

ULUSLARARASI HAKEMLİ MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

INTERNATIONAL REFEREED JOURNAL OF ENGINEERING AND SCIENCES

PRINT ISSN: 2149-2484 - ONLINE ISSN: 2148-4783 • SAYI: 19 YIL: 2023 - ISSUE: 19 YEAR: 2023



İMTİYAZ SAHİBİ / *PRIVILEGE*

“Bu Dergi Türk Patent Enstitüsü Tarafından Marka Tescili İle Tescillidir”

“This Journal is Registered by Trademark of Turkish Patent Institute”

(2015/04066- 2015-GE-17837)



GÜVEN PLUS GRUP A.Ş.

www.guvenplus.com.tr

- 1 Dergimiz hakemli ve uluslararası indeksli bir dergidir. Her yayın en az iki alan uzmanı hakem tarafından değerlendirilmektedir. İki alan hakemi tarafından olumlu “yayınlanabilir” yönünde rapor almayan yayınlar dergimizde yayınlanmaz. Bu durum karşısında hiçbir yazar(lar) dergimiz üzerinde bir hak iddiasında bulunamaz. Dergimizde yayınlanmaya hak kazanan “Etik Kurul Raporu” bulunan yayınlara dair etik kurul bilgileri yazılı olarak editörlüğe gönderilmesi ve sisteme yayın yüklenirken sisteme yüklenmesi zorunludur. Etik kurul raporu olan ve sisteme bilgisi girilmeyen ya da yazılı olarak editörlüğe bilgileri ulaştırılmayan çalışmalardan doğan her türlü sorumluluk yazar(lar)’a aittir. Dergimizin hiçbir kurulu ve yetkilisi bu konuda maddi ve manevi sorumluluk kabul etmez. Dergi kurul ve üyeleri “yetkilileri” Hukuki yükümlülük altına alınmaz. Her yazar ve yazarlar bu durumu peşinen kabul etmiştir.
- 2 Dergi hakem ve kurullarında yer alan akademisyen ile diğer yetkililer hakkında yazar(lar) dergi sistem işleyişi sürecine dair bir talepte bulunamaz. Bulunsalar bile herhangi bir bilgi kendilerine verilmez, sistem süreci değiştirilmez. Dergimiz ile ilgili her türlü bilgi derginin web sayfasında www.mtddergisi.com adresinden edinilebilir.
- 3 Dergimiz yılda üç sayı şeklinde çıkmakta her yılın “Nisan – Ağustos – Aralık” aylarının son günü derginin sayısında bulunan tüm makaleler tek cilt halinde dergi web sistemine yüklenir. Dergi web sisteminden makaleler tüm okuyucular tarafından indirilir ve ilgili eser “makale” ve dergimize atıf yapılmak koşulu ile kullanılabilir. Dergimizin tüm sayılarına okuyucular ücretsiz olarak ulaşmaktadır.
- 4 Dergimizde yayınlanan tüm makaleler (ISO 18001-OH-0090-13001706 / ISO 14001-EM-0090-13001706 / ISO 9001-QM-0090-13001706 / ISO 10002-CM-0090-13001706) kalite belgeleriyle ve (2015/04018-2015-GE-17595) Marka patent ile güvence altına alınmıştır. Yayınlanmış olan makaleler kalite, marka patent ve doi bilgileri ile ilgili çalışmanın yazarlarına eserleri hakkında her türlü hukuki hak ve uluslararası güvence sağlamaktadır.
- 5 Dergimiz basılı ve e dergi olarak yayınlanmaktadır. Print ISSN: Print: 2148-4880 Online: 2148-8142 numarası ile T.C. Kültür Bakanlığında dergimiz hakkında her türlü bilgiye ulaşılabilir.
- 6 Kaynakça Türkçe alfabe sıralamasına göre düzenlenir. Tüm yazarlar için derginin son sayısındaki yazım formatı dikkate alınmak zorundadır.
- 7 Dergimiz uluslararası indeksli bir dergi olup dergimizde yayınlanan tüm çalışma ve makaleler derginin yayınlandığı tarih itibariyle ilgili indekslere mail yolu ile ulaştırılır.
- 8 Dergimizde özgün araştırma, inceleme, derleme, olgu sunumu, proje ve kitap tanıtımı “makale formatında olmak zorundadır” türünde yayınlara yer verilmektedir.
- 9 Dergimize gönderilen tüm çalışmalar sisteme yüklendiği şekil ve an itibariyle başka bir dergide yayınlanmamış, değerlendirmeye alınmamış ve red edilmemiş olması gerekir. Tüm sisteme yüklenen makaleler yazar(lar) tarafından bu kurallara uyulduğunu kabul etmiş sayılır. Aksi durumda ilgili yazar(lar) hakkında dergimiz hukuki haklarını saklı tutar. Oluşabilecek olumsuzluk karşısında maddi ve manevi tüm sorumluluk ilgili yazar(lar)’a aittir. Dergimiz T.C. Kanunlarına göre hareket eder.

- 1 Our journal is a refereed and internationally indexed journal. Each paper is evaluated by two referees who are field experts. The articles not reported as “issuable” positively by two field referees aren’t published in our journal. None of the author(s) can lay a claim on our journal in this case. Data, concerning the ethics committee of the studies, approved to be published in our journal, having the Ethics Committee Report, should be submitted to the editors in written and uploaded to the system with the article. Author(s) should take the responsibility of their articles, having the Ethics Committee Report, which were not submitted to the editors in written and were not uploaded to the system. None of the committees and the authorities in our journal are responsible for pecuniary and non-pecuniary damages. The committees and the authorities in our journal do not have any legal obligations. Author(s) have accepted this situation beforehand.
- 2 Author(s) cannot make a demand for the journal’s procedure concerning the academicians in journal’s referee board and other boards and other authorities. Even if so, they aren’t given any information, system process cannot be changed. Necessary information about our journal can be obtained from the website of the journal www.mtddergisi.com.
- 3 Our journal publishes three times a year, all articles in the relevant volume of journal are uploaded to the web system of the journal in one volume on the last day of the months “April – August – December.” All readers can download the articles from the journal’s web system and the relevant paper “article” can be used on condition that our journal is cited. Readers can download all volumes of our journal for free.
- 4 All articles published in our journal are assured with certificate of quality (ISO 18001-OH-0090-13001706 / ISO 14001-EM-0090-13001706 / ISO 9001-QM-0090-13001706 / ISO 10002-CM-0090-13001706) and trademark patent (2015/04018-2015-GE-17595). Articles published provide their authors with all kinds of legal rights and international assurance regarding their articles with quality, trademark, patent and doi information.
- 5 Our journal has both printed and online versions. Necessary information about our journal can be obtained from the T.R. Ministry of Culture with the number ISSN: Print: 2148-4880 and Online: 2148-8142
- 6 References are arranged by the Turkish alphabet. The printing format in the last volume of the journal should be taken into account by all authors.
- 7 Our journal is an internationally indexed journal, and all articles and papers published in our journal are sent to relevant indices via e-mail by the publication date of the journal.
- 8 Original research, analysis, compilation, case study, project and book introduction “have to be in an article format” and these publications are also included.
- 9 All papers sent to the journal and uploaded to the system shouldn’t be previously published, not evaluated and not rejected. All articles uploaded to the system are acknowledged that author(s) conform to these rules. Otherwise, our journal keeps its legal rights reserved. All material and moral responsibility regarding a negative situation belong to author(s). Our journal acts in line with the T.R. Law.

ABUNDANCE RATIOS OF ELEMENTS ON STARS: SPECTROSCOPIC MEASUREMENTS; AGE OF STAR AND CORRELATIONS WITH ITS COSMIC PAST	1-9
Yıldızlarda Element Bolluk Oranları: Spektroskopik Ölçmeler; Yıldızların Yaşı Ve Kozmik Geçmişi İle Korelasyonlar <i>Kutluay YÜCE, Charles R. COWLEY</i>	
COMPACTION CHARACTERISTICS OF SOFT SOIL STABILIZED WITH LIME AND METAKAOLIN-BASED GEOPOLYMER	10-18
Kireç ve Metakolin Esaslı Geopolimer ile Stabilize Edilmiş Yumuşak Zeminlerin Kompaksiyon Özellikleri <i>Tadesse Abebe WASSIE, Gökhan DEMİR</i>	
TÜRKİYE’NİN DÖNGÜSEL EKONOMİ UYGULAMASINDA ELEKTRONİK ATIKLARIN YERİ	19-35
Turkey’s Implementation Of Circular Economy Location Of Electronic Waste <i>Yeşim DEDE SAĞSÖZ, Eda TAŞDELEN EREN</i>	
BOR ATIKLARININ GERİ KAZANIM UYGULAMALARININ İNCELENMESİ	36-53
Investigation Of Boron Waste Recycling Applications <i>Eda TAŞDELEN EREN, Yeşim DEDE SAĞSÖZ</i>	
34,5 kV DAĞITIM ŞEBEKESİNİN SÜPERİLETKENLERLE TASARLANMASI VE MEVCUT SİSTEMLE KARŞILAŞTIRILMASI	54-71
Designing A 34.5 Kv Distribution Network With Superconductors And Comparison With The Existing System <i>Kevser GÖK, Türker Fedai ÇAVUŞ</i>	

Baş Editörler

- Prof. Dr. Ashok JAMMI - Principal Anurag College of Engineering - Hindistan
- Prof. Dr. Mihaela BUCIUMEANU - University Dunarea de Jos of Galati - Romanya
- Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN - Nişantaşı Üniversitesi - Türkiye

Genel Yayın Yönetmenleri

- Doç. Dr. Zeynep YAMAN - Sakarya Üniversitesi - Türkiye
- Dr. Öğr. Üye. Senai YALÇINKAYA - Marmara Üniversitesi - Türkiye

Sistem Editörleri

- Dr. Öğr. Üye. Senai YALÇINKAYA - Marmara Üniversitesi - Türkiye
- Dr. Öğr. Üye. Ebuzer AYGÜL - Hakkari Üniversitesi - Türkiye

Dil Editörleri

- Prof. Dr. Feryal ÇUBUKÇU - Dokuz Eylül Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Giray Saynur DERMAN - Marmara Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Gülsemiz HAZER - Sakarya Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Muammer CENGİL - Hitit Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Yakup POYRAZ - Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Gökşen ARAS - Atılım Üniversitesi - Türkiye
- Dr. Öğr. Üye. Rommel TABULA - Rajamagala University of Technology Lanna (İngilizce) - Tayland
- Dr. Öğr. Üye. Santhosh KUMAR - Bishop Heber College - Department of English (İngilizce) - Hindistan
- Dr. Sinem HERGÜNER SON - Gazi Üniversitesi - Türkiye

Teknik Editörler

- Doç. Dr. H. Meltem GÜNDOĞDU - Kırklareli Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Levent ARIDAĞ - Gebze Teknik Üniversitesi - Türkiye
- Öğr. Gör. Ozan KARABAŞ - Hitit Üniversitesi - Türkiye

İstatistik ve Ölçme Değerlendirme Editörleri

- Prof. Dr. Ayhan AYTAÇ - Trakya Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Ahmet Fahri ÖZOK - Okan Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Ali Hakan BÜYÜKLÜ - Yıldız Teknik Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Nurcan METİN - Trakya Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Serdar TOK - Manisa Celal Bayar Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Emre DÜNDER - Ondokuz Mayıs Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Ömer ALKAN - Atatürk Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Saliha ÖZPINAR - Alanya Alattin Keykubat Üniversitesi - Türkiye

Yayın Kurulu

- Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ - Gazi Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Ackerman MARKS - University of Michigan - A.B.D.
- Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU - İstanbul Teknik Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Adrian OLARU - Polytechnic University of Bucharest - Romanya
- Prof. Dr. Arbakariya ARIFF - University Putra - Malezya
- Prof. Dr. Arvind ATREYA - University of Michigan - A.B.D.
- Prof. Dr. Ali Rıza MOTORCU - Çanakkale 18 Mart Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Ashok JAMMI - Principal Anurag College of Engineereng - Hindistan
- Prof. Dr. Burcu YILMAZ - Marmara Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Bülent SALDERAY - Ankara Hacıbayram Veli Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Erdem ÜNVER - Atılım Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Erdoğan GÜNEŞ - Ankara Üniversitesi - Ankara
- Prof. Dr. Ferhan KUYUCAK ŞENGÜR - Eskişehir Teknik Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Fevzi BEDİR - Gebze Teknik Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Gürol YILDIRIM - Giresun Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Gürel ÇAM - İskenderun Teknik Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Gonca BÜYÜKMIHCI - Erciyes Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Grzegorz KRÓLCZYK - Opole University of Technology - Polonya
- Prof. Dr. Hamid Reza KARIMI - Politecnico di Milano - İtalya
- Prof. Dr. H. Ziya ÖZEK - Namık Kemal Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Hiroshi Sekimoto - Tokyo Institute of Technology - Japonya
- Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU - Karadeniz Teknik Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Jory HANCOCK - University Of Arizona - A.B.D.
- Prof. Dr. Hatice ÖĞÜT - Ahievran Üniversitesi - Türkiye

Yayın Kurulu

- Prof. Dr. Hüsnu GERENÇİ - Düzce Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Mihaela BUCIUMEANU - University Dunarea de Jos of Galati - Romanya
- Prof. Dr. Mohammad ISRAR - Sur University College Mechanical Engineering - Hindistan
- Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ - Erciyes Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR - Sivas Cumhuriyet Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Metin GÜRÜ - Gazi Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Mohd Ali Hassan - Universiti Putra Malaysia - Malezya
- Prof. Dr. Ömer YILDIRIM - G.O.P. Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Pete WALKER - University Of Bath - İngiltere
- Prof. Dr. Rajini Nagarajan - Kalasalingam University - Hindistan
- Prof. Dr. Pelin AVŞAR KARABAŞ - Hitit Üniversitesi - Güzel Sanatlar - Türkiye
- Prof. Dr. Peter CHILDS - Imperial College London - İngiltere
- Prof. Dr. Sevil YÜCEL - Yıldız Teknik Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Şükran ŞAHİN - Ankara Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Tauseef A. Khan - Lahore University of Engineering and Technology - Pakistan
- Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN - Nişantaşı Üniversitesi - Türkiye
- Prof. Dr. Yoshihiko Takano - National Institute for Materials Science - Japonya
- Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU - İstanbul Ticaret Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Adil GÜLER - Marmara Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Abdulkerim KARAASLAN - Atatürk Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Ahmet Semih UZUNDUMLU - Atatürk Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Aytac YILDIZ - Bursa Teknik Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Ahmet ÇELEBİ - Sakarya Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Abney STEVEN - University Of Michigan - A.B.D.
- Doç. Dr. Cihat BOYRAZ - Marmara Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Didem SALOĞLU DERTLİ - İstanbul Teknik Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Dimitri A. SHULGIN - Kazan National Research Technological University - Rusya
- Doç. Dr. Elif AKPINAR KÜLEKÇİ - Atatürk Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Gülcan DEMİROĞLU TOPÇU - Ege Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Işık SEZEN - Atatürk Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Latif ASLANOV - Azerbaijan University of Architecture and Construction - Azerbaycan
- Doç. Dr. Ömer ALKAN - Atatürk Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Pınar GÜLTEKİN - Düzce Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Rıdvan KOÇYİĞİT - Atatürk Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Süheyla BÜYÜKŞAHİN - Necmettin Erbakan Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Sinan KOPUZLU - Atatürk Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Tory FAIR - Brandeis University - A.B.D.
- Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ - Yıldız Teknik Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Ufuk Fatih KÜÇÜKALİ - İstanbul Aydın Üniversitesi - Türkiye
- Doç. Dr. Vishal S. SHARMA - University of the Witwatersrand - Hindistan
- Doç. Dr. Vural OYAN - Van Yüzüncüyıl Üniversitesi - Türkiye

Lead Editors

- Prof. Dr. Ashok JAMMI - Principal Anurag College of Engineering - India
- Prof. Dr. Mihaela BUCIUMEANU - University Dunarea de Jos of Galati - Romania
- Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN - Nişantaşı University - Türkiye

General Editorial Directors

- Assoc. Prof. Zeynep YAMAN - Sakarya University - Türkiye
- Assist. Prof. Senai YALÇINKAYA - Marmara University - Türkiye

System Editors

- Assist. Prof. Senai YALÇINKAYA - Marmara University - Türkiye
- Assist. Prof. Ebuzer AYGÜL - Hakkari University - Türkiye

Language Editors

- Prof. Dr. Feryal ÇUBUKÇU - Dokuz Eylül University - Türkiye
- Prof. Dr. Giray Saynur DERMAN - Marmara University - Türkiye
- Prof. Dr. Gülsemin HAZER - Sakarya University - Türkiye
- Prof. Dr. Mustafa ÜNAL - Erciyes University - Türkiye
- Prof. Dr. Yakup POYRAZ - Kahramanmaraş Sütçü İmam University - Türkiye
- Assoc. Prof. Gökşen ARAS - Atılım University - Türkiye
- Assist. Prof. Rommel TABULA - Rajamagala University of Technology Lanna (English) - Thailand
- Assist. Prof. Santhosh KUMAR - Bishop Heber College - Department of English (English) - India
- Dr. Sinem HERGÜNER SON - Gazi University - Türkiye

Technical Editors

- Assoc. Prof. H. Meltem GÜNDOĞDU - Kırklareli University - Türkiye
- Assoc. Prof. Levent ARIDAĞ - Gebze Technical University - Türkiye
- Lec. Ozan KARABAŞ - Hitit University - Türkiye

Statistics Field Editors

- Prof. Dr. Ayhan AYTAÇ - Trakya University - Türkiye
- Prof. Dr. Ahmet Fahri ÖZOK - Okan University - Türkiye
- Prof. Dr. Ali Hakan BÜYÜKLÜ - Yıldız Technical University - Türkiye
- Prof. Dr. Nurcan METİN - Trakya University - Türkiye
- Prof. Dr. Serdar TOK - Manisa Celal Bayar University - Türkiye
- Assoc. Prof. Emre DÜNDER - Ondokuz Mayıs University - Türkiye
- Assoc. Prof. Ömer ALKAN - Atatürk University - Türkiye
- Assoc. Prof. Salih ÖZPINAR - Alanya Aladdin Keykubat University - Türkiye

Editorial Board

- Prof. Dr. Abdulkadir GÜLLÜ - Gazi University - Türkiye
- Prof. Dr. Ackerman MARKS - University of Michigan - U.S.A.
- Prof. Dr. Adnan DİKİCİOĞLU - İstanbul Technical University - Türkiye
- Prof. Dr. Adrian OLARU - Polytechnic University of Bucharest - Romania
- Prof. Dr. Arbakariya ARIFF - University Putra - Malaysia
- Prof. Dr. Arvind ATREYA - University of Michigan - U.S.A.
- Prof. Dr. Ali Rıza MOTORCU - Çanakkale 18 Mart University - Türkiye
- Prof. Dr. Ashok JAMMI - Principal Anurag College of Engineereng - India
- Prof. Dr. Burcu YILMAZ - Marmara University - Türkiye
- Prof. Dr. Bülent SALDERAY - Ankara Hacıbayram Veli University - Türkiye
- Prof. Dr. Erdem ÜNVER - Atılım University - Türkiye
- Prof. Dr. Erdoğan GÜNEŞ - Atatürk University - Türkiye
- Prof. Dr. Ferhan KUYUCAK ŞENGÜR - Eskişehir Technical University - Türkiye
- Prof. Dr. Fevzi BEDİR - Gebze Technical University - Türkiye
- Prof. Dr. Gürol YILDIRIM - Giresun University - Türkiye
- Prof. Dr. Gürel ÇAM - İskenderun Technical University - Türkiye
- Prof. Dr. Gonca BÜYÜKMIHCI - Erciyes University - Türkiye
- Prof. Dr. Grzegorz KRÓLCZYK - Opole University of Technology - Poland
- Prof. Dr. Hamid Reza KARIMI - Politecnico di Milano - Italy
- Prof. Dr. H. Ziya ÖZEK - Namık Kemal University - Türkiye
- Prof. Dr. Hiroshi SEKIMOTO - Tokyo Institute of Technology - Japan
- Prof. Dr. Hülya KALAYCIOĞLU - Karadeniz Technical University - Türkiye
- Prof. Dr. Jory HANCOCK - University Of Arizona - U.S.A.
- Prof. Dr. Hatice ÖĞÜT - Ahievran University - Türkiye

Editorial Board

- Prof. Dr. Hüsnü GERENÇİ - Düzce University - Türkiye
- Prof. Dr. Mihaela BUCIUMEANU - University Dunarea de Jos of Galati - Romania
- Prof. Dr. Mohammad ISRAR - Sur University College Mechanical Engineering - India
- Prof. Dr. Mehmet Baki KARAMIŞ - Erciyes University - Türkiye
- Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR - Sivas Cumhuriyet University - Türkiye
- Prof. Dr. Metin GÜRÜ - Gazi University - Türkiye
- Prof. Dr. Mohd Ali Hassan - Universiti Putra Malaysia - Malaysia
- Prof. Dr. Ömer YILDIRIM - G.O.P. University - Türkiye
- Prof. Dr. Pete WALKER - University Of Bath - England
- Prof. Dr. Rajini Nagarajan - Kalasalingam University - India
- Prof. Dr. Peter CHILDS - Imperial College London - England
- Prof. Dr. Sevil YÜCEL - Yıldız Technical University - Türkiye
- Prof. Dr. Şükran ŞAHİN - Ankara University - Türkiye
- Prof. Dr. Tauseef A. Khan - Lahore University of Engineering and Technology - Pakistan
- Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN - Nişantaşı University - Türkiye
- Prof. Dr. Yoshihiko Takano - National Institute for Materials Science - Japan
- Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU - İstanbul Commerce University - Türkiye
- Assoc. Prof. Adil GÜLER - Marmara University - Türkiye
- Assoc. Prof. Abdulkarim KARAASLAN - Atatürk University - Türkiye
- Assoc. Prof. Ahmet Semih UZUNDUMLU - Atatürk University - Türkiye
- Assoc. Prof. Aytaç YILDIZ - Bursa Technical University - Türkiye
- Assoc. Prof. Ahmet ÇELEBİ - Sakarya University - Türkiye
- Assoc. Prof. Steve ABNEY - University Of Michigan - U.S.A.
- Assoc. Prof. Cihat BOYRAZ - Marmara University - Türkiye
- Assoc. Prof. Didem S. DERTLİ - İstanbul Technical University - Türkiye
- Assoc. Prof. Dimitri SHULGIN - Kazan National Research Technological University - Russian Federation
- Assoc. Prof. Elif AKPINAR KÜLEKÇİ - Atatürk University - Türkiye
- Assoc. Prof. Gülcan DEMİROĞLU TOPÇU - Ege University - Türkiye
- Assoc. Prof. Işık SEZEN - Atatürk University - Türkiye
- Assoc. Prof. Latif ASLANOV - Azerbaijan University of Architecture and Construction - Azerbaijan
- Assoc. Prof. Ömer ALKAN - Atatürk University - Türkiye
- Assoc. Prof. Pınar GÜLTEKİN - Düzce University - Türkiye
- Assoc. Prof. Rıdvan KOÇYİĞİT - Atatürk University - Türkiye
- Assoc. Prof. Süheyla BÜYÜKŞAHİN - Necmettin Erbakan University - Türkiye
- Assoc. Prof. Sinan KOPUZLU - Atatürk University - Türkiye
- Assoc. Prof. Tory FAIR - Brandeis University - U.S.A.
- Assoc. Prof. Uğur Buğra ÇELEBİ - Yıldız Technical University - Türkiye
- Assoc. Prof. Ufuk Fatih KÜÇÜKALİ - İstanbul Aydın University - Türkiye
- Assoc. Prof. Vishal S. SHARMA - University of the Witwatersrand - India
- Assoc. Prof. Vural OYAN - Van Yüzüncüyıl University - Türkiye

- Atmosfer Ve Meteoroloji Mühendisliği
- Bilgisayar Mühendisliği
- Biyoloji Ve Mikrobiyoloji
- Biyomedikal Mühendisliği
- Biyo Mühendislik
- Biyosistem Mühendisliği
- Çevre Mühendisliği
- Diğer Mühendislik Dalları
- Elektrik Ve Elektronik Mühendisliği
- Elektronik Ve Haberleşme Mühendisliği
- Endüstri Mühendisliği
- Endüstriyel Tasarım
- Fizik Mühendisliği
- Gemi Mühendisliği
- Jeoteknik Mühendislik
- Gıda Mühendisliği
- Harita Mühendisliği
- Havacılık Ve Uzay Mühendisliği
- Üretim Mühendisliği
- İnşaat Mühendisliği
- İş Güvenliği Ve Çalışan Sağlığı
- Yönetim Mühendisliği
- Jeofizik Mühendisliği
- Jeoloji Mühendisliği
- Kimya Mühendisliği
- Elyaf Ve Kağıt Teknolojisi
- Maden Mühendisliği
- Makine Mühendisliği
- Matematik Mühendisliği
- Matematik Statik Ve Analitik Yöntemler
- Mekatronik Mühendisliği
- Metalurji Ve Malzemeler
- Moleküler Ve Genetik
- Mühendislik Ve Ekonomi Yönetimi
- Nükleer Mühendislik
- Orman Endüstrisi Mühendisliği
- Petrol Mühendisliği
- Polimer Mühendisliği
- Balıkçılık Mühendisliği
- Teknoloji Yönetimi Ve İnovasyon
- Tekstil Bilim Mühendisliği
- Yer Bilimleri Mühendisliği
- Ziraat Mühendisliği
- Atmosphere And Meteorology Engineering
- Computer Engineering
- Biology And Microbiology
- Biomedical Engineering
- Bioengineering
- Biosystem Engineering
- Environmental Engineering
- Other Engineering Branches
- Electrical And Electronic Engineering
- Electronics And Communications Engineering
- Industrial Engineering
- Industrial Design
- Physics Engineering
- Ship Engineering
- Geotechnical Engineering
- The Food Engineering
- Map Engineering
- Aviation And Space Engineering
- Manufacturing Engineering
- Civil Engineering
- Occupational Safety And Employee Health
- Management Engineering
- Geophysical Engineering
- Geological Engineering
- Chemical Engineering
- Fiber And Paper Technology
- Mining Engineering
- Mechanical Engineering
- Mathematics Engineering
- Mathematics Static And Analytical Methods
- Mechatronic Engineering
- Metallurgy And Materials
- Molecular And Genetics
- Engineering And Economy Management
- Nuclear Engineering
- Forest Industrial Engineering
- Petroleum Engineering
- Polymer Engineering
- Fishery Engineering
- Technology Management And Innovation
- Textile Science Engineering
- Earth Sciences Engineering
- Agriculture Engineering





Prof. Dr. Ashok JAMMI
Baş Editör

Değerli okurlar, kıymetli bilim insanları,

Dergimizin bu sayısında toplam 05 araştırma ve uygulama çalışmasına yer vermiş bulunmaktayız. Dergimizin bu sayısında da birbirinden kıymetli çalışmaları ile bizleri destekleyen yazarlarımıza yürekten teşekkür ederiz. Her sayıda olduğu gibi bu sayının siz kıymetli okurlarla buluşmasında emek ve katkıları ile bizleri yalnız bırakmayan kıymetli hakem kurulumuza da ayrıca teşekkür ediyoruz. Dergimizin sizlere ulaştırılmasında arka planda çalışan ve büyük emek sarf eden editörler kurulu, sistem yönetimi ve yayın kurulundaki kıymetli bilim insanlarına da teşekkür etmeden geçemeyeceğiz. Değerli bilim insanları; dergimizin farklı indekslere girmesi konusundaki başvuru ve çalışmalarımıza devam etmekteyiz. Dergimizde yayınlanan çalışmaların yine farklı okur ile literatür açısından değerlendirilmesi konusundaki duyurularımız da ayrıca devam etmektedir. Farklı dünya ülkelerinden bilim insanlarına dergi ve sayıları konusundaki iletimler ile iletişim çalışmalarına da ayrıca hız vermiş bulunmaktayız. Şimdiden destek ve katkılarınızdan dolayı teşekkür eder gelecek sayılarda yeniden görüşmek üzere esenlikler dileriz.

(Dergimizde etik kurul raporu gerektiren her türlü çalışmada yazar(lar) editörlüğe ve derginin sistemine yayın yüklerken gerekli etik kurul rapor bilgilerini girmekle yükümlüdür. Hiçbir koşul ve şartlarda oluşan ya da oluşacak bir sorunda problemde dergimiz, yayın kurulu, imtiyaz sahibi, yazı işleri, hakem ve bilim kurulları sorumluluk kabul etmez. Yazar(lar) bu bilgiyi dergiye yazılı olarak vermekle yükümlüdür. Bu konuda tüm sorumluluk yazar(lar) a aittir.

Basın Yayın Kanununun "5187" gereğince basılı eserler yoluyla işlenen fiillerden doğan maddi ve manevizarar m-13-14 kapsamında dergimizde yayınlanan yayınların içeriği ve hukuki sorumluluğu tek taraflı olarak yazar(lar) a aittir. Dergimiz, yönetim, hakem, editör, bilim ve imtiyaz sahibi bu yükümlülükler kabul etmez. Dergimizde bilimsel içerikli, literatüre katkı yapan, bilimsel anlamda değer ifade eden çalışmalar kabul edilir ve yayınlanır. Bunun dışında siyasi, politik, hukuki ve ticari içerikli fikri sınai haklarkanununa aykırılık içeren yayınlara yer verilmez. Olası bir olumsuzluk durumunda yazar(lar) doğabilecek her türlü maddi ve manevi zararı peşinen kabul etmiş ve yüklenmiştir. Bu nedenle ikinci üçüncü ve diğer şahıs ile kurumlar konusunda dergimiz yönetimi ve kurulları hiçbir sorumluluğu kabul etmez. Bu yönde dergimiz ve kurulları üzerinde bir hukuki yaptırım uygulanması söz konusu olamaz. Eserlerin içeriği vemevcut durumu yazar(lar) ait olup dergimiz bu yayınların sadece yayınlanması ve literatüre kazandırılması aşamasında görev üstlenmiştir. Tüm okuyucu, kamuoyu ve takipçilerine ilanen duyurulur.



Prof. Dr. Ashok JAMMI
Chief Editor

Dear readers, precious scholars,

In this issue of our journal, there are a total of 05 research and application studies. In this issue of the journal, we would like to express our sincere thanks to the authors who support us with their valuable studies. We would also like to express our thanks and appreciation to the precious arbitration committee members who never leave us alone and enable this issue to meet with our dear readers with their worthwhile efforts and contributions, as they have done in each issue. We also greatly appreciate the efforts of the editorial board, system management, and the precious scholars taking place in the editorial board for making an effort in the background of the publication of this journal. Dear scientists, we still continue our applications and works to enable our journal to be in different indices. Our announcements about the evaluation of the studies published in our journal to be assessed by different readers and literatures also still continue. We have also speeded up our communication studies and the delivery of the journal and its issues to scientists and scholars all around the world. We thank you for your support and contributions already, and we pray for reconciliation.

(In any kind of study requiring ethical board report in our journal, author(s) is/are obliged to enter the data of necessary ethical board report while uploading their publication in editorship and journal system. Our journal, publication board, grant holder, editorial office, referee and science boards do not undertake any responsibility for a problem to occur under any circumstances and conditions. Author(s) is/are obliged to give this information to journal in written. All liability in this issue belongs to author(s)).

As per the "5187" of Press Law, material and emotional damage arising from the actions via published works, the content and legal responsibility of the publications published in our journal within the scope of m-13-14 unilaterally belong to author(s). Our journal, executive board, referees, editor, science board and publisher don't accept these obligations. The scientifically valuable papers with scientific content which contribute to literature are accepted and published in our journal. Apart from this, the papers with political, legal and commercial content which are against the intellectual property rights are not accepted. In case of a possible negative situation, author(s) is/are regarded as accepting and undertaking all kinds of possible material and emotional damage beforehand. Therefore, our journal's management and other boards don't accept any responsibility regarding the second, third and other persons and institutions under any condition. In this sense, a legal sanction on our journal and its boards is out of question. The content and the current status of the papers belong to author(s) and our journal only takes part in the publication of these papers and contribution to literature. Respectfully announced to all readers, public and followers by publication.

ABUNDANCE RATIOS OF ELEMENTS ON STARS: SPECTROSCOPIC MEASUREMENTS; AGE OF STAR AND CORRELATIONS WITH ITS COSMIC PAST¹

YILDIZLARDA ELEMENT BOLLUK ORANLARI: SPEKTROSKOPİK ÖLÇMELER; YILDIZLARIN YAŞI VE KOZMİK GEÇMİŞİ İLE KORELASYONLAR

Kutluay YÜCE¹, Charles R. COWLEY²

¹Department of Astronomy and Space Sciences, Faculty of Science, University of Ankara, Tandoğan, Ankara / Türkiye

²Department of Astronomy, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-1107, Michigan / United States of America
ORCID: 0000-0003-1910-3344¹, 0000-0001-9837-3662²

Abstract: Purpose: The two main topics searched in this study are 1) the Galactic Chemical Evolution traced by nearby solar twin stars and 2) trends between chemical abundances and condensation temperatures.

Method: The radiation emitted by stars is resolved spectroscopically to obtain the electromagnetic spectra. The position of lines within the stellar spectrum gives us the identity of the chemical elements in that spectrum. Photometric line intensities contain information about the abundances of the elements in the stellar atmosphere. When the spectrum obtained from the individual star is analyzed, the chemical abundances of the elements observed in the atmosphere of the star are compared with the abundances of the Sun.

Findings: The results obtained from analytical stellar spectroscopy are drawn about the cosmic history of the star. The cosmic history of a star means the galactic chemical evolution of the composition of its material content experienced since the Big Bang. If a mass as big as a planet is missing from a star or a similar-mass object collide and gets engulfed, a change in the original composition occurs.

Conclusion: In our study, the element chemical composition changes are predicted for a case where the star swallows a mass with chemical composition similar to that of the Earth. In our modeling process, the condensation temperatures of each element from gas to liquid or solid are taken into account.

Keywords: Astrochemistry, Spectroscopy, Stellar Atmospheres, Elemental Abundances

Öz: Amaç: Bu çalışmada, Güneş komşuluğundaki ikiz yıldızları inceleyerek Galaktik Kimyasal Evrim ve element bollukları ile yoğunlaşma sıcaklıkları arasındaki ilişkinin varlığını araştırıyoruz.

Yöntem: Yıldızların yaydıkları ışınlar spektroskopik olarak ayrıştırılır ve elektromanyetik tayflar elde edilir. Yıldız tayflarındaki çizgilerin konumu, o ışını yayan elementin kimliği ile ilgili bilgi verir. Çizginin fotometrik şiddeti ise, söz konusu elementin, yıldız atmosferindeki bolluk oranı hakkında bilgi taşır. Her yıldızdan elde edilen tayf analizlenir; o yıldızın atmosferindeki element kimyasal bollukları, Güneşteki bolluklar ile karşılaştırılır.

Bulgular: Analitik yolla yıldız spektroskopisinden elde edilen sonuçlardan yıldızın kozmik geçmişi hakkında çıkarımlara gidilir. Bir yıldızın kozmik geçmişi denince, Big Bang'den itibaren yaşadığı galaktik kimyasal evrim; zaman içinde bünyesinden gezegen büyüklüğünde bir kütle ayrılmışsa veya böyle bir kütle çarpıp yutulmuşsa buna bağlı element bolluk değişimi ve başka tekil olaylar akla gelir.

Sonuç: Bizim çalışmalarımızda bir yıldızın, ortalama element bileşimi Dünya'nın-yer kabuğunun değil- bileşimine benzeyen bir gök cismini yuttuğunda element bileşiminin nasıl değişeceği modellenmiş, modelleme işleminde, her elementin, gaz halden sıvı veya katı hale geçiş sıcaklıkları (condensation temperatures) hesaba katılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Astrokimya, Spektroskopi, Yıldız Atmosferleri, Element Bollukları

¹ Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Kutluay YÜCE, University of Ankara, Faculty of Science, Department of Astronomy and Space Sciences, Ankara / Türkiye, kutluay.yuce@ankara.edu.tr, Geliş Tarihi / Received: 30.12.2022, Kabul Tarihi / Accepted: 27.04.2023, Makalenin Türü / Type of Article (Araştırma - Uygulama / Research - Application), Çıkar Çatışması / Conflict of Interest: Yok / None, Etik Kurul Raporu Yok / None "Ethics Committee Report Unavailable"



INTRODUCTION

One of the main topics in Astrophysics is the prediction of the star formation process to the best of our knowledge, matter started to form during Big Bang. Here we will not dwell on the details of Big Bang. It is enough to say that the simplest atoms, Hydrogen (H) and Helium (He) formed in the later stages of Big Bang.

The formation of elements heavier than H and He to place in a process called nucleosynthesis. Nucleosynthesis is the fusion of lighter atoms to form heavier forms. The process occurs inside stars under conditions characterize by temperatures higher than millions of degrees of Celcius and pressures over millions of bars.

Stars die and their mass is returned to space in various mechanisms and the material inside the star redistribute in the space to become the building material of a new star of future. We do not know exactly how the material distributed in the space re-condense to form new star. But we know it does happen. Figure 1 is the photograph of a region in

space, called 'Pillars of Creation'. It is a name taken from the Bible. The pillars of creation is, in fact, a region where star formation is still in progress. By the way, the first photo was taken in 1995 by the Hubble Space Telescope. The figure is one of the newest photographs (released in October 2022) taken by James Webb Space Telescope using far infrared technology.

The story of the stars does not end with the formation stage. After the formation, the homogeneity of the whole star in terms of element abundance distribution change continuously, because heavy elements (denser elements) are attracted to the center more strongly than lighter ones. Therefore, lighter elements, on the surface, become enriched and heavier ones get more scarce. Other physical processes like diffusion and convection also affect the elemental composition in the stellar surface. Eruption of planet-size big masses or swallowing of similar size stellar objects may also cause changes in the elemental abundances at the surface of the star.



Figure 1. Image of 'Pillars of Creation' from the NASA/ESA/CSA James Webb Space Telescope (Credits: NASA, ESA, CSA, STScI)

One topic in empirical astrophysics is the analysis of the elemental abundance at the outer boundaries of stars, and we work in this field (e.g. Yüce et al., 2011:1-16; Yüce and Adelman, 2014:345-358; Cowley et al., 2020:125-132, Cowley and Yüce, 2022:3684-3690). The elemental abundance is typically taken as the logarithmic ratio of an element to

METHODS RELATING TO CHEMISTRY OF UNIVERSE

We have a whole lot of chemical and physical means to analyze the elemental composition of the Earth. But the average elemental composition of the Earth's crust does not represent the overall composition of the whole planet; because the surface region of our planet is depleted of iron, due to inward motion of denser material. It is a lucky coincidence that we have meteorites. Meteorites are tiny objects compared to planets, because gravitational selection of elements can be ignored within small objects. Therefore, overall elemental abundance of a meteorite or a comet sample is much more representative of a star's mean element composition rather than an earth sample.

The actual surface or atmosphere element abundances are measured using a technique called spectroscopy which is one of the most important tools that an astronomer has for studying the universe. Spectroscopy is based on the fact that, at high temperatures, atoms radiate their characteristic electromagnetic waves. These waves may be ultraviolet, visible, infrared or micro-waves. They are

a reference element, which is usually hydrogen or iron: $[El / H]$ or $[El / Fe]$. The bracket notation indicates that the stellar ratio is relative to a standard. The change of chemical element abundances in a star, as a result of the above-mentioned reasons is termed galactic chemical evolution (GCE).

termed o electromagnetic waves as a whole. There are also X-rays and gamma-rays but these wavelength radiations are outside the scope of this work.

We shall not go into principles of astronomical spectroscopy (e.g. Schroeder, 1974:463-489) and will suffice with reminding that the output of a spectrograph is called a spectrum. The light coming from a star goes through the spectroscope and gives an optical output that resembles the one in Figure 2. Spectroscopists of astrophysics are engaged in obtaining and analyzing similar spectra. The information in the stellar spectra are of two main categories: The qualitative information and quantitative information. Qualitative information relates to the identity of the element that emitted the wavelength represented by the optical light. Quantitative information, on the other hand, relates to the relative abundances of the elements concerned. The positions of the spectral lines given in the figure give a clue about the identity of the element for the stars Procyon and HD 739. The area under the peak representing the line profile is related to the relative abundance of the element.

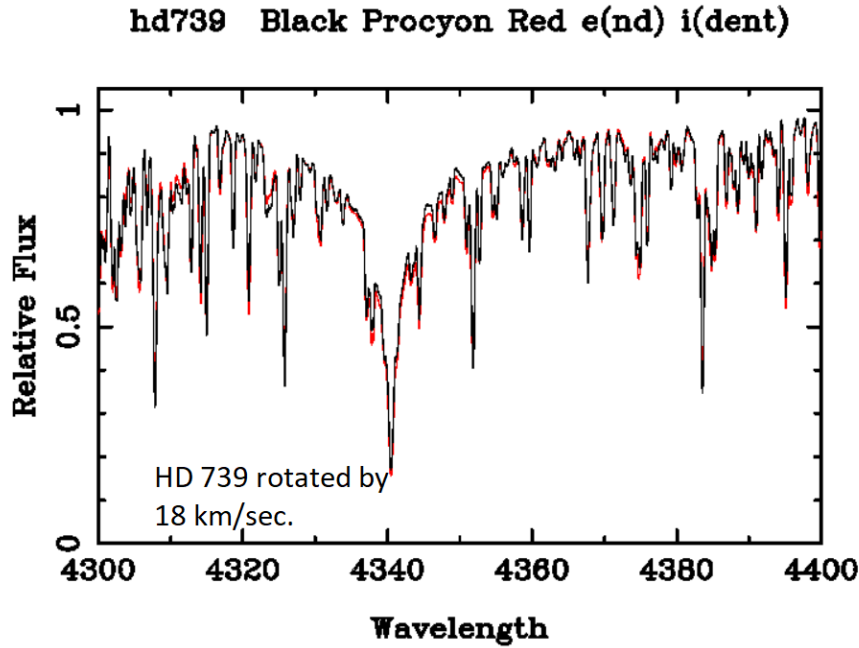


Figure 2. Spectrum of the Stars Procyon and HD739

If the radiation used in the astronomical spectroscopic analysis is emitted a stellar atmosphere, then the spectrum is used for the determination of the elemental abundance in that atmosphere. The spectral row data obtained by experiment (observation) cannot be converted to elemental abundances directly. In the stellar atmospheres, the radiation emitted by atoms are also absorb by other atoms and what reaches us is the result of sequential absorption and emission processes. Stellar observations are very often interpreted by means of the stellar model atmospheres, which have been become even more accurate mostly thanks to the continuous improvement of the computational facilities. The theory of stellar atmospheres involves the computation of stellar photospheric models with specified effective temperatures, surface gravities, and elemental abundances. Model atmospheres analytically link the physical properties of

stars (mass, radius, luminosity, and composition) with the observed fluxes.

A SAMPLE WORK

Galactic Chemical Evolution and Parameters

Galactic Chemical Evolution (GCE) is essentially a record of stellar abundance vs. Age. To be meaningful, we must specify a physical location. GCE for the Universe or for the Galaxy is not the same as GCE for the solar neighborhood. We examine GCE for the solar neighborhood, which we shall define as a volume of space at the position of the Sun, with radius of some 70 parsec.

In this work we investigate the precision differential elemental abundances (PDEs) of solar-like stars from two surveys, (Bedell et al., 2018:1-13 and Nissen et al., 2020:1-15). The BD18 survey has abundances of 30 elements from carbon to dysprosium for 79

Sun-like stars. The NIS survey has 13 elements; C-Ni, Sr, Y for 72 nearby solar-type stars.

The motivation of this work is to examine the correlations that exist between condensation temperature (T_c) and stellar elemental abundances, specifically with the effort to relate them to the formation of Exoplanets.

Stellar abundances used for this purpose must be corrected for GCE, which can mimic

$$\left[\frac{\text{El}}{\text{Fe}}\right] = \log\left(\frac{\text{El}}{\text{Fe}}\right)_{\text{star}} - \log\left(\frac{\text{El}}{\text{Fe}}\right)_{\text{std}} \quad \text{Equation (1)}$$

The standard (std) is usually the Sun, but the mean abundance of stars similar to the Sun --solar twins--are also used.

$$\left[\frac{\text{El}}{\text{Fe}}\right] = m \cdot \text{age} + b \quad \text{Equation (2)}$$

with 'm' and 'b' constants for each element. This has the advantage of simplicity, but does not vanish for stars with the age of the Sun. Moreover, it is monotonic, and there is

$$\left[\frac{\text{El}}{\text{Fe}}\right] = a \cdot (\text{age} - 4.6) \quad \text{Equation (3)}$$

which is a linear fit but constrained to be zero for age 4.6 Gyr. It gives a poor fit for most

$$\left[\frac{\text{El}}{\text{Fe}}\right] = aa \cdot (\text{age} - 4.6) + bb \cdot (\text{age} - 4.6)^2 \quad \text{Equation (4)}$$

which also allows a variable slope. aa and bb are constants for individual elements. Age is in units of Gyr.

T_c effects. We derive new GCE parameters and apply them to solar twins drawn from the sources cites. Finally, we look at the solar abundance- T_c relation.

The most common GCE parameters are the constants of a linear fit of a plot of the differential abundance of an element, $[\text{El}/\text{Fe}]$ vs the age of a star. Here

The common, unrestricted linear fit has the form

evidence for some elements that the overall slope changes. The first problem is met by a fit of the form

elements, and is replaced by a constrained quadratic fit of the form

Examples of Galactic Chemical Evolution

Here, an example of GCE plots of evolution of silicon and sodium elements as a function of age (Gyr) are shown in Figure 3. They represent the typical monotonic behaviour of the abundances with age. A liberal uncertainty estimate for the points in the vertical direction is 0.02 dex. The reference abundance is not the Sun but the average of

12 solar twins (see Table 2 in Cowley and Yüce, 2022:3684-3690). The blue line is an unconstrained linear (UL) fit while the black line is a constrained linear (CL) fit. It is not useful. The orange "curve" is a constrained quadratic (CQ) fit whose coefficients we adopt for all elemental fits. Abundances are from (Bedell et al., 2018:1-13), henceforth, BD18. The positions of the 12 twins are the red stars.

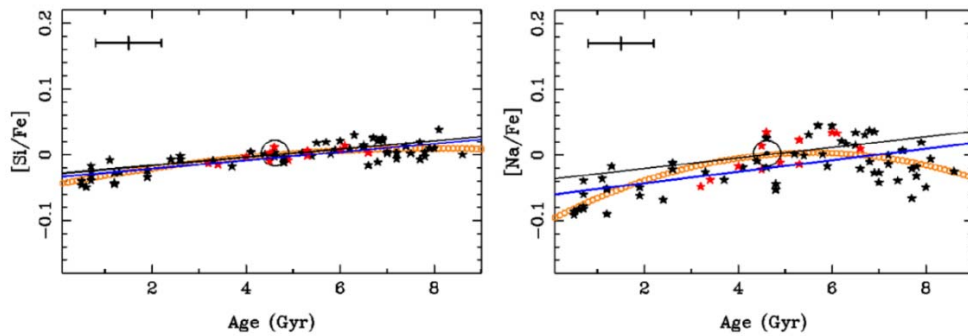


Figure 3. [Si/Fe] and [Na/Fe] Versus Age for 68 BD18 Stars

Figure 4 shows the galactic evolution graph; the stars and their abundances are not the same as in those of Figure 3. Here, we replotted the NIS data with a compressed ordinate, and different color scheme. NIS argues from this and plots for other elements

that two "populations" an old (to the right of the black line) and a young one to its left. The red points belong stars that may be the youthful end of the old population -- OR 7 sodium-rich stars.

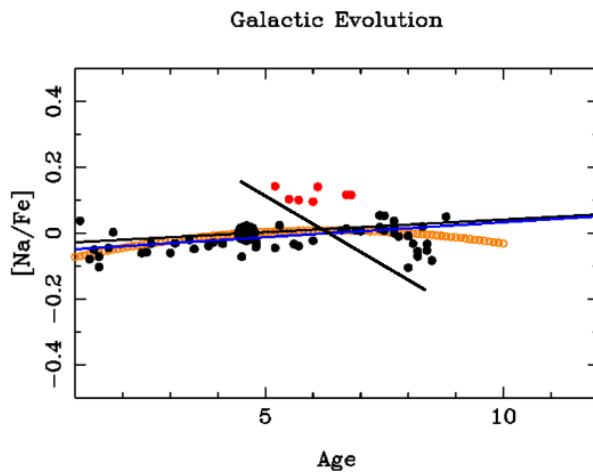


Figure 4. [Na/Fe] Versus Age for 68 BD18 Stars

Observed and Predicted Abundances

We present evidence supporting the two population. The GCE parameters are not only least squares fits to plots of abundance vs. age. They also represent average abundances as a function of age. This is shown in the next two plots, where the abundances of two stars are compared with the average abundances of the BD18 stars with the same age--as determined by the GCE parameters.

Average abundances of elements for a star of the given age are plotted with squares (see Figure captions). The actual stellar abundances from BD18 are shown as

symbols. Volatile and mostly alpha elements are in red. Stars mark the observed abundances while the predicted abundances from CQ 'average' fits are marked with squares. The black mark in the upper-left corner represents the uncertainty in $[E/Fe]$ for the star points, roughly 0.02 dex. The squares are computed directly from the CQ formula and do not have a similar uncertainty. The age of the star HIP 101905 shown in Figure 5 (left) is the best fit to within 0.5 Gyr. It has the characteristic positive overall slope (POS), but with the subgroups showing slopes nearly 90 degree from the POS.

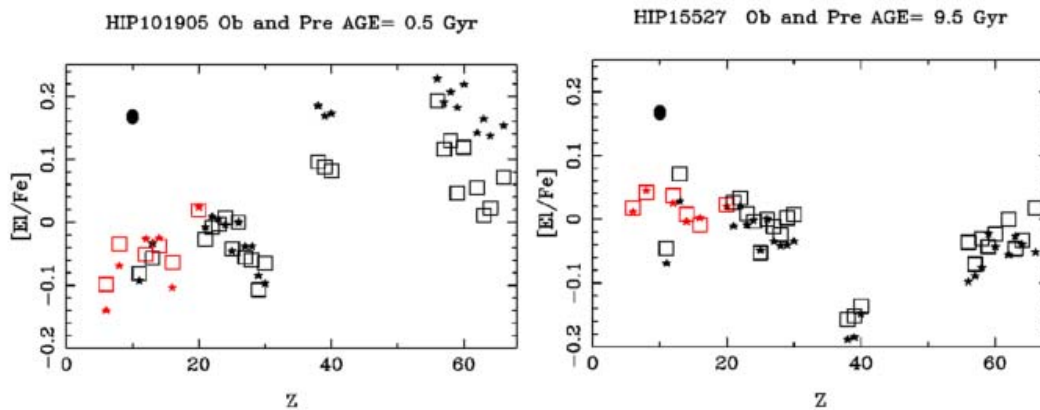


Figure 5. $[E/Fe]$ Versus Atomic Number, Z , for Two Stars HIP101905 and HIP15527

Older stars have a V-shaped distribution, caused largely by the migration of the three neutron-addition elements Strontium, Yttrium, and Zirconium from a high to a low position (e.g. see Figure 5, right). This is a reflection of the large negative slopes of these elements as shown in the large table above.

From the table of slopes (Cowley and Yüce, 2022:3684-3690, see Table 1) we see that the migration of Ba is even greater than that for

SrYZr, but because of its position relative to other points, the shift is less noticable. Barium is a good age indicator.

We noticed that the POS shape is seen mostly for stars with ages (Spina et al., 2018:2580-2593) equal or younger than the Sun (POS) or older than the Sun (V-shape). This supports the contention of NIS (see the second plot for $[Na/Fe]$ vs age) of two epochs GCE.

DISCUSSION

A seminal paper showed that the Sun may be depleted in volatile elements relative to an average for stars in the solar neighborhood (Meléndez et al., 2009:L66-L70). They plotted $\Delta[X/Fe](\text{Sun} - \text{solar twins})$ vs. elemental condensation temperatures, T_c (Lodders, 2003:1220-1247). They found a downward slope of about $-5.10^{-5} \text{ dex deg}^{-1}$ which is similar in magnitude to cases with (suspected and) confirmed planet host stars. (Cowley and Yüce, 2022:3684-3690) show that these slopes can be related to the mass of ingested planetary material. They found that the BD18 stars show little evidence for a depletion of solar volatiles relative to a set of 12 "twins"

chosen from the BD18 set $[El/Fe]_{\text{twc}}$. The vertical error bars are the rms differences of BD18 and NIS for the stars and elements in common. The source of this discrepancy may lie in the choice of the solar twins.

We plot the relative elemental abundance averages of 68 BD18 stars as a function of condensation temperature in Figure 6. The average twin $[El/Fe]$ relative to the Sun and corrected for GCE we designate $[El/Fe]_{\text{twc}}$, for 'twin, corrected'. It shows GCE-corrected abundances with CQ fits for the twins (left) and with UL fits (right). Grey points are volatiles C ($T_c = 40 \text{ K}$), O (179 K), Na (953 K), S (655 K), and Zn (723 K) and Cu (1033 K). Black filled circles are refractories.

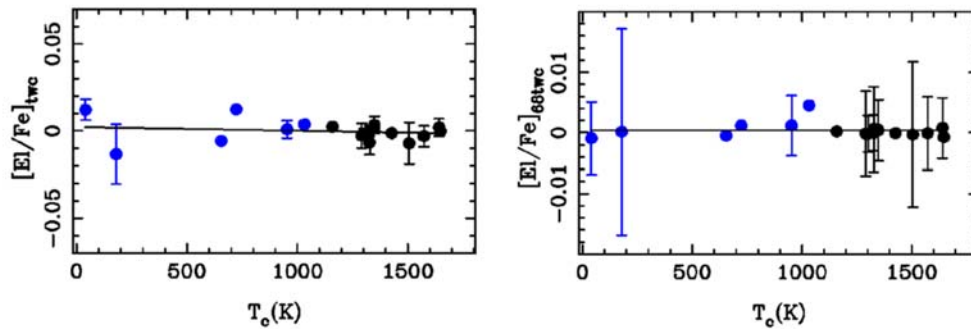


Figure 6. $[El/Fe]_{\text{twc or 68twc}} = [El/Fe]_{\text{Sun}} - [El/Fe]_{\text{Average twin}}$ Versus Condensation Temperature

It is important to know if the Sun is truly depleted in refractories, as one of the possible explanations is that those refractories may be incorporated in the terrestrial planets. The apparent tension of our results with that of (Meléndez et al., 2009: L66-L70) may be due to the different selection of twin stars.

Acknowledge: This research has made use of the NASA Exoplanet Archive, which is operated by the California Institute of Technology, under contract with the National

Aeronautics and Space Administration under the Exoplanet Exploration Program. We also used the SIMBAD database operated at CDS, Strasbourg, France. (Wenger et al. 2000).

Author's Note: This study has been presented at "8th International Congress on Engineering and Technology Management" on 08-10 December 2022, in İstanbul by invited talker Prof. Dr. Kutluay Yüce (Ankara University).



REFERENCES

- Bedell, M. Beam, J. L. Meléndez, J. Spina, L. Ramirez, I. Asplund, M. et al., (2018). The chemical homogeneity of sun-like stars in the solar neighborhood. *Astrophysical Journal*, Vol: 865, Issue: 1, article id. 68, pp.1-13.
- Cowley, C. R. Yüce, K. Bord, D. J. (2020). Differential abundance analysis of Procyon and θ Sculptoris: Comparison with abundance patterns of solar-like pairs. *Astronomische Nachrichten*, Vol: 341, Issue: 1, pp.125-132.
- Cowley, C. R. Yüce, K. (2022). Galactic chemical evolution of the solar neighbourhood, solar twins, and exoplanet indicators. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol: 512, Issue 3, pp.3684-3690.
- Lodders, K. (2003). Solar System Abundances and Condensation Temperatures of the Elements. *Astrophysical Journal*, Vol:591, Issue 2, pp.1220-1247.
- Meléndez, J. Asplund, M. Gustafsson, B. Yong, D. (2009). The peculiar solar composition and its possible relation to planet formation. *Astrophysical Journal Letters*, Vol: 704, Issue: 1, pp.L66-L70.
- Nissen, P. E. (2015). High-precision abundances of elements in solar twin stars: Trends with stellar age and elemental condensation temperature. *Astronomy & Astrophysics*, Vol:5 79, id.A52, pp.1-15.
- Nissen, P. E. Christensen-Dalsgaard, J. Mosumgaard, J. R. Silva Aguirre, V. Spitoni, E. Verma, K. (2020). High-precision abundances of elements in solar-type stars. Evidence of two distinct sequences in abundance-age relations. *Astronomy & Astrophysics*, Vol: 640, id.A81, pp.1-15.
- Schroeder, D. J. (1974). In *methods of experimental physics, astrophysics: Optical and Infrared*, Volume: 12, Part A, ed. N. Carleton (New York: Academic Press), pp.463-489.
- Spina, L. Meléndez, J. Karakas, A. I. Santos, L. Bedell, M. Asplund, M. et al., (2018). The temporal evolution of neutron-capture elements in the Galactic discs. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol: 474, Issue: 2, pp.2580-2593.
- Wenger, M. Ochsenbein, F. Egret, D. I. Dubois, P. et al., (2000). The SIMBAD astronomical database. The CDS reference database for astronomical objects. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, Vol: 143, pp.9-22.
- Yüce, K. Castelli, F. Hubrig, S. (2011). Wavelengths and oscillator strengths of Xe II from the UVES spectra of four HgMn stars. *Astronomy & Astrophysics*, Vol:5 28, id.A37, pp.1- 16.
- Yüce, K. Adelman, S. J. (2014). Elemental abundance analyses with dao spectrograms. xxxiv. A Three-Dimensional Graphical Examination of the Elemental Abundances of the Mercury-Manganese and Metallic-Line Stars. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol: 126, Issue: 938, pp.345-358.

COMPACTION CHARACTERISTICS OF SOFT SOIL STABILIZED WITH LIME AND METAKAOLIN-BASED GEOPOLYMER¹

KİREÇ VE METAKOLİN ESASLI GEOPOLİMER İLE STABİLİZE EDİLMİŞ YUMUŞAK ZEMİNLERİN KOMPAKSYON ÖZELLİKLERİ

Tadesse Abebe WASSIE¹, Gökhan DEMİR²

¹Ondokuz Mayıs University, Institute of Graduate Studies, Department of Civil Engineering, Samsun / Türkiye

²Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Samsun / Türkiye

ORCID: 0000-0003-1827-2461¹, 0000-0002-3734-1496²

Abstract: Aim: This study was conducted to investigate the effect of lime and metakaolin-based geopolymer on soft soil's compaction characteristics.

Method: The compaction was done using an automatic soil compactor according to the ASTM-D698 testing procedure. The geopolymer synthesis was prepared in the ratio of 5%,10% and 15% of the dry weight of the soil using sodium hydroxide and sodium silicate alkali activators. In addition, lime was added in amounts of 6% of the soil's dry weight.

Findings: It was discovered that soft soil had an optimum moisture content (OMC) of 26% and a maximum dry density (MDD) of 1.52 g/cm³. However, lime-treated soil has a maximum dry density of 1.47 g/cm³ and an optimum moisture content of 27%. The maximum dry density of the 15% geopolymer-treated soft soil was higher than the soft soil, which was approximately 1.53g/cm³.

Conclusion: A reduced maximum dry density and higher optimum moisture content were observed in the soil treated with a lime and geopolymer mixture. The metakaolin-based geopolymer treatment increased the maximum dry density and decreased the optimum moisture content.

Keywords: Compaction Characteristics, Geopolymers, Soft Soil, Maximum Dry Density (MDD), Optimum Moisture Content (OMC)

Öz: Amaç: Bu çalışma, kireç ve metakaolin bazlı geopolimerin yumuşak zeminlerin kompaksiyon özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

Yöntem: Sıkıştırma, ASTM-D698 test prosedürüne göre otomatik bir zemin sıkıştırıcı kullanılarak yapıldı. Geopolimer sentezi, sodyum hidroksit ve sodyum silikat alkali aktivatörleri kullanılarak zeminin kuru ağırlığının %5, %10 ve %15'i oranında hazırlandı. Ayrıca zeminin kuru ağırlığının %6'sı oranında kireç ilave edilmiştir.

Bulgular: Yumuşak zeminin optimum su içeriğinin (OMC) %26 ve maksimum kuru yoğunluğunun (MDD) 1,52 g/cm³ olduğu keşfedildi. Bununla birlikte, kireçle işlenmiş zeminin maksimum kuru yoğunluğu 1,47 g/cm³ ve %27'lik optimum su içeriği. %15 geopolimerle işlenmiş yumuşak zeminin maksimum kuru yoğunluğu, yaklaşık 1.53g/cm³ olan yumuşak zeminden daha yüksektir.

Sonuç: Kireç ve geopolimer karışımı uygulanmış zeminde maksimum kuru yoğunluğun azaldığı ve optimum su içeriğinin daha yüksek olduğu gözlemlendi. Metakaolin bazlı geopolimer işleme maksimum kuru yoğunluğu arttırmış ve optimum su içeriğini azaltmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompaksiyon Özellikleri, Geopolimerler, Yumuşak Zemin, Maksimum Kuru Yoğunluk (MDD), Optimum Su İçeriği (OMC)

¹ Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Tadesse Abebe WASSIE, Ondokuz Mayıs University, Institute of Graduate Studies, Department of Civil Engineering, Samsun / Türkiye, tadegeo68@yahoo.com, Geliş Tarihi / Received: 11.12.2022, Kabul Tarihi / Accepted: 23.04.2023, Makalenin Türü / Type of Article (Araştırma - Uygulama / Research - Application), Çıkar Çatışması / Conflict of Interest: Yok / None, Etik Kurul Raporu Yok / None "Ethics Committee Report Unavailable"



INTRODUCTION

While building various structures, problematic and soft soils need improvement for better engineering properties. Many stages of construction, including the planning, execution, operating, and maintenance stages, are severely impacted by the inadequate bearing capacity of soil layers, which is frequently discovered in construction engineering (Abdila et al., 2021:1-2). Among various soil stabilization methods, chemical stabilization is one of the most popular methods for enhancing the soil's mechanical and durability properties. To improve in situ soils, geotechnical engineers have been employing lime and ordinary Portland cement (OPC) as chemical soil stabilizers for decades (Sheikhhosseini et al., 2021:2). Lime stabilization is recommended as a stabilizer due to its ease of application and general construction economics.

Even though lime and cement help enhance the geotechnical characteristics of soil, they also have certain drawbacks, including high costs and negative environmental impacts. Additionally, cement production produces CO₂ emissions that account for around 7% of all greenhouse gases in the environment. Researchers have recently started searching for binders that can simultaneously solve waste disposal, eliminating the drawbacks of calcium-based binders and being environmentally friendly (Khasib et al., 2021:1-2).

In response to the need for environmentally friendly binders, the alkaline activation of low-calcium aluminosilicates waste

materials, like fly ash and metakaolin, has led to the development of geopolymer, an alkali-activated type of cement. Geopolymerization starts immediately when metakaolin interacts with an alkaline activator. This process creates a cementitious product inside the soil particles, stabilizing it and improving its geomechanical properties (Abdullah, 2022:2). Metakaolin (MK) is a typical pozzolanic material amorphous aluminosilicate compound made by calcining pure kaolinite at 500°C to 550°C. It has high activity and has gained more attention recently since it has the potential to partially replace conventional Portland cement (Rong-Rong & Dong-Dong, 2020:1).

The study investigated the compaction characteristics of soft soil treated with lime and geopolymer. The influence of lime-geopolymer on the dry density-moisture relationship was also studied using an automatic soil compactor. The study helps compare and contrast lime and geopolymer's effect on the dry density-moisture relationship.

AIM

This study investigated the compaction characteristics of soft soil stabilized with lime and metakaolin-based geopolymer. The specific objectives are;

- Study the moisture content-dry density relationship of virgin soil.
- Explore the effect of lime addition on the compaction characteristics.
- Investigate the effect of the lime-geopolymer mixture on the moisture content-dry density relationship.

- Study the influence of metakaolin-based geopolymer on the moisture content – dry density relationship.
- Draw conclusions based on the findings of the test results.

SCOPE

This study's primary focus was on soft soils' compaction characteristics. Lime was utilized as a traditional stabilizer, among other stabilizers, and metakaolin was used for synthesizing geopolymers from various industrial waste products. The time required for soil sampling, sample preparation, and laboratory testing was about three months. It took several weeks to air dry the wet soil sample.

MATERIAL AND METHODS

MATERIALS

The compaction characteristics of soft soil were determined using an automatic soil compactor. The standard proctor mould has

an internal diameter of 10.16 cm, 11.64 cm height and 944 cm³ volume. As shown in Figure 1, the materials used in the compaction were soil, lime, metakaolin, alkali activators, and water. The soft soil was collected from Pelitkoy, Samsun, about 2-3 meters deep and transported to the laboratory using plastic bags. The raw material for geopolymer synthesis was collected from AVS İç ve Dış Tic. Ltd. Şti. company in Turkey. Due to its availability and suitability for the synthesis of geopolymers, metakaolin was chosen for this investigation. Additionally, the lime used in this experiment was unslaked lime and bought from the local market. For acceleration of the geopolymerization process, the alkali activator was made up of NaOH and Na₂SiO₃. Numerous researchers have used the NaOH and Na₂SiO₃ alkali activators (Yaghoubi et al., 2018:3); (Phetchuay et al., 2016:136); (Onyelowe et al., 2022:84); (Aamer & Al-rkaby, 2022:4); (Teerawattanasuk & Voottipruex, 2018:2-3).



Figure 1. Soft Soil, Unslaked Lime, and Metakaolin

METHODS

The soil sample was wet and sticky to hand while collected from the site. The soft soil was

first air-dried for several weeks and pulverized. The compaction test was conducted according to the ASTM-D698

testing procedure. For soil-lime treatment, 6% of lime by the dry weight of the soil was mixed for 15-30 minutes. The NaOH solution was prepared with ten molarity and sodium silicate and sodium hydroxide were used in a ratio of 70/30, respectively. The molarity and proportion of alkali activators were taken based on the recommendation of previous researchers (Santhikala et al., 2022:111-112), (Canakci et al., 2019:4-5) & (Abdullah et al., 2019:1908-1909). The geopolymer was

synthesized with 5%, 10% and 15% of the dry weight of the soil. Before the compaction test, the prepared geopolymer slurry was poured into the soil and thoroughly mixed for 5 to 10 minutes. The geopolymer should be immediately mixed with the soft soil since the geopolymer slurry solidifies. Figure 2 shows the process of sample preparation for lime and geopolymer treated soft soil. As shown, the lime should be thoroughly mixed with the soil for 5 to 10 minutes.



A. Soft Soil and Lime

B. Geopolymer Slurry

Figure 1. Soft Soil, Lime, and Geopolymer Slurry

RESULTS

The raw materials' mineralogical composition and microstructure were analyzed using Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) examinations, as illustrated in Figure 4 below. The SEM and EDS results showed the mineralogical and micro-structural composition of the soft soil and metakaolin. The compaction characteristics curve for the soft soil and soil-lime mixture were presented in Figure 5 below. The virgin soil's maximum dry

density (MDD) and optimum moisture content (OMC) were 1.52g/cm^3 and 26%, respectively. The maximum dry density and optimum moisture content for lime-treated soil were 1.47g/cm^3 and 27%, respectively. As shown in Figure 5, the maximum dry density of lime-treated soil decreased compared to virgin soil. The maximum dry density of the lime-geopolymer-treated soft soil showed a substantial decrease, as illustrated in Figure 6 below. Figure 7 illustrates the effect of 5%, 10%, and 15% metakaolin based geopolymer on the moisture content-dry density relationship. As

can be seen, increasing the geopolymer content results in a higher maximum dry density. The automatic soil compactor and

the compacted soil sample were shown in Figure 3 below.

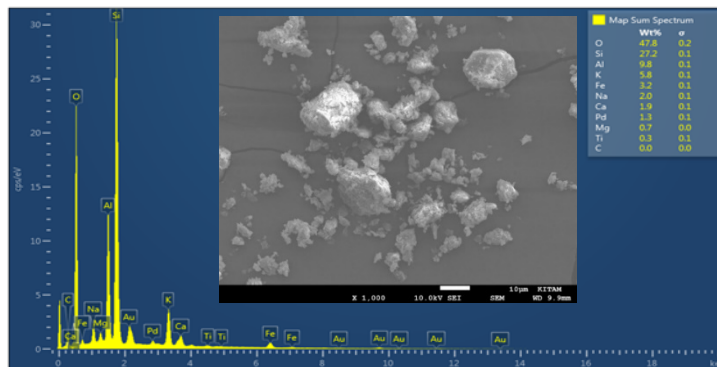


(a) Automatic Soil Compactor

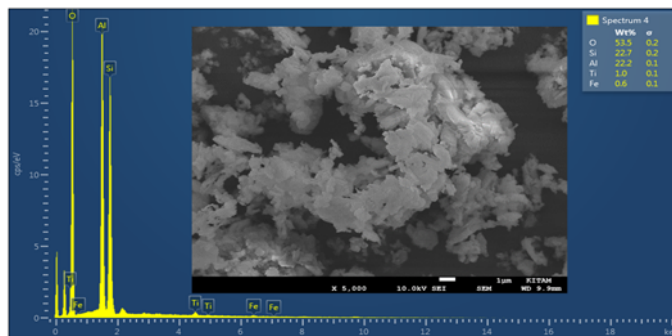
(b) Soft Soil

(c) Compacted Soil Sample

Figure 2. Compaction of Soft Soil using an Automatic Soil Compactor



(a) Soft Soil



(b) Metakaolin

Figure 3. Scanning Electron Microscopy (SEM) and EDS Results

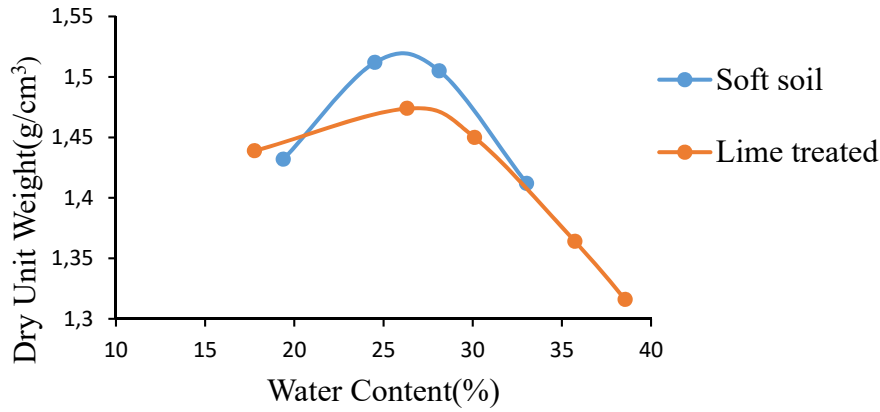


Figure 5. Compaction Characteristics Curve for Soft Soil and Lime-Treated Soil

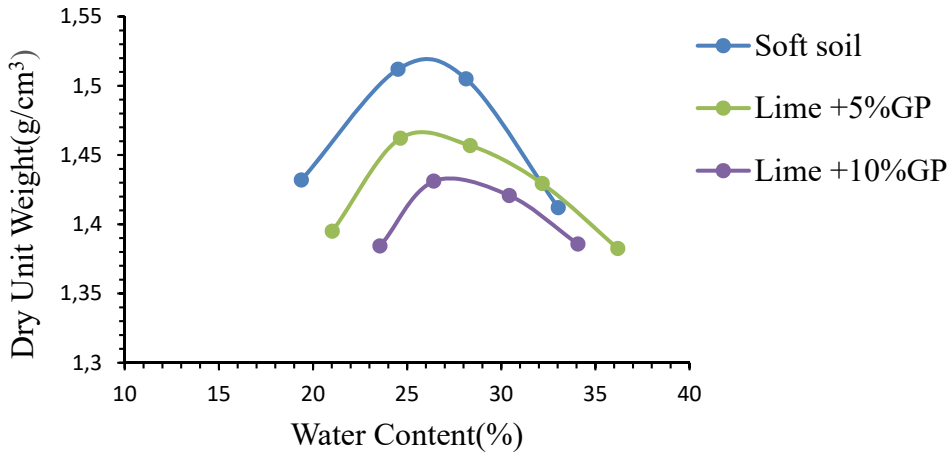


Figure 4. Compaction Characteristics Curve for Soft Soil and Lime-Geopolymer Treated Soil

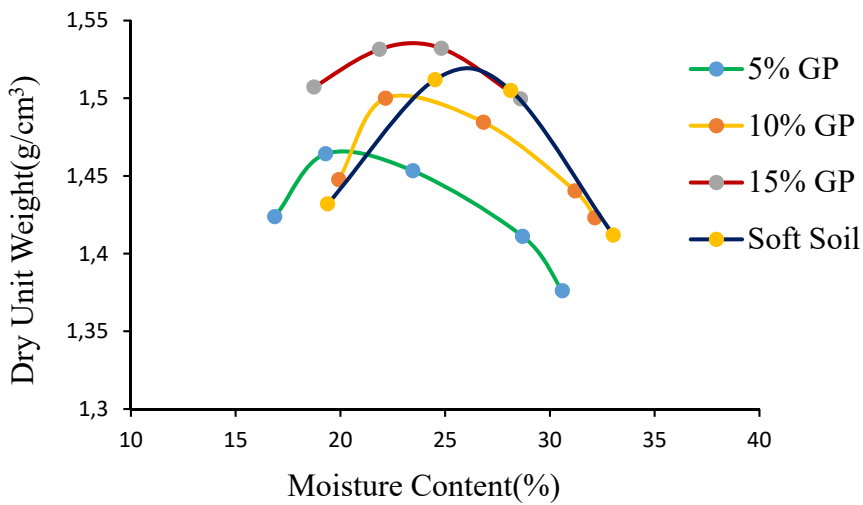


Figure 5. Moisture Content-Dry Density Relationship of Soft Soil and Geopolymer-Treated Soil

DISCUSSION

Compared to untreated soft soil, the maximum dry density of lime-treated soft soil decreased while the optimum moisture content increased. Numerous researchers have noted that adding lime to clay soils results in a density reduction and moisture content increase (Bell, 1996:228); (Azril Hezmi et al., 2019:3-6); (Bourokba Mrabent et al., 2017:8-9). In contrast to soft soil treated with lime, the lime-geopolymer-treated soil displayed a lower maximum dry density. The density is also further reduced while increasing the percentage of the geopolymer. The decrease in dry density may be caused by the rapid development of cementitious products, which decrease compactibility and, consequently, the density of the treated soil. In soft soil treated with geopolymer, the dry density increases as the geopolymer percentage increases. The maximum dry density obtained by the 15% geopolymer was higher than the maximum dry density of the soft soil. The higher dosage of metakaolin-based geopolymer increases the dry density and reduces the moisture content (SAMUEL, 2019: 114-116). The agglomeration and flocculation of soil particles while mixing the geopolymer slurry with the soil result in a geopolymer-soil

mixture with a reduced dry density for the lower dosage of geopolymers.

CONCLUSION

This paper investigated the compaction characteristics of soft soil treated with lime and geopolymer. The compaction was done using an automatic soil compactor. This device makes it possible to minimize errors while utilizing manual compaction equipment. For the synthesis of geopolymers, metakaolin was chosen as an aluminosilicate source material and lime as a traditional stabilizer. Adopting industrial waste-based geopolymers for soft soil stabilization has many benefits over conventional stabilizers. Geopolymers are environmentally friendly and help in the recycling of waste materials. The experimental findings showed that the agglomeration and flocculation effects cause the maximum dry density of lime-stabilized soft soil to decrease. Additionally, the mixture of lime and geopolymer shows a noticeable drop in dry density and increased moisture content. In contrast, soil treated with a geopolymer based on metakaolin showed encouraging improvements in dry density.

Acknowledge: This study was produced from the doctoral thesis titled "Soft Soils Improvement using Geopolymer based Stabilizers".

REFERENCES

Aamer, N. Al-rkaby, A. H. J. (2022). Case studies in construction materials strength, durability, and microstructures characterization of sustainable geopolymer improved clayey soil. *Case Studies in Construction Materials*, 16

(November 2021), e00988. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00988>

Abdila, S. R. Mustafa, M. Bakri, A. Ahmad, R. Zamree, S. Rahim, A. Rychta, M. Wnuk, I. Nabiałek, M. Muskalski, K. Faheem, M. Tahir, M. Isradi, M. Gucwa, M. (2021).



- Evaluation on the mechanical properties of ground granulated blast slag (GGBS) and Fly Ash Stabilized Soil via. 1–19.
- Abdullah, H. H. (2022). Geomechanical behaviour of clay stabilised with Fly-Ash-Based Geopolymer for Deep Mixing.
- Abdullah, H. H. Shahin, M. A. Walske, M. L. (2019). ScienceDirect geo-mechanical behaviour of clay soils stabilized at ambient temperature with fly-ash geopolymer-incorporated granulated slag. *Soils and Foundations*, 59(6):1906–1920. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.08.005>
- Azril Hezmi, M. Ahmad, K. Mohd Yunus, N. Z. Anuar Kassim, K. Rashid, A. S. A. Abdul Hassan, N. (2019). Compaction characteristics of the lime-treated tropical soil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 527(1): <https://doi.org/10.1088/1757-899X/527/1/012007>
- Bell, F. G. (1996). Lime stabilization of clay minerals and soils. *Engineering Geology*, 42(4):223–237. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(96\)00028-2](https://doi.org/10.1016/0013-7952(96)00028-2)
- Bourokba Mrabent, S. A. Hachichi, A. Souli, H. Taibi, S. Fleureau, J. M. (2017). Effect of lime on some physical parameters of an expansive natural clay from Algeria. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 21(1):108–125. <https://doi.org/10.1080/19648189.2015.1093963>
- Canakci, H. Güllü, H. Alhashemy, A. (2019). Performances of Using Geopolymers Made with Various Stabilizers for Deep Mixing.
- Khasib, I. A. Nik Daud, N. N. Nasir Mohd, Azline, N. (2021). Strength development and microstructural behavior of soils stabilized with Palm Oil Fuel Ash (POFA)-Based Geopolymer.
- Onyelowe, K. C. Onyia, M. E. Aneke, F. I. Kyle, D. B. (2022). Assessment of compressive strength, durability, and erodibility of quarry dust-based geopolymer cement stabilized expansive soil. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design*, 5(1):81–90. <https://doi.org/10.1007/s41939-021-00104-7>
- Phetchuay, C. Horpibulsuk, S. Arulrajah, A. (2016). Applied clay science strength development in soft marine clay stabilized by fly ash and calcium carbide residue-based geopolymer. *Applied Clay Science*, 127–128, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.04.005>
- Rong-Rong, Z. Dong-Dong, M. (2020). Effects of curing time on the mechanical properties and microstructure characteristics of metakaolin-based geopolymer cement-stabilized silty clay. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020, 18–23. <https://doi.org/10.1155/2020/9605941>
- Samuel, R. A. (2019). Synthesis of metakaolin-based geopolymer and its performance as sole stabilizer of expansive soils. *Society*, 2(1), 1–19. http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865607390&partnerID=tZ0tx3y1%0Ahttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=2LIMMD9FVXkC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Principles+of+Digital+Image+Processing+fundamental+techniques&ots=HjrHeuS_



Santhikala, R. Chandramouli, K. Pannirselvam, N. (2022). Materials today: proceedings Stabilization of expansive soil using fly ash based geopolymer. Materials Today: Proceedings, 68, 110–114. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.006>

Sheikhhosseini, I. Mohsen, M. Toufigh, V. (2021). Improvement of poorly graded sandy soil by using copper mine tailing dam sediments-based geopolymer and silica fume. Construction and Building Materials, 281, 122591. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122591>

Teerawattanasuk, C. Voottipruex, P. (2018).

Comparison between cement and fly ash geopolymer for stabilized marginal lateritic soil as road material. International Journal of Pavement Engineering, 8436(January):1–11. <https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1402593>

Yaghoubi, M. Arulrajah, A. Miri, M. Horpibulsuk, S. Darmawan, S. Wang, J. (2018). Applied clay science impact of field conditions on the strength development of a geopolymer stabilized marine clay. Applied Clay Science, June 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.10.005>

TÜRKİYE’NİN DÖNGÜSEL EKONOMİ UYGULAMASINDA ELEKTRONİK ATIKLARIN YERİ¹

TURKEY’S IMPLEMENTATION OF CIRCULAR ECONOMY LOCATION OF ELECTRONIC WASTE

Yeşim DEDE SAĞSÖZ¹, Eda TAŞDELEN EREN²

¹⁻²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Erzurum / Türkiye
ORCID: 0000-0001-6709-2737¹, 0000-0002-1553-1985²

Öz: Amaç: Artan sanayileşme, ham maddelere olan talebin artmasına ve doğal kaynakların kontrolsüz tüketimine sebep olmuştur. Dolayısıyla sürdürülebilirlik faaliyetleri riske girmiştir. Atık yönetimi sürdürülebilirliğin devamı için temel parametrelerdendir. Çalışmada döngüsel ekonomi kavramına ve elektronik atıklarının bu ekonomideki önemine vurgu yapılmıştır. Türkiye döngüsel ekonomisine, elektronik atıkların katılmasının faydaları ele alınmış ve bu konuda farkındalık oluşturmak amaçlanmıştır.

Yöntem: Bu konu hakkında yayınlanmış raporlar, yapılan çalışmalar ve güncel veriler incelenerek elde edilen bilgiler yorumlanarak değerlendirilmiştir.

Bulgular: Döngüsel ekonominin temelini, kullanım ömrünü tamamlamış atıkların uygun prosesler kullanılarak geri dönüşümü veya geri kazanımı yoluyla tekrar ekonomik bir değere dönüştürülmesi oluşturur. Ayrıca bu atıkların bertaraf edilmeden tekrar üretim ağına katılması doğal kaynakların tüketilmesini azalttığı için oldukça önemlidir. Döngüsel ekonomi uygulamalarında elektronik atıklar önemli bir hacme sahiptir. Elektronik atıkların döngüsel ekonomi uygulamalarına katılması bu atıkların depolanmaları ve bertarafı sonucunda oluşabilecek zararlı etkilerinin elimine edilmesini sağlayacaktır.

Sonuç: Dünya çapında yoğun olarak işleyen döngüsel ekonomi sürecine Türkiye’de gereken önemi verilmelidir. Yüksek atık hacmine sahip olan elektronik atıkların da bu sürece dahil edilmesi oldukça önemlidir. Bu durumun sürdürülebilir olmasının hem Türkiye ekonomisine hem de çevre ve halk sağlığının korunmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel Ekonomi, Elektronik Atık, Geri Kazanım, Sürdürülebilirlik

Abstract: Aim: Increasing industrialization has increased the demand for raw materials and the uncontrolled consumption of natural resources. Therefore, sustainability activities are at risk. Waste management is one of the basic parameters for the continuation of sustainability. In this study, circular economy and the importance of electronic waste in this economy are emphasized. The benefits of adding electronic waste to Turkey’s circular economy have been discussed and it has been aimed to raise awareness on this issue.

Method: The information obtained by examining the published reports, studies, and current data on this subject has been evaluated and interpreted.

Findings: The basis of the circular economy is the conversion of end-of-life wastes into an economic value through recycling or recovery using appropriate processes. The participation of electronic waste in circular economy practices will ensure that the harmful effects that may occur because of the storage and disposal of these wastes will be eliminated.

Conclusion: Turkey should provide due importance to the circular economy process. It is essential to include electronic waste in this process. It is thought that the sustainability of this situation will contribute to both the Turkish economy and the protection of the environment and public health.

Keywords: Circular Economy, Electronic Waste, Recycling, Sustainability

¹ Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Yeşim DEDE SAĞSÖZ, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Erzurum / Türkiye, yesim.dede@ogr.atauni.edu.tr, Geliş Tarihi / Received: 07.12.2022, Kabul Tarihi / Accepted: 03.04.2023, Makalenin Türü / Type of Article (Araştırma - Uygulama / Research - Application), Çıkar Çatışması / Conflict of Interest: Yok / None, Etik Kurul Raporu Yok / None “Ethics Committee Report Unavailable”

GİRİŞ

Devrimi'nin ardından teknoloji hızla gelişmiştir. Günümüzde sosyal ve ekonomik olarak gelişen dünyanın en temel sorunlarından biri nüfus problemidir (Çelik ve Güçlüer, 2022:55). Nüfusun artması doğal kaynak tüketimine olan talebin artmasına yol açmıştır. Dolayısıyla bu süreç doğal kaynakların kontrolsüz tüketilmesine sebep olmuştur. Doğal kaynakların tüketiminin artması birçok çevre problemini de beraberinde getirmiştir (Balbay vd., 2021:558). İklim değişikliği, kimyasal salınımlar ve zararlı atıklar ortaya çıkan çevre sorunlarından bazılarıdır. Bu çevre sorunlarının küresel çapta zararlı etkileri vardır. Yapılan araştırmalar toplam küresel tüketimin, gezegenin kendini yenileme kapasitesinin %50 oranında üstüne çıktığını göstermektedir (Sapmaz Veral, 2019:18).

2023 Döngüsel Boşluk Raporun da 100 milyar ton malzemenin küresel ekonomiye girdiği ve günümüzde bu devasa miktarın yalnızca %7,2'sinin geri dönüştürüldüğü 2020 yılında ise bu oranın %8,6 olduğu raporlanmıştır¹. Yıllara bakıldığında bu oranın gerileme sebebinin çok hızlı oluşan tüketim talebi ve ülkelerin benimsediği ekonomi modeli olduğu düşünülmektedir. Atık üretiminin bu denli hızlı artışı ile doğrusal ekonomi modeli ülkelerin ekonomisi için yetersiz kalmış ve ülkeler yeni ekonomi modeli arayışına başlamışlardır (Ateş, 2021:126).

Sürdürülebilirlik ile eşdeğer olarak görülen döngüsel ekonomi; ürünlerin ve kaynakların yeniden kullanımı, tekrar üretim döngüsüne katılması, uzun vadede değerlerini korumaları ve tüketimlerinin minimum düzeye indirilmesinden dolayı son yıllarda akademisyenler, uygulamacılar ve karar vericiler arasında artan bir ilgi görmüştür (Haas et al., 2020:2; Centobelli et al., 2021:9, Morseletto, 2023:1).

Döngüsel ekonominin temel amaçlarını; sektördeki değerli malzemelerin dolaşımını en üst düzeye çıkarmak, yeniden kullanım seçeneği ile atık oluşumunu azaltmak, hammaddeden çok geri dönüşümlü malzemeye önem vermek ve çevrede tehlikeli bileşenlerin üretilmesini minimize etmek olarak sıralamak mümkündür (Rezvani Ghomi et al., 2021:1).

Küresel ısınma günümüzün en önemli çevre problemlerindendir. Temiz üretim yöntemleri bulunmalı ve sera gazı oluşumu azaltılmalıdır (Yılmaz ve Taşçı, 2022:2). Temiz üretim yöntemlerinin uygulanması için ilk adımlardan biri döngüsel ekonomidir.

Türkiye'de Döngüsel Ekonomi uygulamaları 2019 yılında başlanmıştır. 2021 yılı başından itibaren de pandeminin etkisi, iklim değişikliği ve kuraklıklar sebebiyle AB'nin Yeşil Mutabakatı zorunlu tutması bu kavramı oldukça gündeme getirmiştir (Balbay v.d., 2021:561).

Elektronik atıklar, yeniden kullanma özelliği ve eko-tasarımıyla döngüsel ekonomiye geçişte önemli aktörlerdendir. Teknolojik

¹ <https://www.circularity-gap.world/2023>

yeniliklerin hızla ilerlemesi ve zaman içerisinde ürün çeşitliliğinin genişlemesi beraberinde elektronik ürünlerin tüketilmesine ve çok fazla miktarda elektronik atığın oluşmasına sebep olmaktadır. Diğer atıklardan üç kat daha hızlı artan elektronik atıklar kentsel atıklar kategorisinde büyüme hızı en yüksek olan katı atık grubunu meydana getirmektedir. Elektronik atıklar ortaya çıkışlarıyla birlikte çevre kirliliğine hem doğrudan sebep olmakta hem de içerdikleri tehlikeli maddeler nedeniyle bertaraf edilme süresince insan ve çevre sağlığını olumsuz etkilemektedir. Diğer

AMAÇ

Teknolojik gelişmelerin hızla artması ve tüketimin durdurulamaz bir noktaya gelmesi neticesinde doğal kaynakların tahribatı kaçınılmaz olmuştur. Bu tahribat sadece yerel değil tüm dünyayı etkileyen bir boyuttadır. Dünyanın sürdürülebilirliği risk altına girmiştir ve nihai sonucu olarak çevre sorunlarıyla dünya sıkça yüzleşmektedir. İklim değişikliği, salgın hastalıklar, doğal afetlerdeki artış, temiz su kaynaklarının azalması, hava kirliliği, toprak kirliliği bu sorunlardan bazılarıdır. Çevre sorunlarının önlenemesindeki en önemli parametrelerden birisi doğrusal ekonomi yerine döngüsel ekonomiyi benimseyerek atık miktarını ve doğal kaynak kullanımını azaltmaktır.

KAPSAM

Çalışma da doğrusal ve döngüsel ekonomi arasındaki farklara, döngüsel ekonominin evrensel olarak tercih edilme sebeplerine değinilmiştir. Türkiye'nin döngüsel ekonomi uygulamaları ele alınmıştır. Ayrıca bu

tarafından bu endüstri gün geçtikçe gelişmekte olan bir sektördür. Bu nedenle ortaya çıkan tehdit ve fırsatlara bakılarak oluşan yeni koşullara uygun politikalar belirlenmelidir (Altunok, 2020:12-13). Elektronik atıkların geri dönüşümünün veya geri kazanımının sağlanması çevre ve insan sağlığının yanı sıra ekonomik bakımdan da oldukça önemlidir.

Türkiye'nin döngüsel ekonomi uygulamasında, döngüsel ekonomide önemli bir aktör olan elektronik atıkların bu ekonomi politikasına katılmasının avantajları oldukça yüksektir.

Döngüsel ekonomi kavramı günümüzde sık sık duyduğumuz bir kavramdır. 2019 yılında yayınlanan Avrupa Yeşil Mutabakatına uyum neticesinde endüstrilerin döngüsel ekonomiyi uygulamaları ve atık miktarlarını azaltmaları gerekmektedir. Döngüsel ekonominin uygulanmasında elektronik atıklar oldukça önemlidir. Türkiye de oluşan elektronik atıkların geri dönüşüm ve yeniden kullanım oranı ise oldukça düşüktür.

Çalışmanın amacı Türkiye'nin döngüsel ekonomi uygulamalarına dikkat çekmek ve elektronik atıkların bu uygulamadaki önemini vurgulamak ve bu konudaki farkındalığa katkıda bulunmaktır.

uygulamalarda elektronik atıkların yeri incelenmiş ve önemi vurgulanmıştır. Bu konuyla ilgili yapılan güncel çalışmalar araştırılmış ve güncel veriler derlenmiştir. Türkiye de elektronik atıkların döngüsel

ekonomi uygulamasında kullanılmasının hem ülke ekonomisine hem de insan ve çevre

KURAMSAL ÇERÇEVE

Son yıllarda teknolojik gelişmelerin ve dünya nüfusunun artması ile doğal kaynaklara olan talep de artmıştır. Dolayısıyla zaten sürdürülebilirliği riskte olan doğal kaynakların, bu taleplerin karşılanması için kontrolsüz tüketilmesi çevre tahribatına sebep olmuştur. Hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği, iklim değişikliği ve daha bir çok çevre problemi ortaya çıkmıştır. Tüm dünya bu problemlerin olumsuz etkileri ile yüzleşmiş ve çözüm yollarını aramaya başlamıştır. Bu çözüm yollarının en önemlilerinden birisi yeşil üretime geçmek ve döngüsel ekonomiyi dünya genelinde tüm üretim ağlarında benimsemektir.

AB, 2019' da Avrupa Yeşil Mutabakatını ilan ederek iklim değişikliğiyle mücadelede yeşil üretim ve yeşil ekonomiye geçiş için kapsamlı bir dönüşüm başlatılmasına öncülük etmiştir. Bu bağlamda 2050 yılına kadar uzanan süreçte dünyanın ilk nötr iklim kıtası olmayı, sürdürülebilir kalkınmayı, döngüsel ekonomiye geçişin hızlanmasını, sürdürülebilir finansın sağlanmasını, ekonomik faydaların oluşmasını hedeflemiştir. Ayrıca tüm bu süreç boyunca hiçbir bölgenin geride kalmaması için çalışmalar başlatılmıştır.

Döngüsel ekonomi anlayışı, tam olarak uygulanması halinde çevrenin doğal dengesini bozmadan sürdürülebilir ekonomik kalkınmayı ve atık yönetimini

sağlığına olan avantajları ortaya konulmuştur.

sağlayan doğa dostu ekonomi anlayışı olarak görülmektedir (Küçük ve Dural, 2022:139).

Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı da Avrupa Yeşil Mutabakatına uyum kapsamında 2021 yılında Yeşil Mutabakat Eylem Planını yayınlamıştır. Bu planın en önemli ayaklarından birisi döngüsel ekonominin Türkiye ekonomisine uygulanmasının hızlandırılmasıdır ².

Döngüsel ekonomi, kaynakları mümkün olduğunca yeniden kullanarak ve atık miktarını minimize ederek ekonomik büyümeyi ve doğanın sürdürülebilirliğini amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu ekonomik yaklaşımın Türkiye'de uygulanmasının; doğal kaynakların korunması, üretim sonunda oluşan atık miktarının azalması, istihdam oluşumu ve maliyet tasarrufu gibi birçok konuda faydalı olacağı düşünülmektedir.

Döngüsel ekonomi uygulamalarının sağlanması için en önemli parametrelerden birisi de atık yönetiminin sağlanmasıdır. Atık yönetimi söz konusu olduğunda, toksik içeriğinden dolayı bertarafı hem zor olan hem de barındırdığı değerli madenlerden dolayı geri kazanımı ekonomimiz açısından oldukça önemli olan elektronik atıklar ilk sıralarda yer alacaktır.

Türkiye, nüfusunun büyük bir kısmının yoğun olarak kullandığı elektronik cihazların üretiminde ve kullanımında hızla artan bir eğilim vardır. Bu durum, elektronik atık

² <https://ticaret.gov.tr>

oluşumunun artmasına, çevre kirliliğine ve sağlık sorunlarına yol açmaktadır.

Türkiye'nin dögüsel ekonomi uygulamalarında elektronik atıkların etkin olarak kullanılmaları hem halk hem de çevre sağlığı için oldukça önemlidir.

Çalışmada ele alınan konular hakkında yapılan literatür taramasında öne çıkan başlıklar aşağıda sıralanmıştır.

Doğrusal ve Dögüsel Ekonomi

Dünya genelinde son yıllara kadar gelenekselleşmiş ekonomi modeli olarak doğrusal ekonomi modeli uygulanmaktaydı. "Hamaddeyi çıkart, üret, kullan ve at" sıralaması doğrusal ekonominin özeti niteliğindedir.

Doğrusal bir ekonomide, yeni ürünler üretmek için doğal kaynaklar kullanılır. Tüketiciler ürünleri satın alır, bir süre kullanır ve ürünlerin kullanım ömürlerinin bittiğini düşünerek atıl olduklarına karar verir.

Bu sistemin çevresel ve ekonomik dezavantajları giderek daha belirgin hale geldikçe (örneğin, doğal sistemlerin tükenmesi, hammadde arz güvenliği), yeni ve daha sürdürülebilir bir yaklaşıma olan ihtiyaç ortaya çıkmıştır.

Günümüzde dögüsel ekonomi kavramı, mevcut doğrusal üretim sisteminden uzaklaşma ihtiyacına cevap olarak ortaya çıkmış en iyi kavramdır (Boonman,

2023:216). Bu kavram son yıllarda sıkça duyulsa da uzun bir tarihsel geçmişe sahiptir. Bu kavram ilk olarak Boulding'in, 1966 tarihli "The Economics of the Coming Spaceship Earth" başlıklı makalesinde doğrusala karşı dögüsel temasıyla ele alınmıştır (Sapmaz Veral, 2018: 151).

D. W. Pearce ve R. K. Turner isimli iki çevre ekonomisti 1990'da "Natural Resources and Environmental Economy" adlı çalışmaların da dögüsel ekonomi kavramına terimsel olarak ilk kez yer vermişlerdir (Chuang, 2010:46). Tüm bunlara ek olarak kavramın gelişimine araştırmalar ve raporlar hazırlayarak önemli katkılarda bulunan kuruluşlar da mevcuttur. Bunlara rağmen dögüsel ekonomi kavramını bir kişiye veya kuruma aitmiş gibi düşünmek pek de olası değildir. Kavramın gelişmesine de birçok kişi ve kuruluş katkı sağlamıştır.

Dögüsel ekonomi, materyal ve enerji akış dögülerinin kısıtlanması yoluyla ham madde girişi, emisyon, atık ve enerji kayıplarını minimize etmesi bakımından üretim ağını yenileyici bir sistemdir. Bu sistem uzun ömürlü ürün tasarımını, tekrar kullanımı, yenileme ve geri dönüşümü gerçekleştirilen bir model olarak ifade edilmiştir (Geissdoerfer et al., 2017:759). Bir diğer tanım ise dögüsel ekonomiyi; "Ürünlerin, materyallerin ve kaynakların değerlerinin mümkün olduğunca, ekonomi içinde korunduğu ve atık üretiminin minimize edildiği bir ekonomi" olarak tanımlamıştır³.

³<https://www.kowi.de/Portaldata/2/Resources/horizon2020/coop/SOER-Synthesis-2015-EN.pdf>

Ellen Macarthur Vakfı, döngüsel ekonomi konusunda çalışmalar yürüten bir kuruluştur. Bu vakfın tanımına göre ise döngüsel ekonomi kavramını; yeniden dizayn edilmiş sanayi kuruluşları, yenilenebilir enerjinin bu kuruluşlarda yaygın kullanımı, atık oluşumunun ortadan kaldırılması prensiplerine dayanan bir yaklaşım olarak tanımlamıştır.⁴

Döngüsel ekonomi kavramının kökenlerini ekolojik ekonomi, beşikten beşiğe tasarım, eko-verimlilik, temiz üretim, endüstriyel ekoloji gibi bir takım diğer kavramlara dayandırmak da mümkündür (Yalçın ve Negiz, 2020: 28; Korhonen et al., 2018:545).

Türkiye’de Döngüsel Ekonomi Uygulaması

Türkiye ‘de döngüsel ekonomi kavramı son birkaç yıldır gündemdedir. Türkiye döngüsel ekonomi uygulamaları konusunda oldukça fazla yol katetmiştir. Döngüsel ekonomi prensipleri ve amaçları (atık yönetimi, ham madde kullanımının azaltılması, geri kazanımın sağlanması gibi) göz önüne alındığında bu parametrelerle ilgili birçok çalışma yıllardır mevcuttur. Türkiye, döngüsel ekonomiye geçmek için çeşitli adımlar atmaktadır. Bu adımlar arasında öne çıkanları şu şekilde sıralamak mümkündür:

Geri dönüşüm ve atık yönetimi konusunda çalışmalar yürütmekte ve kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlamaya odaklanmaktadır.

Döngüsel ekonomi, üretim veya kullanım sonucu ortaya çıkan atığın yok edilmesi yerine tasarım, üretim ve kullanım şeklinin değiştirilerek kapsamlı bir yaklaşımla doğal kaynak kullanımının ve atık miktarının azaltılması, bunların yanı sıra geri dönüşümün, yeniden kullanımın sağlanması, dolayısıyla kaynak verimliliğinin üst düzeyde olması ve sıfır atık hedefine ulaşılması anlamına gelen ekonomi modelidir (Özyıldırım, 2020:8). Bu yüzden çoğu dünya ülkesi son zamanlarda ekonomi modellerini döngüsel ekonomi modeline uyarlamak için çalışmalar başlatmışlardır. Türkiye’de bu ülkelerden biridir.

Yeşil ekonomiye geçiş için çalışmalar yürütmekte ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmaktadır. Bu kapsamda, güneş, rüzgâr, hidrolik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak enerji üretimi sağlanmaktadır.

Kaynakların daha verimli kullanımını sağlamak üzere atık yönetimi ve geri dönüşüm projelerinin yanı sıra, üretim süreçlerinde kaynakların verimli kullanımı için çalışmalar yürütmektedir.

Ürün tasarımı konusunda da çalışmalar yürütmekte ve daha dayanıklı, tamir edilebilir ve geri dönüştürülebilir ürünlerin

⁴<https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>

tasarlanması konusunda çaba göstermektedir.

Döngüsel ekonomiye geçiş için yenilikçi yaklaşımlar benimsemekte ve bu doğrultuda farklı sektörlerde çalışmalar yürütmektedir. Örneğin, elektronik sektöründe geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı teşvik edilmektedir.

Kamu politikalarını döngüsel ekonomiye uygun hale getirerek, bu yönde teşvikler ve düzenlemeler yapmaktadır. Örneğin, geri dönüşüm tesisleri için vergi indirimleri ve atık yönetimi konusunda teşvikler gibi çeşitli düzenlemeler yapılmaktadır.

Geri dönüşüm altyapısını geliştirmek için çalışmalar yürütmekte ve atık yönetimi konusunda özel sektörle işbirliği yapmaktadır. Bu doğrultuda, geri dönüşüm tesisleri ve atık depolama alanları gibi altyapıların geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Döngüsel ekonomi konusunda farkındalığı artırmak ve geniş kitlelere ulaşmak üzere eğitim programları ve kampanyalar düzenlemektedir. Bu çalışmalarla, toplumun

Elektronik Atık

Gelişen teknoloji ve değişen tüketim alışkanlıkları yeni tip toksik içeriklere sahip atıkların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bunlardan biri de elektronik atıklardır.

Günümüz pazarlamaları sayesinde; daha teknolojik, daha verimli, daha kullanışlı ve daha hızlı olduğunu düşünerek yeni

döngüsel ekonomiye geçiş konusunda bilinçlenmesi ve katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Döngüsel ekonomiye geçiş için farklı paydaşlarla işbirliği yapmaktadır. Özellikle, özel sektör, sivil toplum kuruluşları, üniversiteler ve araştırma kuruluşları gibi paydaşların bir araya gelerek ortak projeler geliştirmesi hedeflenmektedir.

Döngüsel ekonomiye geçiş için yatırım yapmakta ve bu alanda potansiyeli yüksek olan sektörlerle destek vermektedir. Özellikle, geri dönüşüm, yenilenebilir enerji, su yönetimi gibi sektörlerle yatırım yaparak, döngüsel ekonomiye geçiş hızlandırılmaktadır⁵.

Tüm bu adımlardan da anlaşılacağı gibi atık yönetimi Türkiye içinde döngüsel ekonominin en önemli parametrelerinden biridir.

Diğer atık türleri arasında bertarafı zor olan ve üretim hızı gün geçtikçe artan elektronik atıklar ise Türkiye'nin döngüsel ekonomi uygulamasında temel aktörlerdendir.

elektronik cihazlar alma eğilimine giriyoruz. Kullanmak da olduğumuz elektronik cihazlarımızı kısa süreler içinde belki de faydalı ömürleri dolmadan "iş göremez" veya "tamiri, yenisini almaktan daha pahalı" diye düşünerek kullanım sürelerini sonlandırıyoruz. Yüksek fiyatlar ödeyerek aldığımız elektronik eşyalarımızı ya çöpe atıyor ya da hurdacılara veriyoruz. Bu

⁵ <https://dongusel.csb.gov.tr/dongusel-ekonomi-egitimi-sunumlari-i-106851>

döngünün en nihayetinde elektronik atıklar çevre ve insan sağlığına tehdit olarak ortaya çıkıyor. Ne yazık ki sayıları da gün geçtikçe artıyor.

Elektronik atık kapsamına giren atıkları; beyaz eşyalar, küçük ev aletleri, telekomünikasyon ve bilişim ekipmanları (bilgisayar, tablet, telefon vb.), video kameralar, müzik enstrümanları, aydınlatma ekipmanları, elektrikli oyuncaklar, jetonlu makineler, tıbbi cihazlar olarak sınıflandırmak mümkündür (Çiftlik v.d., 2009:2-3).

Atık durumundaki elektronik cihazlar dikkatli bir şekilde bertaraf edilmezse insan ve çevre sağlığı için büyük tehlike oluşturmaktadır.

Gerekli güvenlik önlemlerini olmadan uygulanan bertaraf etme ve geri dönüşüm işlemleri oldukça sakıncalıdır. Birinci derecede atığı işleyen kişilere, işleme ortamındaki toprak ve yer altı suyu kalitesine zarar verecektir. Atıkların yakılması halinde ise yayılan halojenli bromidler ve klorid hava kirliliğine sebep olacaktır.

Elektronik atıklar çoğunluğu toksik içeriğe sahip olan 1000'in üzerinde madde içermektedir. Bu da imha veya depolama alanları için çok ciddi çevre problemleri oluşturmaktadır (Yılmaz Aydın ve Evcı Kiraz, 2017:44-47).

Her elektronik atığın içerdiği toksik madde, üretim koşullarından dolayı farklılık gösterebilir. Fakat bazı toksik maddelerin elektronik atıklardaki varlığı göz ardı edilemez seviyededir. Bunlardan bazıları ve

insan sağlığına olan etkileri aşağı da verilmiştir.

Cıva (Hg): Dünya genelindeki cıva kaynaklarının tüketiminin %22'si elektronik cihazlar içindir. Cıva düşük dozlarda bile zehirli bir kimyasaldır. Beyin ve böbreklere zararlı etkileri vardır. Kısa süre zarfında yüksek dozlarda maruz kalmak solunum yolunda hasarlara sebep olmaktadır. (Güven v.d., 2004:65).

Fosfor (P): Bilgisayar ekranlarında çözünürlüğün sağlanması için kullanılan inorganik toksik bir kimyasaldır. Ekranların kırılması halinde oluşan toz fosforun solunması ve saçılan cam parçalarına dokunulması acil müdahale gerektiren bir durumdur.

Baryum (Ba): Baryum yumuşak, beyaz bir metaldir. Kullanıcıları radyasyonun zararlı etkilerinden korumak için bilgisayarların ön panelinde kullanılmaktadır.

Kısa dönemli maruz kalınması kas güçsüzlüklerine, kalpte, karaciğerde ve beyin de hasara neden olmaktadır.

Bromlu Alev Geciktirici (BFR): Genellikle plastik ürünlerde kullanılır. Elektroniklerin bağlantı parçalarına, basılı devrelerine ve kablolarına uygulanmaktadır. İnsanlarda büyümeyi geciktirici etkilere sahiptir.

Krom 6 (Cr⁺⁶): Elektronik cihazlarda korozyon korunması ve sertleştirilmiş çelik için kullanılır. Yüksek dozlarda maruz kalınması sonucunda şiddetli ve sıklıkla ölümle sonuçlanan patolojik değişimler ortaya çıkmaktadır.

Berilyum (Be): Elektronik cihazların bağlantı parçaları ve ana kartında bulunur. Kanserojen etkileri vardır.

Kadmiyum (Cd): Bilgisayar çipleri, yonga resistörler, infrared detektörler, yarı iletkenler ve piller kadmiyum içermektedir. Kadmiyum en tehlikeli ağır metal kirleticilerindendir. Canlı organizmalar için son derece toksiktir.

Kadmiyum toprak-bitki sistemlerinde kolaylıkla besin zincirine dâhil olabilmektedir. Bunun neticesinde de hayvan ve insan sağlığı açısından tehlikeli etkilere sebep olabilmektedir (Akın ve Kuru, 2011:3-4).

Bunların dışında, bazı elektronik cihazlar; florin (F), arsenik (As), antimon (Sb) ve selenyum (Se) gibi toksik maddeleri de içermektedir.

Ham madde kaynaklarındaki azalma ve ortaya çıkan çeşitli çevre sorunları, elektronik

atıkların yeniden kullanımının veya uygun koşullarda geri kazanımının ön plana çıkmasına sebep olmuştur.

Elektronik atıklar, yer verdiğimiz toksik birleşiklerinin yanı sıra birçok değerli madeni de içlerinde barındırmaktadır. En yaygın bulunan değerli madenlerden bazıları; elektrik iletkenliği ve korozyon direnci yüksek olan altın, ışığı çok iyi yansıtan bunun yanı sıra oksitlenme direnci yüksek olan gümüş, kıymetli metallere paladyum, kolayca şekil alabilen bakır, ek olarak demir ve alüminyumdur (Çevikel, 2009:15).

Elektronik atıkların, içerdikleri değerli madenlerin uygun koşullarda geri kazanılmasının ekonomik faydaları oldukça fazladır. Ayrıca bu değerli madenler geri kazanıldığında doğal kaynaklara olan yükümüzde azalacaktır. Bunun da daha sağlıklı bir çevre oluşumuna sebep olacağı söylenebilir.

BULGULAR

Döngüsel ekonomi düşüncesi; temeli al-kullan-at olan doğrusal ekonominin aksine, ekonomik sürdürülebilirlik ve doğal kaynakların sınırlılığı, endüstriyel ekoloji/simbiyoz, yeşil ekonomi, beşikten beşiğe gibi yaklaşımlara dayanır (Sauvé et al., 2016:51-53; Murray et al., 2017:673; Lazarevic and Valve, 2017: 65; Merli et al., 2018: 705).

2020 yılı Dünya Ekonomik Forumu Yıllık Toplantısında “işletmelerin döngüsel ekonomiye geçişi nasıl hızlandırılabilir” konusu tartışılmış ve öneriler sunulmuş

döngüsel ekonomiye geçiş uygulamaları başlatılmıştır.

Hazırlanan “Döngüsel Ekonomi El Kitabı” çok sayıda stratejiyi ve vaka incelemelerini içermektedir. Buna bağlı olarak hazırlanan Avrupa Birliği Döngüsel Ekonomi Eylem Planı, döngüsel ekonomiye geçişini teşvik edecek planları barındırmaktadır (Balbay vd., 2021:564).

Türkiye’de döngüsel ekonomi uygulamaları, 2019 yılından itibaren sürdürülebilirlik kapsamında başlamıştır. Türkiye

Cumhuriyeti Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının, “Türkiye’nin dögüsel ekonomiye geçiş potansiyelinin Türkiye’de dögüsel ekonomi çalışmaları iki kuruluş tarafından desteklenmektedir. Bunlar; Türkiye Dögüsel Ekonomi Platformu⁷ ve DCUBE Dögüsel Ekonomi Kooperatifidir⁸.

Türkiye’de dögüsel ekonomi uygulamalarının en önemli ayaklarından birisi elektronik atıkların bu ekonomide yerini almasıdır. Elektronik atıklar, tehlikeli ve toksik maddeler içerirler. Bundan dolayı uygun olmayan bertarafı insan ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebebiyet verir. Ham madde olarak miktarları azalan geri kazanılabilir (plastik, cam, metal ve gümüş, paladyum, altın gibi değerli elementler) materyallerin değerlendirilmesi ile doğal kaynakların kontrollü tüketilmesine katkı sağlar.

Günümüz insanının modern yaşam tarzının vazgeçilmezi olan teknolojik değişikliklere uyum ihtiyacının oluşması, elektronik atık miktarlarını diğer atık türleri içerisinde önemli bir boyuta ulaştırmıştır (Andooz et al., 2021:1-2).

Teknolojik yeniliklerin hızını yakalamak isteyen tüketicilerin, ürünlerini yükseltme taleplerinin artması beraberinde elektronik ürünlerin ömrünün kılmasına ve ek olarak elektronik atıkların miktarlarının artmasına sebep olmuştur (Roychoudhuri and Debnath, 2020:432).

değerlendirilmesi için teknik destek projesi” mevcuttur.⁶

Elektronik atık grubunun sahip olduğu özelliklerinden ötürü dünya genelinde elektronik atıkların toplanma ve değerlendirme çalışmalarının önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu bağlamda Türkiye’de de elektronik atıklarla ilgili bu çalışmalara öncelik verilmiştir. Son yıllarda bu uygulamalara ilişkin farkındalık artmış ve son on yıl içerisinde ise uygulamalara olan ilgi hızlı bir ivme kazanmıştır.

Birleşmiş Milletler (BM) tarafından sonuncusu 2020’de açıklanan “Küresel Elektronik Atık İzleme Raporu”na göre, 2019’da dünya genelinde toplam 53,6 milyon ton yani kişi başı yaklaşık 7,3 kilogram elektronik atık üretilmiştir. 2050 yılında ise dünya çapında 111 milyon ton elektronik atık üretimi olacağı tahmin edilmektedir (Parajuly et al., 2019:19). Bu rakamın beş yılda yüzde 21 arttığı belirtilen raporda, dünya genelinde değeri 57 milyar doları bulan elektronik atıkların yalnızca yüzde 17,4’ünün kayıtlı olarak toplandığı ve geri dönüştürüldüğü vurgulanmıştır. Rapora göre, Türkiye’de toplam elektronik atık miktarının yılda 847 bin ton, kişi başına düşen elektronik atık miktarının ise yaklaşık 10,2 kilogram olduğu belirtilmiştir. Türkiye de bu atıkların geri dönüştürülme ve yeniden kullanılma oranı ise yaklaşık %14 tür (The Global E-waste Monitor, 2020:115). Önceki raporlara göre bu oran %9 oranında artmış olsa da yine de oldukça düşüktür.

⁶ <https://dongusel.csb.gov.tr/>

⁷ <https://donguseleekonomiplatformu.com>

⁸ <https://www.dcube.org/>

SONUÇ

Yıllardır uygulanan, al-kullan-at prensibine sahip olan doğrusal ekonomi modeli yerine, faydalı ömürleri bittiği düşünülerek atılacak olan ürünlerin tekrar üretim ağına katılarak bu ürünlerden maksimum verimin alınacağı kullanımı kapsayan döngüsel ekonomi modeli dünyamızın sürdürülebilirliğini sağlamak adına uygulanacak en faydalı ekonomi modelidir. Dünyamızın sürdürülebilir olması ve gelecek nesillerin ham madde sıkıntısı çekmemesi için döngüsel ekonomi modelini benimsemek ve uygulanmasını sağlamak tüm dünya ülkelerinin sorumluluğudur.

Avrupa ülkeleri başta olmak üzere döngüsel ekonomi modeli, günümüz dünyasında çokça duyulan bir model olmuştur. Bu modelin ekonomik ve çevre sağlığına olan etkileri de düşünülünce ülkeler döngüsel ekonomi modelini uygulamak için harekete geçmişlerdir.

Türkiye’de de döngüsel ekonominin benimsenmesi için temel uygulamalar başlatılmıştır. Türkiye’nin döngüsel ekonomi uygulamasının ülke ekonomisine, insan ve çevre sağlığına faydalı etkilerinin oldukça fazla olacağı düşünülmektedir. Bunun için Türkiye’nin ekonomi politikalarında döngüsel ekonomi yatırımlarını, teşviklerini ve kontrol mekanizmasını çalıştırması gerekmektedir.

Döngüsel ekonomiye geçiş için tüm organizasyonu ve paydaşlarını da içeren kökten bir değişim için uygun stratejiler geliştirilmelidir. Bu konuda devletin kurum

ve kuruluşları çeşitli projeler yürütmektedirler.

Döngüsel ekonomi modelinin uygulanmasında, çağımız teknolojik gelişmeleri düşünüldüğünde, elektronik atıklar büyük bir yoğunluğa sahiptir. Elektronik atıklar, bu ekonomi modeline katılmalıdırlar. Eğer bu ekonomi modeline katılmaz ve uygun bir şekilde bertaraf edilmezlerse içerdikleri toksik maddeler çevreye yayılacaktır. Bunun sonucu olarak da hava kirliliği, yeraltı sularının kirlenmesi, toprak kirliliği gibi çeşitli problemler kaçınılmaz olacaktır.

Elektronik atıkların geri dönüşüm veya yeniden kullanım oranları Türkiye’de, Birleşmiş Milletler tarafından sonuncusu 2020’de açıklanan “Küresel Elektronik Atık İzleme Raporu”na göre, %14 civarındadır (The Global E-waste Monitor, 2020:115).

Türkiye’nin elektronik atık miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Ama ne yazık ki bu atıkların geri kazanım yüzdeleri güncel verilere göre oldukça düşüktür. Elektronik atıkların döngüsel ekonomi uygulamalarına katılması ile geri kazanım oranlarının artacağı tahmin edilmektedir. Bu oranı artırmak için; üretici firmalar faydalı ömrünü tamamlayan ürünleri geri alma programları oluşturma, uygulama ve takip etme mecburiyetinde olmalıdırlar.

Bireyler ise faydalı ömrünün sona kadar elektronik ürünlerini kullanmalı ve kullanım sonrası bu ürünleri toplayan kurum ve kuruluşlarla iletişime geçmelidirler.

Müşteriler, döngüsel ekonomiye katılarak yenilenmiş elektronik cihazları almaya teşvik edilmelidirler. Yasadışı elektronik atık ticaretini önlemek için teknik yönergeler oluşturulmalıdır.

Elektronik atıkların, Türkiye döngüsel ekonomi uygulamalarına aktif olarak katılması, bu atıkların çevreye olacak tehlikeli etkilerini azaltacak ve doğal kaynakların korunmasına katkı sağlayacaktır. Ek olarak, hammaddelerin yeniden kullanımının sağlanması üretim sürecinde enerji tasarrufu oluşturacaktır.

Elektronik atıkların atık yönetim sistemleri ile kontrol altına alınmaları insan sağlığına ve

ÖNERİLER

Elektronik atıkların Türkiye döngüsel ekonomisi uygulamasına katılması sürecinde öncelikle toplumda çevre duyarlılığının artırılması için eğitim ve farkındalık kampanyaları düzenlenebilir. Elektronik atıkların toplanması için etkili bir atık toplama sistemi kurulmalı ve atıkların

KAYNAKÇA

Akın, B. Kuru, A. (2011). Elektrikli ve elektronik atıkların (e-atık) zararları, yönetimi ve türkiye'deki uygulamalarının değerlendirilmesi. İstanbul Aydın Üniversitesi Dergisi, Cilt: 3, Sayı: 12, ss.1-12.

Altunok, A. E. (2020). Türkiye'de elektronik atıkların değerlendirilmesi ve çevre eğitimindeki yeri ve önemi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Ankara, ss.1-117.

güvenliğine zarar vermesinin önlenmesine yardımcı olacaktır. Bu atıkların döngüsel ekonomi kapsamında kullanılması, üreticileri geri dönüştürülebilir malzemeler kullanmaya da teşvik edecektir. Oluşan bu teşvik, ürünlerin daha sürdürülebilir hale gelecek ve çevre üzerindeki etkileri azalacaktır.

Tüm bu olumlu etkilerin yanı sıra, bu durum ülkeler arasında ticaretin kolaylaştırılmasına ve elektronik atık konusunda küresel bir iş birliği geliştirecektir.

Toplumda elektronik atıklar konusunda bilgi ve birikimi artırmak, çevre bilinci oluşturmak için çeşitli eğitimler verilmesi gerekmektedir.

kaynağında ayrıştırılması sağlanmalıdır. Bu atıkların geri dönüşümü konusunda standartlar belirlenmeli ve çevreye zarar veren uygulamaların önüne geçilmelidir. Elektronik atıkların ekonomiye kazandırılması için kamu, özel ve sivil toplum kuruluşları ile iş birliği sağlanmalıdır.

Andooz, A. Eqbalpour, M. Kowsari, E. Ramakrishna, S. Cheshmeh, Z.A. (2021). A comprehensive review on pyrolysis of e-waste and its sustainability. Journal of Cleaner Production, Vol: 333, Article: 130191, pp.1-22.

Ateş, E. (2021). Döngüsel ekonomi kapsamında gsyih ile geri dönüşüm ilişkisi. avrupa birliği ülkeleri örneği. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, Sayı: 67, ss.125-137.

Balbay, S. Sarihan, A. Avsar, E. (2021). Dünya'da ve Türkiye'de döngüsel ekonomi /

- endüstriyel sürdürülebilirlik yaklaşımı. *European Journal of Science and Technology*, Sayı: 27, ss.557-569.
- Boonman, H. Verstraten, P. Weijde, A. H. (2023). Macroeconomic and environmental impacts of circular economy innovation policy. *Sustainable Production and Consumption*, Vol: 35, pp.216–228.
- Centobelli, P. Cerchione, R. Esposito, E. Passaro, R. (2021). Determinants of the transition towards circular economy in smes: a sustainable supply chain management perspective. *International Journal of Production Economics*, Vol: 242, Article: 108297, pp.1-14.
- Chuang, L. (2010). Growth mode of circular economy. *international conference on challenges in environmental science and computer engineering*, pp.36-39.
- Çelik, E. Güçlüer, K. (2022). Cam atıklarının harç üretiminde kullanılabilirliğinin incelenmesi. *Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sayı:18, ss.54-68.
- Çevikel, B. (2009). Elektronik atıklardan değerli metal geri kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, sakarya üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, ss.1-71.
- Çiftlik, S. Handırı, İ. Beyhan, M. Akçil, A. U. Ilgar, M. Gönüllü, M. T. (2009). Elektrikli ve elektronik atıkların (e-atık) yönetimi, ekonomisi ve metal geri kazanım potansiyeli bakımından değerlendirilmesi. TÜRKAY 2009 Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, YTÜ, 15-17 Haziran 2009, İstanbul, ss.1-8.
- Forti V. Baldé C. P. Kuehr R. Bel G. (2020). The global e-waste monitor 2020: quantities, flows and the circular economy potential. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam.
- Geissdoerfer, M. Savaget, P. M. P. Bocken, N. Hultink, E. J. (2017). The circular economy - a new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production*, Vol: 147, pp.757-768.
- Güven, A. Kahvecioğlu, Ö. Kartal, G. Timur, S. Metalurji, İ. T. Ü. (2004). Metallerin çevresel etkileri-iii. *Metalurji Dergisi*, Sayı:138, ss.64-71.
- Haas, W. Krausmann, F. Wiedenhofer, D. Lauk, C. Mayer, A. (2020). Spaceship earth’s odyssey to a circular economy-a century long perspective. *Resources, Conservation & Recycling*, Vol: 163, Article:105076, pp.1-10.
- Korhonen, J. Nuur, C. Feldmann, A. Birkie, S. E. (2018). Circular economy as an essentially contested concept. *Journal of Cleaner Production*, Vol: 175, pp.544-552.
- Küçük, G. Yüce Dural, B. (2022). Avrupa yeşil mutabakatı ve yeşil ekonomiye geçiş: enerji senaryoları üzerinden bir değerlendirme. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt: 22, Sayı: 1, ss.137-156.
- Lazarevic, D. Valve, H. (2017). Narrating expectations for the circular economy: towards a common and contested european transition. *Energy Research and Social Science*, Vol: 31, pp.60–69.

- Merli, R. Preziosi, M. Acampora, A. (2018). How do scholars approach the circular economy? a systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, Vol: 178, pp.703–722.
- Morseletto, P. (2023). Sometimes linear, sometimes circular: states of the economy and transitions to the future. *Journal of Cleaner Production*, Vol: 390, Article: 136138, pp.1-9.
- Murray, A. Skene, K. Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a limits to growth 29 global context. *Journal of Business Ethics*, Vol: 140, pp.369–380.
- Özyıldırım, M. (2020). Şehir hastanelerinin dögüsel ekonomi kapsamında enerji ve karbon ayak izlerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, ss.1-75.
- Parajuly, K. Kuehr, R. Awasthi, A. K. Fitzpatrick, C. Lepawsky, J. Smith, E. Widmer, R. Zeng, X. (2019). Future e-waste scenarios. StEP (Bonn), UNU ViE-SCYCLE (Bonn) & UNEP IETC (Osaka), pp.1-34.
- Rezvani Ghomi, E. Khosravi, F. Tahavori, M. A. Ramakrishna, S. (2021). Circular economy: a comparison between the case of singapore and France. *Materials Circular Economy*, Vol: 3, pp.1-12.
- Roychoudhuri, R. Debnath, B. (2020). Risk assessment of e-waste recycling with a focus on ISO 9000 standard. *Sustainable Waste Management: Policies and Case Studies*, Vol: 1, pp.431–440.
- Sapmaz Veral, E. (2018). Atık sorunsalı bağlamında avrupa birliği'nin yeni ekonomi modeli olarak dögüsel ekonominin değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, ss.1-288.
- Sapmaz Veral, E. (2019). An evaluation on the circular economy model and the loops design in the context of waste management. *European Journal of Science and Technology*, Vol: 15, pp.18-27.
- Sauvé, S. Bernard, S. Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, Vol: 17, pp.48–56.
- Yalçın, Ö. Negiz, N. (2020). Türkiye'de kentsel alanlarda dögüsel ekonomi uygulamaları üzerine bir yazın incelemesi. *Akademi Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, Vol: 6, pp.25-44.
- Yılmaz Aydın Ç. Evcir Kiraz, E. D. (2017). Elektronik atıklar ve çevre sağlığı. Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, Cilt: 1, Sayı: 1, ss.39-52.
- Yılmaz, B. Taşçı, E. (2022). Zeolite (clinoptilolite) composite cements. *International Refereed Journal of Engineering and Sciences*, Vol: 17, pp.1-19.

Yazar Notu: Söz konusu çalışma, 18-19 Mart 2023 tarihleri arasında gerçekleştirilen, Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi'nde sözlü olarak sunulmuştur.

İNTERNET KAYNAKLARI

<https://www.circularity-gap.world/2023> (E.T.: 12.03.2023)



<https://dongusel.csb.gov.tr/> (E.T.: 13.03.2023)

<https://donguseleekonomiplatformu.com> (E.T.: 14.03.2023)

<https://www.dcube.org/> (E.T.: 14.03.2023)

<https://ticaret.gov.tr> (E.T.: 21.03.2023)

<https://www.kowi.de/Portaldata/2/Resources/horizon2020/coop/SOER-Synthesis-2015-EN.pdf> (E.T.: 22.03.2023)

<https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an> (E.T.: 22.03.2023)

<https://dongusel.csb.gov.tr/dongusel-ekonomi-egitimi-sunumlari-i-106851> (E.T.: 23.03.2023)

EXTENDED ABSTRACT

Intruduction: After the Industrial Revolution, technology has been developed rapidly. One of the most fundamental problems of the socially and economically developing world today is the population problem (Celik and Güclüer, 2022:55). The increase in population has increased the demand for natural resource consumption. Therefore, this process has led to the uncontrolled consumption of natural resources. The increase in the consumption of natural resources has brought many environmental problems (Balbay et al., 2021:558). Climate change, chemical releases, and harmful waste are some of the environmental problems that arise. These environmental problems have harmful effects on a global scale. The circular economy, which is seen as equivalent to sustainability: the reuse of products and resources, their reintegration into the production cycle, their long-term value protection, and their minimization of consumption have attracted increasing attention among academics, practitioners, and decision-makers recently (Haas et al., 2020:2; Centobelli et al., 2021:9, Morseletto, 2023:1). The main objectives of

the circular economy: It is possible to list them as maximizing the circulation of valuable materials in the sector, reducing waste generation with the option of reuse, giving importance to recycled materials rather than raw materials, and minimizing the production of hazardous components in the environment (Rezvani Ghomi et al., 2021:1). Circular Economy practices in Turkey have been started in 2019. Electronic waste is one of the important actors in the transition to the circular economy with its reuse feature and eco-design. The rapid progress of technological innovations and the expansion of product diversity over time cause the consumption of electronic products and the formation of a large amount of electronic waste. Electronic wastes, which increase three times faster than other wastes, constitute the solid waste group with the highest growth rate in the urban waste category. Electronic wastes both directly cause environmental pollution with their emergence and adversely affect human and environmental health during disposal due to the hazardous materials they contain. On the other hand, this industry is a sector that is developing day by day. Therefore, by looking at the emerging threats and opportunities,

policies should be determined following the new conditions (Altunok, 2020:12-13). Ensuring the recycling or recovery of electronic waste is essential in terms of the economy as well as environmental and human health. In Turkey's circular economy implementation, the advantages of the participation of electronic waste, which is an important factor in the circular economy, in this economic policy are quite high. **Aim:** As a result of the rapid increase in technological developments and the unstoppable point of consumption, the destruction of natural resources has become inevitable. This destruction has not been only local but also affects the whole world. The sustainability of the world is at risk, and the world is frequently confronted with environmental problems as a result. Climate change, epidemics, increase in natural disasters, decrease in clean water resources, air pollution, and soil pollution are some of these problems. One of the most important parameters in preventing environmental problems is to reduce the amount of waste and the use of natural resources by adopting a circular economy instead of a linear economy. The concept of a circular economy is a concept we hear a lot recently. As a result of the European Green Deal published in 2019, industries must implement a circular economy and reduce the amount of waste. Electronic waste is crucial in the implementation of a circular economy. The recycling and reuse rate of electronic waste generated in Turkey is quite low. The study aims to draw attention to Turkey's circular economy practices and emphasize the importance of electronic waste in this

practice and contribute to awareness of this issue. **Method:** The information obtained by examining the published reports, studies, and current data on this subject has been evaluated and interpreted. **Findings and Results:** Circular economy though, contrary to the linear economy, which is based on take-away, economic sustainability, and the limitations of natural resources are based on approaches such as industrial ecology/symbiosis, green economy, and cradle-to-cradle (Sauvé et al., 2016:51-53; Murray et al., 2017:673; Lazarevic and Valve, 2017:65; Merli et al., 2018:705). At the World Economic Forum Annual Meeting in 2020, the issue of "how to accelerate the transition of enterprises to a circular economy" was discussed and proposals have been presented and a transition to circular economy practices have been initiated. The "Circular Economy Handbook" contains many strategies, practical insights, and case studies. Accordingly, the European Union Circular Economy Action Plan includes plans that will encourage the transition to a circular economy (Balbay et al., 2021:564). One of the most important pillars of circular economy practices in Turkey is the replacement of electronic waste in this economy. Electronic wastes contain hazardous and toxic materials. Therefore, their improper disposal causes adverse effects on human and environmental health. By evaluating the recyclable materials (plastic, glass, metal, and valuable elements such as silver, palladium, and gold) whose amount is decreased as raw material, it contributes to the controlled consumption of natural resources. The necessity of adapting to the technological



changes, which is indispensable for the modern lifestyle of today's people, has brought the amount of electronic waste to an important level among other types of waste (Andooz et al., 2021:1-2). According to the "Global Electronic Waste Monitoring Report", the last of which was announced by the United Nations (UN) in 2020, a total of 53.6 million tonnes of electronic waste, that is, approximately 7.3 kilograms per person, was produced worldwide in 2019. It is estimated that there will be 111 million tonnes of electronic waste production worldwide in 2050 (Parajuly et al., 2019:19). It is stated that the total amount of electronic waste in

Turkey is 847 thousand tonnes per year, and the amount of electronic waste per capita is approximately 10.2 kilograms. The recycling and reuse rate of these wastes in Turkey is approximately 14% (The Global E-waste Monitor, 2020:115). Although this rate has increased by 9% compared to previous reports, it is still quite low. It is estimated that recycling rates will increase with the participation of electronic waste in circular economy practices. It is thought that this situation will also have a positive effect on the country's economy, environment, and human health.

BOR ATIKLARININ GERİ KAZANIM UYGULAMALARININ İNCELENMESİ¹

INVESTIGATION OF BORON WASTE RECYCLING APPLICATIONS

Eda TAŞDELEN EREN¹, Yeşim DEDE SAĞSÖZ²

¹⁻²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Erzurum / Türkiye
ORCID: 0000-0002-1553-1985¹, 0000-0001-6709-2737²

Öz: Amaç: 1808 yılında keşfedilen bor elementi, özelliklerinin çokluğu ve cam, deterjan, ilaç ve kimya sanayi, yanmayı geciktirici madde yapımı, tarım, seramik metalurji, enerji depolama, su arıtma, pigment ve kurutucu, araba içi hava yastıkları, hidrolik fren gibi kullanım alanlarının çeşitliliği ile dikkat çekmektedir. Bor mineralinin üretimi ve işlenmesi esnasında borun yanı sıra ortaya atık ürün de çıkmaktadır. Oluşan atığın giderilmesi, değerlendirilmesi ve ekonomiye kazandırılması ise hem çevre açısından hem de doğal kaynak tüketiminin azaltılması konusunda önem arz etmektedir. Bu amaçla bilim insanları bor atığının değerlendirilmesi için faaliyetlerde bulunmuştur. Bor atıklarının kullanımını sağlayabilecek yöntemler denemiştir.

Yöntem: Bu çalışma ile bor atıklarının var olan bilimsel çalışmalarda geri kazanılması için hangi alanlarda kullanılabilirliğinin test edildiği araştırmalara yer verilmiştir.

Bulgular: Atığı ekonomiye yeniden kazandırmak için seramik, kıymetli metallerin geri kazanımı, yol malzemesi, alçı levha, gözenekli agrega ve asfaltta beton yol kaplama için mevcut bilimsel verilerin uygulanabilirliği çalışmada incelenmiştir.

Sonuç: Toplanan veriler doğrultusunda bor atıklarının son yıllarda mevcut durumuna tekrar dikkat çekilmek istenmiştir. Bu çalışma da tüm bor atıklarının geri kazanım yöntemleri bir bütün olarak verilmiştir. Böylelikle hem literatüre geniş çapta katkı sağlanacağı hem de yeni çalışmaların önünü açacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Geri Kazanım, Bor, Endüstriyel Atık

Abstract: Aim: The element boron, discovered in 1808, has many properties and can be used in glass, detergent, pharmaceutical, chemical industry, fire retardant production, agriculture, ceramic metallurgy, energy storage, water treatment, pigment and dryer, car interior airbags, hydraulic brake. It draws attention with its diversity of usage areas. During the production and processing of boron mineral, waste product is also produced in addition to boron. For this purpose, scientists carried out activities for the evaluation of boron waste. They have tried methods that can provide the use of boron wastes.

Method: In this study, researches that tested the usability of boron wastes in existing scientific studies were included.

Findings: The applicability of existing scientific data for concrete pavement in ceramics, precious metals recovery, road material, gypsum board, porous aggregate, asphalt in order to recycle waste to economy was examined in the study.

Conclusion: In line with the collected data, it was desired to draw attention to the current situation of boron wastes in recent years. It is thought that this study will bring together the recovery methods of all boron wastes as a whole and contribute to the literature on a large scale and pave the way for new studies.

Keywords: Recovery, Boron, Industrial Waste

¹ Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Eda TAŞDELEN EREN, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Erzurum / Türkiye, eda.tasdelen2990@outlook.com, Geliş Tarihi / Received: 11.12.2022, Kabul Tarihi / Accepted: 13.04.2023, Makalenin Türü / Type of Article (Araştırma – Uygulama / Research - Application), Çıkar Çatışması / Conflict of Interest: Yok / None, Etik Kurul Raporu Yok / None “Ethics Committee Report Unavailable”

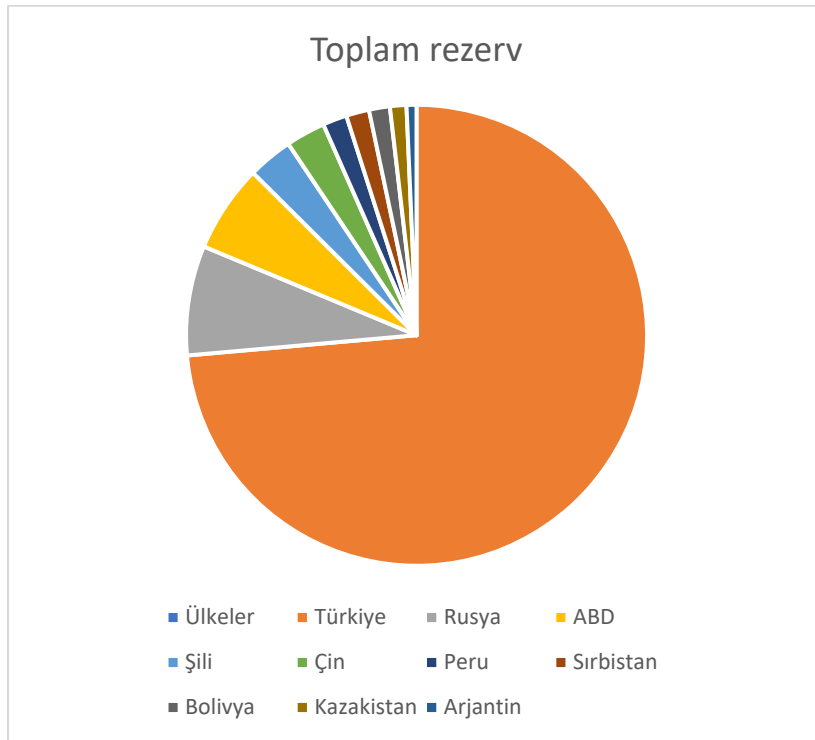


GİRİŞ

Ayrı bir element olarak bor, 1808 yılında Fransa'da Gay-Lussac ile Baron Louis The-nard, onlardan bağımsız İngiliz kimyacı Sir Humpry Davy tarafından bulunmuştur. Buluşun devamı niteliğinde 1828 yılında Fran-ceska Lardoret İtalya'da sıcak su kaynakla-rında borik asit varlığını tespit etmiştir (Bü-yükyıldız, 2007:1-3).

İtalya'nın ardından ABD, Şili, Nevada, Kalifor-niya, Rusya, Çin, Peru, Sırbistan, Bolivya, Ka-zakistan, Arjantin ve Türkiye önemli bor ya-taklarına sahip ülkeler haline gelmişlerdir. Türkiye, Dünya'daki bor rezervlerinin %73,6'lık kısmına sahip bulunmaktadır (Eti Maden, 2021:37).

Şekil 1'de grafikte ülkeler ve toplam rezerv miktarları gösterilmiştir.



Şekil 1. Dünya Bor Rezervleri (Eti Maden, 2021)

Doğadaki yaklaşık 150 mineralin bor ele-menti içerdiği bilinmesine rağmen, ticari açı-dan değerlendirilen bor mineralleri 8 çeşit olarak bilinmektedir. Bu mineraller, kolema-nit, üleksit, boraks, pandermite, hidroborasit, kernit olarak sınırlanmaktadır. Bu bor mineralleri içerdikleri B_2O_3 (bor trioksit) yüz-delerine göre endüstride pazarlanırlar. Bor mineralleri bazı özel isimlere göre adlandırıl-mamış, kimyasal olarak içerdikleri katyon

veya katyonların adlarıyla isimlendirme ya-pılmıştır (sodyum borat, kalsiyum borat, kal-siyum-magnezyum borat vb) (Yılmaz, 2006:7-8).

1. Kolemanit

Kolemanit ($2CaO \cdot 3B_2O_3 \cdot 5H_2O$) mono klinik sistemde kristallenmektedir. $2,42 \text{ gr/cm}^3$ öz-gül ağırlığa ve Mohs sertlik sınıflandırmasına göre sertliği 4-4,5 ayrıca en çok bulunan bor

bileşiği olarak bilinmektedir. Kil içerisinde cevher boşluklarında iri, parlak, saydam kristaller şeklinde bulunurlar. Saf kolemanit HCl' de hızlı, su içerisinde ise yavaş çözünmektedir. Türkiye'de Bigadiç, Kestelek, Emet yataklarında bulunmaktadır. Kolemanit, Dünya'da Türkiye ile ABD rezervlerinde rastlanmaktadır (DPT, 1995:34-35).

2. Kernit



Şekil 2. Sırasıyla Kernit Minerali, Kolemanit Minerali (Bilim ve Ütopya Dergisi, 2002).

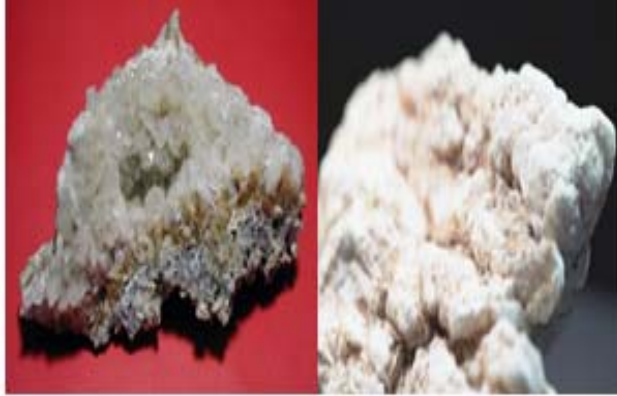
3. Üleksit

Üleksit ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) mineral bakımından oldukça zengin bir bor türü olup; ısı ve ses yalıtımında, seramik, cam ve gübre sanayisinde borik asit ve boraks üretiminde kullanılmaktadır. Saf halde çıkarılan üleksitin doğada bulunuşu; masif, lifsel, karnabahar, rozet, koni

Kernit ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) Monoklinik sistemde kristalleşmektedir. Saf ve renksiz, sertliği 2.5, yoğunluğu ise 1.95 gr/cm^3 ' tür. Çok büyük yapraklı kristaller gözlenir. Anadolu'daki boraks yataklarında kernite rastlanmaktadır. (DPT, 1995:36-37). Şekil 2'de kernitin mineral ve kolemanit mineralinin görselleri gösterilmektedir.

pamuk yumağı ve çubuk görünümindedir. Mohs sertliği 2,5 özgül ağırlığı $1,95\text{-}2 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Kırka'da borat yatakları içerisinde kolemanit, boraks ve inyonit ile birlikte bulunmaktadır. Üleksit mineralinin dünyada rastlandığı yer ise Arjantin'dir.¹ Şekil 3'te Üleksit minerali ve bor mineraline ait görselleri bulunmaktadır.

¹ <http://www.etimaden.gov.tr/uleksit> 3 Şubat 2019



Şekil 3. Üleksit Minerali¹, Boraks Minerali²

4. Boraks

Kimyasal bileşimi $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, özgül ağırlığı $1,7 \text{ g/cm}^3$ olup, içeriğinde monoklinik kristal sisteminde kristalleşen tinkal minerali, %36,5 B_2O_3 bulunmaktadır. (Garrett, 1998:438-439). Mohs sertlik skalasında 2-2,5 Mohs arasında değişmektedir. Suda kolay çözünebilmesine ilaveten, çözünürlük ve çözünme hızı sıcaklığa bağlı olarak artmaktadır (Helvacı, 2004:4-5). Yer kabuğunda saydam ve renksiz görünmesine rağmen yapısında bulunan safsızlıklara bağlı olarak pembe, sarımsı, gri renklerde de gözlemlenebilmektedir (Ediz vd., 2001:133-151). Şekil 3'te boraks

ve üleksit mineralinin görseli verilmektedir. Şekil 4'te pandemit minerali görseli verilmiştir.

5. Pandemit

Kimyasal bileşimi $\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{19} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ olup nodüler ya da düzensiz kütleler halinde, kompakt kristal biçiminde bulunmaktadır. Mohs sertlik skalasında 3-3.5 arasındadır. Toprağımsı parlaklığa sahiptir ve beyaz renk ve şeffaflığa sahiptir. Aragonit ile birlikte, sıcak su kaynaklarının meydana getirdiği çökellerde oluşmaktadır. Kil ve jips yataklarında bulunmaktadır.



Şekil 4. Pandemit Minerali³

²<https://www.maden.itu.edu.tr/muze/images/BDolap5-6/i01.jpg>

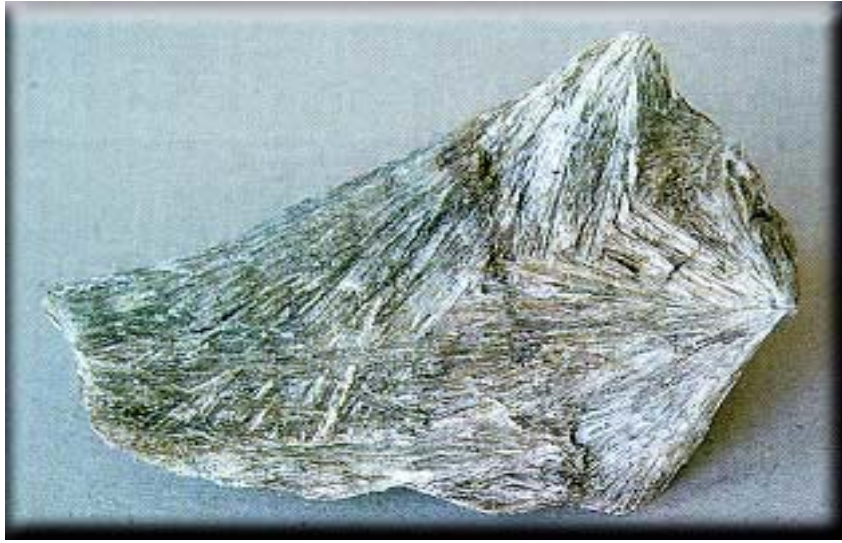
³ <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pandemit>

6. Hidroborasit

Hidroborasit $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ kimyasal bileşimindedir. Monoklinik kristal sistemi içerisindedir. Mohs sertlik skalasında 2-3 arasındadır. Renksiz, beyaz ve şeffaftır. Camsı, ipeksi parlaklığa sahiptir. Özgül ağırlığı 2,167

g/cm^3 ' tür. Uzun, prizmatik kristalli, c eksenine boyunca uzamış, ince taneli ve lifsi kristal biçimindedir⁴.

Şekil 5 hidroborasit minerali görseli bulunmaktadır.



Şekil 5. Hidroborasit Minerali⁴

Bor üretim yöntemleri üç başlık altında toplanabilir;

İlk yöntem açık ocak adı verilen yöntemdir. Dünyada en çok kullanılan yöntemdir. Cevherin üzerinde bulunan örtü tabakası, tabakanın fiziksel özelliklerine göre delme-patlatma ile gevşetilmekte ve örtü tabakası alındıktan sonra cevher çıkarılmaktadır. Bu işlem basamakları için ekskavatör ve loderler kullanılmaktadır.

İkinci yöntem yeraltı madenciliği olarak da adlandırılan kapalı ocak yöntemidir. Açık ocak yöntemiyle çıkarılması zor olan cevherler için tercih edilmektedir.

Cevherin üzerindeki örtü tabakası kalın ve sert olmakla beraber, üstten kırılarak alınması zor ve zahmetlidir. Bu nedenle cevher örtü tabakası delinip (tüneller açılarak) alınır. Türkiye'deki Bigadiç yatakları bu türdendir.

Son yöntem olan çözelti madenciliği yöntemi bor minerallerinin çıkarılmasında kullanılmaktadır. Su yatağına %5'lik HCl ilave edilip 8-9 saat beklendikten sonra çözelti yüzeye pompalanmaktadır. Daha sonra kireç eklenerek %43 B_2O_3 içeren kolemanit elde edilmektedir (Kurttepe, 2009:22-23).

Endüstriyel faaliyetlerde bor kimyasalları olarak değerlendirildiği gibi konsantre bor

⁴ <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/hidrobor>

olarak da yer almaktadır. Tüketilen bor ürünlerinin %48'i cam, %15'i tarım, %15'si seramik-frit, %2'si deterjan-temizlik sektöründe kullanılmaktadır. Elektronik ve iletişim sektörü, uzay ve hava araçları, nükleer uygulamalar, askeri araçlar, yakıtlar ve polimerik malzemeler, nanoteknolojiler, otomotiv ve

enerji sektörü, metalurji, inşaat sektörü ise geriye kalan %20'lik paya sahiptir (Bor Sektör Raporu, 2016:42-43).

Tablo 1'de bazı bor ürünleri ve kullanım alanları gösterilmektedir.

Tablo 1. Bazı Bor Türevleri ve Kullanım Alanları

Ürün	Kullanım Alanları
Amorf Bor ve Kristalin Bor	Askeri piroteknik, nükleer silahlar ve nükleer güç reaktörlerinde.
Bor Halojenürleri	İlaç sanayi, katalizörler, elektronik parçalarda, bor filamentleri ve fiber optiklerde.
Özel Sodyum Boratlar	Fotoğrafçılık kimyasalları, yapıştırıcılar, tekstil, deterjan ve temizlik malzemelerinde.
Sodyum Bor Hidrürler	Özel kimyasalları saflaştırma, kâğıt hamurunu beyazlaştırma, metal yüzeylerin temizlenmesinde.
Bor Esterleri	Polimerizasyon reaksiyonları için katalizör ve yangın geciktirici maddelerde kullanılmaktadır.
Kalsiyum Bor Cevheri (Kolemanit)	Tekstil cam elyafı, bor alaşımları, nükleer atıkların depolanmasında.
Borik Asit	Antiseptikler, bor alaşımları, yangın geciktirici, naylon, tekstil, gübre, cam, cam elyafı, emaye, sır.
Susuz Boraks	Gübre, cam elyafı, emaye, sır, yangın geciktirici.
Sodyum Metaborat	Yapıştırıcı, deterjan, tarımsal ilaç, fotoğrafçılık, tekstil.
Magnezyum Diborür	Süperiletken olarak

Çinko Borat	PVC, halojenli polyester ve naylonlarda alev geciktirici, duman bastırıcı ve korozyonu önlemede kullanılmaktadır.
Kurşun Borat	Kurşun camlarda ve boyalarda kullanılmaktadır.
Bor Nitrür	Yüksek ısıya dayanıklı yağlarda ve yansıtıcı maddelerde kullanılmaktadır.

Özellikle 21. Yüzyılın başından itibaren yaşanan teknolojik gelişmeler üretim alanında kullanılan ekipmanların gelişmesini sağlamış, gelişen ekipmanlar üretim hacmini artırmıştır. Üretimin artmasıyla beraber eş zamanlı olarak üretilen atık miktarı ve atık türü de artış göstermiştir (Koçak, 2018:36-37)

AMAÇ

Bu derlemenin amacı, çeşitli sektörlerde geniş kullanım alanına sahip olan borun elde edilmesi sırasında ortaya çıkan bor atıklarının, günümüzde hangi faaliyetler ile değerlendirilmeye çalışıldığını belirtmektir.

KAPSAM

Derleme; borun tarihi süreci, bor mineralleri ve kimyasal formülleri ve içerikleri, borun Dünya'daki rezerv durumu ve bor atıklarının,

ARAŞTIRMANIN PROBLEMİ

Bor mineralinin önemi ve kullanım alanları yeterince bilinmemektedir. Ayrıca bor ile birlikte oluşan atık konusunda yapılan çalışmalar az ve eski çalışmalara eklenen yeni çalış-

Olusan ekolojik değişiklikler, sürekli artan aşırı tüketim alışkanlıkları, önüne geçilemeyen nüfus artışı sürdürülebilirlik kavramının yaygınlaşmasını ve yeni kazanım yöntemleri araştırmayı gerekli kılmıştır (Baylak v.d., 2022:2-3).

Deęerlendirmeler incelendiğinde ortaya çıkan mevcut durumla, yeni akademik çalışmaların önünü açmak istenmiştir.

oluşum süreci, çeşitleri, kullanım alanları, yapılan bilimsel çalışmalardan elde edilen bilgileri içermektedir.

maların literatüre katkısı bütüncül bir yaklaşımla incelenen derleme bulunmamaktadır. Bu derleme ile günümüze kadar ulaşan bilimsel çalışmalar incelenerek problemin çözümü hedeflenmektedir.

KURAMSAL ÇERÇEVE

Dünya'nın en büyük bor rezervi bulunan Türkiye'de, Etibor Kırka Boraks İşletmesi birincisi konsantratör şlam, ikincisi ise konsantratör kil pestili atığı olmak üzere iki tip konsantratör atığı oluşturmaktadır. Konsantre bor üretiminde; yıkama, dağıtma ve sınıflandırma olarak adlandırılan üç aşama sonucunda killi malzemenin uzaklaştırılması gerçekleşmektedir. Bu nedenle konsantratör tesisi katı atığının genellikle kil boyutundaki minerallerden oluşturmakta, ortalama %13-15 B_2O_3 içermektedir (Kurttepe, 2009:30-31).

Cevher zenginleştirme tesislerinden çıkan atıklar genellikle ince boyutlu katı veya pulp halinde bulunmaktadır. Bu atıklar önceleri maden alanlarının yakınındaki sahalara, artık barajlarına, denizlere, göllere veya nehirlere boşaltılmakta iken günümüzde zenginleştirme tesis atıklarından yararlanmaktadır. Ancak değerlendirmek mümkün değilse en uygun yöntemle bertaraf etme yoluna gidilmektedir (Bentli v.d., 2002:250-258).

Kil pestilinin herhangi bir şekilde değerlendirilmemesi durumunda çevre sorunlarına yol açtığı da bilinmektedir. Her iki atık türünün bileşiminde yüksek sayılabilecek oranda B_2O_3 bulunurken, MgO , CaO ve SiO_2 ile birlikte eser miktarda da SrO , Fe_2O_3 ve Al_2O_3 mevcuttur (Çırak, 2010:1-10).

Yaklaşık 400.000 ton farklı türde bor atıkları oluştuğu ifade edilmektedir (Kavas v.d., 2011:1381-1389).

Bu miktar oldukça fazla olup kullanım alanlarının çokluğu ile bilinen borun, atık miktarıyla doğru orantılı olarak artacağını göstermektedir.

Sulama suyundaki bor konsantrasyonunun yüksek olması, bitkilerde de toksik semptomların görünmesine, bitkilerin fotosentez kapasitesinin ve üretkenliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bitki büyümesini olumsuz yönde etkileyerek bitki ölümünü hızlandırmaktadır (Parks et al., 2002:81-114; Wei et al., 2011:2297-2305).

Yüksek konsantrasyonda borun bitki bünyesine alımı toksik etki gösterdiği tespit edilmişken yapılan başka çalışmalarda ise bor etkilerinin bitki türüne ve bor seviyelerine göre değiştiği söylenmektedir (Aktaş v.d., 2005:1-248; Shelp, 1993:53-85; Lovalt et al., 1984:389-420).

Birçok araştırma borun nükleik asit metabolizması, karbonhidrat biyosentezi, fotosentez ve protein metabolizması üzerinde bitkilerde olumlu etkilediğini göstermektedir. Karbonhidrat metabolizması ve taşınması üzerinde rol oynayan bor kök gelişimi, çiçek ve meyve oluşumu üzerinde fizyolojik rolleri olduğu da tespit edilmiştir (Finck, 1969:1-200).

Bitkide normalin üzerinde bir bor beslenmesinin bitkinin solunum şiddetini arttırdığı, böylece net asimilasyonun azaldığı belirtilmektedir (Mengel, 1984:1-15). Bitkilerde normal bor beslenmesi koşullarında asimilasyon organlarındaki bor miktarı genel olarak $2-100 \text{ mg/kg}^{-1}$ arasında değişebilmektedir (Finck, 1969:1-200).

Araştırmalara göre, bilhassa içme sularının düşük oranda bor içermesi insan sağlığı açısından önemlidir. 1980'li yıllarda iz element olarak tanımlanan bor, 1996 yıllarında Dünya

Sağlık Örgütü tarafından insan sağlığı açısından olası temel elementler kategorisine alınmıştır. İnsan ve hayvanlar için esansiyel bir iz element olduğu bildirilen borun mineral metabolizması, lipit metabolizması ve enerji metabolizmasında, immün ve endokrin sistem ile birlikte beyinde önemli fonksiyonları olduğu söylenmiş ayrıca beyin performansını olumlu etkilediği, osteoporoz, osteoartrit ve artrit önlenmesinde etkili olabildiği ileri sürülmüştür (Yeşilbağ, 2008:61-68; Nielsen, 1997:199-208).

Bor elementi insanda kemiklerdeki kalsiyum, magnezyum ve fosforun korunması için gereklidir. Ayrıca bu üç mineralin vücutta maksimum düzeyde kullanılmasını ve korunmasını da sağlamaktadır. Bunun dışında bor beyin fonksiyonlarında, bağışıklık sisteminde, kan hücrelerinin kompozisyonunda da rol oynamaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda ise borun üreme sisteminde ve embriyo gelişiminde de rol aldığı belirlenmiştir. Kemik metabolizması açısından önemi bulunan vitamin D, kalsiyum ve magnezyum ile olan düzenleyici ilişkisinin yanı sıra, menopoz sonrası kadınlarda antioksidan etkileri saptanmıştır (Devirian et al., 2003:219-231).

İnsan vücudu günde 15–20 g bor miktarı üzerine maruz kaldığında yetişkinlerde ishal, kusma, cilt kızarıklığı, mide bulantısı ve boğaz ülserlerine şikayetleri görülmüştür (Rahman vd., 2021:21964-21977).

Bor maddesinin atık sularda yüksek yoğunlukta olması da çevreye zararlı bir etki oluşturmalarının yanında ekonomik olarak da zarara uğratmaktadır. Bu nedenle çevresel ve ekonomik anlamda bor ve bor türevleri, sıvı atıklardan hesaplı bir şekilde ayrılması ya da

geri kazanılması gerekmektedir (Recepoğlu vd., 1991:83-89; Tural v.d., 2005:339-345).

Sonuç olarak bor, geri akış/üretim suyunda endişe duyulan bir bileşik olarak kabul edilmektedir. Ayrıca çevre yetkilileri, antropojenik faaliyetler tarafından çevreye yayılan bor miktarını azaltmak amacıyla atık sularda izin verilen bor seviyelerini sınırlandırılmıştır (Li et al., 2017:938-946).

Bugüne kadar bu amaçla iyon değişimi (Wang et al., 2021:358-366), membran teknolojileri (Lan et al., 2021:118887), pıhtılaşma/flokülasyon (Halim et al., 2021:750-755), elektrokoagülasyon (EC) (Gedik et al., 2021) ve adsorpsiyon (Karimi-Maleh et al., 2020a:113588, 2021b:125880; Shadman et al., 2022:112458). Bu yöntemler arasında borun su kaynaklarından uzaklaştırılmasında en yaygın ve başarılı yol adsorpsiyondur. Bu teknik, üstün bir verimlilik hem bakım hem de işletimde esneklik ile ilişkilidir ve toksik çamur üretmemektedir. (Sun et al., 2018:10-19; Karimi-Maleh et al., 2020b:112040, 2021c:110809). Karbon bazlı malzemelerin elektrokimyasal sensörlerde bazı yeni uygulamaları bulunmaktadır (Sarıoğulları v.d., 2019:10-20; Şenocak vd., 2020:127939; Mehmandoust et al., 2021:1-8; Karimi-Maleh et al., 2021d:127058, 2021e:132928), elektrot malzemeleri (Amali et al., 2021:128581; Karataş vd., 2022:132370), zehirli boya, gelişmiş oksidasyon prosesleri (Hassandoost et al., 2019:200-211; Khataee et al., 2019:122102; Lopes et al., 2021:643-668) ve membranların iyileştirilmiş arıtma verimliliği (Safarpour et al., 2015:43-54, 2016:65-

78) ve grafen oksit (GO), karbon nanotüpler (CNT'ler) ve aktif karbon (AC) gibi karbon bazlı malzemeler bor giderimi için uzun süredir kullanılmaktadır.

YÖNTEM

Çalışmada bor ve bor atıkları üzerine yapılan bilimsel çalışmalar derlenmiş ve bor atıklarının değerlendirilmesi ile ilgili bütünsel bir so-

BULGULAR

Bor atıklarının seramik üretiminde kullanılmasının incelendiği çalışmada (Kurttepel, 2009:1-5) Türkiye Kırka Tesisi gölet atığına sektörel olarak kullanılan kil karışımı %5, %10, %20 ve %30 oranında ilave ederek mekanik ve fiziksel özelliklerinin geliştirmesini amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda %20 atık ilave edilmiş kompozisyonun belirlenen sıcaklığı geçmediği sürece sektörde kullanımını olumlu görmüşlerdir.

Seramik üretiminde bor atıklarının işlevini inceleyen başka bir çalışmada ise (Ercenk v.d., 2014:626-628) bor atık maddesinin cam geçişinde azalmaya neden olduğu ve kristalleşme için daha iyi koşullar sağladığı farkedilmiştir.

İnşaat malzemesi olarak en önemli malzemelerden birinin çimento harcı olduğu bilinmektedir.

Nihai ürün maliyetini azaltmak amacıyla yapılan bilimsel bir çalışmada (Mushurov, 2018:54-56) bor atığının çimento harcında kullanılabilirliği test edilmiştir. Konu ile ilgili

Bor atığının geri kazanılması hem atıkların stok maliyeti ve depolama alanının azalmasına, hem de atıkların doğaya verdiği kirlilik miktarının da azalmasını sağlayacaktır. İlave bor atıklarından elde edilen ürünler ekonomiye kazanmış ve atıkların temiz su kaynaklarına karışması da engellenmiş olacaktır.

nuç oluşturulmak istenmiştir. Araştırmalar literatür bilgileri incelenmiş olumlu ve olumsuz sonuçların hepsi derleme içerisine alınmıştır.

daha fazla çalışma gerektiğini vurgulamışlardır.

Yapılan başka bir çalışmada (Mutuk et al., 2014:128-132) ise çimento harcının içerisine katılan bor atıklarının basınç dayanımı incelenmiştir. Çalışma sonucunda uygun koşullarda endüstride çimento içeriğinde olabileceği görüşüne varılmıştır.

Targan vd. (2002:259-266) tarafından yapılan çalışmada ise bor atığı çeşidi olan kolemanit atığını, Kula cürufu ve bentonit karışımına ayrı ayrı ilave edilmiştir. Farklı oranlarda kolemanit atığının çimento üretiminde değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir.

Bor atıklarından elde edilen karışımların Portland çimentoya ilavesiyle çimentonun mekanik özelliklerini inceleyen çalışmada (Erdoğan v.d., 2004:425-430) ise farklı karışımlarının çimentoda değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

Koçak tarafından (2010:46-52) yapılan çalışmada ise alçı levha üretiminde bor atığının

kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bor atığının alçı levhada priz süresini hızlandırdığı, alçı levhanın basınç ve eğilme dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir.

Bor atık miktarının azaltılması için yol malzemelerinde kullanılmasını inceleyen çalışmada (Keskin v.d., 2022:26-45), bor atıklarının asfalt betonundaki şartname sınırları içinde kullanılabilceği kanıtlamıştır.

Yol kaplama inşasında bor atıklarının kullanılabilirliği ile yapılan başka bir çalışmada (Kara, 2021:76-80) ise 4 farklı beton çeşidi üretilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda Karayolu Teknik Şartnamesindeki şartname kriterlerinde beyan edilen fiziksel ve mekanik özellikleri sağlamadığı görülmüştür.

İnşaat sektörü ile ilgili yapılan benzer çalışmada (Aldakshe, 2019:52-54) ise bor atıklarının agrega olarak kullanılması incelenmiştir. Bor atığının artması ile malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme olduğu tespit edilmiştir. En iyi sonucun ise %9 bor atığı varlığı ile elde edilmiştir.

Bor atık maddesi kilin değerlendirilmesi amacıyla içerisine çeşitli taşıyıcı malzemelerde eklenerek düzenli depolama tesislerinde geçirimsiz tabaka olarak bir çalışmada (Ulutaş, 2015:87-89) geomembran üretilmiştir. De-

SONUÇ

Literatür çalışmaları incelendiğinde bor atıklarının seramik, çimento harcı, alçı levha, asfalt, agrega, geomembran, aerogel üretiminde kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar yapıldığı görülmektedir. İlaveten bor atıklarının içeriğindeki geri metallerin kazanımıyla ilgili çalışmalarda dikkat çekmektedir.

neylere bağlı yapılan SEM analizinde bitümden ayrılan bir miktar kilin oluşturduğu boşluklardan dolayı meydana gelen çatlaklar haricinde yapısal bir değişiklik gözlemlenmemiş; bu değişimden üretilen geomembranın hidrolik iletkenliğini etkilenmemiş ve deney süresince hiçbir sızıntı görülmemiştir.

Aerogel üretiminde, bor atık kullanımı ise başka bir bilimsel çalışmanın konusu olmuştur.

Çalışmada (Gürsoy, 2019:82-84) bor atıklarından üretilen aerogelin düşük yoğunluk, iyi derecede toz akışı ve yeterli termal iletkenlik katsayı gibi özelliklere sahip katma değeri yüksek bir yalıtım malzemesi elde edildiği belirtilmiştir.

Bor atıklarından kıymetli metallerin geri kazanılması amacıyla yapılan çalışmada (Özbaş, 2019:77-79) ise boraks kili ve atık numunelerinde lityum içeriği açısından değerlendirilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Metal geri kazanımı ile ilgili yapılan başka bir çalışmada (Şensöz, 2022:111-117) ise bor atığı içerisinde gravite yöntem ve liç kavurması kombinasyonu ile lityum kazanımı incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda lityum kazanımı sağlanmıştır.

Seramik üretiminde bor atıklarının kullanılması ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde çalışmaların hepsinin olumlu sonuçlandığı görülmektedir. Bu sonuçtan hareketle bor atıklarının seramik üretiminde kullanılabilceği söylenebilir.

Çimento harcı içerisinde bor atıklarının değerlendirilip değerlendirilemeyeceği konusundaki bilimsel çalışmalar incelendiğinde belirlenmiştir. İnşaat sektöründe agrega olarak bor atıklarının kullanılmasıyla ilgili bilimsel çalışmada bor atıklarının uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu konuda daha fazla bilimsel çalışma yapılması gerektiği, ancak tüm inşaat

ülmemektedir. Yapılan bilimsel çalışmada kullanılabilirliği ifade edilse bile bilimsel çalışmalarının sayısının yetersiz olduğu görülmektedir.

Asfalt içerisinde bor atıklarının değerlendirilmesiyle ilgili yapılan bilimsel çalışmalarda hem olumlu hem olumsuz sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlardan hareketle daha fazla çalışma yapılması gerektiği kanaatine varılmıştır.

Düzenli depolama tesislerinde geomembran tabaka olarak değerlendirilmesi çalışmasında

ÖNERİLER

Sonuçlar bütünüyle değerlendirildiğinde Dünya'daki en büyük bor rezervinin Türkiye'de olması sebebiyle araştırmaların çoğunlukla Türkiye'de yapıldığı görülmektedir. Sürdürülebilir bir yaşam için bor atıklarının değerlendirilmesi için yapılan çalışmaların az

Yazar Notu: Söz konusu çalışma, 18-19 Mart 2023 tarihleri arasında gerçekleştirilen Uluslararası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi'nde sözlü olarak sunulmuştur.

KAYNAKÇA

Aktaş, M. Ateş, M. (2005). Bitkilerde beslenme bozuklukları, nedenleri ve tanınmaları. Engin Yayınevi, Ankara, ss:1-248.

ise araştırmaların bütününe aynı görüşte olmadığı

malzemesi olarak değerlendirilen çalışmalardan hareketle inşaat sektörü için umut vadeci olduğu düşünülmektedir.

Alçı levha üretimde bor atıklarının kullanımı ile ilgili çok az bilimsel çalışma yapıldığı gör

ülmemektedir. Lakin olumlu bir sonuç elde edilmiştir. Lakin uygulanabilirliğin ispatı için daha fazla bilimsel çalışma yapılması gerekmektedir.

Bor atıklarının arojel olarak kullanımının yapılan bilimsel çalışma ile değerlendirilebileceği belirlenmiştir. Ancak daha fazla bu konu ile deneysel faaliyetler yapılmalıdır.

Kıymetli metallerin bor atıklarından kazanılması ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalarda olumlu sonuçlar alınmış ve geri kazanım için uygun şartlar sağlandığında uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

olduğu ve daha fazla bilimsel çalışmaların yapılması gerektiği kanaatine varılmıştır. Bor atıklarının özellikle inşaat sektöründe maliyetleri azaltmak için iyi bir yöntem olarak denebileceği düşünülmektedir.

Aldakshe, A. M. B. (2019). Eskişehir-Kırka bölgesi bor atıklarının hafif beton üretiminde agrega olarak kullanılmasının araştırılması.



- Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, ss.1-64.
- Amali, S. Zarei, M. Ebratkhahan, M. Khataee, A. (2021). Preparation of Fe@Fe₂O₃/3D graphene composite cathode for electrochemical removal of sulfasalazin Chemosphere, Vol: 273, Article: 128581.
- Baylak, F. Zervent Ü. B. (2022). İndigo boyalı ipliklerden geri dönüşüm ile elde edilen liflerin iplik performansına etkisi. Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Cilt: 18, ss.1-13.
- Bentli, T. Özdemir, O. Çeük, M. S. Ediz, N. (2002). Bor atıkları ve değerlendirilme stratejileri. I. Uluslararası Bor Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Kütahya, ss.250-258.
- Büyükyıldız, E. (2007). Recovering of boron from boric acid factory's wastes. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Kütahya, ss.1-52.
- Bilim ve Ütopya Dergisi. (2002). Bor stratejik bir madendir. Sayı 94, Nisan.
- Bor Sektör Raporu. (2016). Eti maden işletmeleri genel müdürlüğü.
- Çırak, M. (2010). Flocculation behavior of two different clay samples from kırka tincal deposit. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, ss.1-113.
- Devirian, T. A. Stella, L. V. (2003). The physiological effects of dietary boron. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, Vol: 43, No: 2, ss.219-231.
- D. P. T. (1995). Bor mineralleri, trona, sodyum sülfat, stronsiyum mineralleri, tuz, 2414-ÖİK:474.
- Ediz, N. Özdağ, H. (2001). Bor mineralleri ve ekonomisi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı: 002, Cilt: 1 ss.33-151.
- Ercenk, E. Sena, U. Bayrak, G. Yılmaz, S. (2013). Glass and glass-ceramics produced from fly ash and boron waste. Proceedings of the 3rd International Congress AP-MAS2013, April 24-28, Antalya, Turkey, pp.626-628.
- Erdoğan, E. Yılmaz, B. Erdoğan, Y. Avcıata, U. (2004). Sodyum karbonat'ın kolemanit konsantratör atığı+ karabük çürüfu katkılı portland çimentosunun mekanik özellikleri üzerine etkisi. 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, ss.425-430.
- Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. (2021). Bor sektör raporu, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Mayıs, ss.37.
- Finck, A. (1969). Pflanzenernahrung in stickworten verlag ferdinant hirt. Kiel, pp.1-200.
- Garrett, D. E. (1998). Borates: Handbook of Deposits, Processing, Properties, and Use, Elsevier, pp.438.
- Gedik, T. Özmen, F. K. Karel, F.B. Kopal, A.S. (2021). Treatment of metal cutting wastewaters in bipolar trickle tower reactor by electrocoagulation and electrochemical-fenton methods: reduction of organic matter, boron, heavy metals, and toxicity with sludge characterization. Water Air Soil Pollution, Vol: 232, pp.481.
- Gürsoy, M. (2019). Bor atıklarının aerjel üretiminde değerlendirilmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, ss.1-84.
- Halim, A. A. Hanafiah, M. M. Asmi, M. Daud, Z. (2021). Boron removal from aqueous solution using coagulation-flocculation with

- curcumin: a response surface methodology. *Journal of Environmental Biology*, Vol: 42, pp.750-755.
- Hassandoost, R. Pouran, S. R. Khataee, A. Orooji, Y. Joo, S. W. (2019). Hierarchically structured ternary heterojunctions based on Ce^{3+}/Ce^{4+} modified Fe_3O_4 nanoparticles anchored onto graphene oxide sheets as magnetic visible-light-active photocatalysts for decontamination of oxytetracycline. *Journal of Hazardous Materials*, Vol: 376, pp.200-211.
- Helvacı, C. (2004). Türkiye borat yatakları jeolojik konumu, ekonomik önemi ve bor politikası. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt: 5, Sayı: 1, ss.4-41.
- Kara, H. (2021). Taş mastik asfalt ve beton yol kaplama inşasında bor atıklarının kullanılabilirliği. *Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*, ss.1-95.
- Karatas, O. Gengec, N. A. Gengec, E. Khataee, A. Kobya, M. (2022). High-performance carbon black electrode for oxygen reduction reaction and oxidation of atrazine by electro-Fenton process. *Chemosphere*, Vol: 287 No: 4, Article: 132370.
- Kavas, T. Christogerou, A. Pontikes, Y. Angelopoulos, G. N. (2011). Valorisation of different types of boron-containing wastes for the production of lightweight aggregates. *Journal of Hazardous Materials*, Vol: 185, pp.1381-1389.
- Karimi-Maleh, H. Kumar, B. G. Rajendran S. Qin, J. Vadivel, S. Durgalakshmi, D. Gracia, F. Soto-Moscoso, M. Orooji, Y. Karimi, F. (2020). Tuning of metal oxides photocatalytic performance using Ag nanoparticles integration. *Journal of Molecular Liquids*, Vol: 314, Article: 113588.
- Karimi-Maleh, H. Shafieizadeh, M. Taher, M. A. Opoku, F. Kiarri, E. M. Govender, P. P. Ranjbari, S. Rezapour, M. Orooji, Y. (2020). The role of magnetite/graphene oxide nano-composite as a high-efficiency adsorbent for removal of phenazopyridine residues from water samples, an experimental/theoretical investigation. *Journal of Molecular Liquids*, Vol: 298, Article: 112040.
- Karimi-Maleh, H. Ayati, A. Davoodi, R. Tanhaei, B. Karimi, F. Malekmohammadi, S. Orooji, Y. Fu, L. Sillanpää M. (2021). Recent advances in using of chitosan-based adsorbents for removal of pharmaceutical contaminants: a review. *Journal of Cleaner Production*, Vol: 291, Article: 125880.
- Karimi-Maleh, H. Ranjbari, S. Tanhaei, B. Ayati, A. Orooji, Y. Alizadeh, M. Karimi, F. Salmanpour, S. Rouhi, J. Sillanpää M. Sen, F. (2021). Novel 1-butyl-3 methylimidazolium bromide impregnated chitosan hydrogel beads nanostructure as an efficient nanobio-adsorbent for cationic dye removal: kinetic study. *Environmental Research*, Vol: 195, Article: 110809.
- Karimi-Maleh, H. Karimi, F. Fu, L. Sanati, A. L. Alizadeh, M. Karaman, C. Orooji, Y. (2021). Cyanazine herbicide monitoring as a hazardous substance by a DNA nanostructure biosensor. *Journal of Hazardous Materials*, Vol: 423, Article: 127058.
- Karimi-Maleh, H. Khataee, A. Karimi, F. Baghayeri, M. Fu, L. Rouhi, J. Karaman, C. Karaman, O. Boukherroub, R. (2021). A green and sensitive guanine-based DNA biosensor for idarubicin anticancer monitoring in biological samples: a simple and fast strategy for control of health quality in chemotherapy procedure confirmed by docking investigation. *Chemosphere*, Vol: 291, Article: 132928.

- Keskin, M. Karacasu, M. (2022). Artificial neural network modelling for asphalt concrete samples with boron waste modification. *Journal of Engineering Research (Kuwait)* Vol: 10, No: 4, pp.26-45.
- Khataee, A. Rad, T. S. Nikzat, S. Hassani, A. Aslan, M. H. Kobya, M. Demirbaş, E. (2019). Fabrication of NiFe layered double hydroxide/reduced graphene oxide (NiFe-LDH/rGO) nanocomposite with enhanced sonophotocatalytic activity for the degradation of moxifloxacin. *Chemical Engineering Journal*, Vol: 375, Article: 122102.
- Kılınç, E. Mordoğan, H. Tanrıverdi, M. (2001). Bor minerallerinin önemi, potansiyeli, üretimi ve ekonomisi. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Koçak, H. Ş. (2010). Kütahya emet borik asit işletmesi bor atıklarının alçı levha üretiminde kullanılması. Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, ss.1-59.
- Koçak, E. (2018). Çevre mühendisliği'nde sıfır atık yaklaşımı ve çeşitli sektörlerde uygulama alanları. *Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sayı: 13, ss.35-59. Doi: 10.17366/Uhmfd.2018.2.1
- Kurttepe, Y. (2009). Bor atıklarının seramik endüstrisinde değerlendirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, ss.1-72.
- Lan, N. Wang, K. Y. Weber, M. Maletzko, C. Chung, T. S. (2021). Investigation of novel molecularly tunable thin-film nanocomposite nanofiltration hollow fiber membranes for boron removal. *Journal of Membrane Science*, Vol: 620, Article: 118887.
- Li, P. Liu, C. Zhang, L. Zheng, S. Zhang, Y. (2017). Enhanced boron adsorption onto synthesized MgO nanosheets by ultrasonic method. *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol: 34, pp.938-946.
- Lopes, J. L. Martins, M. J. Nogueira, H. I. S. Estrada, A. C. Trindade, T. (2021). Carbon-based heterogeneous photocatalysts for water cleaning technologies: a review. *Environmental Chemistry Letters*, Vol: 19, pp.643-668.
- Lovalt, C. J. W. M. Dugger. (1984). *Biochemistry of the essential ultrace elements*. In: E. Frieden (ed.), Plenum Publishing Corp Boron, New York, pp.389-420.
- Mehmandoust, M. Erk, N. Alizadeh, M. Salmanpour, S. (2021). Voltammetric carbon nanotubes based sensor for determination of tryptophan in the milk sample. *Journal of Food Measurement and Characterization*, Vol: 15: pp.1-8.
- Mengel, K. (1984). Bitkinin beslenmesi ve metabolizması. (Çeviri: H. Özbek, Z. Kaya, M. Tamçı). 5. Baskı, Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayın No: 162:590, Adana.
- Mushurov, M. (2018). Investigation of waste products of boron and metakaolin utilizes in portland cement mortar. Republic of Turkey Yıldız Technical University Graduate School of Natural and Applied Sciences.
- Mutuk, T. Mesci, B. (2014). Analysis of mechanical properties of cement containing boron waste and rice husk ash using full factorial design. *Journal of Cleaner Production*, Vol: 69, pp.128-132.
- Nielsen, F. H. (1997). Boron in human and animal nutrition. *Plant and Soil*, Vol: 193: pp.199-208.

- Özbaş, R. (2019). Bor atıklarından kıymetli metal-lerin geri kazanılması. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, ss.1-87.
- Parks, J. L. Edwards, M. (2005). Boron in the environment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol: 35, No: 2, pp.81-114.
- Rahman, M. Tushar, M. A. N. Zahid, A., Ahmed, K. M. U. Siddique, M. A. M. Mustafa, M. G. (2021). Spatiotemporal distribution of boron in the groundwater and human health risk assessment from the coastal region of Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, Vol: 28, No: 17, pp.21964-21977.
- Recepoglu, O. Beker, U. (1991). A Preliminary study on boron removal from Kızıldere/Turkey geothermal waste water. *Geothermics*, Vol: 20, No: 1/2, pp.83-89.
- Safarpour, M. Khataee, A. Vatanpour, V. (2015). Thin film nanocomposite reverse osmosis membrane modified by reduced graphene oxide/TiO₂ with improved desalination performance. *Journal of Membrane Science*, Vol: 489, pp.43-54.
- Safarpour, M. Vatanpour, V. Khataee, A. (2016). Preparation and characterization of graphene oxide/ TiO₂ blended PES nanofiltration membrane with improved antifouling and separation performance. *Desalination*, Vol: 393, pp.65-78.
- Sarioğulları, H. Şenocak, A. Basova, T. Demirbaş, E. Durmuş, M. (2019). Effect of different SWCNT-BODIPY hybrid materials for selective and sensitive electrochemical detection of guanine and adenine. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Vol: 840, pp.10-20.
- Şenocak, A. Khataee, A. Demirbas, E. Doustkhah, E. (2020). Ultrasensitive detection of rutin antioxidant through a magnetic mesoporous graphitized carbon wrapped Co nanoarchitecture. *Sensors and Actuators. B Chemical*, Vol: 312, Article: 127939.
- Shadman, S. Chin C. M. M. Sakundarini, N. Yap, E. H. Fairuz, S. Wong, X. Y. Khalid, P. A., Karimi, F. Karaman, C. Mofijur, M. Koyande, A. K. Show, P. L. (2022). A system dynamics approach to pollution remediation and mitigation based on increasing the share of renewable resources. *Environmental Research*, Vol: 205, Article: 112458.
- Shelp, B. J. (1993). Physiology and biochemistry of boron in plants, in boron and its role in crop production. Ed. UC Gupta, , CRC Pres. Boca Raton, FL., USA., pp.53-85.
- Sun, L. Huang, J. Liu, H. Zhang, Y. Ye, X. Zhang, H. Wu, A., Wu, Z. (2018). Adsorption of boron by CA@ KH-550@ EPH@ NMDG (CKEN) with biomass carbonaceous aerogels as substrate. *Journal of Hazardous Materials*, Vol: 358: pp.10-19.
- Şensöz, H. (2022). Bor atıklarındaki lityumun gravite yöntem- liç kombinasyonu ile kazanımının araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, ss.1-138.
- Targan, Ş. Erdoğan, Y. Olgun, A. (2002). Kula çürüf, bentonit ve kolemanit atıklarının termik çimento üretiminde değerlendirilmesi. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, ss.259-266.
- Tural, S. Tural, B. Karakaplan, M. Hosgören, H. (2005). Bor'un sıvı-sıvı ekstraksiyonuna 1,3-diol yapısının etkisi (I-II). I. Ulusal Bor

- Çalıştay Bildiriler Kitabı, Ankara, ss.339-345.
- Ulutaş, D. (2015). Bor atıklarının katı atık düzenli depolama tesislerinde geomembran tabaka olarak kullanımı. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, ss.1-99.
- Wang, Q. Chen, T. Bai, P. Lyu, J. Guo, X. (2021). Fe₃O₄-loaded ion exchange resin for chromatographic separation of boron isotopes: experiment and numerical simulation. Chemical Engineering Research and Design, Vol: 171, pp.358-366.
- Wei, Y. Y. Zheng, J. P. Chen. (2011). Design and fabrication of an innovative and environmental friendly adsorbent for boron removal. Water Research, Vol: 45, pp.2297-2305.
- Yeşilbağ, D. (2008). Hayvan beslemede bor kullanımının önemi. Uludağ University Journal of Faculty of Veterinary Medicine Vol: 27, No: 1-2, pp.61-68.
- Yılmaz, O. (2006). Bor atıklarının flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, ss.1-83.

İNTERNET KAYNAKLARI

- <http://www.etimaden.gov.tr/uleksit> 3 Şubat 2019 (E.T.:22.03.2023)
- <https://www.maden.itu.edu.tr/muze/images/BDolap5-6/i01.jpg> (E.T.:22.03.2023)
- <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pandermit> (E.T.:22.03.2023)
- <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/hidrobor> (E.T.:22.03.2023)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Boron, which Turkey comes first in terms of reserve amount, is a mineral known in the world and used abundantly in production. 48% of the boron is used in glass, 15% in agriculture, 15% in ceramics, 2% in detergents, and the remaining 20% in other areas of use. Other areas of use include the electronics and communication sector, nuclear applications, fuels, polymeric materials, the automotive sector, and various sectors (Bor Sektör Raporu, 2016:42-43). Apart from the use of boron in industrial activities, its effects on human and animal health are also noteworthy. Studies have stated that it is beneficial for the growth of plants as long as the optimum amount in plants is not exceeded,

but in cases where the optimum level is exceeded, it increases the respiratory intensity of the plant and damages the plant (Finck, 1969:1-200). In studies on human health, it has been stated that boron is necessary for human and animal health and prevents the development of various diseases (Yeşilbağ, 2008:61-68; Nielsen., 1997:199-208) However, in addition to these studies, it has been noticed that unwanted symptoms are seen in adults over 15-20 g boron per day (Rahman vd., 2021: 21964-21977). Additionally, it is known that the high concentration of boron in wastewater has harmful effects on the environment (Recepoğlu vd., 1991:83-89; Tural vd., 2005:339-345). Boron production is made by three methods as an open pit, closed

pit, and solution mining. While the open-pit method is widely used in the world, the closed-pit method is known as the preferred method in Bigadiç deposits in Turkey (Kurttepe, 2009:22-23). Various wastes are produced during the production and use of boron. Evaluation of these wastes is important for the economy. **Aim:** It has been determined that scientific studies evaluate boron wastes on a sectoral basis. It has been noticed that there is no review in the literature on the recovery of boron wastes. This study, it is aimed to contribute to the literature by compiling the importance of boron and the recovery methods of boron wastes, and the studies carried out until today. Thus, the importance of boron and boron wastes is requested to be considered in scientific studies once again. **Method:** In this study, scientific studies on the history of boron, boron minerals, boron usage areas, boron production methods, and the effects of boron on living health were examined. Additionally, literature information proving the importance of boron waste in terms of a sustainable environment has been compiled. Thus, studies on boron and boron wastes were brought together. It aimed to evaluate the scientific studies with the results. **Findings and Results:** Studies on the recovery of boron wastes have focused on the use of road material gypsum board, geomembrane, aggregate, ceramics, and gypsum board, in the construction industry and the methods of recycling the precious metals in its content. It is seen that the studies carried out, especially in the construction sector, is more than the number of other scientific stud-

ies. Studies on the use of boron wastes in ceramic production gave feedback that the waste can be used within the sector. Studies on the use of boron wastes in cement mortar were not combined in a single holistic answer like ceramic studies, and both positive and negative decisions were made. This indicates that more work needs to be done. Studies on the usability of boron waste as a construction material draw attention in the literature. It can be said that a clearer answer can be given in the future with current scientific studies. Since the small number of studies on airgel, plasterboard, and geomembrane will not show that boron wastes will be usable, it is thought that more studies should be done. Based on the scientific studies on the recovery of precious metals, it can be said that the metals in the boron wastes can be recovered by appropriate methods. When the results are evaluated as a whole, it is seen that studies on recycling and recovery methods are mostly carried out in Turkey, since the boron reserve is the highest in Turkey. In addition, it is seen that scientific studies mostly examine the use of building materials in the construction sector. It is thought that the studies mostly give positive results, but more research is needed for the studies to provide optimum results. It is important to increase recycling methods, which are the cornerstones of the economy and the concept of world sustainability. As a result, this study should be given more space in scientific studies on boron and boron wastes.

34,5 kV DAĞITIM ŞEBEKESİNİN SÜPERİLETKENLERLE TASARLANMASI VE MEVCUT SİSTEMLE KARŞILAŞTIRILMASI¹

DESIGNING A 34.5 kV DISTRIBUTION NETWORK WITH SUPERCONDUCTORS AND COMPARISON WITH THE EXISTING SYSTEM

Kevser GÖK¹, Türker Fedai ÇAVUŞ²

¹TEDAŞ Sakarya 16. Bölge Müdürlüğü, Sakarya / Türkiye

²Sakarya Üniversitesi, Mühendislik, Fakültesi, Sakarya / Türkiye

ORCID: 0000-0003-1610-3867¹, 0000-0003-1399-8044²

Öz: Amaç: Elektrik enerjisi, üretildiğinden son kullanıcıya ulaştırılana kadar birçok farklı aşamadan geçer. Elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtım süreçlerinde, enerji kayıplarını meydana gelir. Bir elektrik şebekesinin verimli, ekonomik, güvenilir ve sürekli halde işletilebilmesi için elektrik güç kayıplarının minimum düzeye indirilmesi ve enerjinin kalitesini bozan tüm parametrelerin düzeltilmesine ilişkin çözüm yollarının bulunması gerekir. Bu çalışmada bir orta gerilim dağıtım şebekesinin bilgisayar ortamında modellenmesi yapılmış ve bu sisteme ait tüm parametreler bilgisayar ortamında incelenmiştir. Modelleme ve analiz işlemleri DigSilent Power Factory programı aracılığıyla yapılmıştır.

Yöntem: Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada DigSilent programında İzmit TM'nin Rabak Fideri modellenmesi ve bu fidere ait bazı analizler yapılmıştır. İkinci aşamada Rabak Fideri'nde bulunan yeraltı Alüminyum iletkenler süperiletkenlerle değiştirilerek tekrar DigSilent Power Factory programında modellenmiş ve analizleri yapılmıştır. Üçüncü aşamada ise Rabak Fideri süperiletkenlerle yeniden tasarlanmış ve analizler yapılmıştır.

Bulgular: Analizler sonucunda modellere ait tüm parametreler incelenmiştir. Mevcut ve diğer iki aşamadaki modellerden elde edilen parametreler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda süperiletken kullanıldığında sistemin verimliliğinin arttığı, gerilim düşümlerinin ve kayıpların azaldığı gözlemlenmiştir.

Sonuç: Süperiletken kullanımı sistemin verimliliğini artırmış, gerilim düşümü ve kayıpları azaltmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Dağıtım, Güç Kayıpları, Süperiletkenler, DigSilent Power Factory

Abstract: Aim: Electrical energy goes through many different stages from its generation to delivery to the end user. In the transmission and distribution processes of the electrical energy, the energy losses may occur. It is essential to seek appropriate solutions to minimise the electrical power losses and to eliminate all parameters that impair the quality of energy so as to help the electrical network system can operate efficiently, economically, reliably and sustainably. In this study, a medium voltage distribution network and of all parameters were modelled and examined in the computer environment. Modelling and analysis processes were done through the DigSilent Power Factory program which can perform power system analyses.

Method: The study consists of three stages. In the first stage, Rabak Feeder modelling of İzmit TM and some analyses of this feeder were made in the DigSilent program. In the second stage, all the underground aluminium conductors in Rabak Feeder were replaced with the superconductors and were modelled and analysed in the DigSilent Power Factory program. In the third stage, Rabak Feeder was redesigned with the superconductors and analyses were made.

Results: As a result of these analyses, all parameters of the models were examined. The parameters obtained from the existing and the other two-stage models were compared. These comparisons show that the efficiency of the system increases while the voltage drops and energy losses both decrease when the superconductors are used.

Conclusion: The use of the superconductors has increased the efficiency of the system by reducing the voltage drops and energy losses.

Keywords: Electricity Distribution, Power Dissipations, Superconductors, DigSilent Power Factory

¹ Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Kevser GÖK, TEDAŞ Sakarya 16. Bölge Müdürlüğü, Sakarya / Türkiye, kevser.gok@tedas.gov.tr, Geliş Tarihi / Received: 14.12.2022, Kabul Tarihi / Accepted: 27.04.2023, Makalenin Türü / Type of Article (Araştırma - Uygulama / Research - Application), Çıkar Çatışması / Conflict of Interest: Yok / None, Etik Kurul Raporu Yok / None "Ethics Committee Report Unavailable"



GİRİŞ

Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere üç aşamadan geçerek son tüketiciye ulaştırılır. Enerji üreten santraller enerji kaynaklarına yakın dolayısıyla tüketim merkezlerinden uzağa kurulur. Üretilen elektrik enerjisi yüksek gerilim hatlarıyla yerleşim birimlerine ya da sanayi bölgelerine iletilir ve trafo merkezlerinde gerilim seviyelerinin talebe uygun şekilde ayarlanmasıyla dağıtım şebekesi üzerinden tüketiciye ulaştırılır. Enerjinin üretilmesi yanında, üretilen enerjinin kayıpsız ve güvenilir şekilde aktarılması, iletim ve dağıtım süreçlerindeki en önemli kısıtlardan biridir. Elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtım sırasında oluşna kayıpları azaltmak için birçok çalışma yapılmıştır. Kayıpları azaltmak yollarından biri de süperiletken kablo kullanmaktır.

Bu çalışmada, süperiletken kabloların bir dağıtım sistemine entegre edilmesi neticesinde sistem parametrelerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Çalışmada SEDAŞ bölgesine bağlı Kocaeli ilindeki İzmit TM'nin Rabak Fideri ele alınmıştır. Sistemin DigSilent Power Factory programında tasarlanmasının ardından kısa devre durumları, akım ve gerilim gibi analizler yapılarak veriler kaydedilmiştir. Sonraki aşamada sistemdeki önce yeraltı kabloları süperiletken kablolarla değiştirilmiş ve son aşamada da tüm sistem süperiletken kablolarla tasarlanarak analizler yapılmıştır.

SÜPERİLETKENLER VE DAĞITIM SİSTEMİNDEKİ UYGULAMALARI

Bir iletkenin üzerinden akım geçirebilmek için uygulanan gerilim uygulama gerekliliğine direnç denir. İletkenden akım geçmesi sonucunda iletken ısınır. Bu durumda direnç değerine bağlı olarak uygulanması gereken gerilim ve kayıp enerji de değişir. Fakat bazı iletkenlerde bu durum çok farklı bir hal almaktadır. Bu iletkenler, kritik sıcaklık denilen özel bir sıcaklığa kadar soğutulduğunda içerisindeki elektronların enerjilerini ısıya çevirme yetenekleri kaybolarak direnci sıfıra düşmektedir. Bu durumda yukarıda da bahsedildiği üzere herhangi bir gerilim uygulamadan akım iletmek mümkün hale gelir. Ve bu süreçte de enerji kaybı yaşanmaz. Tüm bu bilgiler çerçevesinde bu maddeler için kritik sıcaklıkta süperiletkenlik özelliği gösterdiği söylenebilir.

Süperiletkenlik gösteren bir madde, yüksek sıcaklıklarda normal elektriksel dirence sahip olup, maddenin kritik sıcaklığına kadar soğutulduğunda direnci sıfıra düşerek süperiletken durumuna geçmektedir. Bu tip malzemelere gerilim uygulandığında herhangi bir dirençle karşılaşmadığından akım sürekli akar ve herhangi bir kayıp da oluşmaz. Diğer malzemelerde bu durum farklıdır. Akım malzemedен geçerken enerji açığa çıktığından kayıplar meydana gelir.

Süperiletkenlerin 1911 yılında Onnes tarafından keşfedilmesiyle yeni bir dönem başlamıştır. Onnes'in Helyum'u sıvılaştırması ile birlikte Fizik'te yeni çalışmalar başlamıştır. 1911 yılından sonra da birçok malzemenin süperiletkenlik gösterdiği keşfedilmiş olup, yapılan çalışmalar kritik

sıcaklık değerini en yüksek seviyeye, oda şartlarına yaklaştırmaya çalışmak olmuştur. Özellikle iletim ve dağıtım şebekelerinde süperiletkenlerin kullanılabilmesi kayıpları yok etmek ve enerjiyi istenilen voltaj seviyesinde taşıyabilmek açısından çok önemlidir.

J.J. Guo ve arkadaşları süperiletken kabloların mekanik özelliklerinden bükülmeyi incelerken(Guo, 2022:1-8) Bhargav Yelamanchili ve arkadaşları mikrodalga süperiletken kabloları (Yelamanchili, 2022), Peng Li ve arkadaşları süperiletken kabloların denizüstü rüzgar çifliklerinde kullanımı (Li, 2022:1-16) Xiaoyuan Chen ve arkadaşları büyük enerji ihtiyacı gereksinimi duyan bilgi teknolojileri merkezleri için yüksek verimli süperiletken kabloların kullanımı (Chen, 2022:1-17), Michael J. Wolf ve arkadaşları 200 kA yüksek akım ihtiyacı duyulan endüstriyel tesislerde süperiletken basbar uygulamaları (Wolf, 2022), Muhammed Yazdami-Asrami ve arkadaşları süperiletkenlerin havacılık teknolojisinde kullanımı (Yazdami-Asrami, 2022:23-36), Hanyu Liang ve arkadaşları süperiletken dağıtım şebekelerinde ortaya çıkabilecek arızalara karşı dirençli süperiletken akım sınırlayıcıları (Liang, 2022), Steven Nolan ve arkadaşları ise süper iletken kullanılan hava araçlarından elektriksel arızalar üzerine araştırmalar yapmışlardır (Nolan, 2022:4789-4798).

Süperiletkenlerin Dağıtım Sistemindeki Uygulamaları

Süperiletkenlerin keşfedilmesinin ardından elektrik güç sistemlerine entegrasyonu için

çalışmalar yapılmıştır. Özellikle süperiletkenler ile güç kayıplarının azaltılması fikri birçok bilim insanının bu yönde çalışma yapmasına sağlamıştır.

C. Matheus ve arkadaşları süperiletken kabloları endüstriyel dağıtım şebekesine uygulama çalışmasında Bayer Endüstri Hizmetleri'nde hem geleneksel kablolar ile hem de süperiletken kablolar ile endüstriyel bir dağıtım ağı planlamıştır. Sonuçlar süperiletken kablo kullanımının teknik ve ekonomik açıdan mümkün olduğunu göstermiştir (Matheus, 2005:1-6).

1999 yılında IEEE dergisinde yayımlanan Tetuya Fukunaga ve arkadaşlarının çalışmasında süperiletken bant ve kabloların akım dağılımları ve AC kayıpları konusunda bir çalışma yapmışlardır. Süperiletken bantlar ve kablolar için kendi alanlarındaki alternatif akım kayıpları sayısal hesaplamalar kullanılarak incelenmiştir. Hesaplama, rastgele kesit geometrisine sahip düz süperiletkenler için akım dağılımları ve kendi alan kayıpları, akım genliğinin bir parametresi olarak hesaplanır. 7 filamanlı bantlar için, kayıplar 7 filament numunelerinde deneysel olarak da gözlenen filament konfigürasyonlarına bağlıdır. Kablolarda, kayıp değerleri, bant dizilişlerinden büyük ölçüde etkilenir. Bir tip aynı banttı oluşturulmuş kabloların kayıpları, birbirinden farklıdır. Bu sonuçlar, bant ve kablo yapısının optimizasyonunun, yani kablolardaki süperiletken çekirdeklerinin düzenlenmesi, kablolardaki kayıp üretimlerini azaltmak için yararlı olduğunu göstermektedir (Fukunaga, 2009:1057-1060).

Yüksek sıcaklık süperiletkenleri kablo tasarımında oldukça fazla kullanılmış ve yine AC kayıpların azaltılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. 2004 yılında Akira Watabe ve arkadaşları koaksiyel çok katmanlı yüksek sıcaklık süperiletken kablonun AC kayıp ve akım dağılım karakteristiklerinin nümerik analizi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada koaksiyel çok katmanlı kablo iletkenlerindeki katmanlar arası akım dağılımlarını ve AC kayıplarını hesaplamak için sayısal bir model geliştirilmiştir. 4-katmanlı kablolardaki katmanlar arası akım dağılımları ve AC kayıpları, bükümlü çitler ve kabloların büküm yönlerinin çeşitli kombinasyonları için sayısal olarak hesaplanmıştır. Sayısal modelde, katmanlar arası akım dağılımını eşitlemek ve AC kaybını azaltmak için büküm aralığı kombinasyonları da incelenmiştir. Sayısal sonuçlarla, katmanlar arası akım dağılımının uygun büküm aralığı kombinasyonu seçilerek tek tip olabileceği gösterilmiştir. Sayısal sonuçlar ayrıca, katmanlar arası akım dağılımının eşitlenmesine rağmen, farklı büküm konfigürasyonlarına sahip kablolardaki AC kayıplarının farklı olduğunu göstermiştir. Bu analitik sonuçlar da kayıpların ve bükülmüş parçalardaki akım dağılımları ve kabloların yönüne olan dikkate değer bağımlılığını göstermiştir (Watabe, 2004:678-681).

William V. Hassenzahl ve arkadaşlarının 2004 yılında hazırladığı “Süperiletkenliğin Elektrik Enerjisi Uygulamaları” adlı makalesinde dört süperiletken güç uygulamasının tarihsel gelişimini ve teknoloji durumunu ele almaktadır: kablolar, süperiletken manyetik enerji depolaması (SMES), hata akımı sınırlayıcıları

ve transformatörler. Makalede süperiletken kablolar, enerjinin AC ve DC iletimi, arıza akım sınırlayıcılar ve SMES sistemlerinin ayrıntılı olarak geçmişten makalenin yazıldığı güne incelemeleri yapılmış ve karşılaştırmalar da yapılarak yorumlanmıştır. HTS güç kablosuyla ilgili olarak yapılan projelerden de makale bahsetmektedir. SCFCL’lerin elektrik şebekelerinde, endüstriyel sistemlerde ve yalıtılmış güç sistemlerinin tüm voltaj seviyelerinde uygulanabilirliğinin teknik ve ekonomik faydalar sağlayacağından bahsetmişlerdir. SCFCL’lerin orta gerilimlerde kullanılmasının teknik olarak mümkün olduğunu ve bazı projelerin zaten yüksek gerilimlerde ilk prototipleri hedeflediğini göstermiştir. Çalışma sonucunda, süperiletkenlerin 15 yıl boyunca hizmet sektöründe kullanılacağı yönünde bir görüş sunmuşlardır (Hassenzahl, 2004:1-20).

Yüksek sıcaklık süperiletkenleri ile ilgili bir çalışma da Benjamin Wade McConnell tarafından 2005 yılında “Doğru Akım Elektrik Güç İletimi ve Dağıtımı için Yüksek Sıcaklık Süperiletkenlerin Uygulamaları” başlıklı çalışmadır (McConnell, 2005:2142-2145). Bu makale, DC iletim ve dağıtım uygulamalarının tarihçesini ve yüksek sıcaklık süperiletkenlerinin, modern kriyojenik sistemlerin ve kriyojenik güç elektroniğinin potansiyel sağlayan teknolojiler olmasının nedenlerini tartışmaktadır. Bu yüksek akım, süperiletken DC sistemlerinin elektrik şebekesine entegrasyonundan sonra ortaya çıkan ekonomik ve performans iyileştirmeleri, beklenen potansiyel operasyonel faydalarla birlikte sunulmaktadır.

Mark Stemmler ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptıkları çalışmada kentsel elektrik dağıtım şebekelerinde YG kablolarını süperiletken kablolar ile değiştirmiş ve bu çalışmada yalnızca süperiletken kablo sistemlerinin kullanılmasıyla mümkün olabilecek tamamen yeni bir dağıtım kavramını ortaya koymuşlardır. Ayrıca, süperiletken ve geleneksel kablolar dahil olmak üzere çeşitli farklı kablo seçenekleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, süperiletken 10 kV kabloların, kentsel alanlarda basitleştirilmiş 110/10 kV trafo merkezlerine giden geleneksel 110 kV kabloları değiştirmek için teknik ve ekonomik olarak uygun araç olduğu ortaya çıkmıştır. Toplamda, konsantrik orta gerilim HTS kablo sistemlerinin kullanılması, kentsel alan güç kaynağı için yeni ve oldukça çekici şebeke konseptleri sağlayacağı görüşü sunulmuştur (Stemmler, 2012:1-5).

Yüksek sıcaklık süperiletkenleri ile ilgili en son çalışma Mayıs 2019 tarihinde A. P. Drozdov ve arkadaşlarının yayınladığı makaledir. Yüksek basınç altında ve 250 K sıcaklıkta süperiletken özellik gösteren yoğunluk fonksiyonel teorisine dayanan ilk prensip hesaplamaları bu tür tahminleri mümkün kılmıştır ve konak atomun (kalsiyum, itriyum, lantan) oluşan bir kafesin merkezinde olduğu klatrat benzeri bir yapıya sahip yeni bir süperiletken hidrit ailesi önermişlerdir. Önceki en yüksek kritik sıcaklık ile karşılaştırıldığında yaklaşık 50 Kelvin artışı, yakın gelecekte oda sıcaklığında süperiletkenlik elde etme hedefine yönelik cesaret verici bir adımdır (Drozdov, 2019:528-531).

Rıfkı Terzioğlu ve arkadaşları Türkiye Elektrik iletim sistemlerinde süper iletken kullanılması durumunda parametrelerdeki değişimleri gözlemlemek için iki ayrı senaryoya göre simülasyonlar yapmışlardır (Terzioğlu, 2020:161-171).

UYGULAMA

DigSilent Power Factory Programı

DigSilent programı, iletim, dağıtım elektrik enerji sistemlerinin analizi için kullanılan bir yazılım programıdır. Bu program kullanıcıya güç sistemi analizi ihtiyacını karşılamak amacıyla tasarlanmıştır.

DigSilent programının temel özelliklerini aşağıdaki gibi sıralabilir:

- Elektrik enerji sistemleri modellenilebilir, analiz edilebilir ve analiz sonuçları çıktı alınabilir.
- Güç sistem elemanları için veri tabanı oluşturulabilir ve daha sonra tek hat diyagramındaki elemanlara entegre edilebilir.
- Hızlı ve doğru yük akış algoritmasına sahiptir. Yük akışını yaparken Newton Raphson yöntemi kullanır.
- Kısa devre analizi ve arıza durum analizleri yapılabilir.
- Harmonik ve flicker analizleri yapılabilir.
- Rüzgar ve güneş santralleri modellenilebilir.
- DPL (DigSilent Programlama Dili) ile programlama yapılabilir.

DigSilent Programında Çalışmanın Gerçekleştirilmesi

Çalışmada, SEDAŞ (Sakarya Elektrik Dağıtım A.Ş.) bölgesinde bulunan Kocaeli iline ait Rabak Fideri kullanılmıştır.

Analiz Sonuçları

Çalışmada mevcut sistem için “Normal Şebeke”, yeraltı süperiletken kablolu şebeke

için “Durum II”, tüm iletkenlerin süperiletken kablo olduğu şebeke için “Durum III” şeklinde isimlendirme yapılmıştır.

Tablo 2. Normal Şebeke Analiz Sonuçları

	P(MW)	S(MVA)	I(kA)	Yüklenme
TM Çıkış Kablo	2,8	2,9	0,0485	84
TM Çıkış Havai	2,8	2,9	0,0485	65
Hat 1	2,7	2,804	0,0469	63
Hat 1.1	0,1	0,096	0,00161	10
Hat 2	2,2	2,284	0,0382	52
Hat 2.1	0,15	0,15	0,00251	7
Hat 2.2	0,3	0,36	0,006	20
Hat 2.2.1	0,1	0,1	0,002	7
Hat 2.2.2	0,2	0,2	0,004	22
Hat 2.2.2.1	0,2	0,2	0,004	22
Hat 3	2,2	2,3	0,0382	66
Hat 4	1,2	1,24	0,0208	36
Hat 4.1	1,0	1,1	0,018	49
Hat 4.2	1,0	1,1	0,018	49

Tablo 3. Durum II İçin Analiz Sonuçları

	P(MW)	S(MVA)	I(kA)	Yüklenme
TM Çıkış Kablo	2,8	2,9	0,0485	61
TM Çıkış Havai	2,8	2,9	0,0485	66
Hat 1	2,7	2,8	0,0469	64
Hat 1.1	0,1	0,1	0,0016	10
Hat 2	2,2	2,3	0,0379	52
Hat 2.1	0,1	0,15	0,003	7
Hat 2.2	0,3	0,36	0,006	24

Hat 2.2.1	0,1	0,1	0,002	2
Hat 2.2.2	0,2	0,2	0,004	28
Hat 2.2.2.1	0,2	0,2	0,004	5
Hat 3	2,2	2,3	0,0379	48
Hat 4	1,2	1,24	0,02	26
Hat 4.1	1,0	1,1	0,018	22
Hat 4.2	1,0	1,1	0,018	49
Hat 4.2.1	0,1	0,1	0,002	10
Hat 4.2.2	0,9	1	0,016	44
Hat 4.2.2.1	0,5	0,5	0,008	45
Hat 4.2.2.1.1	0,1	0,1	0,002	10
Hat 4.2.2.1.2	0,4	0,4	0,006	8
Hat 4.2.2.2	0,5	0,5	0,008	10

Normal şebeke analizleri ile Durum II analizleri karşılaştırıldığında, Durum II'de akım değerlerinde, güç değerlerinde ve özellikle yüklenme değerlerinde azalmaların olduğu görülmüştür. Yüzesel hesaplamalar yapıldığında; akım değerlerinde ortalama %0,272 oranında azalma olduğu, yüklenme oranlarında da ortalama %18,77 oranında

büyük bir azalma olduğu görülmüştür. Bir elektrik dağıtım şebekesinde süperiletken kullanılması özellikle hatta meydana gelen yüklenmelerin azalmasına ve böylelikle de hatta kullanılan eleman ömürlerinin daha uzun olmasını sağlar. Buna bağlı olarak uzun süreçte işletme maliyetleri azalır.

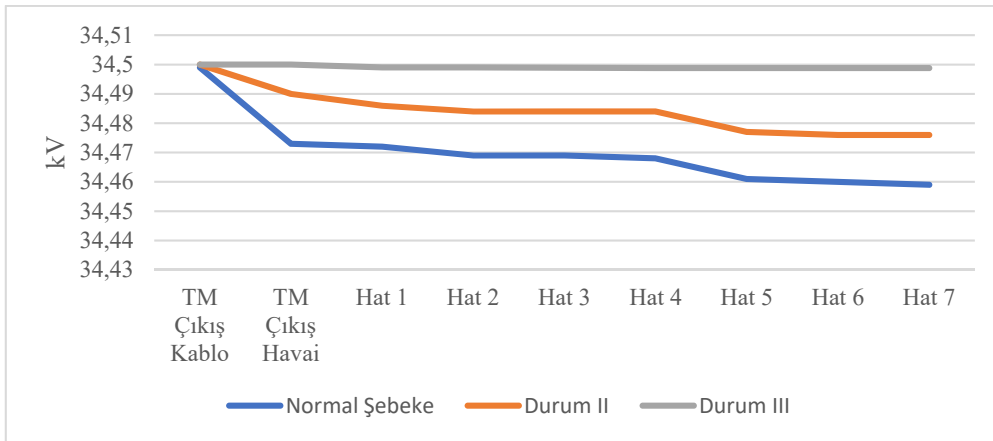
Tablo 4. Durum III İçin Analiz Sonuçları

	P(MW)	S(MVA)	I(kA)	Yüklenme
TM Çıkış Kablo	2,8	2,9	0,0485	61
TM Çıkış Havai	2,8	2,9	0,0485	61
Hat 1	2,7	2,808	0,0469	59
Hat 1.1	0,1	0,096	0,0016	2
Hat 2	2,3	2,4	0,0381	48
Hat 2.1	0,1	0,2	0,0025	3
Hat 2.2	0,4	0,4	0,006	8
Hat 2.2.1	0,1	0,1	0,001	1

Hat 2.2.2	0,3	0,3	0,005	6
Hat 2.2.2.1	0,2	0,2	0,004	5
Hat 3	2,3	2,284	0,0381	48
Hat 4	1,2	1,24	0,021	26
Hat 4.1	1,0	1,1	0,018	22
Hat 4.2	1,0	1,1	0,018	22
Hat 4.2.1	0,1	0,1	0,002	2
Hat 4.2.2	0,9	1,0	0,016	20
Hat 4.2.2.2	0,5	0,5	0,008	10

Durum III ile Durum II karşılaştırıldığında hatlardan geçen akım değerlerinde ortalama %0,1 oranında, hattın yüklenme oranlarında da ortalama %41,87 oranında azalmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Akım değerlerinde Durum II'ye göre daha az düşüş olmasına rağmen, hatta meydana gelen yüklenme yüzdelerinde Durum II'ye göre daha büyük oranda azalma meydana geldiği görülmektedir. Bir elektrik sisteminde hattın yüklenme

oranları çok önemli olmakla birlikte, aşırı yüklenmeler şebekede voltaj düşmelerine, elemanların ömürlerinin daha kısa olmasına kısaca enerji kalitesinin bozulmasına sebep olur. Bu sebeplerle süperiletkenleri elektrik şebekelerinde kullanmak, şebekede yüklenmelerini büyük oranda azaltarak enerji kalitesini artırır. Şekil 2'de hattaki tüm iletkenlere ait gerilim grafiği verilmiştir.



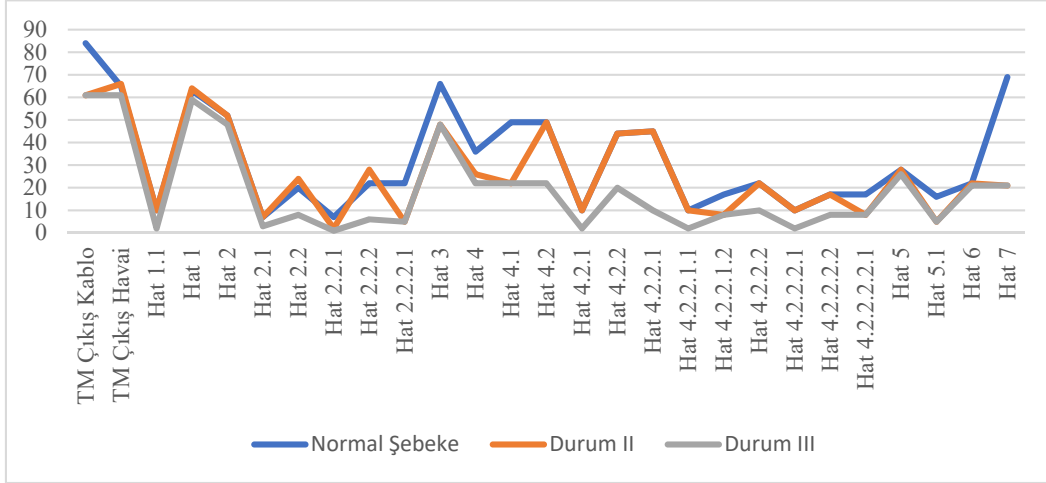
Şekil 2. Voltaj Grafiği

Şekil 2'de super iletken kablo kullanılın şebekede gerilim düşümünü azalttığı görülmektedir. Durum III'te diğer iki duruma göre hatsonu işletme gerilimi ile hatbaşı

işletme geriliminde daha az değişim olduğu tespit edilmiştir. Gerilim düşümü minimum seviyeye inmiştir. Sonuç olarak şebekede süperiletken kullanımın; gerilim düşmeleri,

gerilim çökmeleri gibi olayları azaltığı görülmüştür.

Şekil 3'te hatta meydana gelen yüklenme oranları yüzdesel olarak gösterilmiştir.

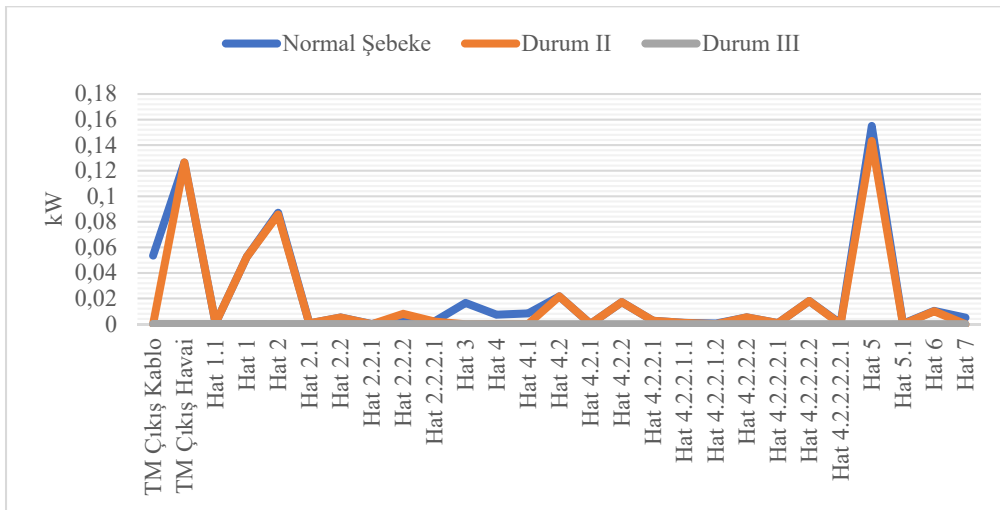


Şekil 3. Hattın Yüklenme Grafiği

Şekil 3'te hattın yüklenme oranları Durum II ve Durum III'te büyük oranda azaldığı görülmektedir. Ayrıca Durum III'te Durum II'ye oranla daha fazla azalma olduğu tespit edilmiştir. Aşırı yüklenme enerji kalitesi açısından istenmeyen bir realitedir. İdeal bir sistemde aşırı yüklenmeler yerine dengeli

yük dağılımları tercih edilir. Çalışmada şebekenin süperiletken kablolar ile tasarlanması, yüklenme oranlarını büyük ölçüde azaltmış ve sistemi daha verimli hale getirmiştir.

Şekil 4'te hattaki tüm iletkenlere ait güç kaybı grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Güç Kaybı

Şekil 4'te mevcut sistemdeki güç kaybı, diğer iki duruma göre daha fazla olmaktadır. En az güç kaybı ise Durum III'te olmaktadır. Durum

III'te kayıplar sıfıra çok yakındır. Süperiletken kablolar, doğru akımda kayıpsız, alternatif akımda ise çok düşük kayıplara sahiptirler.

Şebekenin tümünde süperiletken kablo kullanmak, şebekede oluşan kayıpları neredeyse yok etmektedir. Böylelikle şebekede gerilim düşümü azalmış olur. Şebekede kullanılan elemanların bakım maliyetleri azalır ve kullanım ömürleri uzar.

Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7’de Normal Şebeke, Durum II ve Durum III için hesaplanmış olan gerilim değerleri verilmiştir.

Tablo 5. Normal Şebeke İçin Gerilim

	I(kA)	R(ohm/km)	l(km)	V _N (kV)
TM Çıkış Kablo	0,0485	0,114	0,2	34,499
TM Çıkış Havai	0,0485	0,1194	0,45	34,473
Hat 1	0,0469	0,1194	0,25	34,473
Hat 1.1	000161	1,0742	0,2	34,472
Hat 2	0,0382	0,1194	0,5	34,469
Hat 2.1	0,0485	0,3366	0,25	34,471
Hat 2.2	0,006	3,66	0,04	34,471
Hat 3	0,0382	0,114	0,1	34,469
Hat 4	0,0208	0,114	0,15	34,468
Hat 5	0,0208	0,1194	3	34,461
Hat 5.1	0,004	0,508	0,04	34,460
Hat 6	0,017	0,1194	0,3	34,460
Hat 7	0,017	0,355	0,05	34,459

Tablo 6. Durum II için Gerilim

	I(kA)	R(ohm/km)	l(km)	V _N (kV)
TM Çıkış Kablo	0,0485	0,0001	0,2	34,5
TM Çıkış Havai	0,0485	0,1194	0,45	34,49
Hat 1	0,0469	0,1194	0,25	34,486
Hat 1.1	00016	1,0742	0,2	34,489
Hat 2	0,0379	0,1194	0,5	34,484
Hat 2.1	0,03	0,3366	0,25	34,486
Hat 2.2	0,006	3,66	0,04	34,485

Hat 3	0,0379	0,0001	0,1	34,484
Hat 4	0,020	0,0001	0,15	34,484
Hat 5	0,020	0,1194	3	34,477
Hat 5.1	0,004	0,0001	0,04	34,477
Hat 6	0,0168	0,1194	0,3	34,476
Hat 7	0,0168	0,0001	0,05	34,476

Tabloya göre, yeraltı iletkenlerin süperiletken yapıldığı şebeke olan Durum II'de; hatbaşı gerilim ile hatsonu gerilim değerlerine bakıldığında da hatsonu gerilimi

%0,07 oranında azalmış olup, süperiletkenin bir şebekede kullanılması gerilim düşümünü azaltmaktadır.

Tablo 7. Durum III İçin Gerilim

	I(kA)	R(ohm/km)	l(km)	V _N (kV)
TM Çıkış Kablo	0,0485	0,0001	0,2	34,5
TM Çıkış Havai	0,0485	0,0001	0,45	34,5
Hat 1	0,0469	0,0001	0,25	34,499
Hat 1.1	0,0016	0,0001	0,2	34,5
Hat 2	0,0381	0,0001	0,5	34,499
Hat 2.1	0,0025	0,0001	0,25	34,499
Hat 2.2	0,006	0,0001	0,04	34,499
Hat 3	0,0381	0,0001	0,1	34,4989
Hat 4	0,021	0,0001	0,15	34,4988
Hat 5	0,021	0,0001	3	34,4988
Hat 5.1	0,004	0,0001	0,04	34,4988
Hat 6	0,0167	0,0001	0,3	34,4988
Hat 7	0,0167	0,0001	0,05	34,4988

Tabloya göre tüm iletkenlerin süperiletken olarak kullanıldığı Durum III'te; hatbaşı gerilim ile hatsonu gerilim değerlerine bakıldığında da hatsonu gerilimi %0,0035

oranında azalmış olup, süperiletkenin bir şebekede kullanılması gerilim düşümünü azaltmaktadır. Yapılan tüm bu tespitler, süperiletkenlerin şebekede kullanılmasının gerilim düşümünü azaltmakta ve enerji iletim ve

dağıtımını için çok önemli bir kavram olan gerilim düşümünü iyileştirmede büyük etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 8 ve Tablo 9’da Normal Şebeke ile Durum II ve Durum III’e ait şebekede meydana gelen kayıplar gösterilmiştir.

Tablo 8. Normal Şebeke ile Durum II’ye ait Şebekelerde Meydana Gelen Kayıplar

	Normal Durum			Durum II			
	I(kA)	R(0hm/km)	P _{loss} (kW)	I(kA)	R(0hm/km)	P _{loss} (kW)	l(km)
TM Çıkış Kablo	0,0485	0,114	0,0536	0,049	0,0001	0,00005	0,2
TM Çıkış Havai	0,0485	0,1194	0,1264	0,049	0,1194	0,1264	0,45
Hat 1	0,0469	0,1194	0,0525	0,047	0,1194	0,0525	0,25
Hat 1.1	00016	1,0742	0,0007	0,002	1,0742	0,0007	0,2
Hat 2	0,0382	0,1194	0,0871	0,038	0,1194	0,0857	0,5
Hat 2.1	0,00251	0,3366	0,0005	0,002	0,3366	0,0006	0,25
Hat 2.2	0,006	3,66	0,0053	0,007	3,66	0,0053	0,04
Hat 2.2.1	0,002	0,387	0,0001	0,002	0,0001	0,00000	0,08
Hat 2.2.2	0,004	1,0742	0,0052	0,005	1,0742	0,0081	0,3
Hat 2.2.2.1	0,004	1,0742	0,0021	0,004	1,0742	0,0021	0,125

Yukarıda Tablo 8’de yeraltı iletkenlerin süperiletken olduğu şebeke olan Durum II için ortalama %17 oranında güç kaybında azalma meydana gelmiştir. Özellikle şebekedeki süperiletken kullanılan hatlar

üzerinde güç kaybı %99 oranında azalmıştır. Bu sonuç bir elektrik şebekesinde süperiletken kullanılmasının güç kayıplarında azaltmada çok büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 9. Normal Şebeke İle Durum III’e Ait Şebekelerde Meydana Gelen Kayıplar

	Normal Durum			Durum III			
	I(kA)	R(0hm/km)	P _{loss} (kW)	I(kA)	R(0hm/km)	P _{loss} (kW)	l(km)
TM Çıkış Kablo	0,0485	0,114	0,0536	0,0485	0,0001	0,00005	0,2
TM Çıkış Havai	0,0485	0,1194	0,1264	0,049	0,0001	0,00011	0,45
Hat 1	0,0469	0,1194	0,0525	0,047	0,0001	0,00000	0,25
Hat 1.1	000161	1,0742	0,0007	0,002	0,0001	0,00004	0,2
Hat 2	0,0382	0,1194	0,0871	0,038	0,0001	0,00007	0,5

Hat 2.1	0,00251	0,3366	0,0005	0,002	0,0001	0,00000	0,25
Hat 2.2	0,006	3,66	0,0053	0,007	0,0001	0,00000	0,04
Hat 2.2.1	0,002	0,387	0,0001	0,002	0,0001	0,00000	0,08
Hat 2.2.2	0,004	1,0742	0,0052	0,005	0,0001	0,00000	0,3
Hat 2.2.2.1	0,004	1,0742	0,0021	0,004	0,0001	0,00000	0,125

Tablo 9’da verilen hesaplamalara göre tüm iletkenlerin süperiletkenlerle değiştirildiği şebeke olan Durum III’te ortalama %99,925 oranında güç kaybında azalma olmuştur. Bir şebekede süperiletken kullanmak, güç kayıplarını büyük oranda azaltacak ve verimin yüksek olmasını sağlayacaktır. Elektrik iletim ve dağıtım sistemleri için kayıplar çok önemlidir. Meydana gelen kayıplar büyük oranda dağıtım sistemlerinde oluşur. Çünkü dağıtım sistemlerinde gerilim seviyesi düşük ve akım yüksektir. Dağıtım sistemlerinin iyileştirilmesi, hattaki kayıpların minimum düzeye çekilmesi, enerji kalitesi, güvenilirliği

açısından çok önemli olmakla birlikte, hattın ömrünü uzatarak, çıkabilecek arıza sayısını da azaltmaktadır. Özetle bir dağıtım şebekesini süperiletkenlerle tasarlamak, çok avantajlı bir uygulama olacaktır.

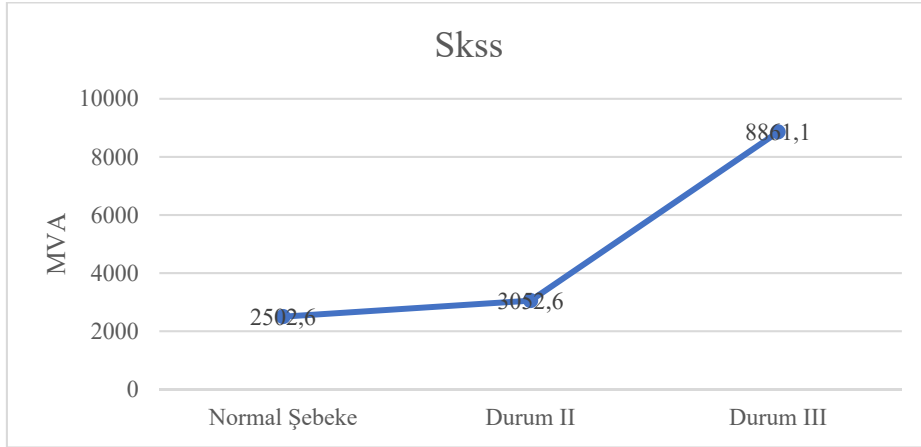
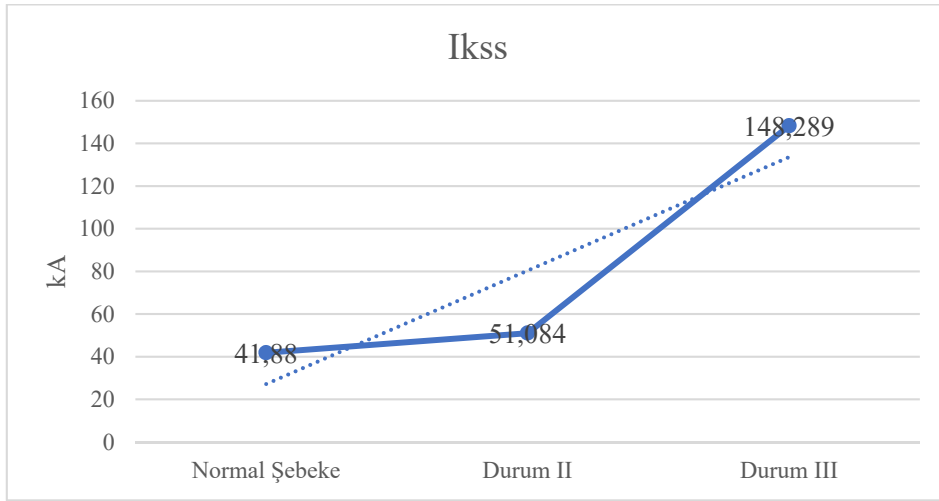
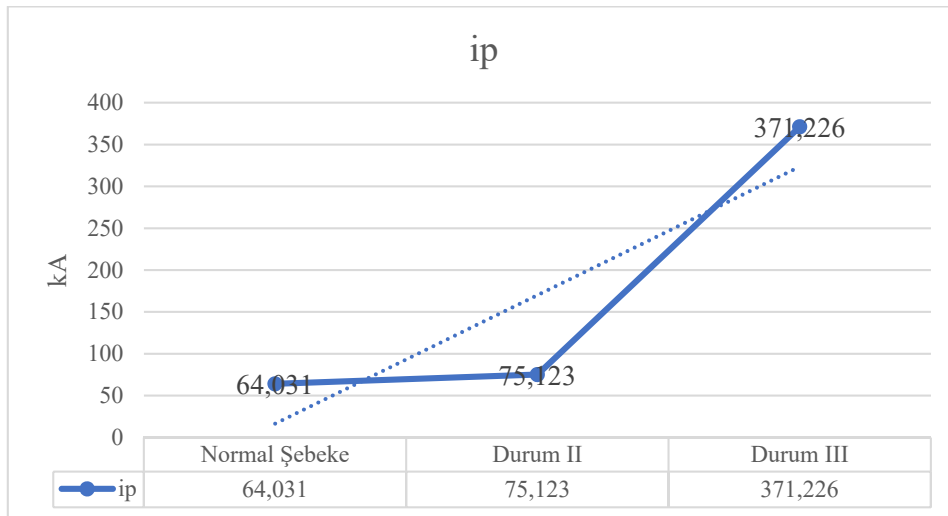
Çalışmaya ait kısa devre analizi sonuçları Tablo 10’da gösterilmiştir. Üç durum için en yüksek kısa devre akımına sahip bara tercih edilerek karşılaştırılmalar yapılmıştır. Bahar Süt trafosuna ait B1.1 barasında kısa devre olduğu durum için hesaplamalar yaptırılmıştır.

Tablo 10. Kısa Devre Analizi Sonuçları

Normal			Durum II			Durum III		
Skss	Ikss	İp	Skss	Ikss	İp	Skss	Ikss	İp
(MVA)	(kA)	(kA)	(MVA)	(kA)	(kA)	(MVA)	(kA)	(kA)
2502,6	41,88	64,031	3052,6	51,084	75,123	8861,1	148,289	371,226

Süperiletken kullanılan bir şebekede herhangi bir kısa devre durumunda akım ve güç değerleri normal şebekeye göre artmaktadır. Bir şebekede tamamen süperiletken kullanıldığında normal duruma göre kısa devre akım ve güç değerlerinde 5 kat kadar bir artış gerçekleşmektedir.

Aşağıda üç durum için Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de sırasıyla başlangıç kısa devre gücü, başlangıç kısa devre akımı ve maksimum kısa devre akımı grafikleri verilmiştir.

**Şekil 5.** Başlangıç Kısa Devre Gücü Grafiği**Şekil 6.** Başlangıç Kısa Devre Akımı Grafiği**Şekil 7.** Maksimum Kısa Devre Akımı Grafiği

Grafiklerde de gösterildiği üzere süperiletkenli şebekelerin kısa devre durumlarında

SONUÇ

Bu çalışma, süperiletken kablolarla elektrik şebekesinin tasarlanması durumunda; akım, gerilim, güç kaybı ve gerilim düşümü gibi parametrelerde meydana getirdiği değişimler gösterilmiştir. Süper iletken kablolar şebekede kullanıldığında, süperiletkenlerin temel özelliklerinin etkisiyle, elektrik şebekesinde meydana gelen kayıplar azalmaktadır.

Süperiletkenlerin kablolarda gerilim düşümünün çok küçük seviyelerde olması kaliteli enerji açısından büyük öneme sahiptir. Bir iletim ve dağıtım sistemi için kayıpsız enerji aktarımı ve gerilimi istenilen seviyede iletebilmek önemlidir. Süperiletkenlerin iletim ve dağıtım sistemine entegrasyonu, gelecek sistemlerin kusursuz şekilde tasarlanmasına yardımcı olacaktır. Bu çalışmada üç durum için de yapılan analiz sonuçlarında, süperiletkenlerin gerilim düşümünü ve kayıpları büyük ölçüde azalttığı gözlenmiştir.

KAYNAKÇA

A., P., Drozdov et al. Superconductivity at 250 K in Lanthanum Hyride Under High Pressures. Nature Vol:569, pp.528-531.

Chen, X., Jiang, S., Chen, Y., Lei, Y., Zhang, D., Zhang, M. (2022). A 10 MW class data center with ultra-dense high-efficiency energy distribution: Design and economic evaluation of superconducting DC busbar networks. Energy, Vol:250, 1-17

akım ve güç değerlerinde artışlar meydana gelmektedir.

Çalışmanın bir diğer aşaması olan kısa devre durumlarında, süperiletken kabloların verdiği tepkiler diğer durum kadar iyi olamamıştır. Kısa devre durumunda süperiletken kablolardan normal duruma göre sistemden yaklaşık 5 kat büyük değerde akım aktığı tespit edilmiştir. Süperiletkenlerin bu dezavantaj durumunun şebekeye etkisini azaltmak amacıyla arıza akım sınırlayıcı sistemler geliştirilmiştir. Kısa devre akımını sınırlamakta kullanılan Süperiletken Arıza Akım Sınırlayıcılar (SFCL), arıza anında yükselen arıza akımını direnç özelliği ile sınırlayarak güç sisteminin kararlılığına ve güvenilirliğine katkıda bulunur. Çalışmanın bu kısmı için kısa devre durumlarında sistemin kontrolünü SFCL'ler ile yapmak, güç sistemlerinin kısa devre arızalarından zarar görmemesi için en uygun yöntem olacağı düşünülmektedir.

Chowdhuri, P., Pallem, C., Demko, J., A., Gouge, M., J. (2005). Feasibility of Electric Power Transmission by DC Superconducting Cables. IEEE Transactions On Applied Superconductivity, Vol:15, No:4, pp. 3917-3926.

Elsherif, M., A. (2013). The Application of Superconducting Technologies in Future Electrical Power Systems, Durham University, Durham E-Theses, pp.21.



- Fukunaga, T., Inada, R., Oota, A. (1999). Current Distributions and AC Losses in Self-Fields for Superconductor Tapes and Cables. *IEEE Transactions On Applied Superconductivity*, Vol:9, No:2, pp.1057-1060.
- Guo, J., Gao, W., Zhang, Y., Zhou, H. (2022). Analysis of bending stiffness in multi-stage superconducting cable. *Fusion Engineering and Design*, Vol:180, pp.1-8.
- Hanyu, L., Yanjun, C., Ruochen, D., Yu, L., and Jie, S. (2022). Numerical Study on the On-Grid Performance of Superconducting Cable Cooperated With R-SFCL. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol:32, No:4, pp.1-5.
- Hassenzahl, W., V., Hazelton, D., W., Johnson B., K., Komarek, P., Noe, M., Reis, C., T. (2004). Electric Power Applications of Superconductivity, *Proceedings of The IEEE*, Vol:92, No:10, pp.1-20.
- Matheus, C., Haubrich, H.J., Willen, D., Heuken, W., Fischer, R. (2005) Industrial Distribution Networks with Superconducting Cables. *International Conference on Future Power Systems*, pp.1-6.
- McConnell, B., W. (2005). Applications of high temperature superconductors to direct current electric power transmission and distribution. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol:15, Issue:2, pp:2142-2145.
- Michael, J., Walter, H. (2022). 200 kA DC Busbar Demonstrator Demo 200 – Conceptual Design of Superconducting 20 kA Busbar Modules Made of HTS CroCo Strands. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol:32, No:4, pp.1-7.
- Mohammad, Y., Seyyed, M., Min, Z., Weijia, Y. (2022). Insulation Materials and Systems for Superconducting Powertrain Devices in Future Cryo-Electrified Aircraft: Part I—Material Challenges and Specifications, and Device-Level Application. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol: 38, No:2, pp.23-36.
- Nolan, S., Jones, E., Norman, J., Burt, M. (2022). Sizing of Superconducting Cables for Turbo-Electric Distributed Propulsion Aircraft using a Particle Swarm Optimization Approach. *IEEE Transactions On Transportation Electrification*, Vol:8, No:4 pp.4789-4798.
- Peng, L., Dragan, J., Eoin, H., John, F. (2022). Analysis of bidirectional 15 MW current source DC/DC converter for series-connected superconducting-based 1 GW/100 kV offshore wind farm. *Electric Power Systems Research*, Vol:202, pp.1-16.
- Stemmler, M., Merschel, F., Noe, M., Hofmann, L. and Hobl, A. (2012). Superconducting MV Cables to Replace HV Cables in Urban Area Distribution Grids. *IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition*, pp.1-5.



Terzioğlu, R., Gümüş, T., E., Yalçın, M., A., Çavuş, T., F. (2020). The Impact of Superconducting Cables in Power Transmission Systems- a Case Study in Turkey. *Sakarya University Journal of Science*, Vol:20, Issue:1, pp.161-171.

Tsotsopoulou, E., Papadopoulos, P., Yazdani, M., Tzelepis, D. (2022). Time-Domain Protection of Superconducting Cables Based on Artificial Intelligence Classifiers. *IEEE Access*, Vol:10, pp.10124-10138.

Watabe, A., Fukui, S., Yamaguchi, M., Sato, T., Takao, T., Tsukamoto, O. (2004). Numerical Analysis of AC Loss and Current Distribution Characteristics of Co-Axial Multi-Layer High Temperature Superconducting Cable. *IEEE Transactions On Applied Superconductivity*, Vol:14, No:2, pp.678-681.

Yelamanchili, B., Sherman, E., David, B. (2022). Face-to-Face Cable Interconnect Scheme for Thin Flexible Superconducting Stripline Cables. *Transactions on Applied Superconductivity*, Vol:32, No:4, pp.1-5

UHMFD “Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi” 2014 yılı itibariyle yayın hayatına girmiştir. Dergimizde literatüre kaynak sağlayacak nitelik ve değerinde olan yayınlara yer verilmektedir. Dergimiz uluslararası hakemli bir dergi olup, yılda ÜÇ sayı çıkarmaktadır. Dergimizin sayıları NİSAN, AĞUSTOS ve ARALIK aylarında sistem üzerinden yayımlanmaktadır. Dergimiz gerek basılı gerek de internet üzerinden ulaşılabilen bir dergidir. Dergimizde Mühendislik ve Fen Bilimleri alanı içerisinde değerlendirilebilecek her türlü yayına yer verilebilmektedir. Dergimizin baş editörleri Prof. Dr. Ashok JAMMI, Prof. Dr. Mihaela BUCIUMEANU ve Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN olup, dergi yönetim kurulunun aldığı kararlar doğrultusunda faaliyetlerini gerçekleştirmektedir.

Gönderilen her yayın kendi alanında uzman iki hakem ya da dergi sistem editörü ile yayın kurulunun belirleyeceği iki hakem dışında atama yapacağı hakemlerin onayından geçmeli ve hakemler tarafından yayımlanabilir görüşüne sahip olmalıdır. Aynı sayı içerisinde yazarın bir yayınına yer verilir. Birden fazla hakem ve yayın kurulu onayından geçen çalışmalar sıraya alınarak ilerleyen sayılarda yayınlanır. Hiçbir yazar hakem ve yayın kurulu üyeleri üzerinde etkili değildir. Dergimizde yayımlanmak üzere sisteme yüklenen çalışmalar için yayın telif hakkı sözleşmesi istenmez. Sisteme yüklenen çalışmalar dergiye devredilmiş olarak kabul edilir. Yazar ya da yazarlar bu durumu kabul etmiş ve derginin yayın kabul şartlarına uygun hareket etmeyi teyit ederek bu sisteme dâhil olmuştur. Hiçbir şekilde yazarların itiraz hakkı bulunmaz. İtiraz hakkını kullanamaz.

Dergimiz hakem ve bilim kurullarında yer almak isteyen akademisyen ve bilim araştırmacılarının mutlaka Dr. unvanı almış ve alanında uzman olması gerekmektedir. Ayrıca bilimsel çalışmalar yapmış olması şartı aranır. Dr. ya da Uzman unvanına sahip olmayan ve alanında yayın yapmayan hiç kimse bilim, danışma ve hakem kurullarında yer alamaz. Dergi yayın kurulu derginin en üst karar ve yürütme mekanizmasını oluşturur. Yayın kurulunun aldığı her türlü karar kesin ve değiştirilemez niteliktedir. Yayın kurulu kararı olmaksızın hiçbir koşul ve şartta dergi üzerinde işlem gerçekleştirilemez ve uygulamaya gidilmez. Dergi baş editörleri hakem onayına gönderilmeyen çalışmaların dergide kabul edilip edilmeyeceğine, hakem sürecine gönderilip gönderilmeyeceğine karar verebilir. Bu karar sürecinde yayın kuruluna bilgi vermek zorunda değildir. Dergimiz bünyesinde hakem, bilim ve danışma kurulunda yer almak isteyen bilim insanlarının katılımına ancak yayın kurulu karar verebilir.

Dergimizde bazı ulusal ya da uluslararası kongrelerde yayınlanmış sözlü ve hakem onayından geçmiş çalışmalar için özel sayılar şeklinde çalışmalar da gerçekleştirilmektedir. Bu tip özel sayılar ancak anlaşma yapılan kongrelerde sunulmuş sözlü bildirimler için geçerlidir. Bu bildirimlerin mutlaka kongre bilim kurulundan onay almış hakem değerlendirmesi yapılmış olmalıdır. Hakem değerlendirmesi yapılmamış hiçbir çalışma yayına alınmaz. Yayımlanmak için gönderilen çalışmalar dergi hakem onayına gönderilir. Her iki hakemden olumlu dönüş alan çalışmalar yayına alınır. Ayrıca sözlü sunulan bildirimlerin mutlaka basılı materyali ile hakem onay raporları dergimiz yayın kuruluna ve baş editörlerine sunulmuş olmalıdır. Bu bilgi ve materyallere sahip olmayan bildirimlere dergimizde yer verilmez.

Dergimizde işlem sürecine dair bilgiler yazar ve yazarlara mail olarak dergi internet mail adresinden bildirilir. Ayrıca dergimize üye olup sisteme giriş yapan her bir yazar süreç ile ilgili bilgileri derginin üye sayfasından kendisi izleyip gelişmeleri takip edebilir. Dergimizdeki koşul ve şartlar tüm yazar ve yazarlar için aynıdır. Hiçbir yazar için bu kurallar ve koşullar değiştirilmez. Farklılık sağlanması istenemez talep edilemez. Dergimiz bünyesinde yayımlanması istenen eserlerin mutlaka derginin yayın kabul ettiği alanlardan olması şartı aranır. Bu özellikleri taşımayan hiçbir yayına dergimizde yer verilemez. Hakem sürecine dair işleyiş baş editörler kontrolünde gerçekleştirilir. Baş editörler yayının dergide hakem sürecine dair işleyişine yönelik bilgi ve karar verme yetkisine sahip bulunur. Baş editörlerin uygun bulmadığı ya da kabul etmediği bir yayın dergide sürece dâhil edilmez. Bu konuda yazar ya da yazarlar dergi ile diğer organlar üzerinde bir yükümlülük oluşturamaz. Hakem onayından geçse bile editörler ya da yayın kurulu mevcut çalışmanın yayımlanmasına olumlu görüş bildirmemesi veya makale sistemde yayına alınsa bile kurulların kararı ile iptal edilebilir. Böyle bir durumda yazar ya da yazarlar dergiye bir yaptırım uygulayamaz. Her türlü yetki tek taraflı olarak dergi yayın ve editörler kuruluna aittir. Yüksek lisans ve Doktora tezlerinden üretilen çalışmalarda mutlaka bu durum kaynakça kısmında yazar notu olarak belirtilmelidir. Dergimizde yayımlanması talep edilen ve dergi sistemine yüklenen makalelerden mutlaka etik kurul raporu ya da çalışma izni belgesi talep edilir. Bu belgelere sahip olmayan çalışmalara dergimizde yer verilmez. Etik kurul gerektirmeyen çalışmalar için herhangi bir belge talep edilmez. Ortak yazarlarda mutlaka sisteme kayıt olan ve makaleyi yöneten yazar muhatap kabul edilir. Bu nedenle sorumluluk sadece sisteme üye olup yayını yükleyen yazara aittir. Dergimiz ve yönetimi/kurulları sorumlu yazar dışında hiçbir yazarla iletişim içerisinde bulunmaz bu yönde diğer yazarlar bir talep oluşturamaz.

Dergimiz T.C. hukuk kuralları çerçevesinde “5846” sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanun ve Hükümleri’ne tabi hareket eder. Ayrıca KVKK kanun kapsamında dergimiz ve yönetimi yaptırımlara uygun hareket eder. Bu kanunların gerekliliklerini yerine getirmeyen yazar ya da yazarlar hakkında dergimiz tek taraflı olarak hukuki haklarını korumaya sahiptir. İlgili kanunlar kapsamında yetkili mahkemeler İstanbul Mahkemeleridir. Dergimizde yayımlanması amacıyla gönderilen çalışmalarda, ilgili hukuk ve yayın etiği kanunlarına uygun olarak gerçekleştirilmeyen alıntılar, intihal gibi konularda yazar ya da yazarlar tek taraflı olarak sorumludur. Dergimiz basılı ve online olarak hareket eden bir yayın organıdır. Akademik alanda hazırlanan çalışmaların yer aldığı bir materyal olarak bilimsel araştırma yapan kurum ve kişilere fayda sağlamak amacıyla toplumsal hizmet sunan sosyal bir organdır. Dergimiz paralı bir dergi olmayıp, hiçbir yazara ya da yazarlara basılı materyal göndermek zorunda değildir. Dergimizde kabul edilen ve basıma hak kazanan çalışmalar dergi yayın kabul şartları ve yazım kurallarına uygun olarak mizanpaj yapılır ve sisteme yüklenir. İhtiyacı olan yazar ya da yazarlar ile okuyucular sistemden bu sayıyı indirebilir. Mizanpaj yazar tarafından örnek makale baz alınarak yapılmaktadır.

UHMFD “International Refereed Journal of Engineering and Science” was published in 2014. In our journal, articles, which meet the criteria of scientific quality and contribute to the field, are included. Our journal is an international refereed journal and it publishes THREE issues per year. Issues of our journal are published on the system in APRIL, AUGUST and DECEMBER. Our journal can be accessed both in print and online. All kinds of publications that can be evaluated in the field of Engineering and Science can be included in our journal. The chiefeditors of our journal are Prof. Dr. Ashok JAMMI, Prof. Dr. Mihaela BUCIUMEANU and Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN and its activities are carried out in line with the decisions taken by the journal’s board of directors.

Each submitted publication must be approved by the appointed referees, other than two referees or journal system editors who are experts in their field, and two referees to be determined by the editorial board, and must have the opinion that it can be published by the referees. Only one publication of the author is included in the same issue. Studies that have gained the approval of more than one referee and editorial board are put in order and published in the following issues. No author has any influence over the referees and the editorial board members. A publication copyright agreement is not required for the manuscripts uploaded to the system for publication in our journal. Studies uploaded to the system are considered to be transferred to the journal. The authors are supposed to have accepted this situation and have been included in this system by confirming to act in accordance with the publication acceptance conditions of the journal. The authors have no right of objection in any way. They cannot exercise the right of appeal.

Academics and scientific researchers who want to take part in the refereeing and scientific committees of our journal must have the title of Dr. and be experts in their fields. In addition, They are expected to have conducted scientific studies. Anyone who does not have the title of Dr. or Expert and does not publish in their field cannot take part in the scientific, advisory and refereeing boards. The editorial board of the journal constitutes the highest decision and executive mechanism of the journal. Any decision taken by the editorial board is final and unchangeable. No action can be taken on the journal under any conditions and without the decision of the editorial board. The editors of the journal can decide whether the studies that are not sent to the referee’s approval will be accepted in the journal and whether they will be included in the referee process. It is not obliged to inform the editorial board during this decision process. Only the editorial board can decide on the participation of scientists who want to take part in the referee, science and advisory boards of our journal.

In our journal, studies are also carried out in the form of special issues for oral and refereeapproved studies published in some national or international congresses. Special issues are only valid for oral presentations presented at the congresses with which an agreement is made. These papers must have been approved by the scientific committee of the congress and have been evaluated by a referee. Any work that has not been peer-reviewed will not be published. Studies submitted for publication are sent to the journal for referee approval. Studies that receive positive feedback from both referees are published. In addition, the printed material of the oral presentations and the referee approval reports must be submitted to the editorial board and chief editors of our journal. Papers that do not have this information and materials will not be published in our journal.

ABOUT THE JOURNAL

In our journal, information about the processing process is sent to the author and authors via e-mail from the journal's internet e-mail address. In addition, each author who is a member of our journal and logs in to the system can monitor the information about the process on the member page of the journal himself and follow the developments. The terms and conditions in our journal are the same for all authors. These rules and conditions do not change for any author. It is required that the works requested to be published within our journal must be from the fields that the journal accepts publication. Any publication that does not have these features cannot be included in our journal. The functioning of the referee process is carried out under the control of the chief editors. The chief editors have the authority to inform and decide on the functioning of the publication in the journal regarding the referee process. A publication that is not approved or accepted by the chief editors is not included in the process. In this regard, the author or authors cannot place sanctions on the journal and other organs. Even if it is approved by the referee, the editors or the editorial board do not give a positive opinion on the publication of the current study or even if the article is published in the system, the process can be canceled by the decision of the boards. In such a case, the authors cannot impose a sanction on the journal. All kinds of authority unilaterally belong to the journal publication and editorial board. If studies are produced from master's and doctoral theses, this should be stated as an author's note in the bibliography section. Ethics committee report or work permit document is definitely requested from the articles requested to be published in our journal and uploaded to the journal system. Studies that do not have these documents will not be included in our journal. No documents are requested for studies that do not require an ethics committee. In co-authors, the author who registered in the system and manages the article is considered the addressee. For this reason, the responsibility belongs only to the author who is a member of the system and uploads the publication. Our journal and its management/boards do not communicate with any author other than the responsible author, and no request can be made for other authors in this regard.

Our journal acts in accordance with the Law and Provisions on Intellectual and Artistic Works numbered "5846" within the framework of Turkish law. In addition, our journal and its management act in accordance with the sanctions within the scope of the KVKK law. Our journal unilaterally protects its legal rights about the authors who do not fulfill the requirements of these laws. The competent courts within the scope of the relevant laws are the Istanbul Courts. In the studies submitted for publication in our journal, the authors are unilaterally responsible for the issues such as quotations and plagiarism that are not carried out in accordance with the relevant laws and publication ethics laws. Our journal is published both in print and online. It is a social organ that provides social service in order to contribute to institutions and people who conduct scientific research as a material that includes studies prepared in the academic field. Our journal is not a paid journal and does not have to send printed material to any author or authors. The works accepted in our journal and entitled to be published are laid out in accordance with the journal's publication acceptance conditions and writing rules and uploaded to the system. The author or authors and readers who need it can download this issue from the system. The layout is made by the author based on the sample article.



UHMFD - Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi

Kayaşehir Mah. Evliya Çelebi Cad. Başakşehir Emlak Konutları
1/A D Blok Kat: 4 Daire: 29 Başakşehir, İstanbul, Türkiye
Tel: +90 212 801 40 61 Fax: +90 212 801 40 62
info@guvenplus.com.tr