{\Delta i} \\ \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_c} &\cong \frac{\Delta \lambda_a(t)}{\Delta i_c} = \frac{\lambda_a(i_a, i_b, i_c + \Delta i, i_d, i_e, t) - \lambda_a(i_a, i_b, i_c, i_d, i_e, t)}{\Delta i} \\ \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_d} &\cong \frac{\Delta \lambda_a(t)}{\Delta i_d} = \frac{\lambda_a(i_a, i_b, i_c, i_d + \Delta i, i_e, t) - \lambda_a(i_a, i_b, i_c, i_d, i_e, t)}{\Delta i} \\ \frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial i_e} &\cong \frac{\Delta \lambda_a(t)}{\Delta i_e} = \frac{\lambda_a(i_a, i_b, i_c, i_d, i_e + \Delta i, t) - \lambda_a(i_a, i_b, i_c, i_d, i_e, t)}{\Delta i} \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

Sistemdeki küçük pozisyon değişimleri dikkate alındığında ve bu etkilerin motor performansını, indüktans değişimini ve moment üretimini doğrudan etkilediği göz önünde bulundurulduğunda;

$$\frac{\partial \lambda_a(t)}{\partial \theta} \cong \frac{\Delta \lambda_a(t)}{\Delta \theta} = \frac{\lambda_a(i_a, i_b, i_c, i_d, i_e, \theta + \Delta \theta, t) - \lambda_a(i_a, i_b, i_c, i_d, i_e, t)}{\Delta \theta} \quad (26)$$

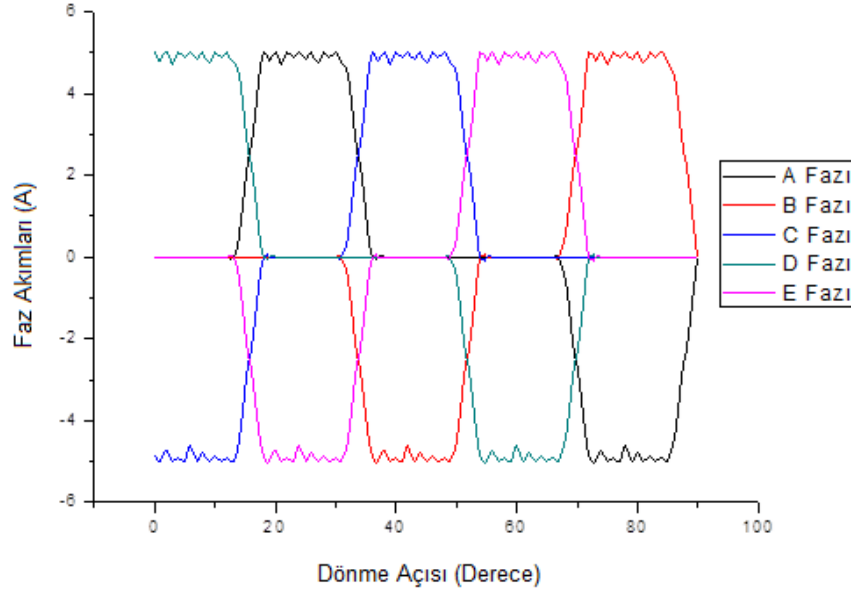
yalnızca A fazı için eşitliği elde edilir. Kısmi türevler çözüldükten sonra, $[y]$ matrisi ve $\left[\frac{di(t)}{dt} \right]$,

$[x] = [y]^{-1} [z]$ eşitliğinden hesaplanabilir. Euler metodu kullanılarak $t+dt$ zamanındaki yeni akım değerleri de aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$\begin{bmatrix} i_a(t+dt) \\ i_b(t+dt) \\ i_c(t+dt) \\ i_d(t+dt) \\ i_e(t+dt) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{di_a(t)}{dt} dt + i_a(t) \\ \frac{di_b(t)}{dt} dt + i_b(t) \\ \frac{di_c(t)}{dt} dt + i_c(t) \\ \frac{di_d(t)}{dt} dt + i_d(t) \\ \frac{di_e(t)}{dt} dt + i_e(t) \end{bmatrix} \quad (36)$$

Bu eşitlik kullanılarak yapılan hesaplamalarda $\lambda_a + \lambda_b + \lambda_c + \lambda_d + \lambda_e = 0$ eşitliğinin sürekli olarak sağlanması gerektiği unutulmamalıdır. Gerçekleştirilen analizlerde elde edilen akım değişimleri

FEMM 4.2 programında LUA yazılımı dilinde geliştirilmiş script kodlar yardımı ile Tablo 2. referans alınarak Şekil 7' deki gibi görselleştirilmiştir.



Şekil 7. Faz akımlarının simülasyonlar sonucu değişimi

Çizelge 2. tekrar incelendiğinde 90° derecelik bir dönme periyodunda 0° - 18° derece aralığında D ile C, 18° - 36° derece aralığında A ile E, 36° - 54° derece aralığında C ile B, 54° - 72° derece aralığında E ile D ve 72° - 90° derece aralığında ise B ile A fazlarının birlikte enerjilendirildiği görülmektedir.

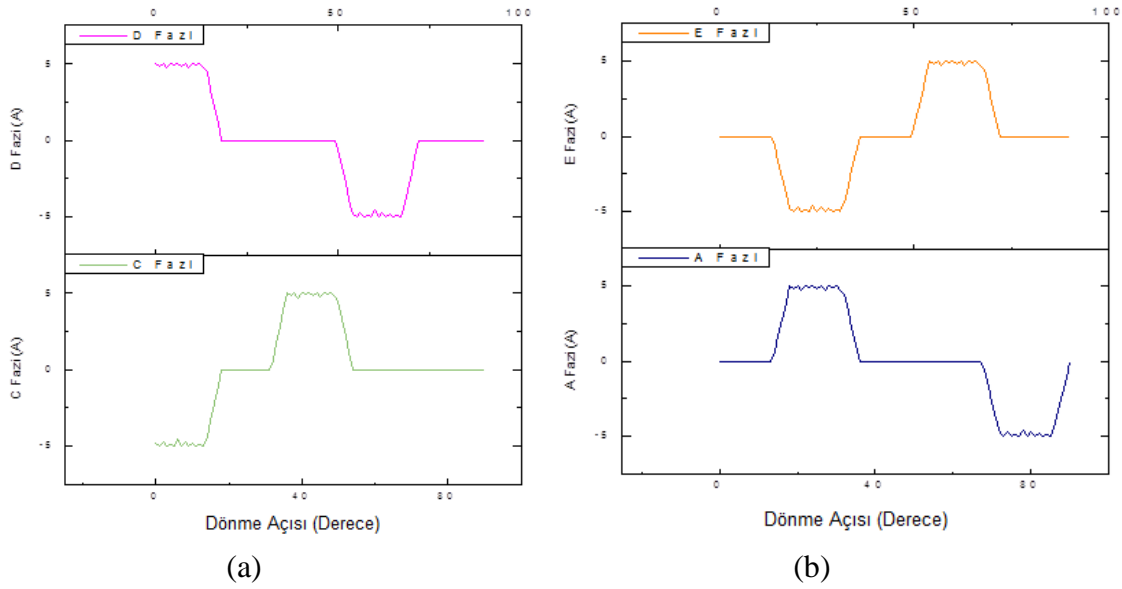
3. BULGULAR

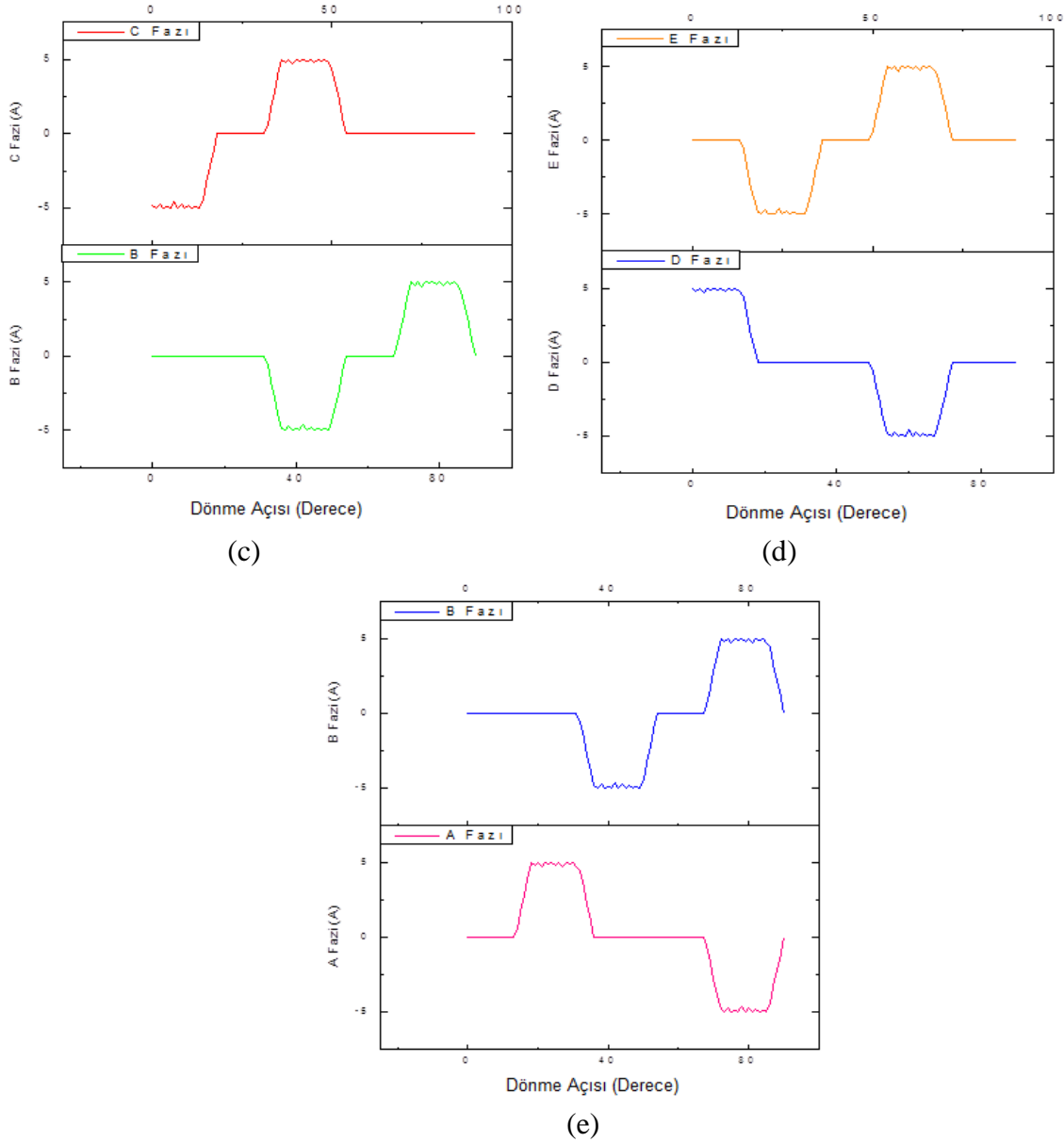
Yukarıda yapılan matematiksel analizler ile amaçlanan; SARM için benzetim ve deneysel çalışmaların yapılabilmesi, kaynak kodların doğru yazılabilmesi ve dinamik simülasyonların yapılabilmesi amacıyla detaylı bir şekilde ilgili motorun durum denklemleri çıkartılmıştır. Durum denklemleri geliştirilerek iterasyon ve nümerik olarak çözümlenerek motorun her fazı için akım değişimi değerleri simülasyon sonuçları ile beraber verilmiştir. Motorun 0° - 90° derecelik bir dönme periyodunda her bir faz akımının durumları ayrı ayrı incelenmek üzere simülasyon sonuçları sunulmuştur.

Klasik ARM ve SARM için rotorun çakışık ve çakışık olmayan konumlarında herhangi bir moment üretmediği rotorun ara konumlarında ise tasarlanan yeni SARM'nin bazı durumlarda klasik ARM'nin iki katından daha fazla moment ürettiği matematiksel model üzerinden hesaplanabilmektedir.

Durumun daha net görülebilmesi FEMM programının kullanabileceği ve LUA yazılım dili ile geliştirilmiş bir script kullanılmıştır. Geliştirilen dönme scriptleri ile akım fonksiyonlarının kodları SARM için 0°'den 90°'ye kadar 1° açı ile döndürülmüş her dönme açısında motora ideal akım kaynakları ile uygulanan akımın fazlara göre dağılımı bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak motorun endüktans değerleri her an için hesaplanabilmektedir.

Şekil 8'de SARM'nin değişik her fazı için her dönüş açısında klasik ARM'nin sadece bir fazı enerjilendirilirken SARM'nin bitişik olan iki fazı ortak endüktans oluşturacak şekilde ve fazlardan birisinin de uyarım yönü değiştirilerek enerjilendirilmesi durumunda ortaya çıkan faz akımlarının simülasyon sonuçları ve akım profillerinin fazlara göre dağılımları görülmektedir.





Şekil 8. a) C ve D fazları enerjili iken, b) A ve E fazları enerjili iken, c) B ve C fazları enerjili iken, d) D ve e fazları enerjili iken, e) A ve B fazları enerjili iken (0-18 derece aralığında) faz akımlarının durumları

Yapılan analiz sonuçlarının bir değerlendirmesi yapılırsa SARM'nin klasik ARM'ye göre karşılıklı tek faz enerjilendirme yönteminin yerine bitişik iki faz enerjilendirme yöntemi yapılarak motorda üretilen moment değeri yapılan analitik hesaplar sonucu 2 kat artırılmış olmakla beraber sargılar uygun şekilde yerleştirildiğinde daha kısa akı yollarını takip ettiği görülmüştür. Akı yollarının kısalması, sac kayıplarının ve motor saclarının sıcaklık değerinin azalmasına önemli katkı sunmaktadır. Aynı

zamanda SARM klasik ARM yapısından farklı olarak manyetik özelliği olmayan, hafif bir alüminyum bloktan oluşan rotor yapısına sahiptir. Bu özelliği sayesinde üretilen moment değeri artırılmış olmakta ve her bir kutup altında manyetik direnci oluşturabilmek amacıyla akı bariyeri olarak etkin bir rol almaktadır.

4. SONUÇ

Bu araştırma çalışmasında, beş fazlı segmental tip anahtarlamalı relüktans motorun (SARM) çalışma şartları dikkate alınarak ve temel elektrik motorları modeli kullanılarak durum denklemleri elde edilmiştir. SARM'den elde edilen durum denklemleri kullanılarak dinamik simülasyon sonuçları geliştirilmiştir. Klasik ARM'den farklı bir rotor ve uyarım yapısına sahip bu yeni beş fazlı SARM' un faz akımları ve endüktanslar cinsinden manyetik akı değişimleri; manyetik eşdeğer devresi kullanılarak bulunmuştur. Farklı yapıdaki bu motorlar arasındaki farkın daha açık şekilde anlaşılabilmesi için ortak endüktans profilleri her anda farklı fazların durumları ortaya konularak endüktansların değerleri hesaplanmıştır. Son olarak, motorun moment üretimi endüktans eşitliğinden yararlanılarak elde edilmiştir. Konunun daha iyi anlaşılabilmesi için FEMM programının kullanabileceği ve LUA yazılım dili ile geliştirilmiş bir script kullanılmıştır. Geliştirilen dönme scriptleri ile akım fonksiyonlarının kodları yardımı ile yeni tasarım segmental tip ARM 0°'den 90°'ye kadar 1° açı ile döndürülmüş her dönme açısında motora ideal akım kaynakları ile uygulanan akımın fazlara göre dağılımı bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Chen. X., Deng Z., Wang. X., Peng. J., Li. X., New Designs of Switched Reluctance Motors With Segmental Rotors, 5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD), Brighton, UK, April 2010, pp. 213-218, 2010
- [2] Uygun. D, Bal. G, Sefa. I, Linear Model of a Novel 5-Phase Segment Type Switched Reluctance Motor, Elektronika Ir Elektrotehnika Journal, vol.20, pp. 3-7, 2014
- [3] Büyükbıçakcı. E, Bipolar Uyarımlı Segmental Rotorlu 5-Fazlı Bir Anahtarlamalı Relüktans Motor İçin PI Denetimli Sürücü Sisteminin Tasarımı ve Uygulaması, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013

- [4] Zhen. ZY, Martin T.W, Balda J.C, An Investigation Of Multiphase Excitation Nodes Of A 10/8 Switched Reluctance Motor With Short Flux Path To Maximize Its Average Torque, Industrial Electronics IEEE International Symp.,4-8 Dec., vol. 2, pp. 390-395. 2000
- [5] Elmas. C., Akçayol. M.A., Yiğit. T., 2 Bulanık PI Denetleyici İle Bir Anahtarlamalı Relüktans Motorun Hız Denetimi, Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Dergisi, C 22, S 65-72, 2007
- [6] Bal. G., Özel Elektrik Makinaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2004
- [7] Arslan. M., Anahtarlamalı Relüktans Motorun Genetik Bulanık Mantık Kullanılarak Tork Rıpıl Minimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2020
- [8] Miller. T.J.E., Electronic Control Of Switched Reluctance Machines, Newnes Power Engineering Series, Oxford, U.K., 2001
- [9] Polloc. C., Williams B.W., Power Converter Circuits for Switched Reluctance Motors with the Minimum Number of Switches, IEE Proceedings, vol.137, pp. 374-384, 1990
- [10] Khor. M.T., Sotudeh. R., A 3-Phase 12/10 Asymmetrical Switched Reluctance Motor, European Conference on Power Electronics and Applications, 11-13Sept., pp. 1-9, 2005
- [11] Pandey. K., Rajagopal. K.R., Novel Pole Shapes For Improved Performance Of Switched Reluctance Hub Motors, Intermag IEEE International Magnetics Conference, 4-8 April, pp. 749-750, 2005
- [12] Ashok. P., Tesar. D., Computer Aided Design of Switched Reluctance Motors for Use in Robotic Actuators, World Automation Congress, 24-26 July, pp 1-7, 2006
- [13] Fujishiro. S., Ishikawa. K., Kikuchi. S., Nakamura. K., Ichinokura. O., Design Of Outer-Rotor-Type Multipolar Switched Reluctance Motor For Electric Vehicle, Journal of Applied Physics, vol.99, pp. 08R324 - 08R324-3, 2006
- [14] Kachapornkul. S., Jitkreeyarn. P., Somsiri. P., Tungpimolrut. K., Chiba. A., Fukao. T., A Design Of 15 Kw Switched Reluctance Motor For Electric Vehicle Applications, ICEMS International Conference on Electrical Machines and Systems, 8-11 Oct., Seoul-Korea, pp.1690-1693, 2007
- [15] Chewoo. L.E.E., Krishnan. R., Lobo. N.S., Novel Two-phase Switched Reluctance Machine Using Common-Pole E-Core Structure: Concept, Analysis, and Experimental Verification, IEEE Industry Applications Conference, 42nd IAS Annual Meeting, pp.2210-2217, 2007

- [16] Ekram. S., Ravi. N., Rajagopal. K.R., Mahajan. D., Design and Development of a High Efficiency Switched Reluctance Motor for a Mixer-Grinder Application, IECON IEEE Industrial Electronics Society, 5-8 Nov, Taipei-Taiwan, pp.193-197, 2007
- [17] Franke. M., Brutscheck. M., Schmucker. U., Modeling And Simulation Of A Rolling Rotor Switched Reluctance Motor, 32nd International Spring Seminar on Electronics Technology, 13-17 May, pp.1-6, 2009
- [18] Daldaban. F., Üstkoşuncu. N., A New Linear Switched Reluctance Motor With Maglev Effect, ELECO International Conference on Electrical and Electronics Engineering, 5-8 Nov., Bursa-Turkey, pp.420-422, 2009
- [19] Brauer. H.J., Kasper. K.A., D.E. Doncker. R.W., Design And Analysis Of A Pancake Switched Reluctance Machine For Use In Household Applications, International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 2-5 Nov., Taipei-Taiwan, pp. 1050-1055, 2009
- [20] Ruba. M., Bentia. I., Szabo. L., Novel Modular Switched Reluctance Machine For Safety-Critical Applications, XIX International Conference on Electrical Machines (ICEM), 6-8 Sept., Rome-Italy, pp.1-6, 2010
- [21] Lawrenson. P.J, Agu. L.A., Theory And Performance of Polyphase Reluctance Machine, Proceedings of the Institution of Electrical Engineer, vol.8, pp.1435-1445, 1964
- [22] Lawrenson. P.J., Gupta. S.K., Developments İn The Performance And Theory Of Segmental-Rotor Reluctance Machines, Proceedings of the Institution of Electrical Engineer, vol.5, pp.645–653, 1967
- [23] Toliyat. H.A., Xu. L., Lipo. T.A., A Five Phase Reluctance Motor, With High Specific Torque, Conference Record of the IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, vol.28, pp.659–667, 1992
- [24] Horst. G.A., Isolated Segmental Switched Reluctance Motor, U.S. Patent No. 5 111 096, 1992
- [25] Chris. S., Edrington. T., Mahesh. K., Babak. F., Bipolar Switched Reluctance Machines: A Novel Solution for Automotive Applications, IEEE Transactions On Vehicular Technology, vol.54, pp.795-808, 2005
- [26] Naresh. V.V., Rallabandi. B., Fernandes. G., A Novel High Torque and Low Weight Segmented Switched Reluctance Motor, IEEE PESC Power Electronics Specialists Conference, 15-19 June, Rhodes-Greece, pp.1223–1228, 2008



- [27] Lawrenson. P.J., Design And Performance of Switched Reluctance Drives With High Performance Of Drive Characteristics, in Proc. Int. Conf. Power Conversion and Intel. Motion, pp. 1-11, 1989
- [28] Gan. M.G., Murphy. J.M.D., Kenneally. P.F., Lawton. J.V., A High Performance Variable Reluctance Drive: Achieving Servomotor Control, in Proc. Motorcon, pp.161-168, 1985
- [29] Pollock. C., Wu. C.Y., Acoustic Noise Cancellation Technique For Switched Reluctance Drives, IEEE Transaction on Industry Application, vol. 33, pp.477-484, 1997
- [30] Rahman. K.M., Suresh. G., Fahimi. B., Rajarathnam. A.V., Ehsani. M., Optimized Torque Control of Switched Reluctance Motor at all Operational Regimes Using Neural Network, IEEE Transaction on Industry Application, vol.37, pp.904-913, 2001

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONLARDA MAKSİMUM AGREGA TANE ÇAPININ DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Berkay SAĞLAM¹  İsmail KILIÇ^{2*} 

¹Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırklareli.

²Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırklareli.

Öz

Yapılan çalışmada, maksimum agrega tane çapı (D_{max}) 12,5mm, 16mm ve 22,4mm olacak şekilde 300kg ve 350kg dozajlı silindirle sıkıştırılmış betonlar (SSB) üretilmiştir. Karışımların tamamında, su/çimento oranı 0,34 olarak sabit tutulmuştur. Bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R portland çimentosu kullanılmıştır. Deneylerde, 15cm×15cm×15cm boyutlarında küp ve 10cm×10cm×50cm boyutlarında prizmatik kırış örnekler kullanılmıştır. Üretilen SSB örnekleri üzerinde birim hacim ağırlık, su emme, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Maksimum agrega tane çapları farklı karışımlardan üretilen SSB örneklerinin özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen verilerden, silindirle sıkıştırılmış betonlarda maksimum agrega tane çapının dayanım özelliklerine etkisi tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silindirle sıkıştırılmış beton, Agrega tane çapı, Agrega boyutu, Dayanım

EFFECT OF MAXIMUM AGGREGATE GRAIN DIAMETER ON STRENGTH PROPERTIES IN ROLLER COMPACTED CONCRETES

Abstract

In the study, roller compacted concrete (RCC) with a dosage of 300kg and 350kg was produced with a maximum aggregate grain diameter (D_{max}) of 12.5 mm, 16 mm and 22.4 mm. In all the mixtures, the water/cement ratio was kept constant as 0.34. CEM I 42.5 R portland cement was used as binder. In these experiments, cube samples of 15 cm×15 cm×15 cm and prismatic beam samples of 10 cm×10 cm×50 cm were used. Unit weight, water absorption, ultrasound transmission velocity, compressive strength and bending strength tests were performed on the produced RCC samples. The properties of RCC samples produced from mixtures with different maximum aggregate grain diameters were researched. From the obtained data, the effect of maximum aggregate grain diameter on the strength properties of roller compacted concretes was determined.

Keywords: Roller compacted concrete, Aggregate grain diameter, Aggregate size, Strength

Sorumlu Yazar: İsmail KILIÇ, ismail.kilic@klu.edu.tr

1. Giriş

Beton, birçok alanda kullanılan en önemli yapı malzemelerinden bir tanesidir [1]. Beton üretiminde kullanılan agrega ve çimento gibi malzemeleri yerel koşullarda bile temin etmek mümkündür [2]. Betonun kullanım özelliklerinin araştırılmasında birincil olarak bakılması gereken parametreler betonun mekanik özellikleridir [3]. Basınç dayanımı betonda aranılan en önemli özelliktir. Beton basınç dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biri agrega özellikleridir [4, 5]. Beton basınç dayanımını artırabilmek için öncelikle beton içerisindeki boşluk miktarını en aza indirmek gerekmektedir [6, 7].

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB), normal beton ile aynı bileşenlerden oluşmaktadır [8]. Sertleşmemiş halde, üzerinden silindirlerin geçmesine imkan verecek şekilde, kuru kıvama sahiptir [9]. SSB’de su/çimento oranı 0,30 ile 0,40 arasında olmalıdır [10]. Genellikle, karayolu, havaalanı pisti ve baraj inşaatlarında tercih edilmektedir. SSB’nin normal betona göre bağlayıcı madde oranının daha az olması, daha az hidratasyon ısısının oluşması, karayolu ekipmanları ile serilip sıkıştırılabilmesi, hızlı ve seri üretimi, çok daha hızlı kullanıma açılması, ekonomik oluşu en önemli farklılıklarıdır [11, 12].

SSB üretimi yapılmadan önce agrega granülometrisi ve maksimum agrega tane çapı seçimine dikkat edilmelidir [13]. Agrega, betonda iskelet görevi üstlenmiştir [14]. Diğer beton çeşitlerinde olduğu gibi SSB’nin ekonomik oluşunu ve kalitesini belirlemedeki en önemli etkenlerden biri doğru agreganın seçilmesidir. SSB ve geleneksel betonlardaki agregalar arasında en önemli farklardan biri agrega granülometrisidir [10]. SSB’de kullanılan agrega hacimsel olarak %85’den fazla olduğu için agreganın özellikleri SSB’nin özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle uygun granülometride agrega seçimi yapılması gerekmektedir. SSB’de maksimum agrega tane çapı ve kum içeriği gibi özellikler geleneksel betona göre bazı farklılıklar göstermektedir. Agrega granülometrisi SSB’nin sıkışabilme özelliğini etkilemektedir [15]. Ayrışma olmaması, karıştırmayı kolaylaştırmak ve yüzey düzgünlüğünü oluşturmak amacıyla dane boyutu yüksek seçilmemelidir [16].

SSB karışımlarını sıkıştırma işlemi sırasında maksimum yoğunlukta olması için taneler arasındaki boşlukların yeterli miktarda hamur ile doldurulması gerekmektedir [17]. Betonun harç ihtiyacını agrega boşluk hacmi ve tane şekli belirlemektedir. Geleneksel betonda olduğu gibi maksimum

agrega tane çapı arttıkça agrega boşluk oranı azalır ve gerekli olan harç miktarı da azalmış olur [15]. SSB üretiminde doğru agrega granülometrisi ile çimento dozajını azaltmak ve işlenebilirliği iyileştirmek mümkündür [18].

Yapılmış olan çalışmalarda, yıkanmamış agrega SSB üretiminde başarıyla kullanılmıştır [15]. Ayrıca SSB üretiminde geri dönüştürülmüş agregaların kullanılabilceği araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir [19, 20].

Beton bileşiminde kullanılan malzemeler arasında en büyük hacmi agregalar oluşturmaktadır. Agregaların özellikleri betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, yapılan çalışmada maksimum agrega tane çapının (D_{max}), SSB üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Karışımlarda 3 farklı D_{max} kullanılmış, 300kg ve 350kg dozajlı SSB örnekleri üretilmiştir. Sıkıştırma ile yapılan üretim sonucu dayanım açısından en iyi sonuçları veren ve en iyi agrega granülometrisini sağlayan maksimum agrega tane çapı belirlenmiştir. Yapılacak olan sonraki çalışmaların maksimum agrega tane çapı seçimine katkı sunulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada, bağlayıcı olarak Traçim CEM I 42,5 R portland çimentosu kullanılmıştır. Tablo 1’de çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri verilmiştir. Karma suyu olarak şebeke suyu, agrega olarak ise dolomit kökenli kırmataş II, kırmataş I, kırmataş tozu ve doğal kum kullanılmıştır. Karışımda kullanılan agregaların ve karışım agregalarının elek analizi değerleri Tablo 2’de, granülometri eğrileri ise Şekil 1’de verilmiştir.

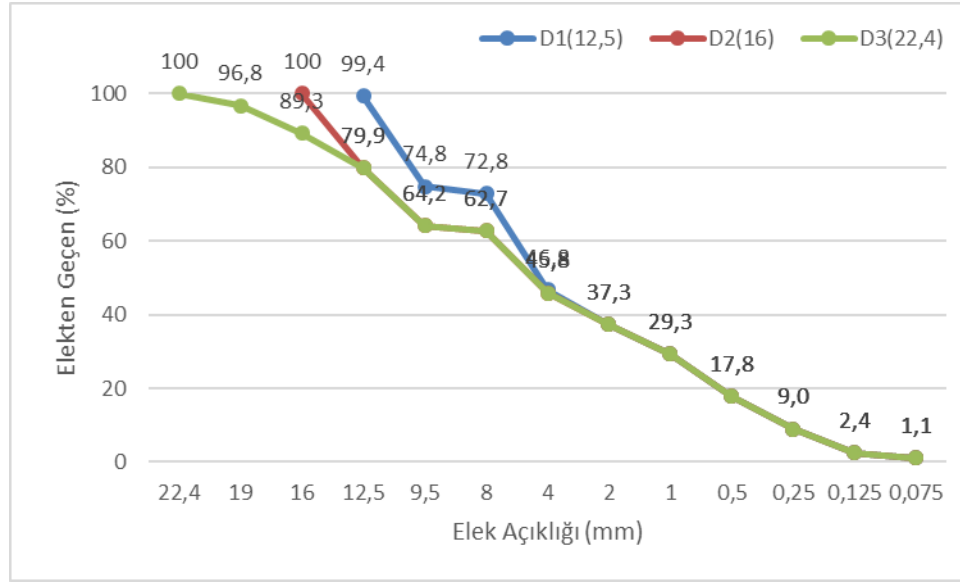
Tablo 1. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri [21]

Özellikler			
Özgül Ağırlık	3,12	SiO ₂ (%)	18,57
Priz Başlama (dakika)	210	Al ₂ O ₃ (%)	4,43
Priz Bitiş (dakika)	270	F ₂ O ₃ (%)	2,86
Hacim Genleşmesi(mm)	2,0	CaO (%)	63,55
Özgül Yüzey (cm ² /g)	4185	MgO (%)	0,91
7 Günlük Dayanım (MPa)	51,7	SO ₃ (%)	3,15
28 Günlük Dayanım (MPa)	59,3	Kızdırma Kaybı	4,34

Agregalar, %55 iri ve %45 ince olacak şekilde karışım tasarımı yapılmıştır. Kendi içerisinde %20 kırmataş II, %35 kırmataş I, %15 kırmataş tozu ve %30 doğal kum olacak şekilde karıştırılarak agrega granülometrisi ele edilmiştir. Tablo 3’de 1m^3 silindirle sıkıştırılmış beton için gerekli olan bileşenlerin miktarları verilmiştir.

Tablo 2. SSB üretiminde kullanılan agregaların ve karışım agregalarının elek analizi değerleri

Elek No (mm)	Elekten Geçen (%)						
	Kırmataş II	Kırmataş I	Kırmataş Tozu	Doğal Kum	Karışım		
					D1(12,5)	D2(16)	D3(22,4)
22,4	100	100	100	100	100	100	100
19	84,11	100	100	100	100	100	96,8
16	46,85	100	100	100	100	100	89,3
12,5	1,3	99,08	100	100	99,4	79,9	79,9
9,5	1,2	54,24	100	100	74,8	64,2	64,2
8	0	50,58	100	100	72,8	62,7	62,7
4	0	5,02	94,64	99,56	46,8	45,8	45,8
2	0	0	57,71	95,79	37,3	37,3	37,3
1	0	0	33,36	81,22	29,3	29,3	29,3
0,5	0	0	20,49	49,09	17,8	17,8	17,8
0,25	0	0	14,54	22,95	9,0	9,0	9,0
0,125	0	0	9,24	3,53	2,4	2,4	2,4
0,075	0	0	5,52	1,02	1,1	1,1	1,1
İncelik Modülü					6,09	5,86	6,00



Şekil 1. Karışım agregalarının granülometri eğrileri

Maksimum agrega tane çapı 12,5mm, 16mm ve 22,4mm olan karışımlar, sırasıyla D1, D2 ve D3 olarak kodlanmışlardır. 300kg dozajlı SSB örneklerine D11, D21 ve D31 kodları, 350kg dozajlı SSB örneklerine ise D12, D22 ve D32 kodları verilmiştir.

Tablo 3. 1m³ silindirle sıkıştırılmış beton için karışım miktarları

Karışım Kodu	Dmax (mm)	Su (kg)	Çimento (kg)	Kırmataş II (kg)	Kırmataş I (kg)	Taş Tozu (kg)	Doğal Kum (kg)
D11	12,5	102	300	-	1234	337	661
D21	16	102	300	449	785	337	661
D31	22,4	102	300	449	785	337	661
D12	12,5	119	350	-	1183	323	634
D22	16	119	350	430	753	323	634
D32	22,4	119	350	430	753	323	634

Yapılan karışım hesaplarında kıvamın kuru ve çökmenin sıfır olması için su/çimento oranı 0,34 olarak belirlenmiştir. SSB karışımında kullanılan bileşenler laboratuvar tipi mikserde karıştırılmış, üretim öncesinde betonun kıvam kontrolü yapılmıştır. ASTM C 1435/C1435M-20 [22] standardına göre silindirle sıkıştırılmış beton örnekleri üretilmiştir. Kalıplara doldurulan taze beton örnekleri kalıp üst hizasında tesviye edildikten sonra tek tabaka halinde ve 15 saniye boyunca titreşimli çekiç ile sıkıştırılmıştır (Şekil 2). Sıkıştırma işlemi sonrası kalıpta meydana gelen boşluk

SSB ile doldurulmuş ve tekrar sıkıştırma işlemi yapılarak kalıp boyutuna uygun SSB örnekleri üretilmiştir. Deneyler için 15cmx15cmx15cm boyutlarında 54 adet küp ve 10cmx10cmx50cm boyutlarında 18 adet prizmatik kiriş SSB örnekleri üretilmiştir (Şekil 3). Üretilen örnekler bir gün sonra kalıptan çıkarılarak deney günlerine kadar kür havuzunda 20-21°C sıcaklığında kirece doymun suda bekletilmiştir.



Şekil 2. SSB'nin mikserde üretimi ve titreşimli çekiç ile sıkıştırılması



Şekil 3. Küp ve prizmatik kiriş SSB örnekleri

SSB örneklerinin üretimi ve deneyler için Kırklareli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarı kullanılmıştır. Agregada özgül ağırlık ve su emme oranı tayini TS EN 1097-6 [23], agrega parçalanma direnci tayini TS EN 1097-2 [24], elek analizi TS EN 933-1[25], taze beton birim hacim ağırlık TS EN 12350-6 [26], basınç dayanımı TS EN 12390-3[27], eğilme dayanımı TS EN 12390-5 [28], ultrases geçiş hızı ASTM C 597-09 [29] standartlarına göre yapılmıştır. Ultrases geçiş hızının belirlenmesi için yapılan deneylerde Proceq marka Pundit PL-200 ultrasonik test cihazı kullanılmıştır. Ultrases geçiş hızı tespiti için dalga boyu 68,5mm olan 54kHz P dalgası duyargaları kullanılmıştır. Dalga boylarının hesaplanmasında 3700m/s'lik boyuna dalga darbe hızı kullanılmıştır. Ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme dayanımı deneylerine ait görüntüler Şekil 4'te verilmiştir.

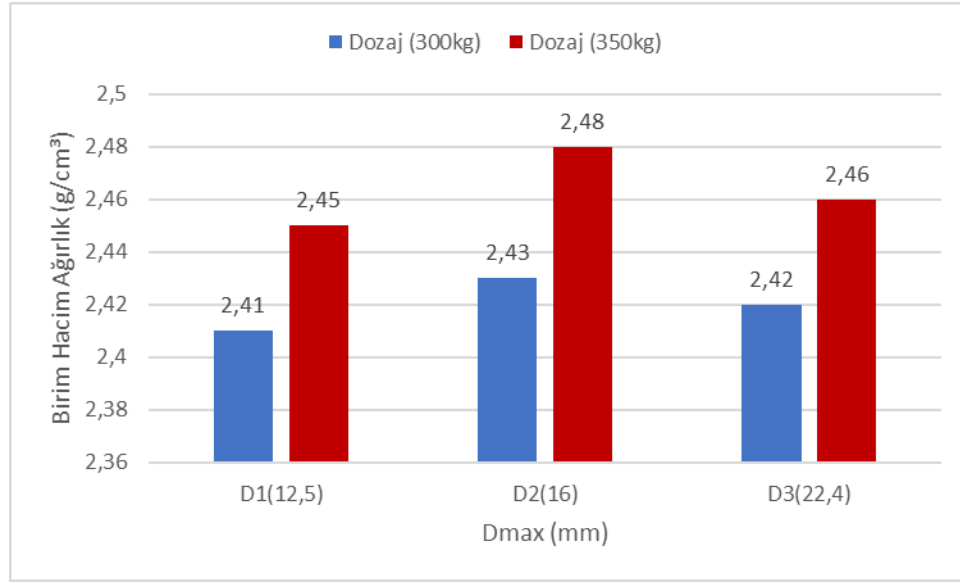


Şekil 4. Ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme dayanımı deney görüntüleri

3. Bulgular

SSB üretiminde kullanılan agregalardan kırmataş II, kırmataş I ve taş tozunun özgül ağırlıkları 2,80 doğal kumun ise 2,75 olarak bulunmuştur. Agregalar üzerinde Los Angeles parçalanma direnci tayini yapılmış, LA katsayısı 18,37 olarak belirlenmiştir. Yol kaplamalarında kullanılacak agregalarda LA değeri 30'un altında olması gerektiğinden, bu koşul sağlanmıştır.

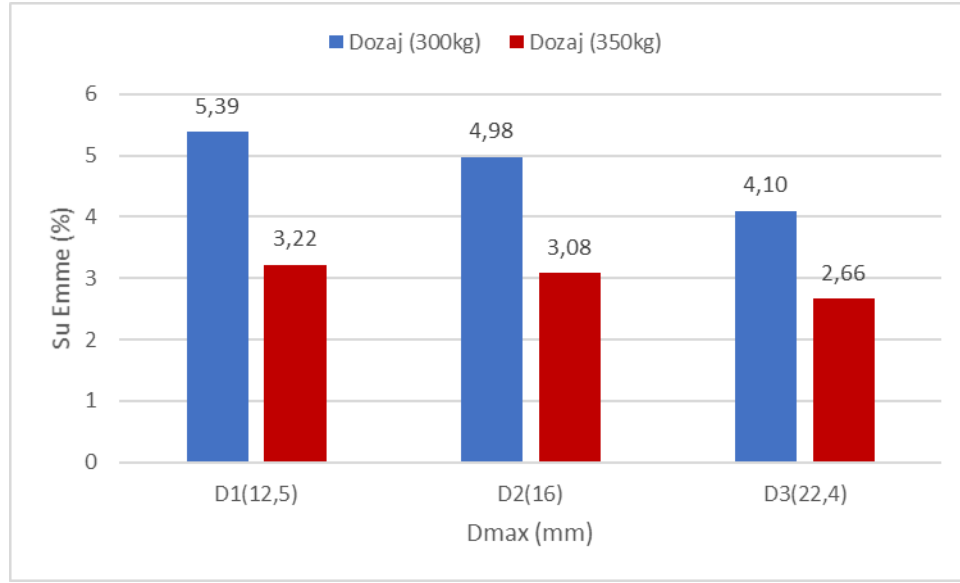
Üretilen SSB örnekleri üzerinde birim hacim ağırlık, su emme, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Her deney, 3 adet SSB örneği üzerinde yapılmış, elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması veri olarak grafiklerde kullanılmıştır (Şekil 5, 6, 7, 8 ve 9).



Şekil 5. SSB örneklerinin birim hacim ağırlık değerleri

300kg dozajlı SSB örnekleri içerisinde D1(12,5) kodlu harç örneği $2,41\text{gr/cm}^3$ olarak en düşük birim hacim ağırlık değerini, D2(16) kodlu harç örneği ise $2,43\text{gr/cm}^3$ olarak en yüksek değeri almıştır. 350kg dozajlı SSB örnekleri içerisinde en düşük değer D1(12,5) kodlu harç örneğinde $2,45\text{gr/cm}^3$, en yüksek değer ise D2(16) kodlu harç örneğinde $2,48\text{gr/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. 300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde birim hacim ağırlık değerleri birbirine yakın olmakla birlikte, dozaj arttıkça örneklerin birim hacim ağırlık değerlerinde de artış gözlenmiştir. SSB karışımlarında çimento miktarının artışı, çimentonun yoğunluğunun diğer bileşenlerden fazla olmasından dolayı birim hacim ağırlık değerlerini de artırdığı belirlenmiştir.

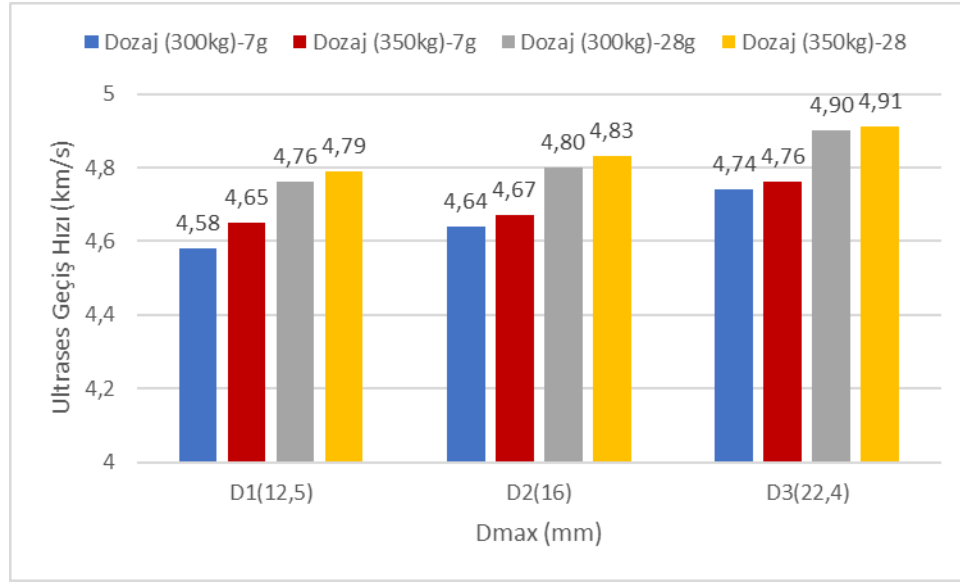
Maksimum agrega tane çapı 12,5mm, 16mm ve 22,4mm olan örneklerin birim hacim ağırlık değerleri arasında belirgin bir farklılık görülmemiştir. Bu üç grup içerisinde en yüksek birim ağırlık değerleri 16mm maksimum agrega tane çapı kullanılan karışımlarda elde edilmiştir. Eroğlu (2008) yapmış olduğu çalışmada, farklı maksimum tane boyutlu betonlarda, tane çapı küçük olan numunelerin birim ağırlıklarının da daha küçük sonuçlar verdiğini belirtmiştir [30].



Şekil 6. SSB örneklerinin su emme değerleri

300kg dozajlı SSB örneklerinin su emme miktarları, D1(12,5) kodlu örnekte %5,30, D2(16) kodlu örnekte %4,98 ve D3(22,4) kodlu örnekte %4,10 olarak belirlenmiştir. 350kg dozajlı SSB örneklerinin su emme miktarları ise D1(12,5) kodlu örnekte %3,22, D2(16) kodlu örnekte %3,08 ve D3(22,4) kodlu örnekte %2,66 olarak tespit edilmiştir.

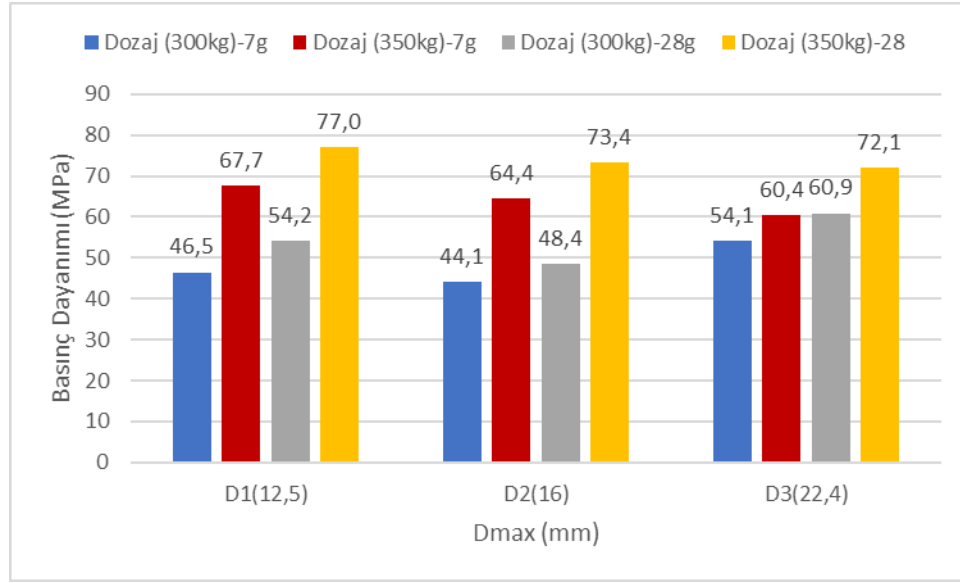
SSB karışımlarındaki çimento dozajının artması su emme miktarını azaltmıştır. 300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde maksimum agrega tane çapı (D_{max}) arttıkça su emme miktarı azalmıştır. Agrega tane çapının artması kompaziteyi arttırmıştır. Eroğlu (2008) çalışmasında kullanılan agrega karışımları arasında maksimum agrega tane çapı 31,5mm olan numunelerin kompazitenin, agrega tane çapı daha küçük olan numunelere göre daha fazla olduğunu tespit etmiştir [30].



Şekil 7. SSB örneklerinin ultrases geçiş hızı değerleri

28 günlük SSB örneklerinin 7 günlük SSB örneklerine göre ultrases geçiş hızı değerleri daha yüksek değerler almıştır. 28 günlük 300kg dozajlı SSB örneklerinde ultrases geçiş hızı değerleri, D1(12,5) kodlu örnekte 4,76km/s, D2(16) kodlu örnekte 4,80km/s ve D3(22,4) kodlu örnekte 4,90km/s olarak belirlenmiştir. 28 günlük 350kg dozajlı SSB örneklerinde ise ultrases geçiş hızı değerleri, D1(12,5) kodlu örnekte 4,79km/s, D2(16) kodlu örnekte 4,83km/s ve D3(22,4) kodlu örnekte 4,91km/s olarak tespit edilmiştir.

300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde, maksimum agrega tane çapı (D_{max}) arttıkça boşluk oranı azalmış ve buna ters orantılı olarak ultrases geçiş hızı artmıştır. Aydeniz (2012) yapmış olduğu çalışmada, maksimum agrega tane boyutu 5 mm ile 32 mm olan küp numunelerinde ultrases geçiş hızları benzerlik göstermiş, 15 mm olan numunelerde ise artış hızı en büyük değeri almıştır [31]. Eroğlu (2008) ultrases geçiş hızının maksimum dane boyutuna göre değişmediğini ancak ultrases geçiş hızının düşük çıkmasının küçük taneli numunelerde ki hava miktarının fazlalığını gösterdiğini vurgulamıştır [30]. Ayrıca, SSB karışımındaki çimento miktarının artması, ultrases geçiş hızı değerlerini de artırmıştır. Çimento hamuru agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak kompazitenin artmasına katkı sağlamıştır.



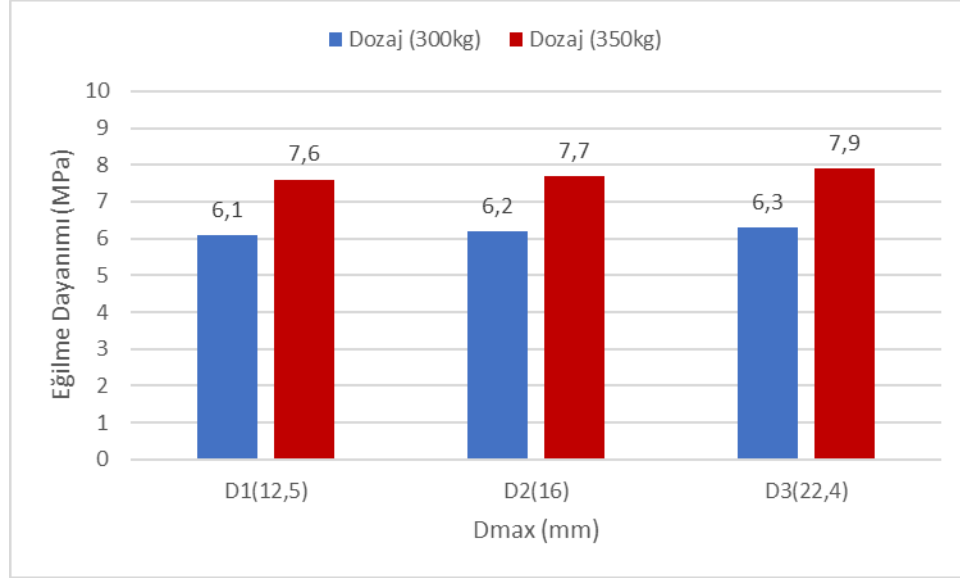
Şekil 8. SSB örneklerinin basınç dayanımı değerleri

300kg ve 350kg dozajlı SSB örnekleri incelendiğinde, karışımlarda çimento miktarı arttıkça dayanım değerlerinde de artış olduğu görülmüştür. 300kg dozajlı 7 ve 28 günlük örneklerde en yüksek basınç dayanımı değerleri D3(22,4) kodlu harç örneğinde sırasıyla 54,1MPa ve 60,9MPa olarak belirlenmiştir. 350kg dozajlı 7 ve 28 günlük örneklerde en yüksek basınç dayanımı değerleri D1(12,5) kodlu harç örneğinde sırasıyla 67,7MPa ve 77MPa olarak tespit edilmiştir.

300kg dozajda en yüksek basınç dayanımı en yüksek agrega çapına (22,4mm) sahip SSB örneklerinde, 350kg dozajda ise en yüksek basınç dayanımı en düşük agrega çapına (12,5mm) sahip SSB örneklerinde elde edilmiştir. Karışımdaki ince agrega oranının artması çimento gereksinimini artırmıştır. Çimento gereksiniminin 350kg gibi yeterli bir düzeye çıkmasıyla birlikte maksimum agrega tane çapı 12,5mm olan SSB örneklerinde en yüksek basınç dayanımı değerlerine ulaşılmıştır.

Aydeniz (2012) yaptığı araştırmada, tane çapı arttıkça beton basınç dayanımının arttığını, deney numunelerinde birim ağırlık arttıkça tane boyutuna bağlı olmaksızın basınç dayanımının da buna bağlı olarak arttığını gözlemlemiştir [31]. Eroğlu (2008) maksimum agrega tane çapı 4 mm, 8 mm ve 16 mm olan numunelerin küp ve silindir basınç dayanımlarının birbirlerine çok yakın olduğunu, betonların basınç dayanımlarının 16 mm'ye kadar tane boyutundan çok fazla etkilenmediğini

belirtmiştir. Kompozitesi yüksek olan numunelerin basınç dayanımlarının da yüksek olduğunu belirtmiştir. Ancak basınç dayanımının tane boyutundan bağımsız olduğunu gözlemlemiştir [30].



Şekil 9. SSB örneklerinin eğilme dayanımı değerleri

300kg dozajlı SSB örneklerinde eğilme dayanımı değerleri, D1(12,5) kodlu örnekte 6,1 MPa, D2(16) kodlu örnekte 6,2MPa ve D3(22,4) kodlu örnekte 6,3MPa olarak belirlenmiştir. 350kg dozajlı SSB örneklerinde ise eğilme dayanımı değerleri, D1(12,5) kodlu örnekte 7,6MPa, D2(16) kodlu örnekte 7,7MPa ve D3(22,4) kodlu örnekte 7,9MPa olarak tespit edilmiştir.

300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde maksimum agrega tane çapının artmasıyla doğru orantılı olarak az da olsa eğilme dayanımı değerlerinde artış görülmüştür. Buna rağmen, 300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde maksimum agrega tane çapı değişikliğinin eğilme dayanımı değerlerinde belirgin bir değişikliğe neden olmadığı söylenebilir.

4. Sonuçlar

Farklı maksimum agrega tane çapı kullanılarak üretilen silindire sıkıştırılmış beton örneklerinden elde edilen sonuçlar;

- Maksimum agrega tane çapı farklı olan SSB karışımlarından üretilen 300kg ve 350kg dozajlı örneklerin birim hacim ağırlık değerleri birbirine yakın değerler almıştır. Karışımlarda çimento miktarı arttıkça, örneklerin birim hacim ağırlık değerleri de artmıştır.

- 300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde maksimum agrega tane çapı arttıkça su emme miktarı azalmış, ultrases geçiş hızı ise artmıştır. Maksimum agrega tane çapının artması SSB örneklerinde daha az boşluk oluşmasını sağlamıştır.
- 300kg dozajlı karışımlarda maksimum agrega tane çapı en büyük olan D3(22,4) kodlu SSB örneği, 60,9 MPa olarak en yüksek basınç dayanımı değerini almıştır. 350kg dozajlı karışımlarda ise maksimum agrega tane çapı en küçük olan D1(12,5) kodlu SSB örneği 77 MPa olarak en yüksek basınç dayanımı değerini almıştır. Dozaj artışı, agrega granülometrisi daha ince olan karışımlardaki boşlukların dolmasını ve agrega yüzeylerinin çimento ile yeterli düzeyde kaplanmasını sağlayarak basınç dayanımı değerlerinde artışa neden olmuştur.
- 300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde maksimum agrega tane çapının artması ile birlikte eğilme dayanımlarında da artış görülmüş olmasına rağmen, birbirlerine yakın eğilme dayanımı değerleri aldıkları tespit edilmiştir.

SSB üretiminde, maksimum agrega tane çapı küçük olan ince granülometriye sahip karışımlarda çimento miktarının yeterli düzeyde olması sağlanmalıdır. Agrega granülometrisinde kopukluk olmayacak ve sıkışma sonucunda en az boşluk düzeyini sağlayacak şekilde SSB tasarımı yapılmalıdır. Ayrıca, çimento hamurunun agregalardan ayrışmaması için silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde kıvam tercihine ve sıkıştırma süresine dikkat edilmesi önerilmektedir.

Kaynaklar


- [1] Şimşek, O., Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, 4. baskı, Ankara, 2009.
- [2] Kobu, B., Üretim Yönetimi, Avcıol Basım Yayın, 11. baskı, ss. 712, İstanbul, 2003.
- [3] Pourhossein, P., Yüksek Dayanımlı Çelik Lifli Betonarme Kiriş ve Kolonlarda Çatlamalar Göz Önüne Alınarak Deplasmanların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2012.
- [4] Arslan, M., Beton, Atlas Yayın Dağıtım, 1. baskı, ss. 237, İstanbul, 2001.
- [5] Yaman, İ.Ö., Ceylan, H., Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar, Türkiye Mühendislik Haberleri, s. 487, ss. 44-61, 2015.

- [6] Sarı, D.S., Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Davranışına Lif İçeriğinin ve Dayanımının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [7] Özışık, B., Beton, Birsen Yayınevi, ss. 360, İstanbul, 2000.
- [8] Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C., Ceylan, H., Bektaş, F., Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements, Ames, USA: National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University, ss. 104, 2010.
- [9] Ağırlioğlu, N., Baraj planlama ve Tasarımı, Su Vakfı Yayınları, c. 2, ss. 259, 2005.
- [10] Portland Cement Association (PCA), Roller-Compacted Concrete Pavements for Highways and Streets, <http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2009/pdf/Halsted.pdf>, 26.10.2021
- [11] Hansen, K.D., Reinhardt, W.G., Roller Compacted Concrete Dams, New York, USA: Mc Graw-Hill, ss. 298, 1991.
- [12] Portland Cement Association (PCA), Roller-Compacted Concrete (RCC), https://www.cement.org/docs/default-source/cement-concrete-applications/sn2975.pdf?sfvrsn=414bfdbf_2, 26.10.2021
- [13] Kılıç, İ., Savaş, A.O., Farklı Tür Agregalarla Üretilen Silindirle Sıkıştırılmış Betonların Özellikleri, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9 (5), 2012-2022, 2021. DOI: 10.29130/dubited.869509
- [14] Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., Concrete-Microstructure, Properties and Materials, New York, USA: Mc Graw-Hill Professional Publishing, 3. baskı, ss. 684, 2005.
- [15] Mardani, A., Bayqra, S.H., Özen, S., Faqiri, Z.A., Ramyar, K., Silindirle Sıkıştırılmış Beton Karışımlarında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri, International Journal of Engineering Research and Development, 12(1), 61-72, 2020. DOI:10.29137/umagd.56950
- [16] Portland Cement Association (PCA), Guide Specification for Construction of Roller Compacted Concrete Pavements, <https://www.chaneyenterprises.com/files/productdocs/Guidetorcc.PDF>, 26.10.2021
- [17] Mardani-Aghabaglou, A., Bayqra, S. H., Özen, S., Altun, M.G., Faqiri, Z.A., Ramyar, K., Silindirle Sıkıştırılmış Beton Karışımlarının Tasarım Yöntemleri ve Yapılan Çalışmalar, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(3), 419-431, 2020. DOI: 10.5505/pajes.2019.93530
- [18] Khayat, K.H., Libre N.A., Wu, Z., Roller Compacted Concrete for Rapid Pavement

Construction. Technical Report, 2019.

- [19] Gök, S.G., Kılıç, I., Sengul, O., Properties of Alkali-Activated Roller Compacted Concretes Produced from Waste Aggregates, *Cement Wapno Beton*, 26(4), 352-363, 2021. DOI: 10.32047/CWB.2021.26.4.7
- [20] Kılıç, İ., Gök, S.G., Silindirle Sıkıştırılmış Atık Beton Agregasının Silindirle Sıkıştırılmış Beton Üretiminde Yeniden Değerlendirilmesi, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (3), 999-1008, 2021. DOI: 10.17798/bitlisfen.877421
- [21] Traçim Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş., Kalite Raporu (22.04.2021), Kırklareli, 2021.
- [22] American Society for Testing and Materials, Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer, ASTM C1435, 2020.
- [23] Türk Standartları Enstitüsü, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini, TS EN 1097-6, 2013.
- [24] Türk Standartları Enstitüsü, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar, TS EN 1097-2, 2020.
- [25] Türk Standartları Enstitüsü, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini-Elleme Yöntemi, TS EN 933-1, 2012.
- [26] Türk Standartları Enstitüsü, Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 6: Yoğunluk, TS EN 12350-6, 2019.
- [27] Türk Standartları Enstitüsü, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Sertleşmiş Beton Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TS EN 12390-3, 2019.
- [28] Türk Standartları Enstitüsü, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Sertleşmiş Beton Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini, TS EN 12390-5, 2019.
- [29] American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concete, ASTM C 597-09, 2009.
- [30] Eroğlu, O., Maksimum Agregada Dane Boyutunun Elastisite Modülüne Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [31] Aydeniz, S., Agregada Dane Boyutunun Beton Dayanımına Etkisi ve Su Emmesine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2012.

METRO HATLARINDAKİ RAY GERİLİMİNİ EN 50122 STANDARDINA UYGUN OLARAK SINIRLANDIRILMADA KULLANILAN YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mehmet Taciddin AKÇAY¹ 

¹ *Istanbul Büyükşehir Belediyesi, İstanbul/TÜRKİYE*

Öz

Bu çalışmada DC beslemeli raylı sistemlerde ray toprak geriliminin devre topolojisi üzerinden analizi yapılarak bu problemin çözümü için kullanılan kontrol yöntemleri karşılaştırmalı olarak anlatılmıştır. Devre modeliyle birlikte ilgili standart anlatılarak, uygulanan yöntemlerin başarı oranı önceki durumla karşılaştırılarak hesaplanmıştır. EN 50122 standardı ilgili kısımda anlatılarak işletmenin sağlaması gereken değerler verilmiştir. Çalışma için ray geriliminin düşürülmesi için işletmede tercih edilmesi muhtemel yöntemler benzetim üzerinden grafiklerle anlatılmıştır. Bu yöntemlerden besleme gerilimi değiştirilerek sistemin her bir gerilim seçiminde ayrı ayrı çalıştırılması, sistemin besleme bölgesine ek bir besleme merkezi ilave edilmesi, ray iletkenine paralel bir iletken bağlanması, araç sinyalizasyon teknolojisi yardımıyla enerjinin verimli kullanılması ve VLD (gerilim limitleme cihazı) ekipmanının kullanılması yöntemleri tercih edilerek sistem çözümlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada VLD ekipmanı çalışma algoritması verilirken yöntemlere ait elde edilen sonuçlar ve iyileştirme oranları karşılaştırmalı olarak tablo ile verilmiştir. Sonuç olarak kullanılan bu beş yöntemle sırasıyla % 12.5 ile % 56.2 arasında, % 71.4, % 54.3 ve % 74.3 başarı elde edilmiştir. Son yöntemde ise ray gerilimi kısa devreden dolayı sıfır olduğu için % 100 başarı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Analiz, Gerilim, Kontrol, Ray, Toprak.

Sorumlu Yazar: Mehmet Taciddin AKÇAY, taciddin.akcay@ibb.gov.tr

COMPARISON OF THE METHODS USED IN LIMITING RAIL VOLTAGE IN METRO LINES IN ACCORDANCE WITH EN 50122 STANDARD

Abstract

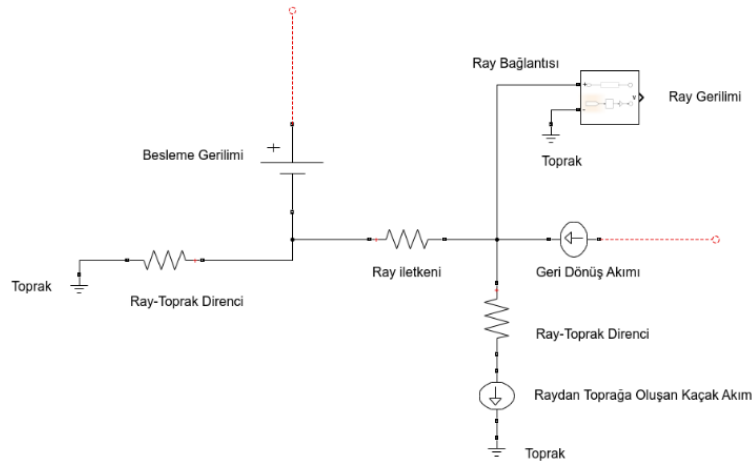
In this study, the analysis of the rail ground voltage in DC powered rail systems over the circuit topology and the control methods used to solve this problem are explained comparatively. By explaining the relevant standard with the circuit model, the success rate of the applied methods is calculated by comparing with the previous case. The EN 50122 standard is described in the relevant section and the values that the operation must provide are given. For the study, the methods that are likely to be preferred in the enterprise to reduce the rail voltage are explained with graphics by simulation. Among these methods, operating the system separately for each voltage selection by changing the supply voltage, adding an additional feeding center to the supply area of the system, connecting a conductor parallel to the rail conductor, using the energy efficiently with the help of vehicle signaling technology and using the VLD (voltage limiting device) equipment are preferred and system has been tried to be resolved. While the VLD equipment working algorithm is given in the study, the results and improvement rates obtained from the methods are given in a comparative table. As a result, success was achieved between % 12.5 and % 56.2, % 71.4, % 54.3 and % 74.3 with these five methods. In the last method, % 100 success has been achieved since the rail voltage is zero due to short circuit.

Key Words: Analysis, Control, Ground, Rail, Voltage.

1. Giriş

Raylı ulaşım sistemlerinde yapılan yatırımlar dünya genelinde hız kesmeden devam etmektedir. Yeni hatların işletmeye açılmasıyla birlikte elektrifikasyon sistemi de teknolojiyle eşgüdümlü olarak kendini yenilemektedir. Elektrikli ulaşım sistemlerinde ülkemizde ve dünyada çeşitli gerilim aralıkları kullanılırken şehir içi elektrikli raylı sistemlerin önemli bir kısmında DC gerilim tercih edilmektedir. Besleme gerilimleri belirlenirken hat özellikleri, kapasite ihtiyacı, yerel şebekenin durumu gibi birtakım etmenler etkili olurken her sistem kendi içinde bazı avantajlar sağlarken bazı olumsuz durumlara da neden olabilmektedir. AC şebeke yapısına sahip ülkelerde raylı sistem araçları ihtiyacı olan enerjiyi AC beslemeli hatlarda cer transformatörü ile elde ederken DC hatlarda bu durum farklı olmaktadır. DC beslemeli hatlarda AC gerilim DC gerilime

dönüştürülerek ihtiyaç olan enerji elde edilmektedir. DC gerilim, şehir içi hatlarda elektrifikasyon sisteminin tasarımı için optimal koşulları sağlamakla birlikte istenmeyen bazı durumların da ortaya çıkmasına neden olmaktadır. AC şebekeye enerji dönüşümü için ek olarak bağlanan ilave ekipmanlarla işletme ve bakım maliyetleri artarken sistemde bulunan redresör negatif ucunun bağlantı noktasının topraktan izole olmasının sonucunda raylarda gerilim meydana gelmektedir [1-5]. Şekil 1 ile ray geriliminin oluşumuna ait eşdeğer bağlantı devre elemanları kullanılarak ifade edilmektedir.



Şekil 1. Ray Gerilimi ve Kaçak Akımın Oluşumu

Besleme gerilimi ile aracın ihtiyacı olan akım elde edilirken araçtan kaynağa doğru dönen akım raylar vasıtasıyla sağlanmaktadır. DC beslemeli hatlarda raylar genellikle cer akımının geri dönüş iletkeni olarak kullanılmaktadır [1]. Bu tercih ekonomik nedenlerden kaynaklanmakta olup bu şekilde akımın taşınması için özel bir montaj gerekliliği ortadan kaldırılmaktadır [2]. Mükemmel yalıtım mümkün olmadığı ve rayın sonlu bir dirence sahip olmasından dolayı dönüş akımı toprağa sızar ve en az dirençli yolu tercih ederek besleme merkezine geri döner [3]. Geri dönüş iletkeni olarak rayların kullanılmasından ötürü raylarda gerilim meydana gelmektedir. Raylı sistemlerde oluşan ray geriliminin, kaçak akımların kontrol edilmesi ve EN 50122 standardının sağlanmasının gerekliliği bu çalışmasının gerekçesini oluşturmuştur. Bu gerilim literatürde dokunma gerilimi diye isimlendirilmiştir. Araç hareketleri ile raylarda ortaya çıkan kaçak akımlar cer besleme

merkezlerine yakın bir noktada raya geri dönmektedir [4]. Oluşan akım raylardan kaynağa doğru dönerken ray ile toprak farklı potansiyelde olduğu için raydan toprağa doğru kaçak akımlar ortaya çıkmaktadır. Bu akımlar raylarda ve demiryolu yakınındaki gömülü metalik yapılarda korozyona neden olmaktadır [5]. Oluşan kaçak akımları minimize etmek için kaçak akım kontrol sistemleri uygulanmaktadır [6]. Kaçak akımları azaltma yöntemleri genel olarak elektriksel direncin azaltılması ve izolasyon direncinin artırılması olarak iki temel prensibe dayanmaktadır [7]. Katodik koruma yine kaçak akımların yarattığı korozyonu azaltmak için kullanılan bir yöntemdir [8]. Oluşan korozyonun hızı dış boyu hattının yüzeyi Kaçak akımlar ve ray gerilimleri güncel metro sistemlerinde çözümlenmesi zor konulardır [9]. DC beslemeli hatlarda rayların topraktan izolasyonunun en iyi seviyede olması beklenirken bu duruma ait kriterler EN 50122 standardı ile ifade edilmiştir. EN 50162’de ise kaçak akımlar sonucu oluşan tehlikelerin derecelendirilmesine ait bazı yöntemler anlatılmaktadır [10]. Bu standart ile sistem için olması gereken minimum koşullar belirtilirken standardın üstünde elde edilen veriler için sistem daha yüksek performans sağlamaktadır. Yüksek ray gerilimi insan hayatıyla ilgili önemli derecede tehlikeli durumlar ortaya çıkarabilmektedir [11]. Yoğun işletme altında araç hareketiyle birlikte aracın ihtiyaç duyduğu akım bin amperler seviyesinde artarken rayın miliohm’lar seviyesindeki elektriksel direnci sonucu raylarda (60-100 V) gerilim düşümü oluşmaktadır [12]. EN 50122’e göre ray-toprak elektriksel direnci $2 \Omega \text{km}$ ’ye kadar izin verilirken tasarım için önerilen değer ise $100 \Omega \text{km}$ mertebesindedir [13]. Akım yoğunluğu dış ortamın ve yüzeyin elektriksel iletkenliğine bağlıdır [14]. Bu çalışmada ray gerilimi ve kaçak akımların azaltılması için uygulanması önerilen bazı yöntemler verilerek benzetim üzerinden analiziyle performans durumlarının karşılaştırılması olarak anlatılması amaçlanmıştır

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada DC beslemeli bir raylı sistem hattında elektrifikasyon sistemine ait eşdeğer devre modellenerek Matlab/Simulink ortamında benzetimi yapılmıştır. Benzetim için alt sistemlere ait veriler kullanılmıştır. Oluşturulan model ile ray gerilimini ve kaçak akımı azaltmak için alınan tedbirler bu devre üzerinden çözümlenmiştir. 2.1’de anlatılan devre topolojisi üzerinden benzetim modeli oluşturularak farklı yöntemler üzerinden sistem test edilmiştir. I. yöntemde Besleme

gerilimi değiştirilerek sistem her bir gerilim seçimi için ayrı ayrı çalıştırılırken II. yöntemde sistemin besleme alanına ek bir besleme merkezi konumlandırılarak sistem bu şekilde çalıştırılmıştır. III. yöntemde ise ray iletkenine paralel bir iletken bağlanarak devre tamamlanmıştır. Burada raylarda bulunan elektriksel direncin düşürülmesi hedeflenmiştir. IV. yöntemde ise enerji optimizasyonu seçeneğiyle araçların birbiriyle haberleşme altyapısı ile bilgi alışverişinde bulunduğu durum gözönüne alınarak araçların aynı anda pik değerlerde akım çekmesinin önüne geçilerek besleme merkezlerinin daha az faaliyet göstermesi sağlanmıştır. Son yöntemde ise VLD ekipmanı ile ray gerilimi değerine bağlı olarak ray toprak arasını kısa devre eden bir cihaz uygulanmıştır.

2.1. Devre Topolojisi

DC beslemeli bir raylı sistem hattının işletme halinde olduğu iki besleme merkezi arası bölgenin temsil edildiği eşdeğer devre şekil 2 ile gösterilmiştir. Bu model ile 2.5 km'lik bir bölgede 4 adet aracın işletme altında olduğu durum ifade edilmiştir.

Vh1 ile Vh2 karşılıklı DC cer besleme merkezlerine ait kaynak gerilimini ifade etmektedir. Bu iki nokta arasındaki numerik aralıklara yerleştirilen dirençlerden her biri 0.5 km'lik mesafelere eşdeğer hat dirençlerini simgelemektedir. (1) denklemini ile n. araca ait hattın çekilen akım I_n hesaplanırken r ray gerilimine ait direnci simgelemektedir. t ray-toprak direncini ifade ederken k ile katener (3.ray) hattına ait direnç gösterilmiştir. V ray gerilimini göstermekte olup Vh1 kaynak geriliminin eksi ucuna bağlı olan kısım 0 noktasını göstermektedir. r_n . direnç ile r_{n+1} . direnç arasındaki kısım n. noktayı temsil etmektedir.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{r_n} & \frac{1}{r_{n+1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{n-1} \\ V_{n+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{r_n} + \frac{1}{r_{n+1}} + \frac{1}{t_{n+1}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_n \\ 0 \end{bmatrix} - [I_n] \quad (1)$$

(1) nolu denklem bazı matris işlemleri yapılarak geliştirildiğinde ise (2) nolu eşitlik elde edilerek n. noktaya ait ray gerilimleri hesaplanmaktadır.

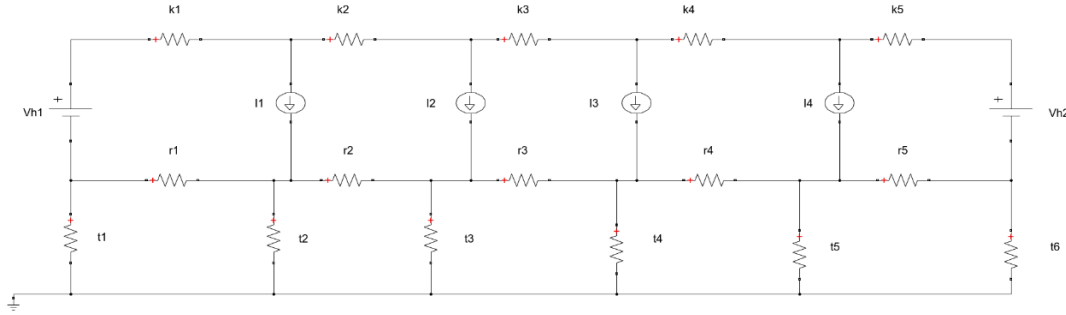
$$\begin{bmatrix} V_n \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{r_n} + \frac{1}{r_{n+1}} + \frac{1}{t_{n+1}} & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{1}{r_n} & \frac{1}{r_{n+1}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{n-1} \\ V_{n+1} \end{bmatrix} + [I_n] \quad (2)$$

(3) ile n. araca ait güç denklemi verilirken V_{arac} araç üzerindeki gerilimi ifade ederken, P_n n. araca ait gücü göstermektedir.

$$P_n = V_{arac} I_n \quad (3)$$

(4) eşitliğinde ise aracın çektiği güç araca etkiyen cer kuvveti (F) ve aracın hızı (v) kullanılarak elde edilen eşitlik verilmektedir.

$$P_n = Fv \quad (4)$$



Şekil 2. İşletme Altında DC Demiryoluna ait Eşdeğer Devre

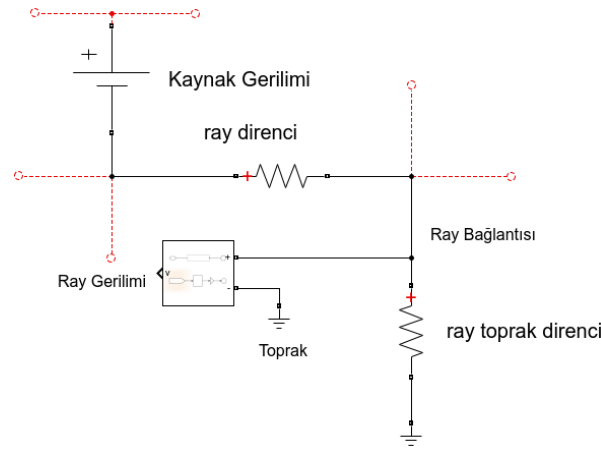
Cer kuvveti hız eğrisi araca ait karakteristik bir özellik olup araç üreticisinin konfigürasyonuna göre değişiklik gösterebilmektedir. İşletme altında olan araç sayısı ise (5) denklemi ile elde edilmektedir. A araç sayısı iken Δt iki nokta arasında gerçekleşen seyir süresini ifade etmektedir. h ise raylı sistem işletmesinde sinyalizasyon sistemi için çok önemli bir parametre olan sefer sıklığı süresini göstermektedir [15].

$$A = \Delta t/h \quad (5)$$

DC demiryollarında sistem güç elektroniği dönüştürücüleri, ray, elektrik motoru, kontrol sistemi ve mekanik sistemleri içeren kompleks bir yapıya sahiptir [16].

2.2. Ray Gerilimi

Ray iletkeni DC hatlarda hem geri dönüş iletkeni hem de araç hareketlerinin kontrolü için sinyalizasyon devrelerinin parçası olarak kullanılmaktadır [17]. Eksi uç olarak kullanılan ray hattı ile toprak iletkeni arasında meydana gelen gerilim ray gerilimi olarak ifade edilmektedir. Bu gerilim şehir içi hatlarda yolcu emniyeti ve işletme tarafından bakım dönemlerinde hat çalışmaları için tehlike unsuru olarak görüldüğü için işletme için gereken tedbirler alınmaktadır. Şekil 3 ile ray gerilimine ait şematik verilmektedir.



Şekil 3. Ray Gerilimi

(6) ve (7) nolu eşitlikler ile ray gerilimi ve ray akımına ait denklemler verilmekte olup burada $V(x)$ ve $i(x)$ gerilim ve akımı ifade etmektedir. Ray iletkenine ait karakteristik direnç R_0 ile gösterilirken C_1 ve C_2 ilgili katsayıları göstermektedir. R_G kaçak iletkenlik olurken R ise ray direnci olarak ifade edilmiştir. γ sembolü ise propogasyon sabitini belirtmektedir.

$$V(x) = -R_0(C_1 e^{\gamma x} + C_2 e^{-\gamma x}) \quad (6)$$

$$i(x) = C_1 e^{\gamma x} + C_2 e^{-\gamma x} \quad (7)$$

Oluşan ray gerilimi hatta bulunan unsurlar için temas riskini bulunduğundan dolayı bu gerilim ayrıca dokunma gerilimi olarak tanımlanarak alınacak tedbirler bu doğrultu özelinde de değerlendirilmektedir.

2.3. Kaçak Akımlar

İşletme altında raylı sistem araçlarının hareketiyle oluşan ray gerilimi neticesinde oluşan akım güzergahın jeolojik yapısına ve ray izolasyon sisteminin özelliklerine bağlı olarak ortaya çıkan ray-toprak direncinin üzerinden toprağa akmaktadır. Bu durum literature kaçak akım olarak girmiş olup ray altında bulunan ekipmanların ve alt sistemlerin performansına olumsuz etkiler yol açmaktadır. Kaçak akımın değerini azaltmak için ray ile toprak arasındaki izolasyon seviyesinin sonsuz derecede olması istenilse de pratikte hat koşullarının zorluğundan dolayı EN 50122 standardının sağlanması kabul kriteri sayılmaktadır.

(8) ve (9) nolu eşitlikler ile tren hareketleri geçişinden sonra hatta oluşan korozyon yükleri hesaplanmaktadır. $CCC_{(x)}$ toplam kümülatif korozyon yükünü belirtirken, $i_{korozyon}$ korozyon akımını $C_{korozyon}$ ise korozyon yüklenmesini simgelemektedir.

$$CCC_{(x)} = \iint i_{korozyon}(x, t) dt \quad (8)$$

$$dt = \int_T C_{korozyon}(x) dt \quad (9)$$

Kümülatif korozyon yükü hatta meydana gelen korozyon yüklerinin toplamından oluşmaktadır. Korozyon yükü hattın ömründe korozif etkinin derecesini gösteren önemli bir etkeni tanımlamaktadır. Ray gerilimi sonrasında oluşan kaçak akımlar ana besleme sisteminden çıkıp çıktığı kaynağa geri dönmemesi açısından kayıp akım olarak değerlendirildiği için elektrifikasyon sisteminin veriminin de düşmesine neden olmaktadır. Bu durumdan ötürü kaçak akım hem sistem emniyet hem performans kriterleri açısından minimize edilmesi gereken bir değerdir.

2.4. EN 50122 Dokunma Gerilimi Limitleri

Ray gerilimi hatta bulunan unsurlara yakınlığından dolayı dokunma gerilimi standartlarına uyumluluk esaslarını gerektirmektedir. Bu konuyla ilgili olarak EN 50122 standardı uygulanmakta olup tasarım yapılırken ray-toprak gerilimi araç hareketleri ve elektrifikasyon sistemini kapsayan detaylı analiz çalışmaları ile incelenmektedir. Bu doküman literatüre cer gücü analizi olarak girmiş olup ray gerilimi analizi bu çalışmanın bir kolunu oluşturmaktadır. Tablo 1 ile EN 50122'ye ait değerler verilmektedir.

Tablo 1. Dokunma gerilimine ait standart [EN 50122]

t (s)	Ute max (V)uzun süreli	Ute max (V) kısa süreli
> 300	120	-
300	150	-
1	160	-
0,9	165	-
0,8	170	-
0,7	175	-
< 0,7	-	350
0,6	-	360
0,5	-	385
0,4	-	420
0,3	-	460
0,2	-	520
0,1	-	625
0,05	-	735
0,02	-	870

t : süre
Ute max: izin verilen temas gerilimi

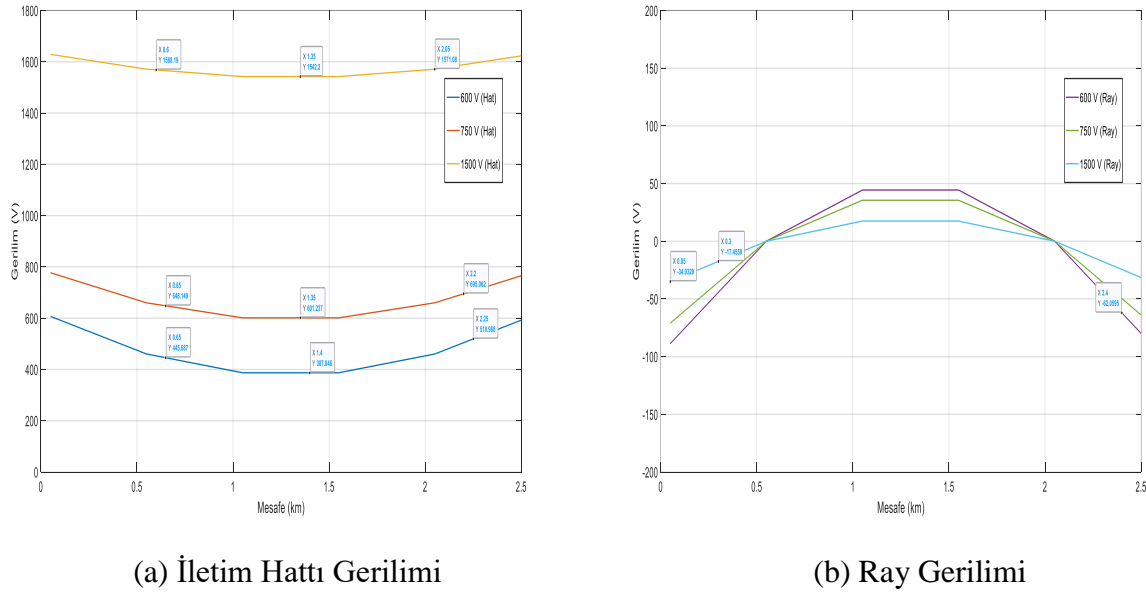
Bu standarda göre ray geriliminin 5 dakikadan uzun süre boyunca 120 V sınır değerinin üzerinde olmaması gerekmektedir. Bu değer 1 saniye ile 300 saniye arasındaki durumlar için 150 V olarak belirlenmiştir. Bu değer 0.6 saniyeden büyük 0.7 saniyeden küçük olarak gerçekleşen durumlar için 360 V'u geçmemelidir. Tablodan görüldüğü üzere dokunma gerilimi kısa süreler için daha yüksek rakamlara ulaşırken uzun süreler için daha az olmaktadır. Ray gerilimi analiz edilirken oluşan gerilimin bu süreler içinde bu limit değerlerin altında kalıp kalmadığı kontrol edilirken limit dışı durumlar için ilave tedbirlerin alınması gerekmektedir.

3. Bulgular

Bu çalışmada DC beslemeli bir raylı sistem hattının elektriksel olarak modellenmesi yapılarak ray gerilimi analizi yapılmıştır. Benzetim için gerçek hat verilerine ait özelliklerden yararlanılmıştır. Benzetim için farklı besleme gerilimlerinin tercih edilmesi, ek cer merkezinin sisteme ilave edilmesi, ray iletkenine paralel iletken bağlanması, araç trafiğinde enerji optimizasyonunun kullanılması, gerilim limitleme cihazlarının kullanılması gibi yöntemler uygulanarak ray geriliminin değişimi gözlemlenmiştir.

3.1. DC İletim Hattı Besleme Geriliminin Değiştirilmesi

Benzetim için EN 50163 standardında bulunan demiryollarında cer besleme gerilimleri seçilerek sistem test edilmiştir. Diğer tüm koşullar aynı bırakılarak ray geriliminin ve katener (3.ray) geriliminin değişimi izlenmiştir. Şekil 4’de bu duruma ait grafik gösterilmektedir.



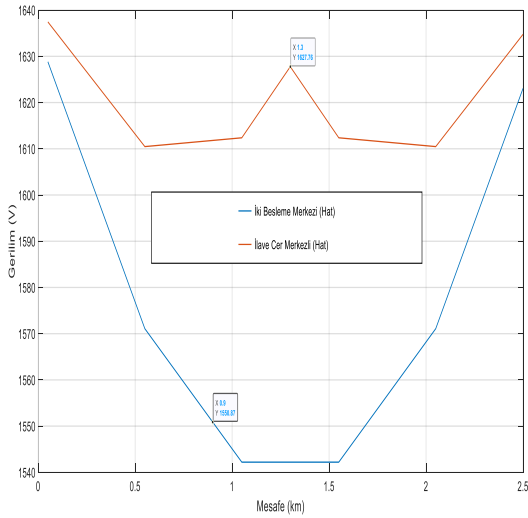
Şekil 4. Farklı DC Gerilim Seviyelerinde Ray ve İletim Hattı Geriliminin Değişimi

Şekil 4 (a)’da görüldüğü üzere iletim hattı gerilimleri sarı, turuncu ve mavi renk ile gösterilmiş olup sırasıyla bu renkler 1500, 750 ve 600 V besleme gerilimine karşılık gelmektedir. Şekil 4 (b)’de Ray geriliminde ise bu gerilim seçimleri mavi, yeşil ve mor renk ile gösterilmiştir. Sisteme

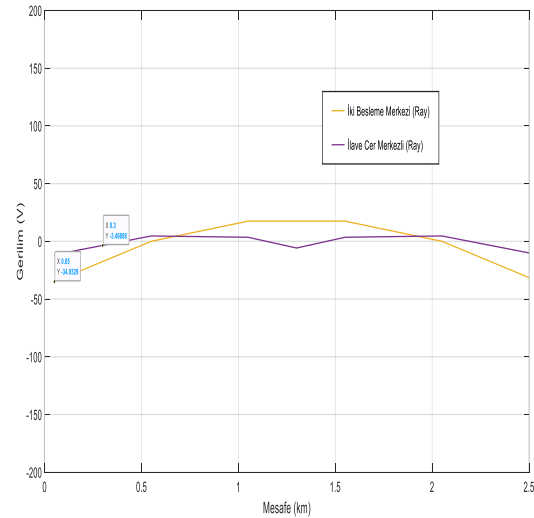
600 V, 750 V ve 1500 V besleme gerilimleri uygulanarak değişim incelenmiştir. Ray gerilimin en yüksek değeri aldığı gerilim seviyesi 600 V kaynak gerilimi olurken en düşük değeri aldığı kaynak gerilimi 1500 V olmuştur. 750 V seçiminde ise bu iki gerilim seviyesinin arasında gerçekleşen değerler gözlemlenmiştir. 600 V seviyesinde en yüksek (mutlak değer) ray gerilimi 80 V civarında gerçekleşirken 1500 V seviyesinde bu değer 35 V olmuştur. 750 V seçiminde ise bu değer 70 V olmuştur.

3.2. Sisteme Ek Cer Merkezinin İlave Edilmesi

Bu durumda aynı hat gerilimi ve diğer hat özellikleri sabit tutularak iki cer besleme noktası arasına ilave cer besleme merkezi ilave edilmesi durumundaki değişim incelenmiştir. DC Raylı sistem işletmelerinde yaygın olarak 1500 V DC kullanıldığı için bu gerilim durumu analiz edilmiştir. Değişimle ilgili grafik şekil 5’te gösterilmiştir.



(a) İletim Hattı Gerilimi



(b) Ray Gerilimi

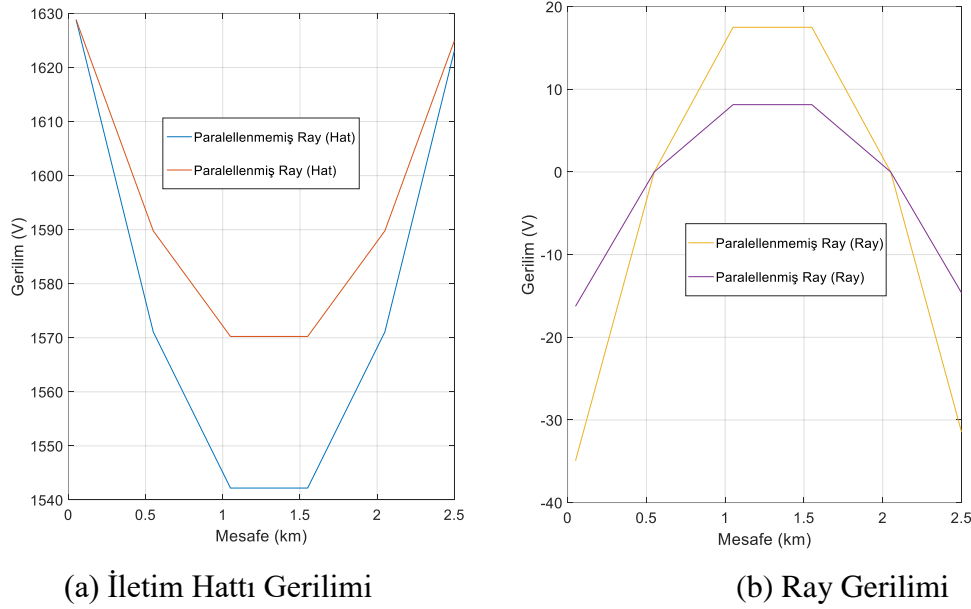
Şekil 5. İlave Cer Merkezi Eklenmesi Durumuna ait Grafik

Şekil 5 (a) ile mavi renk ile iki besleme merkezi olması durumu gösterilirken turuncu renk ile bir cer merkezinin sisteme ilave edilmesi durumundaki değişim gösterilmiştir. Şekil 5 (b)’de ise bu durumun gösterimi için sarı ve mor renkleri seçilmiştir. İlave cer merkezi eklenmeden önce 35 V

seviyelerinde gerçekleşen en yüksek ray gerilimi cer merkeziyle birlikte 10 V seviyelerinde gözlemlenmiştir. İlave cer merkeziyle birlikte hatta gerçekleşen gerilim düşümü azalarak hat gerilimi daha yüksek mertebelere ulaşırken ray gerilimi daha düşük mertebelerde gerçekleşmiştir. Bu yöntem işletmeye alınan hatlarda araç sayısı artırılınca yüksek gerilim düşümünün ve cer merkezlerine düşen akım yükünün azaltılması yönünden uygulanmaktadır. Bu çözüm bu sayılanlara ek olarak ray geriliminin düşürülmesinde de kullanılmaktadır.

3.3. Ray İletkenine paralel iletken bağlanması

Bu durumda ray iletkenine paralel bir iletken bağlanarak eşdeğer direncin düşürülmesi hedeflenmektedir. Pratikte bu yöntem 250 metrede bir raylar arası bağlantı yapılarak uygulanırken bu çalışmada hat boyunca bir paralel iletkenin bağlanması durumu incelenmiştir. Direncin düşmesiyle ray üzerinde oluşan gerilim düşümü azalarak ray üzerinden geçen akım limitlenmektedir. Bu yönetime ait sonuçlar şekil 6'da gösterilmektedir.



(a) İletim Hattı Gerilimi

(b) Ray Gerilimi

Şekil 6. Ray İletkenlerinin Parallellenmesi ile Oluşan Sonuçlar

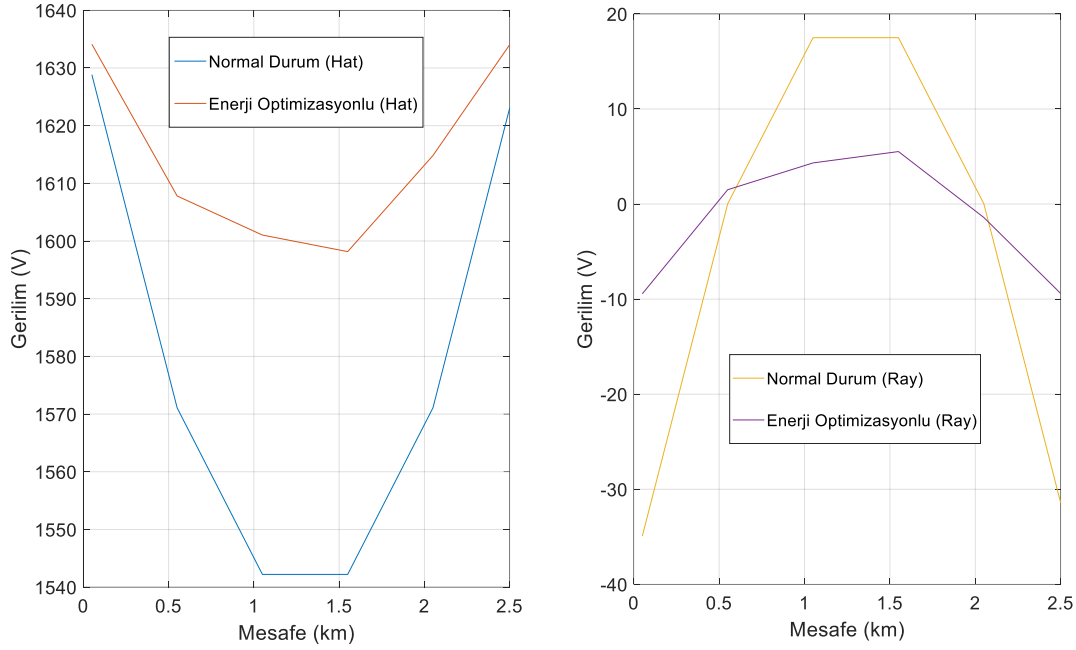
Şekil 6 (a) ile mavi renk ile rayların paralellenmediği duruma ait hat gerilimi sonuçları gösterilirken turuncu renk ile rayların paralellenmediği duruma ait gerilim sonuçları gösterilmiştir. Şekil 6 (b)'de

ise bu durum için sarı ve mor renkleri seçilmiştir. Raya bağlanan paralel iletkenin direnci 0.02 ohm/km seçilmiş olup hat boyunca raylara paralelleme işlemi yapılmıştır. Paralel ray bağlantıları yapılmadan önce ray gerilimi 35 V seviyelerinde görülürken paralelleme işleminin ardından bu değer 16 V seviyelerine kadar indirilmiştir. Bu yöntemle ray geriliminin yanısıra iletim hattı geriliminde de iyileşme sağlanarak hat geriliminin daha yüksek mertebelerde gerçekleşmesi sağlanmıştır. Parallellenmeden önce en düşük hat gerilimi 1570 V olarak kayıt edilirken paralelleme ile bu değer 1542 V civarına düşürülmüştür.

3.4. İşletme Araç Trafik Yönetiminde Enerji Optimizasyonu

Bu kısımda işletme halinde olan araçların haberleşme sistemi arayıcılığıyla bir yazılım alt yapısıyla birlikte enerji optimizasyonu sağlanarak sefer sıklığı hedefinden sapmadan işletilmesi amaçlanmaktadır. Bu şekilde araçların maksimum güç tüketimi trendlerinin çakışması engellenerek hattan çekilen akımın minimize edilmesi sağlanmaktadır. Bu çalışmaya ait grafik şekil 7 ile gösterilmektedir. Raylı sistemlerde enerji tasarrufu enerji fiyatındaki dalgalanmalardan dolayı çok önemli bir konudur [18].

Şekil 7 (a) ile mavi renk ile normal duruma ait hat gerilimi sonuçları gösterilirken turuncu renk ile enerji optimizasyonu uygulandığındaki duruma ait gerilim sonuçları gösterilmiştir. Şekil 7 (b)'de ise bu durum için sarı ve mor renkleri tercih edilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere enerji optimizasyonu ile ray geriliminde ve hat geriliminde daha verimli eğriler elde edilmiştir. Enerji optimizasyonu ile araçların manevra hareketleri kontrol edilerek maksimum güç tüketim eğrilerinin çakışması engellenmiştir. Bu durumda hattan çekilen akım ve hat üzerinde oluşan gerilimde azalma meydana gelmiştir. Ray geriliminin en yüksek değeri normal durumda 35 V olarak kayıt edilmişken enerji optimizasyonu ile bu değer 10 V'lara kadar düşürülmüştür. Hat geriliminde ise 56 V civarında iyileşme sağlanmıştır.



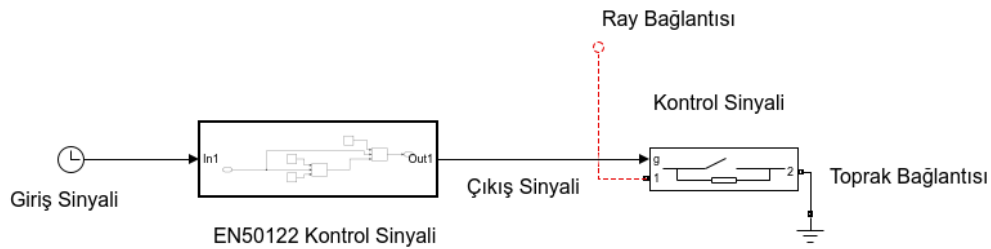
(a) İletim Hattı Gerilimi

(b) Ray Gerilimi

Şekil 7. Enerji Optimizasyonlu Durumda Ortaya Çıkan Durum

3.5. Gerilim Sınırlandırılması için Ek Cihazların Kullanılması

Ray gerilimlerini azaltmanın bir diğer yöntemi ise gerilim sınırlayan ilave cihazların (VLD) raya bağlanmasıdır. Bu yöntemde ray gerilimi belirli aralıklarla ölçülerek EN 50122 standardının sağlanması kontrol edilmektedir. Ray gerilimi limit dışı değerler aldığı anda sistem topraklanarak ray gerilimi azaltılmaktadır. Şekil 8 ile VLD cihazına ait elektriksel model gösterilmektedir.



Şekil 8. VLD Cihazının Elektriksel Modeli

Ray gerilimi limit içi değerlere ulaştığında ise sistemin toprak bağlantısı kaldırılarak nominal durumdaki işletme koşullarına devam edilmektedir.

3.5.1. VLD Algoritması

VLD cihazı ray gerilimini ölçerken bazı adımlar gerçekleşirken sisteme ait çalışma şartlarının standart dışına çıkmaması sağlanmaktadır. Bu adımlara ait çalışma algoritması şekil 9 ile gösterilmektedir.



Şekil 9. VLD Çalışma Algoritması

Sistem belirli zaman aralıklarının ray toprak potansiyel farkını ölçerek EN 50122 standardına uyum kriterlerine ait denetleme sağlarken limit dışı durumlarda toprakla kısa devre gerçekleştirmektedir. Kısa devre durumunun ardından sistem nominal koşullara dönerken VLD cihazı sahadan tekrar ölçüm almaya devam etmektedir. Bu durum standartta belirtilen koşulların sağlanmasında süreklilik elde edilene kadar devam ettirilmektedir. Bu adımlarla ray gerilimi kontrol altına alınmaktadır.

4. Tartışma ve Bulgular

Ray geriliminin kontrol edilmesi için uygulanan yöntemlerin sonuçlarına ait özet durum tablo 2 ile gösterilmiştir. Yöntemler uygulanmadan ve uygulandıktan sonra ortaya çıkan durum ifade edilerek karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 2. Uygulanan yöntemlere ait özet durum

Uygulanan Yöntem	Yöntem Öncesi Ray Gerilimi (V)	Yöntem Sonrası Ray Gerilimi (V)	İyileştirme Oranları (%)
DC İletim Hattı Besleme Geriliminin Değiştirilmesi	80 V	70 V - 35 V	12.5 – 56.2
Sisteme Ek Cer Merkezinin İlave Edilmesi	35 V	10 V	71.4
Ray İletkenine paralel iletken bağlanması	35 V	16 V	54.3
İşletme Araç Trafiği Yönetiminde Enerji Optimizasyonu	35 V	9 V	74.3
Gerilim Kontrolü için Ek Cihazların Kullanılması	35 V	0	100

Uygulanan kontrol yöntemleriyle ilgili olarak performans değerlendirmesi yapıldığında tablodan anlaşıldığı üzere en iyi yöntem VLD cihazının sisteme bağlanmasıyla elde edilmiştir. Sonrasında bu yöntemi sırasıyla; işletme araç trafiği yönetiminde enerji optimizasyonu, sisteme ek cer merkezinin ilave edilmesi ve DC iletim hattı besleme geriliminin değiştirilmesi izlemektedir. Performans bakımından en düşük sonuç ise ray iletkenine paralel iletken bağlanması yöntemiye sağlanmıştır. VLD yönteminin gerilim iyileştirme oranı sistemin çalışma mantığından dolayı % 100 olarak elde edilmiştir. [1] nolu çalışmada simülasyon modeli ile araç hareketleri ile oluşan ray geriliminin % 50 oranında azaltıldığı belirtilmiştir. Bu yayında gömülü iletken modeli tercih edilerek ray-toprak potansiyelin azaltılması hedeflenmiştir. [2]'de tasarlanan emulator yardımıyla dokunma gerilimi ve kaçak akımların tahmini yapılmıştır. İki besleme merkezi arası 50 V'a kadar

çıkaran ray gerilimi durumuyla ilgili olarak devresel parametrelerin elde edilmesi anlatılarak gerçekleşen durum yüksek doğrulukla hesaplanmıştır. [3] nolu çalışmada kaçak akım korozyon yayılımının önlenmesi için test ve bakım yöntemlerinin uygulanması ifade edilmiştir. EN 50122 standardının yakalanması için yapılması gereken kaçak akım ölçüm testleri özellikle vurgulanmıştır. [4]'de kaçak akım sistemi için önerilen Base modeli ile kaçak akımların % 44'e kadar toplandığı belirtilmiştir. [5] nolu çalışmada tristör topraklı sistemin tercih edilmesi durumunda tehlikeli gerilimlerin % 0.14 seviyesinde gerçekleştiği anlatılmıştır. [6] ile yapılan çalışmada gerçekleştirilen bilgisayar simülasyonu ile ray gerilimi ve kaçak akımlar modellenerek raylar arası çapraz bağlama yöntemiyle ray geriliminde % 20 oranında iyileştirme sağlanmıştır. [7] nolu çalışmada EN 50122 standardı vurgulanarak ray geriliminin azaltılması kategorize edilmiştir. Ray-toprak arası izolasyon direncinin yüksek mertebelerde olması gerektiği belirtilmiştir. [8]'de ise akım izleme bazlı yeni bir yaklaşımla kaçak akım kontrolü sağlanarak ΔE hatasında başarı sağlanmıştır. Bu çalışmada ise VLD sisteminin başarısını değerlendirme dışı bırakırsak ray geriliminin iyileştirilmesi için ek cer merkezinin ilavesi ile % 71.4 iyileştirme başarısı elde edilmiştir. VLD sistemi gözönüne alındığında ise çok yüksek bir başarı sağlandığı ortaya çıkmaktadır. VLD cihazı yüksek performansına ve ray gerilimi konusunda önemli katkıda çözüm sunmasına rağmen sürekli devrede olan ve sürekli güç tüketen bir ekipman olduğu için bazı işletmeler sisteme ilave bir yük getirilmeden sistemi kalıcı olarak çözüme seçeneklerini değerlendirebilmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada DC beslemeli raylı sistemlerde ray geriliminin kontrol edilerek EN 50122 limitleri içinde kalması için uygulanan yöntemler anlatılmıştır. DC raylı sistem elektrifikasyon sisteminde ortaya çıkan ray gerilimi devre topolojisi üzerinden anlatılarak sonrasında sistemin modellenmesi yapılmıştır. EN 50122 limitleri tablo üzerinden verilerek saniye bazında hangi gerilim aralığının sağlanması gerektiği ifade edilmiştir. VLD cihazının sisteme bağlanması, işletme araç trafiği yönetiminde enerji optimizasyonu, sisteme ek cer merkezinin ilave edilmesi, DC iletim hattı besleme geriliminin değiştirilmesi ve ray iletkenine paralel iletken bağlanması yöntemleri uygulanarak sağlanan başarılar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yöntemler uygulanırken kullanım

yaygınlığından dolayı nominal besleme gerilimi olarak 1500 V DC tercih edilmiştir. İşletme koşulları iki besleme merkezi arasında 4 adet raylı sistem aracının aktif olması durumu benzetilerek ve diğer hat parametreleri girilerek oluşturulmuştur. Besleme gerilimleri olarak EN 50163 ile uyumlu olarak 600 V DC, 750 V DC ve 1500 V DC gerilimleri kullanılmıştır. Ray gerilimi özellikle şehir içi hatlarda olmak üzere sisteme bağlı ekipmanların sağlıklı işletilebilmesi ve sistem emniyet kriterleri bakımından kontrol edilmesi gereken bir unsurdur. Dokunma geriliminin sınırlandırılması için sistem emniyet kriterlerinin en önemli hususlarından biri insan hayatının korunması ve olası iş kazalarının önlenmesi olduğundan dolayı bu durum özellikle takip edilmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte raylı sistem endüstrisinde yaşanan problemlerin çözümü için işletmenin karmaşıklığına en uygun yeni keşifler sisteme entegre edilmektedir. Mevcut klasik yöntemler önemini ve geçerliliğini korumakla birlikte işletmesel verilerden yararlanarak uygulanan yapay zeka, machine learning tabanlı yazılımlarla problemler önceden tespit edilerek çözümler için dinamik bir yanıt sağlayabilmektedir. Bu bilgiler ışığında çalışmada anlatılan yöntemlerin uygulanış biçimleri ve uygulanma zamanları yazılımlarla desteklenerek seçilen yöntemlerin başarısı arttırılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Xu, S.,Y., Li, W., Wang, Y., Q. Effects of Vehicle Running Mode on Rail Potential and Stray Current in DC Mass Transit Systems. Vehicular Technology, IEEE Transactions on. 62, (2013), 3569-3580.
- [2] Ibrahem, A., Elrayyah, A., Sozer, Y., Abreu, A. DC Railway System Emulator for Stray Current and Touch Voltage Prediction. IEEE Transactions on Industry Applications. 53(1), 2017, 439-446.
- [3] Memon, S. A., Fromme, P. Stray current corrosion mitigation, testing and maintenance in DC transit system. International Journal of Transport Development and Integration. 1(3), (2017), 511-519.
- [4] Charalambous, C., Cotton, I., Aylott, P., Kokkinos, N. A Holistic Stray Current Assessment of Bored Tunnel Sections of DC Transit Systems. Power Delivery, IEEE Transactions on. 28, (2013), 1048-1056.

- [5] Alamuti, M., M., Nouri, H., Jamali, S., Effects of earthing systems on stray current for corrosion and safety behaviour in practical metro systems, *IET Electr. Syst. Transp.*, 1, (2011), 69–79.
- [6] Tzeng, Y., S., Lee, C.,H. Analysis of Rail Potential and Stray Currents in a Direct-Current Transit System. *Power Delivery, IEEE Transactions on.* 25, (2010), 1516 - 1525.
- [7] Vranesic, K., Serdar, M., Lakusic, S. Analysis of electrical potential and stray currents at DC transit system. *International Conference on Sustainable Materials, Systems and Structures (SMSS 2019)*, 40-44.
- [8] Brenna, A., Lazzari, L., Ormellese, M. Stray current control by a new approach based on current monitoring on a potential probe. *Corrosion Engineering, Science and Technology.* 52(5), (2017), 359-364.
- [9] Yang, X., Hao, X., Zheng, T. Stray Current and Rail Potential Dynamic Simulation System Based on Bidirectional Variable Resistance Module. *Diangong Jishu Xuebao/Transactions of China Electrotechnical Society.* 34, (2019), 69-81.
- [10] Zakowski, K. The determination and identification of stray current source influences on buried pipelines using time/frequency analysis. *Anti-corrosion Methods and Materials - Anti-Corros Method Mater.* 56, (2009), 330-333.
- [11] Du, G., Wang, C., Liu, J., Li, G., Zhang, D. Effect of Over Zone Feeding on Rail Potential and Stray Current in DC Mass Transit System. *Mathematical Problems in Engineering.* 2, (2016), 1-15.
- [12] Niasati, M., Gholami, A. Overview of stray current control in DC railway systems. *International Conference on Railway Engineering,* (2008), 1 - 6.
- [13] Charalambous, C., Buxton, D., Aylott, P. Practical Contemplation of Stray Current Calculation and Monitoring in DC Mass Transit Systems. *IEEE Vehicular Technology Magazine.* 11(2), (2016), 24-31.
- [14] Susanto, A., Koleva, D., Copuroglu, O., Beek, K., Breugel, K. Mechanical, Electrical and Microstructural Properties of Cement-Based Materials in Conditions of Stray Current Flow. *Journal of Advanced Concrete Technology.* 11, (2013), 119-134.
- [15] Akçay, M., T., Kocaarslan, İ. Simulation of Multi-Vehicle Signaling System with Matlab / Simulink and Design of Train Timetable, *Journal of Science and Engineering,* 6, (2019), 799-807.
- [16] He, J., Yu, L., Wang, X., Song, X. Simulation of transient skin effect of DC railway system based on MATLAB/simulink. *Power Delivery, IEEE Transactions on.* 28, (2013), 145-152.



[17] Ogunsola, A., Mariscotti, A., Sandrolini, L. Estimation of Stray Current From a DC-Electrified Railway and Impressed Potential on a Buried Pipe. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 27, (2012), 2238-2246.

[18] Tian, Z., Hillmansen, S., Roberts, C., Weston, P., Chen, L., Zhao, N., Su, S., Xin, T. Modeling and simulation of DC rail traction systems for energy saving. 2014 17th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC. (2014), 2354-2359

AKILLI ŞEBEKELERDE HABERLEŞME TEKNOLOJİSİ KULLANIMI

Pınar UZUN*¹, İsmail TEMİZ²

¹ Kırklareli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Kırklareli

² Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, İstanbul

Öz

Günümüz elektrik şebekelerinin dayandığı altyapı ve kaynakların doğaya zarar vermesi, yetersiz ve emniyetsiz olması sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle uzun zamandır verimli, emniyetli ve doğa dostu şebekeye dönüşüm çalışmaları yürütülmektedir. Bu çalışmalar akıllı şebeke kavramını ortaya çıkarmaktadır. Hem üreticiyi hem de tüketiciyi düşünen bu kavram için önemli bir alt başlık ise haberleşmedir. Gelişen teknoloji ile birçok farklı haberleşme teknolojisi ortaya çıkmıştır. Bu haberleşme sistemlerinin kendilerine özgü standart ve kullanım alanları vardır. Bu standart ve kullanım alanları göz önüne alınarak akıllı şebeke uygulaması için verimli ve uygun haberleşme sistemini seçmek gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şebeke, Haberleşme, Veri aktarımı, Standartlar

USAGE OF COMMUNICATION TECHNOLOGY ON SMART GRID

Abstract

The fact that the infrastructure and resources on which today's electricity grids are based are insufficient, insecure and harmful to nature poses a problem. For this reason, efforts to transform into an efficient, safe and environmentally friendly network have been carried out for a long time. These studies reveal the concept of smart grid. An important subheading for this concept, which considers both the producer and the consumer is communication. With the developing technology, many different communication technologies have emerged. These communication systems have their own standards and usage areas. Considering this standard and its usage areas, it is necessary to choose a suitable and efficient communication system for smart grid application.

Keywords: Smart grid, Communication, Data transfer, Standarts

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojilerinin büyük bir hızla ilerlemesine bağlı olarak elektrik ihtiyacı da artmaktadır. Elektrik ihtiyacının karşılanması için kurulan güç sistemlerinin temeli 1883 yılında Tesla tarafından yayınlanan tasarım esaslarına dayanmaktadır [1]. Ortaya çıktığı zamanın teknolojileri için bu temel yeterli olsa da günümüz gelişen teknolojilerine bağlı ihtiyaçlar göz önüne alındığında yetersiz kalmaktadır. Bu ihtiyaçlar neticesinde enerji üretimi, dağıtım ve kullanımını kapsayan elektrik şebekelerinin daha verimli, güvenli, kaliteli, doğa dostu ve yönetilebilir olması için “Akıllı Şebeke (Smart Grid)” kavramı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada akıllı şebekeler için haberleşme teknolojileri, protokoller ve haberleşme sistemleri için güvenlik konuları incelenmiştir.

Akıllı şebeke sistem elemanlarına örnek olarak; güneş panelleri, rüzgâr türbinleri, eviriciler, akıllı sayaçlar, iletim hatları, akıllı sensörler, akıllı ev aletleri, hibrit araçlar vb. gösterilebilir. Son zamanlarda akıllı şebeke sistem ve elemanları önem kazanmış; yarı iletken teknolojilerinin yanı sıra kontrol sistemleri, haberleşme ve bilgi teknolojileri (BT) gibi birçok farklı alanda akıllı şebeke sistemlerini geliştirmeye yönelik çalışmalar yürütülmeye başlanmıştır [2-14].

Akıllı şebekelerin görevleri şu şekilde sıralanabilir [15]:

- ❖ Son kullanıcı olan tüketicilerin aktif olarak sisteme dâhil edilmesini sağlamak.
- ❖ Enerjinin üretim aşamasından depolama aşamasına kadar tüm kaynakların sistemle bütünleşmesini sağlamak.
- ❖ Geniş alana sahip iletişim ağları, sunucular, ağ geçitleri vb. haberleşme araçları ile bütün sistemi anlık olarak takip edebilmek.
- ❖ Dağıtım işlemini sürekli izleyip enerji akışını tahmin etmek amacıyla gerilim, akım ve güç faktörünü eş zamanlı olarak okuyarak, enerji kalitesi için Volt-VAR kontrolü sağlamak.
- ❖ Elektrik enerji piyasasını oluşturan; üretim, iletim, dağıtım, piyasa işletimi, toptan satış, perakende satış, ithalat ve ihracat faaliyetleri ile bu faaliyetlere ait iş ve işlemlerini ve bunlarla birlikte serbest tüketici olarak bilinen son kullanıcılar için enerji çeşitliliği ve tercihini sağlamak.
- ❖ İletim ve dağıtım sistem elemanlarının birbirleriyle tam olarak bütünleşmesini sağlayarak, enerji piyasası içinde hâli hazırda bulunan kaynaklar ile yeni kaynakların işlevselliğini arttırarak enerji kalitesini sağlamak.

Akıllı şebeke uygulamaları temel olarak üç alt başlıkta toplanabilir:

i. Dağıtık Üretim Uygulamaları: Akıllı şebekelerin gelişmeler ile birlikte küçük ölçekli enerji üretiminden daha büyük ve yüksek güçleri kapsayan enerji üretimine kadar birçok farklı enerji kaynaklarının entegrasyonuna imkan sağlaması beklenmektedir [16]. Tek ve genel bir üretim ya da depolama merkezinden ziyade özellikle yenilenebilir enerji kaynakları ile haneler kendi enerji ihtiyaçlarını karşılayabileceklerdir. Böylece üretim, tüketim ve dağıtımdaki kayıplar azalırken enerji verimliliği sağlanmış olacaktır.

ii. Dağıtık Depolama Uygulamaları: Akıllı şebeke sistemlerinde ihtiyaçtan fazla üretilen enerjinin şebekeye dağılmış sistemlerde depolanıp ve ihtiyaç durumunda enerji talebini karşılamak için kullanılması hedeflenir [17]. Bu hedefin gerçekleştirilmesi ile akıllı şebekelerde enerji sürekliliği sağlanmış olacaktır.

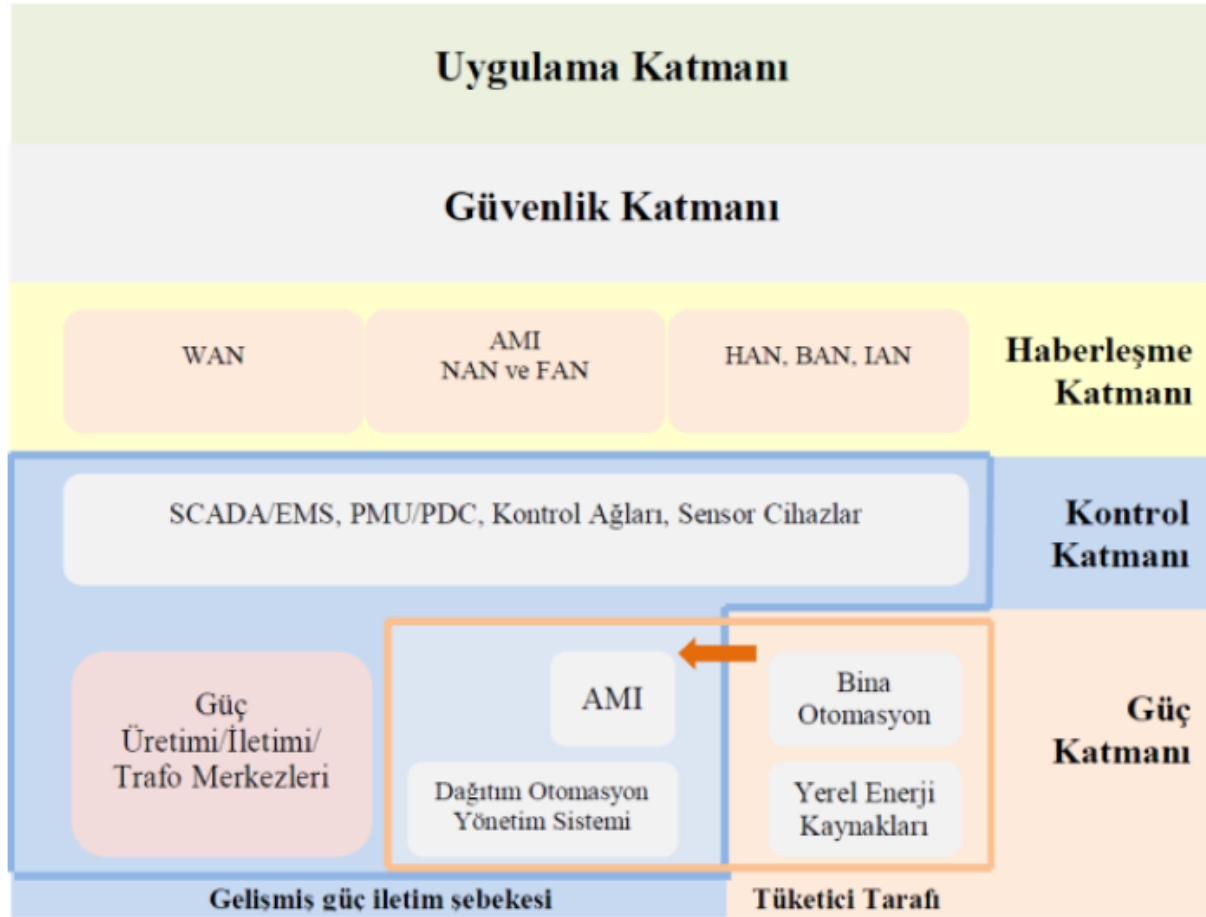
iii. Talep Odaklı Yük Yönetimi Uygulamaları: Dağıtık üretim ve depolama uygulamalarına sahip akıllı şebekelerde üretim-talep dengesi, son kullanıcı olan tüketicinin bilinçlendirilmesi ve dinamik fiyat uygulamaları ile daha akıllı yönetilebilir. Talebin fazla olduğu zaman aralıklarında mevcut akıllı şebeke elemanlarının kısa devre akım limitleri ile ısı dayanım kapasiteleri zorlanmaktadır. Talebe bağlı olarak yürütülecek, talep kaydırma gibi yük yönetimi uygulamaları enerji verimliliğini önemli ölçüde arttıracaktır [17].

Akıllı şebekeler için bahsedilen bu üç temel uygulama için en önemli unsur kontrol ve haberleşmedir. Gelecekte kullanılması planlanan elektrik şebekeleri bilgisayarlar ve veri iletim ağları gibi teknolojilerden faydalanarak ölçme, uzaktan okuma ve izleme, gerekli durumlarda kontrol ve koruma yapabilmelidir. Bu uygulama ve amaçlarla akıllı bir şebekeye ait yapısal katmanlar Şekil 1’de modellenmiştir.

- ❖ Güç katmanı: Güç üretimi, iletimi, dağıtımı, depolanması ve tüketilmesi ile ilgili katman.
- ❖ Kontrol katmanı: Veri toplamayı ve aktarmayı sağlayan akıllı sensör, ölçme ve sürücü sistemlerini bulundurur.
- ❖ Veri İletişim Katmanı: Hatasız ve etkili bir veri iletişimi sağlar.
- ❖ Güvenlik Katmanı: Verinin gizliliği, güvenliği, doğruluğu ve şifrelenmesi gibi fonksiyonları yerine getirir.

- ❖ Uygulama Katmanı: Birçok farklı amaçlı güç ve enerji uygulamalarında bilgi teknolojilerine dayanan kararların alınması için destek sağlar.

Geleceğin akıllı enerji şebekelerinin bu katmanların iç içe geçmesi ile oluşması beklenmektedir. Böylece hane ve belirli bir mahallî alan düzeyinde ve ülke ölçeğinde faydalı yansımalar elde edilmesi amaçlanmaktadır.



Şekil 1. Akıllı şebeke katmanları modeli [18]

2. AKILLI ŞEBEKELERDE HABERLEŞME

Akıllı şebeke; temel olarak bilgi, haberleşme ve operasyon sistemlerinin birleşimi ile şekillenmiş elektrik dağıtım şebekesi şeklinde özetlenebilir. Bu sistemlerin birleşimi sonucu akıllı elektrik şebekeleri; veriler için algılama, toplama, iletilme, değerlendirme ve depolama işlemlerini

gerçekleştirmelidir. Üretim ve tüketimde alternatifler sunan, tüketiciyi aktif hale getiren akıllı şebeke sistemleri geleneksel elektrik şebekelerine kıyasla daha karmaşıktır. Aktif olarak haberleşme ve kontrolün sağlanması ihtiyacını karşılamak için şebeke bileşenleri; veri alma, veri işleme ve veri iletebilmelidir. Bu işlemlerin gerçekleşebilmesi için de bileşenlerin haberleşme yeteneği dışında programlanabilmeleri de gerekmektedir. Bu programlanabilen ve haberleşmesi gereken bileşenlerin birbirleri arasında kurulacak iletişim ve etkileşim için haberleşme protokolleri (TCP/IP benzeri), haberleşme altyapılarına (modemler, yönlendiriciler, kablosuz haberleşme sistemleri) ve sunuculara ihtiyaç duyulur [19].

Akıllı şebekeler, enerjinin üretiminden tüketimine kadar her aşamada gerçek zamanlı ve iki yönlü veri aktarımı sağlayarak, sürdürülebilir, güvenilir ve enerji verimliliği yüksek bir enerji ağı sunmaktadır. Burada bahsedilen tüm koşullar; gelişen yarıiletken teknolojisi başta olmak üzere, hassas mikroişlemciler ve birçok elektronik ve mekanik eleman sayesinde üretim-iletim-tüketim hatları boyunca sağlanır. Bu durumlar, ileri kontrol dolayısıyla ileri haberleşme yöntemlerine ihtiyaç doğurur. Bu nedenle akıllı şebekeler için kullanılacak haberleşme ağları bu ihtiyaçları karşılayacak, veri yükü ve trafiğini kaldırarak şekilde tasarlanmalıdır.

Akıllı şebekelerde kullanılması planlanan akıllı sayaçlar örnek bir haberleşme uygulaması olarak verilebilir. Sayaç endekslerinin uzaktan okunması için literatürde farklı haberleşme yöntemleri kullanılmıştır [20]. Bu haberleşme yöntemleri tek yönlü olabileceği gibi çift yönlü de olabilmektedir. Endeks bilgileri tek yönlü olarak takip edilebilirken, çift yönlü olarak kullanıcıya da bu bilgiler iletebilir ya da uzaktan kontrol sağlanarak enerji kesme gibi müdahaleler yapılabilir. Kullanılan sistemlerde yıllık abone tüketimi ve transformatör tüketimlerine bakılarak usulsüz enerji kullanımı da tespit edilmektedir [20].

Akıllı şebeke sistemlerinin mimarisinde haberleşme ihtiyacı; bina ve/veya tesis içi olan yakın alan ve şehir içi ya da şehirlerarası olan uzak alan haberleşmelerinin her ikisini de kapsamalıdır. Gerçek zamanlı haberleşme, elektrik şebekelerinin optimizasyonu ve modernleşmesi açısından önemli bir adım olacaktır. Böylece veri merkezleri, üretici ve tüketici tabanlı yazılım ve uygulamalar ile bu sistem üzerinden veri aktarımını gerçekleştirebilecektir. Verilerin ölçüm noktalarından değerlendirme noktasına aktarılabilmesi için daha basit ve etkili haberleşme teknolojilerinin kullanımı planlanmaktadır. Planlanan haberleşme altyapısı günümüzde fiber optik kablolar, güç

hattı aracılığı ile geniş bant ve kablosuz teknolojiler içeren çeşitli iletişim yolları kullanılarak inşa edilmektedir. 2012 yılında yapılan bir çalışma ile akıllı şebeke teknolojisinde kullanılan ve kullanılması beklenen haberleşme teknolojilerini özetlemek amacıyla Tablo 1 hazırlanmıştır [18]. Ancak zaman içerisinde Tablo 1’de bulunan teknolojiler haricinde gelişen diğer haberleşme teknolojilerinin de akıllı şebeke sisteminde gerekli parametrelerin analizi ile seçilerek kullanılabilmesi öngörülmektedir.

2.1. Kablolu Haberleşme Teknolojileri

Elektrik şebekelerinde özellikle uzun mesafelerde veri aktarımı için fiber optik ve iletim/dağıtım hatları en uygun teknolojilerdir. Senkron Optik Ağ – SONET ve Senkron Dijital Hiyerarşi – SDH gibi gelecek kuşak fiber optik teknolojiler de veri aktarımı için kullanılabilir. Bahsedilen teknolojiler IP ve Ethernet uygulamaları için çok servisli platformlar sağlayabilirler. Özellikle Ethernet’in basit olması ve SONET / SDH teknolojisi ile düşük maliyetle “Taşıyıcı Ethernet” oluşturulabilir. Böylece akıllı şebekeler için güvenli ve kaliteli bir veri aktarım ortamı oluşturulur. Elektrik şebekelerinde iletim/dağıtım hatları, uzaktan veri okuma, yük kontrolü sağlama vb. uygulamalar için Güç Hattı Haberleşmesi – PLC de yaygın biçimde kullanılmaktadır. Sinyalizasyon; yüksek gerilim – YG hatlarında kullanılırken, veri aktarımı; orta gerilim – OG ve alçak gerilim – AG hatları üzerinden gerçekleştirilir. PLC, kHz frekanslarında dar bant haberleşme, MHz frekanslarında ise geniş bant haberleşme sağlar. Var olan elektrik hatları kullanılarak, bu hatlara zaten bağlanmış bulunan cihazlarla haberleşme sağlanması PLC için avantajdır. Buna rağmen; haberleşme empedansı ve kanal koşullarındaki değişimler, büyük alanlarda uygulama problemleri, şebekedeki anahtar sayısının fazla olması, işaret zayıflaması, sinyal girişimi yaratması ve buna maruz kalması, bakım maliyetleri gibi zorlukları da bulunmaktadır [21].

2.2. Kablosuz Haberleşme Teknolojileri

Akıllı şebeke sistemleri için haberleşme prosedürlerine bakıldığında; kablosuz bağlantı, yüksek esneklik (kontrol noktası değiştirme kolaylığı), kolay genişletilebilme, kolay bakım ve düşük uygulama maliyeti (özellikle fiber optik ile karşılaştırıldığında) sayesinde güç sistemi uygulamalarında kontrol ve izleme bilgilerinin iletilmesi için büyük avantajlar sağlar [22].

Akıllı şebeke sistemlerinde kullanılacak kablosuz haberleşme teknolojileri 3 ayrı gruba ayrılarak incelenebilir. Bu kablosuz teknolojilerden birçoğu tescillenmiş ve oturmuş standartlar tarafından yönetilmekteyken, bazıları açık ve gelişmekte olan standartlar tarafından yönetilmektedir, bazıları ise erken adaptasyon aşamasındadır [23].

i. GSM/Mobil İletişim ağları: Hücreli haberleşme teknolojileri olarak da bilinirler. Ses aktarımı için tasarlanmış teknolojilerdir. GPRS, 2G, 3G, 4G, 4.5G ve 5G vb. iletişim protokolleri içermektedir [24]. 2G teknolojisi, GSM (Global System for Mobile Communication) şebeke erişimi için TDMA (Time Division Multiple Access) erişim tekniğini kullanır. Güncellenerek, genel Paket Radyo Servisi – GPRS olmuş ve paketlenmiş veri aktarımı için kullanılır hale gelmiştir. Zamanla, EDGE, 3GPP, 3G, 4G ve 4.5G GSM teknolojileri geliştirilmiştir. 3G; yüksek hızda veri aktarımı, daha iyi ses kalitesi ve paket uygulamalar için internet erişimi sağlar. 4G teknolojisi ise hız ve veri aktarım kapasitesini arttırmak için 3G üzerine geliştirilmiştir. Bu nedenle 4G teknolojisi hem daha uygun fiyatla kullanıma sunulabilir hem de akıllı şebekeler için uzaktan okuma, izleme ve kontrol uygulamaları için daha kullanılabilir. EGPRS (Enhanced GPRS), veri aktarım hızını arttırmak ve ağ kapasitesini iyileştirmek için ortaya çıkmış ve kullanılmaya başlanmıştır.

ii. Wi-Fi ve WiMAX teknolojileri: IEEE 802.11a/b/c/g/n ve IEEE 802.16 standartları üzerine geliştirilmişlerdir. Wi-Fi (Wireless Fidelity), IEEE 802.11n standardı üzerine kurulmuştur, LAN (Local Area Network) düzeyinde erişim sağlar. Mobil cihazların, yakınlarında bulunan kablosuz erişim noktaları aracılığıyla yerel alan ağına bağlanıp ses ve veri aktarımını sağlar. WiMAX, IEEE 802.16 standardı üzerine kurulmuştur. Kablolara alternatif olarak geniş bant iletişimi ile birlikte saygı okumada daha kaliteli, güvenilir haberleşme ortamı sağlamaktadır.

iii. Kablosuz Gözlü (Mesh) Ağlar (WMN) ve Kablosuz Sensör Ağlar (WSN): IEEE 802.11 ve IEEE802.15.4 standartları üzerine kurulmuşlardır. WMN, düşük güç ve veri aktarım oranına sahiptir. WSN ise ev, ofis ve enerji otomasyonu için kullanılır.

Tablo 1. Akıllı elektrik şebekelerinde kullanılan ve kullanılması beklenen haberleşme teknolojileri [21]

Haberleşme Teknolojisi	Türü	Kullanım Şekli	Avantajları	Dezavantajları
Kablosuz Haberleşme Teknolojileri	Hüresel (GPRS/3G/4G) ve LTE	Ses iletişimi, Yerel enerji kaynakları ve trafo merkezleri için uzaktan izleme, Basit metin mesajlaşmasını destekler	Mevcut şebeke altyapısının kullanılması ile düşük uygulama, işletme ve bakım maliyeti, Geniş kapsama alanı dolayısıyla daha iyi hareket yeteneği	Kule / Baz istasyonu ihtiyacı, Büyük ölçekli uygulamalarda ekonomik olmayışı, Merkezden uzak bölgelerde kapsama alanı sorunu, Güvenlik zafiyeti
	Wi-Fi (IEEE 802.11)	Ses ve görüntü iletişimi, Ev enerji ara yüzü, Bilgisayarlar, elektronik cihazlar ve akıllı ölçme sistemleri arasında bağlantı oluşturur	Hızlı tesis etme, Yüksek esneklik, Şehir tipi yoğun bölgelerde uygulanabilme	Yüksek girişime karşı hassas, Kapsama alanı dar, güç tüketimi yüksek, Küçük ölçekli uygulamalarda ekonomik değil, Güvenlik zafiyeti
	WiMAX (IEEE 802.16)	3. seviye (müşteri) iletişim ağları için kablosuz ağlara alternatif, Akıllı sayaç okuma sistemleri altyapısı	Kablolu çözümlere göre hızlı kurulum, Uzun menzilli, Gerçek zaman uygulamaları ve erken yanıt hızının yeterliliği	Kule/ Baz istasyonu gerektirir, Güç tüketimi yüksek, Güvenlik zafiyeti
Kablolu Haberleşme Teknolojileri	SONET / SDH ve E / GPON	Fiber optik iletim ortamı, Geniş bantlı çözümler	Yüksek kapasite ve bant genişliği; hızlı iletişim, girişim olmaması.	Kurulum hızının yavaş olması ve yüksek maliyetli (altyapısız yerlerde)
	PLC (NB ve BB) ve BPL	Güç iletim hatları, Haberleşme OG ve AG hatları üzerinden yapılır, Kablo ve DSL'e alternatif bir geniş bantlı erişim ortamı (BPL)	Bina içinde kurulum kolaylığı, son kullanıcı cihazlarına yönelik yüksek esneklik ve hareket yeteneği, kırsal bölgeler için iyi bir çözüm	Büyük binalarda uygulama zorluğu, Anahtarlama sorunu, İşaret zayıflamaları ve kullanılan yükselticilerin yüksek maliyetli olması, Girişime maruz kalma ve girişim yaratma
Ağ Tipleri	WMN	Ağ tipi şebeke, birçok farklı uygulama gerçekleştiren süper ağ yönlendiricileri	Kolay ve uygun maliyetli kurulum, Yüksek güvenilirlik ve esneklik	Veri yönetiminin zor olması; lisanssız bantlarda düşük denetlenebilme, Standart yetersizliği, Sabit giderler
	WSN ve WPAN (IEEE 802.15.4)	Küçük çaplı uygulamalar, Ev, ofis ve akıllı enerji otomasyonu, Trafo merkezlerinde, endüstriyel tesislerde ve yerel üretim birimlerinde algılama ve izleme	Kolay ve hızlı yayılım, Düşük maliyet, Yüksek taşınabilir, Kolay yapılandırma	Güç ve bellek kısıtlamaları, Veri hızının düşük olması, Veri kaybının yüksek olması, Çok küçük kapsama alanı

2.3. Haberleşme Protokolleri

2.3.1. MODBUS Protokolü

MODBUS, 1979 yılında Modicon firması tarafından kendi ürettikleri PLC'lerde kullanılmak için geliştirilmiş seri kanal haberleşme protokolüdür [16]. Haberleşme yapısı “master-slave” şeklindedir. “Master” yönetiminde “slave” tarafından sağlanan verilerin haberleşmesi sağlanır. Veri okuma isteği “master” tarafından gönderilir. Her bir “slave” için birim numarası (unit ID) atanır ve bu numara sayesinde “master” hangi “slave” ile haberleşme sağlandığını bilebilir. Bir “master” 247 “slave” ile bağlantı kurarak haberleşebilir. MODBUS protokolü üreticisinden bağımsız olarak genişletilebilen, açık kaynak kodlu bir haberleşme protokolü olduğundan kullanımı ücretsizdir. Bu nedenle de MODBUS protokolü günümüzde endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

MODBUS protokolü genellikle sahalarda kullanılan ölçüm cihazlarından gelen verilerin kontrolcüye iletilmesi için kullanılır. Kullanılan cihaz türü ve iletilen veri türüne bağlı olarak; MODBUS RTU, MODBUS ASCII, MODBUS TCP/IP, MODBUS over UDP ve MODBUS Plus olmak üzere beş farklı protokol geliştirilmiştir. Bu beş protokolden MODBUS RTU seri kanal haberleşmesinde en çok kullanılan protokoldür, Ethernet altyapısında ise MODBUS TCP/IP kullanılır.

2.3.2. IEC 61850 Protokolü

IEC 61850; indirici merkezler olan, elektriksel şebekelerde veri haberleşmesi ve elektriksel trafo merkezlerinin modellenmesi için kullanılan uluslararası endüstriyel haberleşme protokolüdür [25]. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission – IEC) Teknik Komitesi (TC57) tarafından geliştirilmiş, modellenebilir bir haberleşme standardıdır. Akıllı Elektronik Cihazlar (Intellegent Electronic Devices – IED) ve trafo merkezleri arasında veri ve komut aktarımını gerçekleştirir. Bu protokol, endüstriyel haberleşme ağlarında geçmişten günümüze kullanılan diğer haberleşme protokollerinde bulunmayan ya da iyileştirilmesi gereken ihtiyaçlara göre, veri ağı üzerinden kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Bu standart indirici merkezler harici diğer tüm elektrik sistemleri için de haberleşme standardı olarak kullanabileceği ve yeni bilgi modelleriyle geniş kapsamlara ulaşabileceği gözlemlenmiştir. Böylece bu standart;

rüzgâr ve hidroelektrik santraller, elektrik iletim ve dağıtım, sistem değişkenlerinin görüntülenmesi ve dağıtık enerji kaynaklarının uygulanması için birçok çalışmalar yapılmış ve hala yapılmaktadır [26]. Sistemik tasarımı, farklı model ve/veya markaların birbirileri ile haberleşmesini sağlaması, hızlı veri aktarımı, güvenilir yapıda olması ve genişletilebilmesi ile akıllı şebeke sistemleri için IEC 61850 protokolü öne çıkmaktadır.

2.4. Güvenlik

Akıllı şebeke sistemleri için haberleşme önemli bir konudur. Haberleşme sistemleri talep ve gelişmelere bağlı olarak genişletilebilir olmalıdır. Veri aktarımının zamanında ve güvenli bir şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir. Olası bir güvenlik açığı durumunda haberleşme sistemi ve dolayısıyla kontrol sistemleri engellenip sistemlere gerekli müdahalenin yapılmasını kısıtlama, üretim, tüketim verilerinin değiştirilmesi gibi sorunlar ortaya çıkacaktır. Bu sorunlara karşı, olası durumları göz önüne alacak bir güvenlik sistemi tasarlanmalıdır. Bunun için, “Federal Office for Information Security” kurumu tarafından “Akıllı şebekeler ağ geçidi için güvenlik profili” adlı bildiri yayımlanmıştır [27]. Kablolu ve kablosuz veri aktarımları için her durum göz önüne alınarak; güvenlik yöntemleri kullanılır. Kablolu haberleşmede birçok farklı güvenlik uygulamalarını destekleyen ağ yönlendirme cihazları kullanılır ve böylece sadece yetkilendirilmiş cihazlarla haberleşme yapılır. Kablosuz haberleşmede ise güvenliği sağlayabilmek için üç aşamalı bir güvenlik önlemi olan; ağ ismini gizleme (SSID Hiding), fiziksel adrese göre filtreleme (MAC Filtering) ve Yayın sinyali şifreleme (WPA2-PSK) kullanılır [28].

3. SONUÇ

Hayatımızda çok önemli bir yer tutan elektrik enerjisi, güçlü ve etkili olmakla beraber alternatif kaynakları da olan hassas bir enerji iletim formudur. Gelişmiş ülkeler göz önüne alındığında, refah ve ekonomi seviyesinin belirlenmesinde de etkin rol almaktadır. Günümüz teknolojik gelişmeleri ile elektrik şebeke altyapısının yetersizliğini gidermek adına birçok farklı çalışma ve yatırım yapılmaktadır. Son zamanlarda artan tüketici taleplerine bağlı olarak enerji tüketim oranları artmıştır. Bu artış yeni elektrik şebekeleri tesis edilmesi ve bu tesislerin uygun şekilde kontrol edilmesini, enerji kaynaklarının gelişmiş teknolojiler ile elektrik sistemlerine dağıtılmasını

gerektirmektedir. Yine akıllı şebeke elemanlarının yapısal ve tasarımsal olarak da gelişmeler beklenmektedir. Bütün bu elemanların oluşturduğu enerji sistemleri ve enerji dağıtımında sorumlu elektrik şebekelerinin verimli bir şekilde yönetimi, haberleşme teknolojilerinin imkânlarını kullanabilen sistem mimarileri ile gerçekleştirilebilecektir. Akıllı şebeke uygulamaları birçok farklı kullanım amacına yönelik olduğu gibi bu uygulamalarda kullanılacak haberleşme teknolojilerinin her biri de farklı yeteneklere ve özelliklere sahiptir. Bu nedenle akıllı şebekelerde haberleşme altyapıları belirlenirken uygulamalar için belirli koşullar göz önünde bulundurularak en uygun haberleşme teknolojileri kombinasyonu oluşturulmalıdır. Dolayısıyla “akıllı şebeke” kavramının kullanım senaryolarının teknik ve operasyonel ihtiyaçları tespit edilerek bu parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Böylece veri iletiminde verimlilik, güvenlik ve esneklik sağlanmış, kendi kendini iyileştirebilen şebekeler kullanılır olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Dinçer, H., Mutlu, F., ve Kuzlu, M., Sayısal Teknolojinin Elektrik Şebeke Ağına Katılması: Akıllı Şebeke, IV. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 193 – 197, 2011.
- [2] Cunjiang, Y., Huaxun, Z., Lei, Z. Architecture Design for Smart Grid, Energy Procedia, Cilt: 17, s:1524-1528, 2012.
- [3] Brown, R.E., Impact of Smart Grid on Distribution System Design, IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh, PA, s:1-4, 2008.
- [4] Bayod-Rujula, A.A., Future Development of the Electricity Systems with Distributed Generation, Energy Cilt: 34, s:377-8, 2009.
- [5] Grijalva, S., Tariq, M.U., Prosumer-Based Smart Grid Architecture Enables A Flat, Sustainable Electricity Industry, Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) IEEE PES,” s:1-6, 2011.
- [6] Kabalci, E., Kabalci, Y., Develi, I., Modelling and Analysis of A Power Line Communication System with QPSK Modem For Renewable Smart Grids, Electrical Power and Energy Systems, Cilt: 34, s:19–28, 2012.
- [7] Depuru, S.S.S.R., Wang, L., Devabhaktuni, V., Smart Meters for Power Grid: Challenges, Issues, Advantages and Status, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Cilt: 15, s:2736–2742, 2011.
- [8] Zhang, Y., Sun, W., Wang, L., Wang, H., Green, R.C., Alam, M., A Multi-Level Communication Architecture of Smart Grid Based on Congestion Aware Wireless Mesh Network, North American Power Symposium (NAPS), Boston, MA, s:1-6, 2011.

- [9] Wang, W., Xu, Y., Khanna, M., A Survey on The Communication Architectures in Smart Grid, Computer Networks, Cilt:55, s:3604–3629, 2011.
- [10] Rengaraju, P., Lung, C.H., Srinivasan, A., "Communication Requirements and Analysis of Distribution Networks Using Wimax Technology For Smart Grids", Eighth International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), s:666–670, 2012.
- [11] Parikh, P., Kanabar, M., Sidhu, T., Opportunities and Challenges of Wireless Communication Technologies for Smart Grid Applications," IEEE Power and Energy Society General Meeting, s:1-7, 2010.
- [12] Galli, S., Scaglione, A., Wang, Z., Power Line Communications and the Smart Grid, First IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm), s:303-308, 2010.
- [13] Yi, P., Iwayemi, A., Zhou, C., Developing ZigBee Deployment Guideline Under WiFi Interference for Smart Grid Applications, IEEE Transactions on Smart Grid, Cilt: 2, s:110-120, 2011.
- [14] Jarventaustaa, P., Repo, S., Rautiainen, A., Partanen, J., Smart Grid Power System Control in Distributed Generation Environment, Annual Reviews in Control, Cilt: 34, s: 277-286, 2010.
- [15] Yazıcı, F., Başoğlu, M.E. ve Çakır, B., Akıllı Şebeke Bileşenleri ve Yapısal Analiz, EMO Bilimsel Dergi, Cilt 8, Sayı 2, s:121-127, Aralık, 2018.
- [16] Modicon, Modicon Modbus Protocol Reference Guider, 1996.
- [17] Şahin, C., Kahraman, Ö., Temiz, A., Smiai, M.S., Alramadan, F.Y., Almutairi, S.S. ve Alshahrani, S., A Smart Control System for PV Generation in LV Distribution, The Saudi Arabia Smart Grid (SASG), Suudi Arabistan, 2012.
- [18] Lo, C. H., Ansari, N., The Progressive Smart Grid System from Both Power and Communications Aspects, IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 14, No. 3, 2012.
- [19] Akçin, M., Alagöz, B.B., Keleş, C., Karabiber, A. ve Kaygusuz, A., Dağıtık Kontrol ile Akıllı Şebekelerde Geniş-Alan Yönetimi ve Geleceğe Dönük Projeksiyonlar, SAÜ. Fen Bil. Der. 17. Cilt, 3. Sayı, s. 457-470, 2013.
- [20] Bayındır, R., Demirtaş, K., Akıllı Şebekeler: Elektronik Sayaç Uygulamaları, Politeknik Dergisi, Cilt 17, Sayı 2, s:75-82, 2014.
- [21] Usta, Ö., Yumak, K., "Akıllı Elektrik Şebekeleri ve Veri İletişimi-Smart Grid and Data Communication", TMMOB EMO Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, 2013.



[22] Gomez, L.A.G., Grilo, A.P., Sallesa, M.B.C., Casella, I.R.S., Capovilla, C.E., Sguarezi Filho, A. J., Wind-DFIG Wireless Controlled Using EGPRS Standard Applied to the Ancillary Services in a Smart Grid Environment, Electric Power Systems Research, Volume 189, 2020.

[23] Baloğlu, A., Karademiroğlu, O., Akıllı Şehirlerde Kablosuz Haberleşme Teknolojileri ve Doğru Teknoloji Seçimi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, s:22-29, 2019.

[24] Hanes, D., Salguerio, G., Grossetete, P., Barton, R., Henry J., IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols and Use Cases for the Internet of Things, 2017.

[25] Temiz, A., Kahraman, Ö., Şahin, C., Nadar, A, Akıllı Şebekeler İçin Haberleşme Çözümü, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, Bursa, 2008.

[26] Gezer, D., Nadar, A., Özay ve Prof. Dr. N., IEC 61850 Standardı ve Hidroelektrik Santrallerin Otomasyon Sistemlerine Uygulanması, emo.org.tr (26.08.2021).

[27] Federal Office for Information Security, Protection Profile for the Gateway of a Smart Metering System, 2011.

[28] Temiz, A., Kahraman, Ö.F., Şahin, C., Nadar, A., Akıllı Şebekeler İçin Haberleşme Çözümü, TMMOB EMO Akıllı Şebekeler ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, 2013.

SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDEN ELDE EDİLEN PEPTİTLERİN PATOJEN MİKROORGANİZMALAR ÜZERİNE ANTİMİKROBİYAL ETKİSİ

Sinan AKBAL^{1*}, Zübeyde ÖNER²

¹Pamukkale Üniversitesi, Acıpayam Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Denizli/Türkiye

²SüleymanDemirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Isparta/Türkiye

ÖZ

Biyoaktif peptitler, protein kaynağı olan gıdalardan enzimatik hidroliz, fermentasyon ve benzeri yollarla proteinlerin parçalanması sonucu elde edilen antimikrobiyal, antioksidan, bağırsak sistemini düzenleyici ve antihipertansif gibi aktivite gösteren bileşiklerdir. Biyoaktif peptitlerin antimikrobiyal aktivitesi birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmalarda, biyoaktif peptitlerin gıdalarda kullanılabilecek sentetik ve doğal antimikrobiyal maddelere önemli bir alternatif olabileceği gösterilmiştir. Antimikrobiyal peptitler insanlar için patojen özellik gösteren *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Salmonella typhimurium* ve *Staphylococcus aureus* gibi birçok mikroorganizmaya karşı etkilidir. Bu derlemede, süt ve süt ürünlerinden elde edilen peptitlerin etki mekanizması, amino asit profili ve mikroorganizmalar üzerine etkisi tartışılmıştır.

Anahtar kelime: Antimikrobiyal peptit, Patojen, Süt, Süt ürünleri

ANTIMICROBIAL EFFECT OF PEPTIDES OBTAINED FROM MILK AND DAIRY PRODUCT ON PATHOGEN MICROORGANISMS

ABSTRACT

Bioactive peptides are compounds that show activity such as antimicrobial, antioxidant, intestinal system regulator and antihypertensive which are obtained as a result of degradation of proteins by enzymatic hydrolysis, fermentation and the like from foods that are a source of protein. The antimicrobial activity of bioactive peptides is the subject of many studies. In these studies, bioactive peptides have been shown to be an important alternative to synthetic and natural antimicrobial agents that can be used in foods. Antimicrobial peptides are effective against many microorganisms such as *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus* which are pathogenic for humans. In this review, the mechanism of action of peptides obtained from milk and dairy products, amino acid profiles, and its effect on microorganisms are discussed.

Keyword; Antimicrobial peptides, Pathogen, Milk, Dairy product,

Sorumlu Yazar: Sinan AKBAL, sakbal@pau.edu.tr

1. GİRİŞ

Biyoaktif peptitler, vücut fonksiyonları üzerinde olumlu bir etkisi olan spesifik protein fraksiyonlarıdır. Büyüklükleri genellikle 2 ile 20 amino asit arasında değişir ve birçoğu fonksiyonel özelliklere sahiptir [1]. Peptitler antimikrobiyal, antikarsinojenik, bağışıklık sistemini düzenleyici ve antihipertansif gibi etkilere sahiptir [2].

Biyoaktif peptitlerin en önemli özelliklerinden birisi antimikrobiyal aktivitedir. Antimikrobiyal peptitler (AMP'ler), genellikle membran hasarı yoluyla mikroorganizmalar üzerine etki gösterirler. Bugüne kadar bakteri, mantar, virüs ve hatta kanserli hücreleri öldürdüğü bildirilen 5000'den fazla AMP tespit edilmiştir [3].

Gıdaların muhafazasında patojen mikroorganizmaların gelişimini engellemek amacıyla birçok kimyasal maddelerin kullanıldığı bilinmektedir. Kullanılan antimikrobiyal maddenin de insan sağlığına olumsuz etkileri geçmişten bugüne tartışılmakta ve tüketicinin doğal özellikleri en iyi şekilde korunmuş sağlıklı gıda tüketimi için son yıllarda çalışmalar artmaktadır. Bazı antimikrobiyal maddelerin kullanımı sonucu mikroorganizmaların antimikrobiyal dirençlerinin de değiştiği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. Bu derlemede, önceki çalışmalarda belirlenen süt kaynaklı proteinlerden elde edilen peptitlerin amino asit dizilerine yer verilmiş ve antimikrobiyal etki gösterdiği mikroorganizmalar belirtilmiştir.

2. Antimikrobiyal Peptitlerin Etki Mekanizması

AMP'lerin ana etki mekanizması membran geçirgenliği ve yapısal bozulması üzerinedir. Yapılan çalışmalarda, hücre ölümünün gerçekleşmesi peptit geçirgenliğinin artmasından kaynaklanan membran lizisine bağlı olduğunu göstermiştir. AMP'ler ayrıca mikroorganizmaların protein, enzim, DNA veya RNA gibi kritik sitoplazmik bileşenlerinin biyolojik etkilerini de bozabilir [4, 5]. Bu peptit etkilerinin bazıları çoğu antibiyotiğin hücre üzerindeki etkisine benzemektedir.

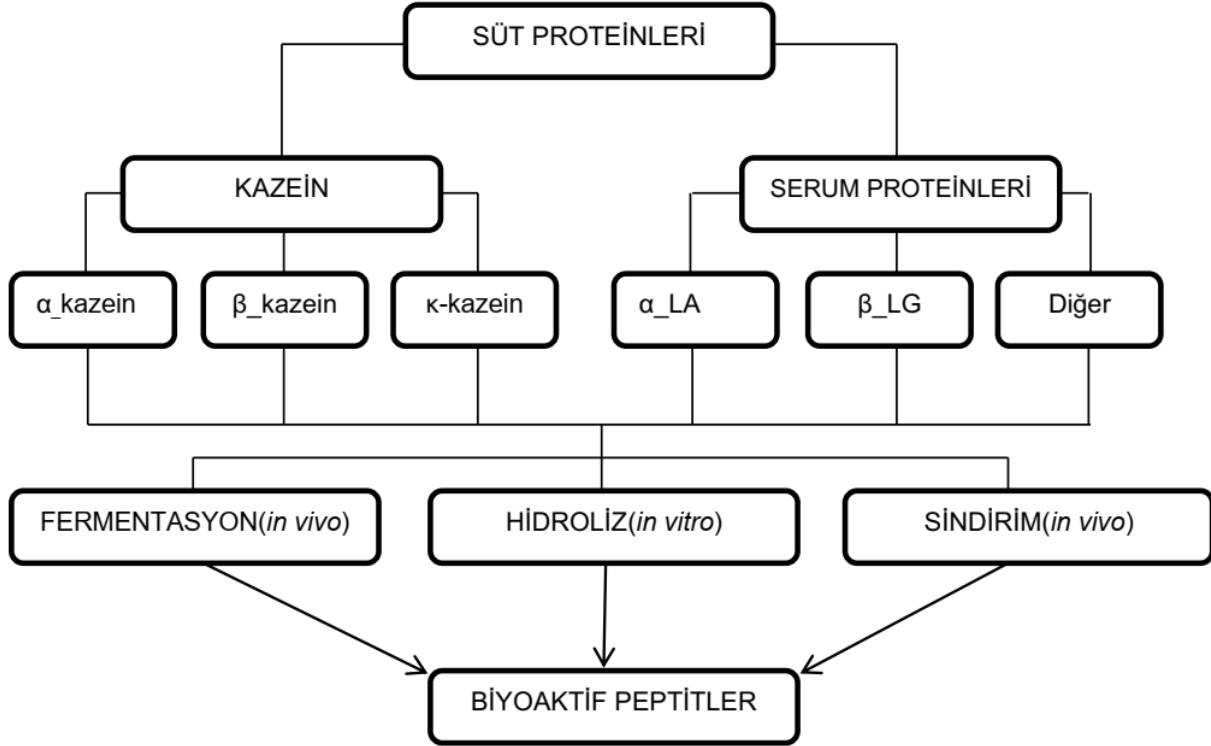
Peptit moleküllerinin patojenlere karşı antimikrobiyal etki mekanizmasının ilk adımı, AMP'ler ve membranlar arasındaki zıt yüklerden kaynaklanan elektrostatik çekimdir [6]. AMP'ler genellikle iki ortak fiziksel özelliğe sahiptir; bu özellikler katyonik bir yüke sahip olmaları ve birçoğunun hidrofobik karakterde olmasıdır [7]. Bu nedenle, anyonik lipitlerle beraber bakteri membranında bulunan lipopolisakkarit ve teikoik asitler elektrostatik etkileşmeyi ve bağlanmayı kolaylaştırır.

AMP'ler patojen mikroorganizmanın dış zarına bağladıktan sonra, bazı peptitler membran yüzeyi boyunca yayılır daha sonra iç zara ulaşır. Antimikrobiyal etki AMP miktarına veya patojen mikroorganizmanın membran yüzeyi için gerekli peptit konsantrasyonuna bağlıdır. Peptit miktarı arttıkça membrana nüfuz etme derecesi de artar. Antimikrobiyal etki için gerekli eşik konsantrasyonu genellikle deneysel prosedürlerde peptit/lipit oranı (P/L) olarak belirtilir. Bu değer, ortam pH'sı, sıcaklık ve iyonik kuvvet gibi özelliklerin yanına peptit konsantrasyonu, bağlanma eğilimi, membran bileşimi, akışkanlık ve lipitlerin kafa grubu (hidrofilik kısım) tipi gibi birçok özelliğe bağlıdır [8,9]. Düşük P/L değerlerindeki peptitler, lipid kafa grubu yüzeyinde konsantre olur. Bununla birlikte, bu durum zarı geçirgenleştirmek için yeterli değildir. P/L oranının artırılmasıyla, peptitler membrana bir dizi mekanik işlemle yerleşmeye ve geçmeye başlar.

Helikspeptidlerin çoğu sulu çözeltilerde bir yumak biçimindedir. Onlar membran benzeri (taklidi) ortamlarda yüksek ölçüde amfipatik konfigürasyonlarına devam ederler. Hücreye geçişin olabilmesi için bazı peptitlerin negatif yüklü çift katmana maruz kalması gerekir. Bunun aksine, β konformasyonlu antimikrobiyal peptitlere hem sulu ortamlarda hem de membran benzeri ortamlarda daha fazla karşılaşıldığı görülmüştür. Disülfid bağları ve peptit omurga döngüsü β konformasyonunun dengelenmesine yardımcı olur. Dimerizasyon ile β tabakaya sahip peptitler zarın hidrofobik çekirdeğinde daha derine ulaşmaları kolaylaşır ve antimikrobiyal aktiviteleri artar. Bazı peptitler, hedef membranlarla etkileşime girdiğinde kendi kendine birleşebilir veya multimerize olabilir. Bazı peptitler ise spesifik mekanik etkilere uğramış negatif yüklü membranların varlığında amiloid benzeri yapılar oluşturabilirler [10].

3. Süt ve Ürünleri Kaynaklı Antimikrobiyal Peptitler

Biyoaktif peptitler; peynir, kefir, süt ve yoğurt dahil olmak üzere birçok süt ürünlerinden elde edilebilmektedir. Bu peptitler, protein molekülleri içerisinde aktif durumda değildirler. α kazein, β kazein, κ kazein, α laktoalbumin (LA), β laktoglobulin (LG) ve diğer süt proteinlerinin pepsin, tripsin ve kimotripsin gibi sindirim enzimleri, starter kültürler tarafından gerçekleştirilen fermentasyon ve mikrobiyal-bitkisel kaynaklı enzimler aracılığı ile parçalanması sonucu biyoaktif peptitler açığa çıkmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Süt proteinlerinden muhtemel biyoaktif peptit oluşumu

3.1. İnek, Keçi ve Koyun Sütünden Elde Edilen AMP

Süt proteinleri biyoaktif peptitler için doğal bir kaynaktır. Sütte proteinlerin parçalanması sonucu oluşan biyoaktif peptitlerin önemli bir özelliği antimikrobiyal etki göstermeleridir. Yapılan bir çalışmada, süttten elde edilen biyoaktif peptitlerin *Esherichia coli* MTCC82, *Aeromonas hydrophila* ATTC7966, *Salmonella typhi* MTCC3216, *Bacillus cereus* ATTC10702, *Salmonella typhimurium* SB300, *Salmonella enteridis* 125109, *Staphylococcus aureus* MTCC96 gibi Gram pozitif ve Gram negatif mikroorganizmaları inhibe ettiğini bildirilmiştir [11]. Süt proteinlerinden elde edilen AMP ve etkili olduğu mikroorganizmalar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Süt proteinlerinden kaynaklı AMP

Protein kaynağı	Protein fraksiyonu	Amino asit dizilimi	Mikroorganizma	Kaynak
α LA	f(117-121)	K ₁₁₇ VGIN ₁₂₁	<i>Listeria ivanovii</i>	[12]
β LG	f(14-18)	K ₁₄ VAGT ₁₈		
α_{s2} kazein	f(164-207)	L ₁₆₄ KKISQRYQK FALPQY ₂₀₇	<i>B. cereus</i>	[13]
	f(175-207)	A ₁₇₅ LPQYLKTVYQH QKAMKPWIQPKTKV IPYVRYL ₂₀₇	<i>Bacillus subtilis</i> <i>Listeria innocua</i> <i>L. monocytogenes</i>	
	f(181-207)	K ₁₈₁ VYQHQA KMPWIQPKTKVI PYVRYL ₂₀₇	<i>E. coli</i> <i>S. enteritidis</i>	
			<i>B. subtilis</i> <i>L. innocua</i> <i>L. monocytogenes</i>	
α_{s1} kazein	f(99-109)	L ₉₉ RLKKYKVPQL ₁₀₉	<i>Citrobacter freundii</i> <i>E. coli</i> <i>S. enteritidis</i>	[14]
β LG	f(15-20)	V ₁₃ AGTWY ₂₀	<i>B. subtilis</i> ,	[15]
	f(78-83)	I ₇₈ PAWFK ₈₃	<i>Micrococcus luteus</i>	
	f(25-40)	A ₂₅ ASDISLLD AQSAPLR ₄₀	<i>S. aureus</i> <i>Streptococcus epidermidis</i>	
α_{s2} kazein	f(92-100)	V ₉₂ LVLDTDYK ₁₀₀	<i>S. typhimurium</i>	
α_{s2} kazein	f(165-188)	K ₁₆₅ KISQRYQKFALP QYLKTVYQHQA ₁₈₈	<i>E. coli</i>	
α_{s1} kazein	f(6-15)	I ₆ KHQGLPQEV ₁₅	<i>B. subtilis</i>	[16]
κ kazein	f(136-146)	T ₁₃₆ EAVESTVATL ₁₄₆		
α_{s2} kazein (koyun)	f(165-181)	L ₁₆₅ KKISQ ₁₈₁	<i>E. coli</i>	[17]
			<i>Serratia marcescens</i>	
			<i>Staphylococcus carnosus</i> <i>S. epidermidis</i>	
α_{s2} kazein (inek)	f(183-207)	V ₁₈₃ QHQA KMPWIQPKTKVIPYVRYL ₂₀₇	<i>Enterococcus faecalis</i> <i>L. innocua</i>	
β LG (inek)	f(84-91)	I ₈₄ DALNENK ₉₁	<i>L. monocytogenes</i>	[18]
	f(125-135)	T ₁₂₅ PEVDDEALEK ₁₃₅	<i>S. aureus</i>	
β LG (keçi)	f(33-39)	D ₃₃ AQSAPL ₃₉	Tüm peptitlerin <i>E. coli</i> üzerine inhibisyon >%10	
	f(125-134)	T ₁₂₅ PEVDKEALE ₁₃₄		
β kazein	f(61-72)	P ₆₁ FTGPIPNSLPQ ₇₂	κ kazein fraksiyonlarının ayrıca <i>B. cereus</i> (yaklaşık %5) ve <i>L. monocytogenes</i>	[19]

κ kazein	f(130-139) f(126-133)	P ₁₃₀ TVHSTPTTE ₁₃₉ A ₁₂₆ SAEPTVH ₁₃₃	(yaklaşık%7)'e etkisi bulunmuştur.	
α_{s2} kazein (inek)	f(24-31)	S ₂₄ SSEESII ₃₁	<i>L. innocua</i> <i>M. luteus</i> <i>E. coli</i> <i>S. enteritidis</i>	[20]
α_{s2} kazein	f(194-199)	T ₁₉₄ TMPLW ₁₉₉	<i>E. coli</i> <i>S. aureus</i> <i>M. luteus</i> <i>Candida albicans</i>	[2]
β kazein (inek)	f(100-105) f(108-113) f(177-183) f(170-176) f(98-105) f(106-113) f(100-107) f(170-183)	E ₁₀₀ AMAPK ₁₀₅ E ₁₀₈ MPFPK ₁₁₃ A ₁₇₇ VPYPQR ₁₈₃ V ₁₇₀ LPVPQK ₁₇₆ V ₉₈ KEAMAPK ₁₀₅ H ₁₀₆ KEMFPK ₁₁₃ E ₁₀₀ AMAPKHK ₁₀₇ V ₁₇₀ LPVPQKAVP YPQR ₁₈₃	<i>E. coli</i> <i>S. aureus</i>	[21]
β kazein (insan)	f(213-226)	V ₂₁₃ TQPLAPVH NPISV ₂₂₆	<i>S. aureus</i> , <i>Yersinia.enterocolitica</i> , <i>L. monocytogenes</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i> <i>E. coli</i> <i>B. subtilis</i>	[22]

Kazeinin kimozen enzimi ile parçalanması sonucu kazeisidin peptitleri açığa çıkmaktadır. Bu peptitler *Staphylococcus* spp., *B. subtilis* ve *Streptococcus pyogenes*'e karşı antimikrobiyal etki gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca α kazeininden elde edilen isracidin, *S. aureus*, *S. pyogenes* ve *L. monocytogenes*'e karşı güçlü koruyucu etki gösteren bir peptit olduğu rapor edilmiştir [23]. Laktoferrin ve onun türevleri *Clostridium perfringens*, *C. albicans*, *Haemophilus influenzae*, *Helicobacter pylori*, *L. monocytogenes*, *S. enteritidis*, *S. aureus*, *Vibrio cholerae* gibi çeşitli patojenlere karşı *in vitro* şartlarda antibakteriyel etki göstermektedir [24, 25]. Laktoferrampin (laktoferrinin bir fraksiyonu) *S. mutans*, *E. coli*, *B. subtilis* ve *Pseudomonas aeruginosa*'a karşı inhibe edici bir aktivite göstermektedir [26]. Peynir altı suyu proteinlerinden elde edilen laktoferrin'in *Bacillus stearothermophilus*, *B. subtilis*, *Clostridium* spp., *Haemophilus influenzae*, *S. mutans*, *V. cholerae* ve *E. coli*'e karşı hem *in vivo* hem de *in vitro* şartlarda bakteriyostatik bir etki gösterdiği net bir şekilde belirlenmiştir [27,28]. β laktoalbumininden elde edilen f(15-209), f(25-

40), f(78-83) ve f(92-100) peptitleri de Gram pozitif bakterilerin inhibisyonunu sağladığı bilinmektedir [15]. β laktoglobulinin ve α laktalbuminin tripsin, kimotripsin, pepsin ve pankreatin ile hidrolize edilmesi sonucu oluşan hidrolizatların *E. coli*, *B. subtilis*, *Proteus vulgaris* ve *Candida tropicalis*'in aralarında bulunduğu birçok mikroorganizmaya karşı antimikrobiyal aktivite gösterdiği bildirilmiştir [29].

Peynir altı suyundan pepsin, tripsin ve kimotripsin ile elde edilen hidrolizatların antimikrobiyal etkisi *L. ivanovii* ve *E. coli* üzerine denenmiştir. Tripsin ve kimotripsinden elde edilen hidrolizatlar önemli bir antimikrobiyal etki göstermemiştir. Fakat pepsin enzimi (45-90 dk) ile parçalanması sonucu açığa çıkan peynir altı suyu protein hidrolizatları *L. ivanovii*'e karşı antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Yine pepsin enzimi ile elde edilen hidrolizatlar *E. coli* üzerine etki sağlamamıştır [12]. Bir başka çalışmada, yağsız kolostrum ve peynir altı suyu proteinlerinin alkalaz ve neutrase ile hidrolizasyonu sonucu elde edilen hidrolizatların antimikrobiyal aktiviteleri incelenmiştir. Antimikrobiyal etkinin impedimetrik yöntemle ölçüldüğü çalışmada, kolostrumun neutrase ile parçalanması sonucu elde edilen hidrolizatın *E. coli* ATCC 8739 ve *S. aureus* ATCC 6538 üzerine sırasıyla %82 ve %19 oranında inhibisyon gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca bu hidrolatın alkalaz ile elde edilen diğer hidrolizatlara göre daha yüksek antimikrobiyal etki gösterdiği tespit edilmiştir [30].

Tripsin, fisin ve bu iki enzimin kombinasyonu ile keçi sütünün hidrolizasyonunun yapıldığı bir çalışmada, elde edilen hidrolizatların *E. coli* ve *B. cereus* üzerine antimikrobiyal etki gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada hidrolizatlar ultrafiltrasyon (UF) ile molekül ağırlıklarına göre fraksiyonlarına ayrılmıştır. Fisin ile elde edilen hidrolizatlardan elde edilen 3 kDa'dan daha küçük molekül ağırlığına sahip fraksiyonlar *E. coli* ve *B. cereus* üzerine en yüksek antimikrobiyal aktivite gösteren fraksiyonlar olmuştur [31]. Başka bir çalışmada, keçi sütünden elde edilen peynir altı suyu hidrolizatları, *Bacillus licheniformis*'den üretilen alkalaz enzimi kullanılarak elde edilmiştir. En yüksek hidroliz derecesine sahip keçi peyniraltı suyu hidrolizatı, hidrolize olmayan keçi peyniraltı suyundan daha yüksek antibakteriyel etki göstermiştir. Ayrıca elde edilen 4 peptit fraksiyonundan biri *E. coli* ve *B. cereus*'a karşı sırasıyla 0.09 and 0.03 mg/mL minimum inhibisyon konsantrasyon (MIK) değerine sahip antibakteriyel etki göstermiştir. Elde edilen peptitlerden iki tanesi de *S. aureus*'a karşı antimikrobiyal etki göstermiştir [32].

Kazein'in *Jacaratia corumbensis*'ten elde edilen yeni bir proteaz ile hidrolizi sonucu antimikrobiyal peptitler elde edilmiştir. Elde edilen tüm hidrolizatlar 62.5 mg/ml üzeri konsantrasyonda *E. faecalis*, *B. subtilis*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *K. pneumoniae* ve *S. aureus*'a karşı antimikrobiyal etki göstermiştir [33]. İnek α_{s2} kazeininden üretilen ve IKHQGLPQE, VLNENLLR ve SDIPNPIGSENSEK olarak tanımlanan 3 peptit (Sodyum kazeinatın *Lactobacillus acidophilus* DPC6026 fermentasyonu tarafından üretilen) *Enterobacter sakazakii* ATCC 12868 ve *E. coli* DPC5063'in patojenik suşlarına karşı antibakteriyel aktivite gösterdiği bildirilmiştir [34]. Başka bir çalışmada, *Bacillus* sp. P7'den ekstraselüler proteaz enzimi ile elde edilen sodyum kazeinat hidrolizatlarının *L. monocytogenes* ATCC 15131, *Corynebacterium fimi* NCTC 7547, *S. enteritidis* ATCC 13076 ve *E. coli* ATCC 8739 üzerine antimikrobiyal aktivite gösterdiği bildirilmiştir [35]. *E. coli*, *S. aureus*, *L. casei* ve *L. acidophilus* üzerine 8 adet peptidin (β C1, β C3, β C5, β C6, β C8, β C11, β C12, β C14) antibakteriyel etkisi incelenmiştir. Peptitlerin MİK değerlerine bakıldığında, Gram pozitif bakteriler Gram negatif bakterilere göre daha fazla hassasiyet göstermiştir. 8 antibakteriyel peptit LC_mass kullanılarak belirlenmiştir ve β C1, β C3, β C5, β C6, β C8, β C11, β C12 ve β C14'in molekül kütleleri β kazeinin sırasıyla f(100-105), f(108-113), f(177-183), f(170-176), f(98-105), f(106-113), f(100-107) ve f(170-183) bölgelerine karşılık gelmiştir. Peptitlerin hidrofobik özellikte olması onların antibakteriyel özelliklerinin yüksek olduğunu göstermiştir. Sonuçlara bakıldığında Gram pozitif bakterilere karşı antibakteriyel peptitlerin MİK değerleri 10 ile 30 μ g/ml arasında değişirken Gram negatiflere karşı 30 ile 60 μ g/ml arasında değişmiştir [21]. Bu durum Gram pozitif bakterilerin kullanılan peptitlere daha fazla hassas olduğunu göstermiştir. Benzer olarak başka bir çalışmada, hem Gram pozitif hem de Gram negatif bakterilere karşı etki gösteren peptitlerin MİK değerleri belirlenmiştir. MİK değerleri, α_{s2} kazein'den elde edilen f(181-207) için 21-168 μ g/ml, f(175-207) için 10.7-171.2 μ g/ml ve α_{s1} kazein'den elde edilen f(99-109) için 125-500 μ g/ml olarak belirlenmiştir [13, 14].

Cezayir'de geleneksel olarak üretilen fermente bir gıdadan izole edilen *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* BR16 tarafından üretilen hücre dışı bir enzim olan serin metaloproteaz, kazeini hidrolize etmek için kullanılmıştır. α_{s2} kazein'den f(24-31)'e denk gelen SSSEESII olan yeni bir antimikrobiyal peptit tanımlanmıştır. Bu peptit *L. innocua* ATCC 33090 ve *M. luteus* ATCC 4698

olan iki farklı Gram pozitif bakteriye ve *E. coli* ATCC 25922 ve *S. enteritidis* ATCC13076 olan iki farklı Gram negatif bakteriye karşı inaktive edici bir özellik göstermiştir [20].

Sütten elde edilen α_{s2} kazein₁₅₁₋₁₈₁ peptidinin *B. subtilis* üzerine antimikrobiyal etkisi gözlemlenmiştir. α_{s2} kazein₁₅₁₋₁₈₁ *B. subtilis*'e karşı minimum inhibitör konsantrasyonu 3.10 ile 6.67 μM arasında ve minimum bakterisidal konsantrasyon ise 16.00 μM 'in altında olduğunu tespit edilmiştir. Ayrıca α_{s2} kazein₁₅₁₋₁₈₁, *B. subtilis* sporlarına karşı %50 ve %90 inhibisyonuna karşılık gelen IC₅₀ ve IC₉₀ değeri sırasıyla 8.07 μM and 16.22 μM olarak belirlenmiştir [36].

Avusturya'da satışı bulunan 3 farklı ticari Cheddar peynirlerinin biyoaktif peptitlerinin özelliklerinin incelendiği çalışmada *E. coli* ATCC 8739, *S. aureus* ATCC 6538 ve *B. cereus* ATCC 11778 üzerinde peptitlerin antimikrobiyal aktiviteleri test edilmiştir. Peynirlerden elde edilen peptitlerin *S. aureus* üzerine önemli bir etkisi olmadığı, *B. cereus* ve *E. coli* üzerine inhibe edici etki gösterdiği belirlenmiştir [37]. Bu çalışmaya benzer bir başka çalışmada çeşitli İtalyan peynirlerinden elde edilen suda çözünür peptitlerin (0.6-1 mg / ml peptit konsantrasyonu) *E. coli*, *Bacillus megaterium*, *L. innocua* ve *S. aureus*'u içeren bakterilere karşı antimikrobiyal etki gösterdiği bildirilmiştir [38]. Brezilya'da piyasada satışı bulunan Canastra Zanaat Minas peynirlerinden 9, 23 ve 30. gün suda çözünen peptit fraksiyonlarından 4 tanesi α_{s1} kazeinden ve 2 tanesi β kazeinden olmak üzere toplam 6 farklı fraksiyona sahip antimikrobiyal peptit elde edilmiştir. Bu peptitlerin *E. coli* üzerine bakteriyosidal aktivite gösterdiği bildirilmiştir [39]. Rekonstitüe Cheddar peyniri ile yapılan bir çalışmada ise, peynir altı suyu proteinlerinden tripsin enzimi ile elde edilen hidrolizatların nanofiltrasyonuyla üretilen anyonik peptitlerle zenginleştirilmiş bir ekstraktın (APEE) *L. innocua* ve *L. monocytogenes*'in üzerine inhibisyonu araştırılmıştır. Rekonstitüe peynirde APEE'in antimikrobiyal aktivitesi *L. monocytogenes*'e karşı *L. innocua*'dan daha fazla olmuştur. Ayrıca antimikrobiyal aktivite 30 °C' de depolamada 4°C'den daha yüksek olduğu belirlenmiştir [40].

Ticari olarak satılan manda sütü ile üretilen peynirlerinden suda çözünür peptitler elde edilmiştir. 6.25 ile 200 mg/ml aralığındaki konsantrasyonlarda suda çözünür peptitlerin *B. subtilis* ATCC 6633, *E. faecalis* ATCC 6057, *E. coli* ATCC 25922, *K. pneumoniae* ATCC 29665, *P. aeruginosa* ATCC 27853 ve *S. aureus* ATCC 6538 üzerine antimikrobiyal etkileri incelenmiştir. Suda çözünür peptitler, *B. subtilis* ATCC 6633 ve *E. faecalis* ATCC 6057'e karşı 12.5 mg/ml'dan daha yüksek

konsantrasyonlarda antimikrobiyal etki gösterirken diğer mikroorganizmalara karşı bir etki göstermemiştir [41].

Farklı Koopah peyniri (Çiğ koyun veya inek sütünden üretilen kendine özgü tadı olan ve olgunlaştırılarak tüketilen geleneksel bir İran peyniridir) örneklerinden elde edilen suda çözünür ekstraktların, Gram pozitif (*B. cereus*, *L. monocytogenes* ve *S. aureus*) ve Gram negatif (*E. coli*, *P. aeruginosa* ve *S. enterica*) mikroorganizmalar üzerine antimikrobiyal aktivitesi değerlendirilmiştir. Suda çözünür ekstraktların *P. aeruginosa*, *B. cereus* ve *S. enterica*'ya karşı önemli antimikrobiyal aktivite göstermiştir [42].

Aspergillus flavipes ve *Aspergillus oryzae* küflerinden katı hal fermentasyonu ile farklı saflık oranlarına sahip proteazlar (%40, %60 ve %80) üretilmiştir. Bu proteazlar aracılığıyla inek ve keçi sütleri hidrolize edilmiştir. Elde edilen hidrolizatlar *P. aeruginosa*, *S. enteritidis*, *E. coli*, *S. aureus*, *L. monocytogenes* gibi birçok bakteri (Gram pozitif ve Gram negatif) ve *C. albicans*, *Penicillium expansum*, *Fusarium oxysporum* gibi funguslara antimikrobiyal aktivite göstermiştir [43]. Bir başka çalışmada, bir tür fungustan elde edilen plectasin'in 100 µg/mL konsantrasyonda, süte inoküle edilen 5×10^5 kob/mL *S. aureus*'u %100 inhibe ettiği bildirilmiştir [44].

Tibet kefirinden, *Lactobacillus paracasei subsp. tolerans* tarafından 18 amino asit içeren antimikrobiyal peptit F1 üretilmiştir. F1, 62.5 ile 250 µg/mL arasında konsantrasyonlarda, *E. coli*, *S. aureus*, *S. enterica*, *Shigella dysenteriae*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Rhizopus nigricans* ve *Penicillium glaucum* gibi hem bakteri hem de küflere karşı birçok mikroorganizmaya antimikrobiyal etki göstermiştir [45, 46].

Brezilya'da koyun sütü ile üretilen kefirde suda çözünür ekstraktlar elde edilmiş ve bu ekstraktların antimikrobiyal aktiviteleri incelenmiştir. 4°C'de yapılan depolamanın 7. günü ile 28. gününde elde edilen suda çözünür peptit ekstraktları (25 mg/ml) *E. coli* ATCC 25922, *K. pneumoniae* ATCC 29665, *P. aeruginosa* ATCC 27853, *B. cereus* ATCC 33019, *B. subtilis* ATCC 6633 ve *S. aureus* ATCC 6538 üzerine %100 inhibisyon göstermiştir [47].

3.2. Deve Sütünden Elde Edilen AMP

Alkalaz, kimotripsin ve papain enzimleri kullanılarak elde edilen deve sütü kazein hidrolizatları ultrafiltre edilmiş ve daha sonra elde edilen farklı fraksiyonların antimikrobiyal aktiviteleri

incelenmiştir. Antibakteriyel aktivite, agar difüzyon testi uygulanarak Gram pozitif (*L. monocytogenes*, *B. cereus* ve *S. aureus*) ve Gram negatif (*E. coli*) bakteriler üzerinde değerlendirilmiştir. Elde edilen tüm fraksiyonlar test edilen bakterilere karşı antimikrobiyal etki göstermiştir. Bu çalışmada bütün hidrolizatlar, fraksiyonları ile karşılaştırıldığında daha yüksek aktivite göstermiştir [48].

Deve sütü β kazeinin ve onun peptik hidrolizatının antibakteriyel etkinliği araştırılmıştır. Hidrolizat 1 kDa ve 10 kDa şeklinde ultrafiltrasyon ile fraksiyonlarına ayrılmıştır. β kazeinin ve onun peptik hidrolizatlarının *S. aureus* CNRZ 3, *L. innocua* ATCC 33090 ve *E. coli* ATCC 25922'ye karşı antibakteriyel aktiviteleri incelenmiştir. *S. aureus* ve *L. innocua*'nın gelişimi β kazein tarafından inhibe edilmediği; *E. coli* suşu ise düşük oranda inhibe edildiği belirlenmiştir. Fakat tüm hidrolizat fraksiyonlarının bir miktar antibakteriyel aktivite sergilediği gözlenmiştir. Her iki farklı Gram pozitif bakteriye karşı 1 kDa'dan daha düşük olan fraksiyonlar daha güçlü bir antimikrobiyal etki gösterdiği saptanmıştır [49].

Deve sütünün *Lactobacillus plantarum* ile fermentasyonu sonucu elde edilen peptitlerin *S. feacalis*, *S. dysenteriae*, *S. aureus* ve *E. coli*'nin gelişimlerini sırasıyla %20, %20-25, %20-25 ve %15 oranında inhibe ettiği bildirilmiştir [50]. Deve sütü kolostrumunun sindirim sisteminde üretilen pepsin ve pankreatin aktivitesi yoluyla elde edilen peyniraltı suyu proteinlerinin hidrolizatlarının antibakteriyel aktivitesi değerlendirilmiştir. Hem hidrolize olan hem de hidrolize olmayan peyniraltı suyu proteinleri *E. coli* XL1 ve *L. innocua* LRGIA01'in gelişimini inhibe etmiştir. Özellikle hidrolize olmayan protein (40 g/L) *E. coli* ve *L. innocua* gelişimini sırasıyla %22 ve %16 oranında inhibe ederken, hidrolizatlar (10 g/L) sırasıyla %9 ve %11 oranında inhibisyon sağlamıştır [51]. Deve sütü ile yapılan bir başka çalışmada, deve sütü peynir altı suyu proteini 0.5 g/L konsantrasyonda *E. coli* Dh1 α üzerine büyükbaş hayvan sütüyle karşılaştırıldığında daha yüksek bir antimikrobiyal etki gösterdiği tespit edilmiştir. Proteinler üzerine proteinaz K enzimi ile hidrolize edildiğinde sırasıyla deve ve inekten elde edilen peynir altı suyu proteinlerinden elde edilen tüm hidrolizatların antimikrobiyal aktivitesinin 2.9 ve 4 kat arttığı görülmüştür. Ayrıca tripsin, kimotripsin ve termolislin ile hidroliz sonucu elde edilen hidrolizatların, hidroliz olmayan proteinlerle karşılaştırıldığında antimikrobiyal potansiyelde artış olduğu tespit edilmiştir. Bu proteinlerin UF fraksiyonları (3 kDa membran permeatı) *E. coli* üzerine daha fazla aktivite

göstermiştir. Bu yüzden farklı peynir altı suyu proteininin antibakteriyel aktivitesindeki farklılık düşünüldüğünde hidroliz için kullanılan substrat ve proteaz antimikrobiyal peptit üretimini etkilemektedir [52].

Deve sütünden izole edilen *Trichosporon asahii* ICVY021 suşu, süt ürünlerinde enzimatik bozulmalardan sorumlu olan ve deve sütünde kontaminasyonun bir göstergesi olarak bilinen *Micrococcaceae* familyasına ait *Kocuria rhizophila* CIP 53.45'a karşı oranisin P16 olarak adlandırılan antimikrobiyal peptit ürettiği tespit edilmiştir [53].

3.3. İnsan Sütünden Elde Edilen AMP

İnsan sütü doğal olarak yüzlerce antimikrobiyal peptit içermektedir. Bu peptitlerin yıllardır çeşitli hastalıkları engellediği bilinmektedir. İnsan sütü β kazeinin f(213-226) fraksiyonuna sahip PCD213 olarak isimlendirilen bir peptit, mikrodilüsyon metodu kullanılarak *S. aureus*, *Y. enterocolitica*, *L. monocytogenes*, *K. pneumoniae*, *E. coli* ve *B. subtilis*'in gelişimini engelleyici bir antimikrobiyal olarak denenmiştir. *S. aureus* ve *Y. enterocolitica*'nın PDC213'e diğer dört patojene karşı daha duyarlı olduğu gösterilmiştir. PDC213'ün (15 mg/ml) *S. aureus* ve *Y. enterocolitica* gelişiminin en az %80'ini inhibe ettiği gözlemlenmiştir. Buna karşın PDC213'ün konsantrasyonu 50 mg/ml'de de diğer patojenlere karşı bir antimikrobiyal etki göstermemiştir [22]. İnsan sütü beta defensin 2(hBD_2) gibi spesifik antimikrobiyal peptit grupları içerir. hB 2, *Salmonella* spp. ve *E. coli* içeren patojen mikroorganizmaların yanında *S. marcescens*, *P. aeruginosa* ve *Acinetobacter baumoni* gibi mikroorganizmaların gelişimini inhibe ederek bağışıklık sistemini destekleyebilmektedir [54,55].

SONUÇ

Bu derlemede farklı sütlerden elde edilen peptitlerin patojen mikroorganizmaların gelişimini engellemede önemli bir potansiyel olduğu ortaya konmuştur. Son zamanlarda antibiyotik dirençliğinin artması ile daha az işlem görmüş ve koruyucu ilave edilmemiş gıdalara olan ilginin artması ile sütten elde edilebilecek peptitlerin mikrobiyal gelişimi engellemesi umut vadetmektedir. Ayrıca süt kaynaklı elde edilen peptitlerin göstermiş olduğu yüksek antimikrobiyal

etki eczacılık, tıp gibi çeşitli alanlarda enfeksiyonların engellenmesinde kullanımının ilerleyen zamanlarda artacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Li-Chan, E. C., Bioactive peptides and protein hydrolysates: research trends and challenges for application as nutraceuticals and functional food ingredients, *Current Opinion in Food Science* 1, 28-37, 2015.
- [2] McClean, S., Beggs, L. B., Welch, R. W., Antimicrobial activity of antihypertensive food-derived peptides and selected alanine analogues, *Food Chemistry* 146, 443-447, 2014.
- [3] Ciumac, D., Gong, H., Hu, X., Lu, J. R., Membrane targeting cationic antimicrobial peptides, *Journal of Colloid and Interface Science* 537, 163-185, 2019.
- [4] Hancock, R. E., Sahl, H. G., Antimicrobial and host-defense peptides as new anti-infective therapeutic strategies, *Nature Biotechnology* 24(12), 1551, 2006.
- [5] Brogden, K. A., Antimicrobial peptides: pore formers or metabolic inhibitors in bacteria? *Nature Reviews Microbiology* 3(3), 238, 2005.
- [6] Malanovic, N., Lohner, K., Gram-positive bacterial cell envelopes: The impact on the activity of antimicrobial peptides, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes* 1858(5), 936-946, 2016.
- [7] Nguyen, L. T., Haney, E. F., Vogel, H. J., The expanding scope of antimicrobial peptide structures and their modes of action, *Trends in Biotechnology* 29(9), 464-472, 2011.
- [8] Huang, H. W., Action of antimicrobial peptides: two-state model, *Biochemistry* 39(29), 8347-8352., 2000.
- [9] Teixeira, V., Feio, M. J., Bastos, M., Role of lipids in the interaction of antimicrobial peptides with membranes, *Progress in Lipid research* 51(2), 149-177, 2012.
- [10] Mahalka, A. K., Kinnunen, P. K., Binding of amphipathic α -helical antimicrobial peptides to lipid membranes: lessons from temporins B and L. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes* 1788(8), 1600-1609, 2009.
- [11] Mohanty, D. P., Tripathy, P., Mohapatra, S., Samantaray, D. P., Bioactive potential assessment of antibacterial peptide produced by *Lactobacillus* isolated from milk and milk products, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 3, 72-80, 2014.

- [12] Théolier, J., Hammami, R., Labelle, P., Fliss, I., Jean, J., Isolation and identification of antimicrobial peptides derived by peptic cleavage of whey protein isolate, *Journal of Functional Foods* 5(2), 706-714, 2013.
- [13] McCann, K. B., Shiell, B. J., Michalski, W. P., Lee, A., Wan, J., Roginski, H., Coventry, M. J., Isolation and characterisation of antibacterial peptides derived from the f (164–207) region of bovine α_{s2} -casein, *International Dairy Journal* 15(2),133-143, 2005.
- [14] McCann, K. B., Shiell, B. J., Michalski, W. P., Lee, A., Wan, J., Roginski, H., Coventry, M. J., Isolation and characterisation of a novel antibacterial peptide from bovine α S1-casein, *International Dairy Journal* 16(4), 316-323, 2006.
- [15] Pellegrini, A., Dettling, C., Thomas, U., Hunziker, P., Isolation and characterization of four bactericidal domains in the bovine β -lactoglobulin, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects* 1526(2), 131-140, 2001.
- [16] Elbarbary, H. A., Abdou, A. M., Nakamura, Y., Park, E. Y., Mohamed, H. A., Sato, K., Identification of novel antibacterial peptides isolated from a commercially available casein hydrolysate by autofocusing technique, *Biofactors* 38(4), 309-315, 2012.
- [17] López-Expósito, I., Gómez-Ruiz, J. Á., Amigo, L., Recio, I., Identification of antibacterial peptides from ovine α s2-casein, *International Dairy Journal* 16(9), 1072-1080, 2006.
- [18] Demers-Mathieu, V., Gauthier, S. F., Britten, M., Fliss, I., Robitaille, G., Jean, J., Antibacterial activity of peptides extracted from tryptic hydrolyzate of whey protein by nanofiltration, *International Dairy Journal* 28(2), 94-101, 2013.
- [19] Almaas, H., Eriksen, E., Sekse, C., Comi, I., Flengsrud, R., Holm, H., Jensen, E., Jacobsen, M., Langsrud, T., Vegarud, G. E., Antibacterial peptides derived from caprine whey proteins, by digestion with human gastrointestinal juice, *British Journal of Nutrition* 106(6), 896-905, 2011.
- [20] Bougherra, F., Dilmi-Bouras, A., Balti, R., Przybylski, R., Adoui, F., Elhameur, H., Chevalier, M., Flahaut, C., Dhulster, P., Naima, N., Antibacterial activity of new peptide from bovine casein hydrolyzed by a serine metalloprotease of *Lactococcus lactis* subsp *lactis* BR16, *Journal of Functional Foods* 32, 112-122, 2017.
- [21] Sedaghati, M., Ezzatpanah, H., Boojar, M. M. A., Ebrahimi, M. T., Kobarfard, F., Isolation and identification of some antibacterial peptides in the plasmin-digest of β -casein, *LWT-Food Science and Technology* 68, 217-225, 2016.
- [22] Sun, Y., Zhou, Y., Liu, X., Zhang, F., Yan, L., Chen, L., Wang, X., Ruan, H., Ji, C., Cui, X., Wang, J., Antimicrobial activity and mechanism of PDC213, an endogenous peptide from

human milk, *Biochemical and Biophysical Research Communications* 484(1), 132-137, 2017.

- [23] Lahov, E., Regelson, W., Antibacterial and immunostimulating casein-derived substances from milk: casecidin, isracidin peptides, *Food and Chemical Toxicology* 34(1), 131-145, 1996.
- [24] Farnaud, S., Evans, R. W., Lactoferrin—a multifunctional protein with antimicrobial properties, *Molecular Immunology* 40(7), 395-405, 2003.
- [25] Pan, Y., Rowney, M., Guo, P., Hobman, P., Biological properties of lactoferrin: an overview, *Australian Journal of Dairy Technology* 62(1), 31, 2007.
- [26] Van der Kraan, M. I., Groenink, J., Nazmi, K., Veerman, E. C., Bolscher, J. G., Amerongen, A. V. N., Lactoferrampin: a novel antimicrobial peptide in the N1-domain of bovine lactoferrin, *Peptides* 25(2), 177-183, 2004.
- [27] Rodríguez-Franco, D. A., Vázquez-Moreno, L., Ramos-Clamont Montfort, G., Antimicrobial mechanisms and potential clinical applications of lactoferrin, *Revista Latinoamericana de Microbiología* 47(3-4), 102-111, 2005.
- [28] Ward, P. P., Paz, E., Conneely, O. M., Lactoferrin, *Cellular and Molecular Life Sciences* 62(22), 2540, 2005.
- [29] Biziulevičius, G. A., Kislukhina, O. V., Kazlauskaitė, J., Žukaitė, V., Food-protein enzymatic hydrolysates possess both antimicrobial and immunostimulatory activities: a ‘cause and effect’ theory of bifunctionality, *FEMS Immunology & Medical Microbiology* 46(1), 131-138, 2006.
- [30] Halavach, T. M., Dudchik, N. V., Tarun, E. I., Zhygankov, V. G., Kurchenko, V. P., Romanovich, R. V., Khartitonov, V. D., Asafov, V. A., Biologically active properties of hydrolysed and fermented milk proteins, *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9(4), 714-720, 2020.
- [31] Esmailpour, M., Ehsani, M. R., Aminlari, M., Shekarforoush, S., Hoseini, E., Antimicrobial activity of peptides derived from enzymatic hydrolysis of goat milk caseins, *Comparative Clinical Pathology* 25(3), 599-605, 2016.
- [32] Osman, A., Goda, H. A., Abdel-Hamid, M., Badran, S. M., Otte, J., Antibacterial peptides generated by Alcalase hydrolysis of goat whey, *LWT-Food Science and Technology* 65, 480-486, 2016.
- [33] Arruda, M. S., Silva, F. O., Egito, A. S., Silva, T. M. S., Lima-Filho, J. L., Porto, A. L. F., Moreira, K. A., New peptides obtained by hydrolysis of caseins from bovine milk by protease

extracted from the latex *Jacaratia corumbensis*, *LWT-Food Science and Technology* 49(1), 73-79, 2012S

- [34] Hayes, M., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., Hill, C., Stanton, C., Casein-derived antimicrobial peptides generated by *Lactobacillus acidophilus* DPC6026, *Applied and Environmental Microbiology* 72(3), 2260-2264, 2006.
- [35] Hidalgo, M. E., C rrea, A. P. F., Canales, M. M., Daroit, D. J., Brandelli, A., Risso, P., Biological and physicochemical properties of bovine sodium caseinate hydrolysates obtained by a bacterial protease preparation, *Food Hydrocolloids* 43, 510-520, 2015.
- [36] Liu, Y., Ma, Y., Hou, C., Song, S., Inhibitory effect of milk-derived peptide α S2-casein151-181 against spore-forming bacteria, *International Dairy Journal*, 104, 104651, 2020.
- [37] Pritchard, S. R., Phillips, M., Kailasapathy, K., Identification of bioactive peptides in commercial Cheddar cheese, *Food Research International* 43(5), 1545-1548, 2010.
- [38] Rizzello, C. G., Losito, I., Gobbetti, M., Carbonara, T., De Bari, M. D., Zambonin, P. G., Antibacterial activities of peptides from the water-soluble extracts of Italian cheese varieties, *Journal of Dairy Science* 88(7), 2348-2360, 2005.
- [39] Fialho, T. L., Carrijo, L. C., J nior, M. J. M., Baracat-Pereira, M. C., Piccoli, R. H., de Abreu, L. R., Extraction and identification of antimicrobial peptides from the Canastra artisanal minas cheese, *Food Research International* 107, 406-413, 2018.
- [40] Demers-Mathieu, V., Gauthier, S. F., Britten, M., Fliss, I., Robitaille, G., Jean, J., Inhibition of *Listeria monocytogenes* growth in Cheddar cheese by an anionic peptides-enriched extract from whey proteins, *International Dairy Journal* 32(1), 6-12, 2013.
- [41] da Silva, D. D., de Lima, M. D. S. F., da Silva, M. F., da Silva, G. R., Campos, J. F., Albuquerque, W. W., Cavalcanti, M. T. H., Porto, A. L. F., Bioactive water-soluble peptides from fresh buffalo cheese may be used as product markers, *LWT* 108, 97-105, 2019.
- [42] Banihashemi, S. A., Nikoo, M., Ghasempour, Z., & Ehsani, A., Bioactive peptides fractions from traditional Iranian Koopeh cheese; lactic fermentation products, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 29, 101798, 2020.
- [43] Zanutto-Elgui, M. R., Vieira, J. C. S., do Prado, D. Z., Buzalaf, M. A. R., de Magalh es Padilha, P., de Oliveira, D. E., Fleuri, L. F., Production of milk peptides with antimicrobial and antioxidant properties through fungal proteases, *Food chemistry*, 278, 823-831, 2019.

- [44] Li, L., Wang, L., Gao, Y., Wang, J., Zhao, X., Effective antimicrobial activity of plectasin-derived antimicrobial peptides against *Staphylococcus aureus* infection in mammary glands, *Frontiers in Microbiology* 8, 2386, 2017.
- [45] Miao, J., Guo, H., Ou, Y., Liu, G., Fang, X., Liao, Z., Ke, C., Chen, Y., Zhao, L., Cao, Y., Purification and characterization of bacteriocin F1, a novel bacteriocin produced by *Lactobacillus paracasei* subsp. *tolerans* FX-6 from Tibetan kefir, a traditional fermented milk from Tibet, China, *Food Control* 42, 48-53, 2014.
- [46] Miao, J., Liu, G., Ke, C., Fan, W., Li, C., Chen, Y., Dixon, W., Song, M., Cao, Y., Xiao, H., Inhibitory effects of a novel antimicrobial peptide from kefir against *Escherichia coli*, *Food Control* 65, 63-72, 2016.
- [47] de Lima, M. D. S. F., da Silva, R. A., da Silva, M. F., da Silva, P. A. B., Costa, R. M. P. B., Teixeira, J. A. C., Porto A. L. F., Cavalcanti, M. T. H., Brazilian kefir-fermented sheep's milk, a source of antimicrobial and antioxidant peptides, *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 10(3), 446-455, 2018.
- [48] Kumar, D., Chatli, M. K., Singh, R., Mehta, N., Kumar, P., Antioxidant and antimicrobial activity of camel milk casein hydrolysates and its fractions, *Small Ruminant Research* 139, 20-25, 2016.
- [49] Almi-Sebbane, D., Adt, I., Degraeve, P., Jardin, J., Bettler, E., Terreux, R., Oulahal, N., Mati, A., Casesidin-like anti-bacterial peptides in peptic hydrolysate of camel milk β -casein, *International Dairy Journal* 86, 49-56, 2018.
- [50] Muhialdin, B. J., Algboory, H. L., Identification of low molecular weight antimicrobial peptides from Iraqi camel milk fermented with *Lactobacillus plantarum*, *Pharma Nutrition* 6(2), 69-73, 2018.
- [51] Jrad, Z., El Hatmi, H., Adt, I., Girardet, J. M., Cakir-Kiefer, C., Jardin, J., Degreave, P., Khorchani, T., Oulahal, N., Effect of digestive enzymes on antimicrobial, radical scavenging and angiotensin I-c onverting enzyme inhibitory activities of camel colostrum and milk proteins, *Dairy Science & Technology* 94(3), 205-224, 2014.
- [52] Salami, M., Moosavi-Movahedi, A. A., Ehsani, M. R., Yousefi, R., Haertle, T., Chobert, J. M., Ravazi, S. H., Henrich, R., Balalaie, S., Ebadi, S. A., Pourtakdoost, S., Niasari-Naslaji, A., Improvement of the antimicrobial and antioxidant activities of camel and bovine whey proteins by limited proteolysis, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58(6), 3297-3302, 2010.
- [53] Ider, S., Belguesmia, Y., Cazals, G., Boukherroub, R., Coucheney, F., Kihal, M., Enjalbal, C., Drider, D., The antimicrobial peptide oranicin P16 isolated from *Trichosporon asahii*



ICVY021, found in camel milk's, inhibits *Kocuria rhizophila*, *Food Bioscience*, 36, 100670, 2020.

- [54] Hakansson, A. P., Protective effects of human milk antimicrobial peptides against bacterial infection, *Jornal de Pediatria* 91(1), 04-05, 2015.
- [55] Mohanty, D., Jena, R., Choudhury, P. K., Pattnaik, R., Mohapatra, S., Saini, M. R., Milk derived antimicrobial bioactive peptides: a review, *International Journal of Food Properties* 19(4), 837-846, 2016.

KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
KIRKLARELİ UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisinde fen ve mühendislik alanında özgün araştırma makaleleri, derlemeler, kısa makaleler, teknik not, vaka takdimleri, kitap eleştirileri ve bilimsel nitelikli editöre mektuplar yayınlanır. Dergi Aralık ve Haziran aylarında olmak üzere yılda iki kez yayınlanır. Yayınlanmak üzere gönderilen eserlerin başka bir yerde yayınlanmamış veya yayınlanmak üzere gönderilmemiş olması gerekmektedir. Derginin yayın dili Türkçe ve İngilizcedir. Dergide yayınlanacak eserlerin her türlü sorumluluğu yazar/larına aittir. Makaleler, <http://dergipark.ulakbim.gov.tr> adresine gönderilmelidir. Makalenin hakem incelemesi için kabul edilmesi durumunda, Telif Hakkı Devir Formu tüm yazarlarca imzalanarak editörlüğe gönderilmelidir. Dergiye gönderilen makaleler, öncelikle Dergi Yayın Kurulu tarafından bilimsel içerik ve şekil bakımından ön incelemeye tabii tutulur. Dergi Yayın Kurulu, yayınlanabilecek nitelikte bulmadığı veya yazım kurallarına uygun hazırlanmayan makaleleri hakemlere göndermeden red kararı verme hakkına sahiptir. Değerlendirmeye alınabilecek olan makaleler, incelenmek üzere iki ayrı hakeme gönderir. Dergi Yayın Kurulu, hakem raporlarını dikkate alarak makalelerin yayınlanmak üzere kabul edilip edilmemesine karar verir.

Yazım Kuralları / Instructions

1. Yazı tümüyle (metin, tablolar, denklemler, çizimler) bilgisayarda düzenlenmeli ve baskıya hazır biçimde teslim edilmelidir. Yazı, A4 (210 x 297 mm) boyutlu kâğıda, Word ortamında, 12 punto (ana başlık 14 punto) Times New Roman font kullanılarak, bir buçuk aralıkla ve her iki yana yaslı olarak yazılmalı, kâğıdın tüm kenarlarından 25 mm boşluk bırakılmalıdır.
2. Çizimler ve tablolarla birlikte, makaleler 25 sayfadan, teknik notlar 6 sayfadan daha uzun olmamalıdır.
3. Yazı, elektronik ortamda (CD veya e-posta eki) dergi e-posta adresine veya dergi yazışma adresine gönderilmelidir.
4. Metin yalın bir dil ve anlatımla yazılmalı, Türkçe yazım kurallarına uygun olmalı, üçüncü tekil şahıs ve edilgen fiiller kullanılmalı, devrik cümleler içermemelidir.
5. Bölümler (i) özet ve anahtar kelimeler, (ii) abstract and keywords (İngilizce başlık, özet ve anahtar kelimeler), (iii) ana metin (giriş, materyal ve metod, sonuçlar vb.), (iv) semboller, (v) teşekkür (gerekliyse) ve (vi) kaynaklar sırası içinde düzenlenmelidir.
6. Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtabilmelidir. Başlık büyük harfle ortalanarak yazılmalıdır.
7. Yazar/ların adları kısaltmasız, başlığın altına yan yana, soyadlar büyük harfle ortalanarak 11 punto boyutunda yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra virgül ve adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır. Yazışmaların yapılacağı sorumlu yazar isminde mutlaka üst simge yıldız (*) sembolü olmalıdır. Adres/ler tam yazılmalı, kısaltma yapılmamalıdır. Sorumlu yazarın e-mail adresi dipnot olarak bulunmalıdır. Yazar adları yazılırken herhangi bir akademik unvan belirtilmemelidir.
8. Özet (ve Abstract) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 200 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç tane anahtar kelime verilmelidir. Anahtar kelimeler, zorunlu olmadıkça başlıktakilerin tekrarı olmamalıdır. Başlık, Özet ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı, birinci sayfanın altında on satır boş bırakılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır.
9. Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır (TS1212).
10. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ve varsa kısaltmalar ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalı, ayrıca metnin sonunda (Kaynaklardan önce) tüm semboller alfabetik sıra ile (önce Latin, sonra Yunan alfabesi) listelenmelidir.
11. Matematiksel ifadeler (denklemler) Word ortamında "Equation Editör" kullanılarak yazılmalıdır. Metin içerisinde geçen denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir.

12. Tablo dışında kalan fotoğraf, resim, çizim ve grafik gibi gösterimler “Şekil” olarak verilmelidir. Resim, şekil ve grafikler net ve ofset baskı tekniğine uygun olmalıdır. Her tablo ve şeklin metin içindeki yeri belirtilmelidir. Tüm tablo ve şekiller makale boyunca sırasıyla numaralandırılmalı (Tablo 1., Tablo 2., Şekil 1., Şekil 2. gibi) başlık ve açıklama içermelidir. Grafik ve şekiller basılı sayfa boyutları dikkate alınarak çizilmelidir. Şekillerin sıra numaraları ve başlıkları şeklin altına, tabloların ki ise tablonun üstüne yazılmalıdır.

13. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır.

14. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir.

15. Dergimize yayınlanmak üzere gönderilen makaleler benzerlik kontrol programı ile kontrol edilecektir. Benzerlik raporu ilgili yayın danışma kurulu üyesine kontrol etmesi için gönderilecektir. Benzerlik raporu sonucu yüksek çıkan makaleler için yazardan düzenleme talep edilir.

16. Kaynaklar metinde köşeli parantez ([]) içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Yayınlanmamış bilgiler kaynak olarak verilmemelidir. Ancak tamamlanmış ve jüriden geçmiş tezler ve DOI numarası olan makaleler kaynak olarak verilebilir.

Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:

Kaynak makale ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin tam başlığı, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, basıldığı yıl.

Örnek: [1] Naghdi, P. M., Kalnins, A., On Vibrations of Elastic Spherical Shells. J. Appl. Mech., C 29, S 65-72, 1962.

Kaynak kitap ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, kitabın adı, cilt numarası, varsa editörü, yayınlandığı yer, yayınlandığı yıl.

Örnek: [2] Kraus. H., Thin Elastic Shells, New York. Wiley, 1967.

Kaynak bildiri ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin adı, konferansın adı, yapıldığı yer, başlama ve bitiş sayfaları, yıl.

Örnek: [3] Cappleman. O., Communication in the Studio, FIDE'98 International Conference on First Year Architectural Design Education Proceedings, Faculty of Architecture İstanbul Technical University, Cilt V, S 48-54, 1998

Kaynak tez ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, başlama ve bitiş sayfaları, yıl.

Örnek: [4] Özşahin. B., Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Duvarlı Binaların Yapımsal ve Ekonomik Uygulanabilirliği, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 5-9, 2011

Kaynak rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayınlandığı yer, yıl.

Örnek: [5] Makarewicz. J.C., Lewis. T., Bertram. P., Epilimnetic Phytoplankton and Zooplankton Biomass and Species Composition in Lake Michigan, 1983-1982, IL EPA 905-R-95-009, U.S EPA Great Lakes Natioanl Program, Chicago, 1995

Kaynak internet ise: Eğer bir bilgi herhangi bir internet sayfasından alınmış ise (internetten alınan ve dergilerde yayınlanan çalışmalar hariç)

Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, çalışmanın adı, internet sitesinin adı ve adresi, internet sitesine erişim tarihi

Örnek: [6] Pieper. C. M., Introduction to Activity Based Costing, ATechnical Bulletin From ABC Technologies, www.abctech.com 1998, Erişim tarihi: 12.10.2014

KIRKLARELİ UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Kirklareli University Journal of Engineering and Science welcome materials for publications as original research papers, short communications, technical notes, case reports, book/software reviews and scientific letter to editors. Kirklareli University Journal of Engineering and Science is published two issues per year in June and December. Manuscripts submitted to the journal are only accepted if they have not been or will not be published and should not be under review elsewhere. Manuscript's language is English and Turkish. All responsibility of the studies belongs to the authors. Studies should be prepared in accordance with international scientific ethics rules. Studies must be sent to <http://dergipark.ulakbim.gov.tr>.

For the studies accepted for publication in our journal, copyright transfer form signed must be sent to the journal editorial. Papers are firstly checked for their suitability for technical and journal's style. The manuscripts that do not suit journal's standards or not suitable correspond to the scope journal are refused with unexplained reason. Manuscripts that are found suitable for peer review will be assigned to two expert reviewers. The final decision to accept or reject a manuscript will be made by the Editorial Boards. After review process, the Editorial Boards will inform the authors of acceptance, rejection or necessity of revision of the manuscript.

Instructions / Yazım Kuralları

1. Text (tables, equations, figures, pictures etc.) should be prepared using Microsoft Word Processor with Times New Roman font and 12 point (The title 14 point) size. Manuscripts should be written with 1,5 line spacing on A4 (210 x 297 mm) sized typing paper with 25 mm all margins.
2. The maximum number of pages for original research papers (including tables, figures and references) should be 25 and for the technical notes should be 6 respectively.
3. Paper should be sent online by the journal web site or should be posted CD by journal correspondence address.
4. Text should be written in plain language and narrative, it should be free from any spelling or grammatical errors and the third person singular passive verb should be used.
5. The parts should be in order to (i) Turkish abstract and key words, (ii) English abstract and key words, (iii) main text (Introduction, Material and Methods, Results, Discussions etc.), (iv) symbols, (v) acknowledgements and (vi) references.
6. The title suitable for the content should be clear, as short as possible and centered on the page with the capital letters.
7. All Authors full names should be written as lower case 11 font size in the middle and surname of the authors should be written capital letters. After authors name and surnames, authors' addresses should be stated with superscript numbers (e.g. 1, 2, 3). Corresponding author's full name should be marked with an asterisk (*). All authors' addresses must be typed with lower case 11 font in the center. The corresponding author's contact address and e-mail address should be given. Names of institutions and cities each authors also must be stated. Authors' name and surname should not indicated any academic title.
8. A brief, informative English and Turkish abstract, not exceeding 200 words, should be typed in 12 font size. Immediately following the abstract, authors should provide at least 3 English and Turkish keywords or phrases that reflect content of the article. The key words should not repeat of the title as possible.
9. Section and sub-section title should be numbered (TS1212).
10. In general, the recommendations of the SI units should be followed. Symbols, formulas and equations should be written with great care, capitals and lower case letters being distinguished where necessary. Unusual symbols employed for the first time should be defined by name in the left-hand margin. Abbreviations require definition when first used.

11. Mathematical expressions should be written by an equation editor (Word format). Each equation in text should be numbered and numbers should be shown in parentheses at the end of the line.
12. The drawings, photos and graphs except the tables should be given as "Figure" in manuscript. Electronically submitted figures and graphs are preferred *.jpg or *.tiff formats. Do not give magnification on scales in the figure titles; instead draw bar scales directly on the figures. All the tables and figures must be referred in the text. The numbers and headings of figures must be written below the figure. The numbers and headings of tables should be written the top of the table.
13. SI (System International d'Unités) units should be used.
14. The acknowledgement in the manuscript should be short as possible and it should be indicated if any support is given to work by an institution or a person.
15. Manuscripts submitted for publication in our journal are checked a similarity control software. Similarity report will be sent on the advisory board to be checked. If the similarity control program report results as high similarity, manuscripts are sent back to authors for them to make necessary changes.
16. Literature references are to be numbered consecutively in square brackets. The list of references should be given at the end of the paper in order of their first appearance in the text. Unpublished data should not be used as references. But MSc and PhD thesis, accepted by jury and the manuscripts not published yet if accepted for publication with DOI numbers can be use as references.

References should be provided with the following information:

If the reference is a journal paper: Author surname, first name initial(s), title of the paper, journal name, volume number, pages, year.

Example: [1] Naghdi, P. M., Kalnins, A., On Vibrations of Elastic Spherical Shells. J. Appl. Mech., C 29, S 65-72, 1962

If the reference is a book: Author surname, first name initial(s), title of the book, volume number, editor(s) (if provided), place of print , page interval, year.

Example: [2] Kraus. H., Thin Elastic Shells, New York. Wiley, 1967.

If the reference is a congress presentation: Author surname, first name initial(s), title of the presentation, name of the congress, seminar or conference, place, page interval, year.

Example: [3] Cappleman. O., Communication in the Studio, FIDE'98 International Conference on First Year Architectural Design Education Proceedings, Faculty of Architecture İstanbul Technical University, Cilt V, S 48-54, 1998

If the reference is a printed thesis: Author surname, first name initial(s), title of the thesis, thesis type (MSc. or Ph.D), institute submitted, place, page interval, year.

Example: [4] Özşahin. B., Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Duvarlı Binaların Yapımsal ve Ekonomik Uygulanabilirliği, Ph.D, Trakya University Graduate School of Natural and Applied Sciences, P 5-9, 2011

If the reference is a source publication: Author surname, first name initial(s), report name, name of the organization (if the report is prepared by an organization), report number (if applicable), place, page interval, year.

Example: [5] Makarewicz. J.C., Lewis. T., Bertram. P., Epilimnetic Phytoplankton and Zooplankton Biomass and Species Composition in Lake Michigan, 1983-1982, IL EPA 905-R-95-009, U.S EPA Great Lakes Natioanl Program, Chicago, 1995

For Electronic Encyclopedia and books: Author surname, first name initial(s), title of the paper, journal name, website name and web address, date of access

Example: [6] Pieper. C. M., Introduction to Activity Based Costing, A Technical Bulletin From ABC Technologies, www.abctech.com 1998, 12.10.2014



MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE
http://fbederigi.klu.edu.tr

TELİF HAKLARI DEVİR FORMU

Makale Adı:

Yazarların Ad/ları:

Biz aşağıda imzaları bulunan yazarlar, sunduğumuz makalenin orijinal olduğunu; başka bir yerde yayınlanmak üzere verilmediğini, daha önce yayınlamadığını, eğer, tümüyle ya da bir bölümü yayınlandı ise yukarıda adı geçen dergide yayınlanabilmesi için gerekli her türlü iznin alındığını ve orijinal telif hakkı devir formu ile birlikte Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü'ne gönderildiğini garanti ederiz.

Makalenin telif haklarından feragat etmeyi kabul ederek sorumluluğu üstlenir ve imza ederiz.
Bu vesileyle makalenin telif hakkı Kırklareli Üniversitesi'ne devredilmiştir. Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayınlanabilmesi konusunda yetkili kılınmıştır. Bununla birlikte yazar/ların aşağıdaki hakları saklıdır:

1. Telif Hakkın dışında kalan patent vb. bütün tescil edilmiş haklar.
2. Yazarın gelecekteki yapacağı kitap ve dersler gibi çalışmalarında; makalenin tümü veya bir bölümünü ücret ödemeksizin kullanma hakkı.
3. Makaleyi satmamak koşulu ile kendi amaçları için çoğaltma hakkı.

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

(Yazar isimleri makaledeki sıraya göre yazılacak ve Telif Hakları Devir Formu tüm yazarlar tarafından imzalanacaktır.)

Makaleyi Gönderen Sorumlu Yazar:

Adı -Soyadı:

Yazışma Adresi:

Telefon: ()

Fax: ()

E-posta:

Bu form makale hakem incelemesi için dergi editörlüğünce kabul edildikten sonra doldurulup imzalandıktan sonra basılı 2 nüsha halinde "Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kavaklı Yerleşkesi Değirmencik Yolu Üzeri Kavaklı/ Kırklareli" adresine gönderilmelidir.



JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
http://fbedergi.klu.edu.tr

COPYRIGHT TRANSFER FORM

Manuscript Title:

Full names of all authors:

The undersigned authors, we guarantee that our submitted manuscript is original work; it has not been published and is not being submitted or considered for publication elsewhere, if, in whole or part of publication of the magazine was published for the above-mentioned receipt of all necessary permits and was sent to Editorial Office of Kırklareli University Journal of Engineering and Science with copyright transfer form.

We agree to waive the right to assume the responsibility of the copyright of the article and thank signature. This article is hereby transferred to the copy right of Kırklareli University. Kırklareli University Journal of Engineering and Science Editor of the publication the article is authorized. However, the authors reverse the following rights:

1. All proprietary rights Copyrights outside, such as patents.
2. to use, free of charge, all parts of this article for the authors' future works in books, lectures.
3. the right to reproduce the article for their own purposes provided the copies are not offered for sale.

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

(The authors will be written in the order of to appear on manuscript and copyright transfer form should be signed by all authors)

Corresponding Author's:

Name-Surname:

Address:

Phone: ()

Fax: ()

E-mail:

Please, fill in this form after your manuscript accepted by journal editorial for referee review, sign and sent two copies published form to address: "Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kavaklı Yerleşkesi Değirmencik Yolu Üzeri Kavaklı/ Kırklareli"