



ISSN : 2458-7494

E-ISSN: 2458-7613

KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

KIRKLARELİ UNIVERSITY
JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Cilt / Volume: 8

Sayı / Number: 2

Aralık / December 2022

Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

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

e-mail:fbedergi@klu.edu.tr

editor@klu.edu.tr



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

Sahibi / Owner

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

Editörler / Editors

Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ
Doç. Dr. Alptekin KISASÖZ
Doç. Dr. H. Hale KARAYER
Doç. Dr. Mustafa ARSLAN
Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZŞAHİN
Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ KESKİN
Dr. Öğr. Merve ERMiŞ
Dr. Öğr. Üyesi Soner YELER
Dr. Öğr. Üyesi Ufuk PAKSU

Yayın Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR
Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ
Prof. Dr. Meryem ÇAMUR
Prof. Dr. Serpil AKÖZCAN
Doç. Dr. H. Hale KARAYER
Dr. Öğr. Üyesi Burak ÖZŞAHİN
Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ KESKİN
Dr. Öğr. Üyesi Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editing Manager
Sedat KEÇELİ

İnternet Adresi / Web Address

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

Yazışma Adresi / Correspondence Address

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

Baskı / Publisher

Kırklareli Üniversitesi Matbaası / Kırklareli University Publishing Centre

Yayın Türü / Publication Type

Yaygın Süreli Yayın / International Periodical

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

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

Basım Tarihi / Publication Date: 31.12.2022



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

Danışma Kurulu / Advisory Board

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



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

İçindekiler / Contents

Gülcan MİNSOLMAZ YELER; ASSOCIATION OF LEARNING SPACES WITH NATURE: THE EXAMPLE OF KIRKLARELİ ZÜBEYDE HANIM KINDERGARTEN (<i>Araştırma</i>).....	211-228
Nurdan KURNAZ YETİM, Elvan HASANOĞLU ÖZKAN, Mümin Mehmet KOÇ; INVESTIGATION OF CATALYTIC BEHAVIOUR OF WO ₃ DOPED MAGNETIC DENDRIMERS (<i>Araştırma</i>).....	229-242
Duygu ÖZTÜRK, Burak Kanat BOZDOĞAN; SLOPE DEFLECTION TRANSFER MATRIX METHOD FOR CONTINUOUS BEAMS (<i>Araştırma</i>).....	243-252
Onur YAVAN, Tuğçe LEBLEBİCİ, Ahmet TUNCAN; BEHAVIOR OF RETAINING WALLS CONSTRUCTED IN THE SATURATED CLAY AND WATER-SATURATED SAND SOILS UNDER THE DYNAMIC LOADS (<i>Araştırma</i>).....	253-272
Fatih ÜNAL, Merve ZURNACI, Serkan DEMİR, Mahmut GÜR, Nesrin ŞENER, İzzet ŞENER; SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF STRUCTURAL, SURFACE MORPHOLOGICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF InSe/PMITZ HYBRID HETEROJUNCTION (<i>Araştırma</i>).....	273-288
Selim TAŞKAYA; GROUND RESIDENCE AREA ESTIMATION OF ZONING PLOTS BY SUBSET METHOD IN BLOCK BUILDING ZONING AREAS (<i>Araştırma</i>).....	289-306
Aydın ÖZMUTLU; ÇİFT SİMETRİLİ DEĞİŞKEN KESİTLİ ÇUBUKLARIN EKSENEL TİTREŞİMLERİ (<i>Araştırma</i>).....	307-321
Murat KARADENİZ, Onur ÖZTÜRK, Zuhale Elif KARA, Mücahit OPAN; DÜŞÜK BASINÇLI KÜKÜRT ENJEKSİYONUNUN SERBEST BASINÇ MUKAVEMETİNE ETKİSİ (<i>Araştırma</i>).....	322-342
Zinnur YILMAZ, Mustafa Bünyamin KARAGÖZOĞLU; HAVA KİRLİLİĞİNİN (PM ₁₀ VE SO ₂) ANOVA YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ – MARDİN (TÜRKİYE) İLİ ÖRNEĞİ (<i>Araştırma</i>).....	343-356
Ali salem SOULEYMAN, Mustafa Arif ÖZGÜR; MORİTANYA’DA GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU VE FİZİBİLİTESİ NUAQSOT,NEMA VE WADAN ŞEHİRLERİ İÇİN ÖRNEK ÇALIŞMA (<i>Araştırma</i>).....	357-375
Timur KAPROL, Berk MİNEZ; KARADENİZ HAVZASININ ENDÜSTRİYEL MİRAS ROTASI POTANSİYELLERİ (<i>Araştırma</i>).....	376-426
Sevilay İNAL KABALA, Saffet ÇELİK; TIBBİ LABORATUVARLARDA KULLANILAN ELİSA VE LC-MS CİHAZLARININ ANALİZ ÖLÇÜMLERİ ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRILMASI (<i>Derleme</i>).....	427-438
Fatih YONAR, H. Atilla DİKBAŞ; ÇELİKHANE CÜRUFUNUN TÜRKİYE’DE BALASTALTI MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ULUSAL VE ULUSLARARASI ŞARTNAMELER KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ (<i>Derleme</i>).....	439-469



ASSOCIATION OF LEARNING SPACES WITH NATURE: THE EXAMPLE OF KIRKLARELİ ZÜBEYDE HANIM KINDERGARTEN

Gülcan MİNSOLMAZ YELER^{1*} 

^{1*}Kırklareli Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, Kırklareli, Türkiye

Abstract

Nature is a necessary need for everyone, so knowing, exploring and learning about nature are processes that must be acquired during childhood. Exterior and interior spaces need to be reorganized as spaces that children use and get benefit from so, they will want to learn, raise their sense of discovery, and provide them to be individuals who are self-confident. Innovative approaches are required for children to protect them, support a healthy life style, and strengthen their bond to the nature in their daily life. Therefore, access to nature through “biophilic design” is possible in terms of children’s daily lives. Supporting children’s development in the best way possible is an important start for a qualified education period. Thus, a qualified pre-school education environment is the most effective tool to provide children’s psychomotor, cognitive, and socio-emotional spaces. The aim of this study is to investigate how children can make a connection to nature during their pre-school education and determine how the interior and semi-open spaces they live in can be integrated to biophilic elements. In this context, developed a design proposal in Zübeyde Hanım Kindergarten, which is chosen as the pilot application area in Kırklareli city.

Keywords: Nature, Biophilic design, Learning spaces, Closed space, Semi-open space, Kırklareli, Zübeyde Hanım Kindergarten.

ÖĞRENME MEKANLARININ DOĞA İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ: KIRKLARELİ ZÜBEYDE HANIM ANAOKULU ÖRNEĞİ

Öz

Doğa, kişiden kişiye değişen göreceli bir kavram olmayıp herkes için zorunlu bir ihtiyaçtır. Doğayı tanıma, doğanın dilini öğrenme, doğadaki farklılıkları keşfedebilme çocukluktan aktarılması gereken bir süreçtir. Çocuklarda öğrenmeyi isteme, keşfetme duygusunu arttırma, merak duygusu uyandırma, doğa ile uyumunu sağlayarak kendine güvenli ve yaşamla barışık bireyler olmasını sağlamak üzere iç ve dış mekânların kullandıkları ve faydalandıkları mekânlar olarak düzenlenmesi

Sorumlu Yazar: Gülcan MİNSOLMAZ YELER, gulcan.yeler@klu.edu.tr



gerekmektedir. Çocukları korumak, sağlıklı yaşam tarzlarını desteklemek ve günlük yaşamlarında doğa ile bağlarını güçlendirmek için yenilikçi yaklaşımlar gerekmektedir. Bu nedenle çocukların günlük yaşamlarının odak noktasında “biyofilik tasarım” aracılığı ile doğaya erişim mümkündür. Çocukların gelişimini en iyi şekilde desteklemek kaliteli bir eğitim sürecinin önemli bir başlangıcıdır. Böylelikle nitelikli bir okul öncesi eğitim ortamı çocukların psikomotor, zihinsel ve sosyal-duygusal alanlarda gelişmelerini sağlamada en etkili araçtır. Bu çalışmanın amacı, okul öncesi eğitim dönemindeki çocukların öğrenme ortamlarında doğa ile nasıl bağlantı kurabileceğini araştırmak, yaşadıkları iç ve yarı-açık mekânların biyofilik elemanlar ile nasıl bütünleştirilebileceğini saptamaktır. Bu kapsamda Kırklareli ilinde pilot bir uygulama alanı olarak seçilen Zübeyde Hanım Anaokulu üzerinden mimari bir bakış açısıyla tasarım önerisi geliştirmek çalışmanın sürecini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Doğa, Biyofilik Tasarım, Öğrenme mekanları, Kapalı mekan, Yarı-açık mekan, Kırklareli, Zübeyde Hanım Anaokulu.

1. INTRODUCTION

Pre-school education, which includes children in the 0-77 month group and is called early childhood; It is defined as an educational process that takes place within the basic education integrity that is suitable for children's development levels and individual characteristics, provides rich stimulating and environmental opportunities, supports their physical, mental, emotional and social development, guides them in the best way in line with the cultural values of the society and prepares them for primary education [1]. Preschool education, which is also emphasized as the "sensitive period" or "critical period", is very effective in the development of the child's innate abilities and personality. Habits and skills, social communication, beliefs and value judgments gained at this age shape the child's later personality structure and enable him to be productive and participatory [2]. Therefore, the understanding of education aimed at multi-faceted interaction in this period also necessitates a safe and comfortable physical environment that offers multi-faceted experiences to the child. However, when existing schools are examined, it is seen that children spend most of their time indoors, devoid of nature, and that physical spaces do not provide adequate conditions. Especially places that do not interact with nature bring along many diseases (attention deficit, hyperactivity disorder, etc.). This makes the design of preschool learning spaces important. As Dutt [3] states, it becomes a necessity to investigate and determine which aspects of a school's



built environment improve students' relationships with the natural world. Similarly, Moore [4] states that a child's environment is very important for physical and cognitive development, and that educational environments are rich in stimulants, providing children with the opportunity to explore and test. With these aspects, it turns out that a built environment rich in natural elements plays the most important role in learning, as it has a positive effect on activities such as children's display of physical abilities, expressing multiple abilities, and seeking social contact [5].

Many researchers such as Moore and Cosco [6]; Kellert [7]; Phenice and Griffore [8]; Heerwagen [9]; Moore and Marcus [10]; Louv [11]; and Chawla [12] reveal through their studies that nature has positive effects on children. Generally, through a direct and versatile interaction that children make with nature, they acquire many aspects that include physical and social abilities, and the integration of all senses. A versatile interaction, however, brings about a multidimensional spatial experience and, likewise, versatile activities. Aiming to let children want to learn, raise their sense of discovery, and arouse curiosity, it is necessary to organize the closed, open, and wide spaces of the learning spaces that allow for experience and as spaces that can be benefited. Variability and richness of the activities done in such spaces raise the efficiency of spaces in the relationship with the nature. Taking into consideration the multi-sensory relationship between the architectural space and the individual, Öktem and Ökem [13] define the efficiency term as a place which includes the experience of the body in the space and the psychological and mental intensity that it feels in the design. Pallasmaa [14] also defines the efficient architectural experience as a multi-sensory experience and states that eye, ear, nose, skin, tongue, skeleton, and muscle have the equal share to experience of the space. In this vein, space, which can be defined as efficient, is an architecture that is powerful enough to make a mental difference on the subject and is about how much space touches the body and the mind [13]. Accordingly, in addition to the closed spaces that provide for various perceptive spaces where the child can perceive with his senses, efficient spaces, which are intertwined with nature and where nature is the ultimate learning space, develop children's abilities to grasp, internalize, and analyse as well as their imagination and creativity. With its endless richness (colours, textures, tastes, smells, actions etc.), nature provide a full use of senses and this sensory variety encourages curiosity in children, forming a more creative learning environment [15, 16]. Thus, space, with its educational value, gives the child the idea of good design at an early



age, change him with the opportunities it presents, and affect his life [17]. The child acquires a certain identity who identifies himself with a well-designed space.

Providing opportunities for participation, observation, and experience, these learning spaces become natural living and experience spaces where ecological processes can be observed on-site by enriching the with living materials [18]. In this aspect, getting acquainted with nature at an early age is not only an important need in terms of child development, but it also provides for the awareness that nature is a part of their lives [19]. The studies mentioned above assert that learning spaces can be designed so that they will be an intermediary for children's relationship with the natural world. In this vein, it can be seen that biophilic design has significant effects that by transforming learning, raising creativity, and implementing nature in the learning space deliberately [20], it provides significant gains in terms of health and well-being, feelings, and behaviour and cognition [21], and enables designers to produce new ideas who pay attention to children's connection to the natural world.

It becomes important to grasp the child-learning-nature-space relationship in order to correctly practice the principles of biophilic design in the design. In this vein, the main frame of the study focuses on this issue and foresees that learning spaces have a large potential to help bring children and nature together. Within the context of the study, it was considered that biophilic design would produce solutions to the aforementioned issues to strengthen children's access and relation to nature in their daily lives, since it is an innovative design approach. Based on the foresight that learning in early childhood is not limited to indoor spaces, it is inevitable that biophilic design principles should be integrated with the design of indoor, outdoor and transition spaces between learning spaces. However, within the scope of the study, indoor and semi-open spaces were taken as a basis, especially for Kırklareli Zübeyde Hanım Kindergarten, since open spaces should be handled from the perspective of the discipline of landscape architecture. First of all, it has been tried to reveal the extent to which biophilic design elements are present in all of the mentioned spaces. Afterwards, design proposals based on the integration of closed and semi-open spaces with nature were developed. While creating the design proposals, it was aimed to make spatial improvements with affordable budgets, where children can experience nature at first hand, without making extensive structural changes.



2. LITERATURE REVIEW

2.1. Biophilia and Biophilic Design Concepts

Biophilia, meaning the love of life and life processes, is a term first mentioned by the psychoanalyst Erich Fromm in his book “Heart of Man” in 1964, and later popularized by the Nobel winning biologist Edward Wilson in 1984. Wilson defined biophilia as “the innate tendency to focus on life and close-to-reality processes” in his book “Biophilia”, and used the “biophilia” term to define the deep feelings of connection to the nature during a discovery and submerging in the natural world process [22, 23]. Scientists from different disciplines gathered to think and discuss the concepts introduced by Wilson in 1993, and came up with a book titled as “The Biophilia Hypothesis”. Beyond a basic necessity, Wilson and the ecologist Kellert assumed that strengthening the innate affection and bond to the nature is necessary for the well-being of the modern urban human. They asserted that humans are biologically designed to positively respond to nature; and as Fromm states, this relationship would help humans with intellectual, emotional, and spiritual content [24]. In a conference held in America in 2006, benefits of biophilia were discussed in terms of their application in urban planning and architecture; and later the discussion led to a book titled “Biophilic Design: The Theory, Science, and Practice of Bringing Buildings to Life” which forms an interdisciplinary foundation for a biophilic design approach in the built environment. This book has received interest and presented the birth of biophilic design. Introducing a new approach in idea and design by defining an alternative human-nature relationship for urban citizens, the preface of the book describes biophilic design as “the expression for the need for the human to form a relationship with nature in the design of the built environment” [25]. By developing their ideas through their collaboration with Roger Ulrich and Bill Browning in later periods, Kellert and Heerwagen have encouraged the use of biophilic design in architecture [26].

Biophilic design emerged as a concept in which the human being feels affection for nature again and integrates his inner bond to nature, and has been a new approach blended with the parameters of the modern architectural design that is the contemporary trend [27]. The basic aim of biophilic architecture has been to, for the performance and well-being of the humans, provide and sustain the need for positive experience with the natural systems and processes that continue to be critical in the modern life with the built environment. Biophilic design in architecture includes aspects such

as the use of natural materials, natural air conditioning, natural light, shapes and forms inspired by nature, and historical and ecological bonds [25].

2.2. Principles of Biophilic Design

Application of biophilic design includes the application of various design strategies that we call as experiences and qualifications. Kellert et al. [25] established the elements of biophilic design in the widest sense as six features and seventy qualifications. These features are environmental features, natural shapes and forms, natural patterns and processes, light and space, place-based relations, and developing human-nature relations (Table 1).

Table 1. Elements of biophilic design [33].

Environmental Features
Color, Water, Air, Sunlight, Plants, Animals, Scenic view, Views and Scenes, Geology, Habitats and ecosystems, Fire.
Natural Shapes and Forms
Botanical motifs, Tree and columnar supports, Animal motifs, Shells and spirals, Egg, oval and tubular forms, Arches, vaults and domes, Shapes resistant to straight lines and right angles, Simulation of natural features, Biomorphy, Geomorphology and Biomimicry.
Natural Patterns and Processes
Sensory variability, A wealth of information, Age, change and time, Growth and flowering, Center focus, Patterned integrity, Hierarchically arranged ratios and scales, Transition spaces, Connected series, Integration of parts, Complementary contrasts, Dynamic balance, Fractals.
Light and Space
Natural light, Filtered and diffused light, Light and shadow, Reflected light, Light as shape and form, Warm light, Space as shape and form, Spatial variability, Light pools, Spatial harmony, Indoor and outdoor spaces, Refreshment.
Place-Based Relationships
Geographical connection, Historical connection, Ecological connection, Cultural connection, Integration of culture and ecology, Local materials, Landscape features defining the building form, Avoiding space, Landscape harmony, Landscape ecology, Spirit of the place.
Evolved Human-Nature Relationships
Expectation and refuge, Order and complexity, Curiosity and fiction, Change and metamorphosis, Security and protection, Expertise and control, Love and attachment, Attraction and beauty, Research and invention, Knowledge and cognition, Fear and awe.



Then, Kellert and Calabrese [28] introduced the first theoretical frame for biophilic design that includes human experience in three categories that are “direct nature experience, indirect nature experience, and space and place experience”. Ryan et al. [29] produced a list consisting of 14 nature-based design models that are nature in the space, natural analogues, and nature of the space. The aforementioned principles of biophilic design can be applied on interior and exterior spaces with various scales and budgets in cities [30], and the present and new buildings. In the urban environment where we are the most distant to nature, however, they have the largest effect to create positive spaces [31]. Architectural theorists think that designs based on the principles of biophilic design will enhance human health, appease the climate change, appropriately manage the sources for a renewable society, and help communities to reconnect with the ecosystem [32]. The choice of which design practices will be used vary according to certain building and landscape uses, project scale, and changing economic, logistic, and regulative factors as well as the conditions and restrictions of the project along with cultural and ecological conditions [28].

Parameters have been determined so they are applicable and flexible models which have a wide application opportunity for interior and exterior spaces. These design models focus on appeasing stress factors and raise the spatial qualities [34].

3. MATERIAL AND METHODS

The main material of the study is Zübeyde Hanım Kindergarten which is on Bademlik neighbourhood of the central Kırklareli city. The access to the school, which is situated in a residential area, is possible through the Sağlık 1 Street which connects to Fahri Kasapoğlu and Bademlik avenues. Established in 1997 and giving a full-time education, the school has a capacity of 330 students (Figure 1).



Figure 1. Location map of the study area and front view of Zübeyde Hanım Kindergarten (Author, 2022).

Biophilia concept is the main and propelling component of the design idea initiated to enhance the closed and semi-open spaces of the Kırklareli Zübeyde Hanım Kindergarten by unifying them with the beneficial aspects of nature. In this frame;

1. The theoretical study serves as the theoretical framework by establishing the biophilia-design-children relationship. “Biophilic Design Principles”, which is determined by Stephen R. Kellert, were taken as the basis to apply the biophilic design elements in learning spaces.

2. The analysis tries to show to what degree biophilic design elements are present in the pilot school (in closed, semi-open spaces) through observation and on-sight studies.

3. Project-based study aims to integrate biophilic design elements with the closed and semi-open spaces of the pilot school, and has disclosed applications and general approaches through the produced models.

4. DETERMINING THE BIOPHILIC DESIGN ELEMENTS

4.1. Closed Spaces

The school has 3.088 m² ground area, and was planned to have a semi-basement and a ground floor. The structure, which is determined by two axes horizontally and vertically, consists of two

buildings with rectangle shapes of different sizes and are on different elevations. While the main building houses 8 classes and the administrative quarter, the other building, which is elevated with a half floor, an Atatürk corner, dining hall, and a multipurpose hall. Under the latter mass, there is a semi-basement where there is a kitchen, the heating unit, and personnel quarters. There is a cloakroom and a waiting area in the entrance, and the administrative wing is situated on a separate corridor on the right of the entrance. On the point where the axes of two masses intersect and opposite the entrance, there is a play area for children. The classes, which are situated symmetrically on both sides of a horizontal corridor, include restroom (WC and sink), and storage spaces (Figure 2).

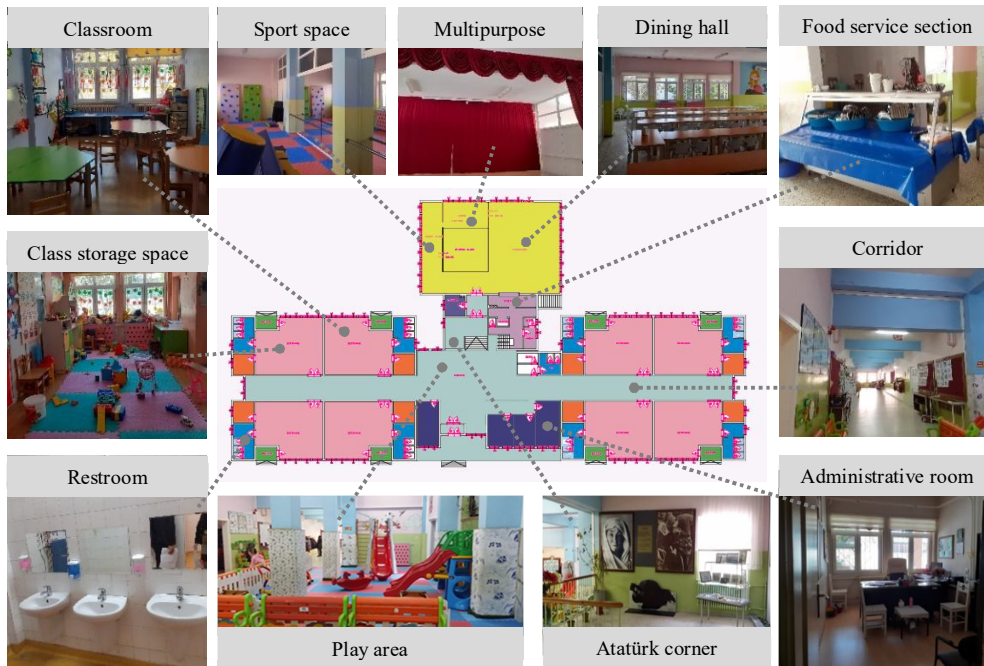


Figure 2. Closed spaces of Zübeyde Hanım Kindergarten (Author, 2022).

When evaluated in terms of biophilic elements, the building design shows that students and other users cannot experience nature directly. Although the lighting and air conditioning, which are provided in the closed space passively, are on an adequate level, the students' interaction to the exterior/nature is limited since the windows are high up from the floor and are covered with gratings. Furthermore, a natural environment does not exist so it will improve this view. While



water and fire cannot be used in closed spaces, plants have a limited use. There are generally pot plants in common areas. A few pets such as birds and hamsters are in care of the administration and students are allowed to pet them for a limited time. Plants and animals are rather of an indirect and symbolic value. Classroom and common area walls feature pictures of flowers, trees, and animals. While natural floor covers such as marble and wood have a limited use, plastic-based materials have a wider use. Natural colours such as green, yellow, orange, and blue are generally the preferred colours. Few data have been obtained in the closed spaces in terms of experiencing the space and place.

As closed transition spaces, corridors are structured with a simple planning that are on horizontal and vertical axes. There is a children's play area on the intersection of the axes. There is not a condition that will cause complexity and security issue for children and other users. However, they do not have features that will stimulate children from an aesthetic point of view, particularly natural elements. The only connection to the nature of the interior corridors as closed transition spaces are the few windows at the end of the corridor. Thus, the corridors are mostly dim and need to be lit artificially even during the day time. The waiting area at the entrance is light and spacious as there are more windows here.

4.2. Semi-open Spaces

The entrance and classroom terraces, which are semi-open transition spaces, are too small (Figure 3). They do not allow for all children to make an activity together. Moreover, they do not have the necessary precautions that will protect from negative air conditions. Only a stair is used to balance the elevation difference. Upon examining from a biophilic point of view, the terraces neither include natural elements not let children experience nature directly.



Figure 3. Semi-open transition spaces of Zübeyde Hanım Kindergarten (Author, 2022).

5. APPLICATION OF BIOPHILIC DESIGN ELEMENTS

Through the observations on the present spaces, it was understood that design of the closed and semi-open spaces of Zübeyde Hanım Kindergarten do not provide sustainability between interior space-exterior space-nature. We also found out that natural elements are not used enough in open spaces, and thus, the rich environmental and spatial experiences that will provide an environment to learn nature and raise creativity, transform learning as well as providing physical, spiritual, and cognitive benefits are not provided.

In this context, it can be seen that integrating the pre-school education building with biophilic design elements is a necessity so children's connection to the natural world will not be broken from their early childhood. It was aimed that children would be able to experience nature from the first hand while developing design proposals. Furthermore, a spatial upgrade with an appropriate budget is more preferable rather than radical structural changes in the design.

As closed transition spaces, corridors have a significant feature as they are spaces where children first meet each other along with the entrance, they spend the most time together after the classroom, come together and play, spend free time, and rest, rather than a mere transition space. Because of the aforementioned features, corridors have been spaces which was paid attention most while choosing for biophilic design elements to create a difference in spatial quality with a good design. Living plants and trees are the elements that strengthen the human-nature bond. Including plants in the interior space brings a softness, life, and rhythm in the space [35]. For this, a green wall on

the right wall of the stairs has been implemented so students will be exposed to living plants constantly independent of spatial conditions and not to limit the usable area. As stated by McCullough et al. [36], a green wall has the potential to inspire critical thinking by combining project-based learning strategies and environmental education. As another aspect that strengthens the interaction with nature is the animal [37], it was aimed to design an embedded aquarium in the wall for students to relax and create a focal point (Figure 4).



Figure 4. Biophilic design elements in the corridors and play area (Author, 2022).

For closed spaces to benefit entirely from natural light at a maximum level, we designed niches on the walls on the interior walls of classrooms so the light from outside will make corridors more spacious. Moreover, we aimed to create a different and effective space in the corridor through play of light with the use of glasses in different colours in these niches. The height of present windows

at the end of the corridor are elevated. Roof windows are not preferred as their cost would be excessive (Figure 4).

The fact that forms inspired from nature are curvilinear, soft, and fluid, and remind of nature strengthens the biophilic sense [33]. For this, two honeycomb shaped niches were applied on walls one of which is an embossed tree image and the other is a colourful shape consisting of the geometric formation of nature near the seating unit on the upper elevation. Suitable to children's sizes, these honeycombs form secure spaces that look like a nest (Figure 4).

In the activity and dining areas of the building, formations inspired from nature are repeated on wet surfaces. Honeycomb and circular shaped niches on the activity space, relief that refer to the tree branches on the canteen ceiling, and the cellular form of a leaf on the separation units in the restroom were used (Figure 5).



Figure 5. Biophilic design elements in the dining hall, multipurpose hall and restroom (Author, 2022).



Spatial functions, sizes, accessories, furniture, and light to be used on surfaces are effective for the colour that will be used on the wall, ceiling, and floors of the space; also, their physical and psychological effects on the users are taken into consideration [38].

Upon considering the fact that children are extroverted and active as a result of their nature during this period, a warm and bright colour scheme would complete this tendency, and thus, decreases tenseness, anger, and anxiety; also, colours of contradicting warmth can be used as a highlight. Therefore, pastel colours of the nature such as the ones from water, sky, sun, plant, and soil were preferred according to the function of the space in order to stimulate students, increase their creativity and motivation, and calm them when needed (Figure 5).

The primary aim in the design of learning spaces is to provide an uninterrupted sustainability between the interior and exterior spaces. Sheltered transition spaces, which let users to experience both the closed and open spaces simultaneously, are structured with an idea making them independent and at the same time open and accessible. These provide suitable pedagogical spaces where students can experience and interact with nature, and not merely comfortable spaces. Transition spaces, which are also seen as the best play and learning spaces for children, also provide a psychological relief when connected with the natural environment [39, 40].

In this vein, the fact that the building is a one-storey one provides an important advantage. The terraces organized in the corner of the classroom are widened so as to include classrooms as they are too small in their present condition. They are reorganized so children can use these spaces as learning and play areas. The eaves of the terrace roof are prolonged for protection from weather conditions. Furthermore, classrooms have mobile sunshade units to protect from the negative effects of the sun in the terrace. Openings on the walls, such as windows and doors, are rearranged without interrupting the supportive structure of the building so that children can experience nature directly in these spaces. The openings on the façade shape the characteristics of the main architecture as well as playing a critical role in the rearrangement of the entire space by providing an opening for the flux of heat, light, sound, air, and view. Classroom windows are lowered to the floor by taking into consideration these features. When needed, windows can be opened entirely to semi-open terraces; or, with open classroom organization, unity with nature and a maximum level of light can be achieved. The surface of windows is widened, the door was moved to the middle

and the entrance is therefore highlighted. Green walls and pot plants are situated in the semi-open spaces in front of the entrance and the administration spaces (Figure 6).



Figure 6. Biophilic design elements in transition spaces (Author, 2022).

7. CONCLUSION

Judging from the research, on-site observation, and analysis done within the context of the study, it was determined that Zübeyde Hanım Kindergarten does not include elements of nature in its interior and semi-open space designs. Because there was a lack of experience between nature and space both directly and indirectly, as it was mentioned in the previous parts of the study, the school does not provide the rich environmental and spatial experiences in terms of using nature as a learning place and increase creativity, and transform learning as well as providing physical, spiritual, and cognitive benefits by using biophilic elements during the design.

We have presented a design proposal in which spaces are integrated with nature so as to provide students with a healthy, creative, and innovative learning environment in Kırklareli Zübeyde Hanım Kindergarten. Based on the direct experience among the biophilic design principles, the design proposal is an attempt to revive the connection between the built environment and nature. As a probable design approach, biophilic design should be widened to cover all learning spaces



and form the minimum standards during the design and application process. During this process, in order to help students to be in close connection to nature, design, planning, and physical investment in biophilic schools should be encouraged. Also, education programs should be rearranged so as to cover nature, and the main aim should be to provide the connection between natural world and, children and society. In this vein, aiming to create different experiences instead of common ones, conscious decisions of architects will positively affect the design process, who wish to integrate interior and semi-open spaces to nature. The study was limited to indoor and semi-open spaces. In associating the mentioned spaces with nature, the architect's taking into account the outdoor arrangement and collaborating with the landscape architect will strengthen the design. A successful application of biophilic design, based on the realisation of experiences of nature, will serve as a foundation for a generation who is healthy, productive, responsible, and sensitive all of which starting during early childhood. Therefore, the application model proposed for Zübeyde Hanım Kindergarten serves as an important guide.

REFERENCES

- [1] Turaşlı, N., Okulöncesi Eğitime Giriş, Ankara: Anı Yayıncılık, 2007.
- [2] Yavuzer, H., Çocuğunuzun ilk altı yılı. İstanbul: Remzi Kitabevi, 1998.
- [3] Dutt, I., School design and students' relationships with the natural world. *Children, Youth and Environments*, 22(1), 198-226, 2012.
- [4] Moore, C. R., The need for nature: A childhood right, *Social Justice*, Vol. 24, No. 3 (69), *Children and The Environment*, pp. 203-220, 1997.
- [5] Park, S. J., & Lee, H. C., Spatial design of childcare facilities based on biophilic design patterns. *Sustainability*, 11(10), 2851, 2019.
- [6] Moore, R. C. & Cosco, N. G., Developing an earth-bound culture through design of childhood habitats. *Proceedings of the Conference on People, Land and Sustainability*, Nottingham UK, 2000.
- [7] Kellert, S. R., Experiencing Nature: Affective, Cognitive, and Evaluative Development. In Kahn, P. H., Kellert, J. R. & Kellert, S. R. (eds), *Children and nature: Psychological, sociocultural, and evolutionary Investigations*. Cambridge: MIT Press, 2002.
- [8] Phenice, L. A. & Griffone, R. J., Young children and the natural world. *Contemporary Issues in Early Childhood*, 4(2),167-171, 2003.



- [9] Heerwagen, J. H., Investing in people: The social benefits of sustainable design. Rethinking Sustainable Construction, Sarasota, FL., 2006.
- [10] Moore, R. C. & Marcus, C. C., Healthy Planet, Healthy Children: Designing Nature into the Daily Spaces of Childhood. In Kellert, S. R., Heerwagen, J. & Mador, M. (eds), Biophilic design: The theory, science, and practice of bringing buildings to life. (pp .153–197.). USA: John Wiley and Sons Ltd., 2008.
- [11] Louv, R., Last child in the woods: Saving our children from nature-deficit disorder. Chapel Hill, NC: Algonquin Books of Chapel Hill, 2008.
- [12] Chawla, L., Benefits of nature contact for children. Planning Literature, 30(4), 433–452, 2015.
- [13] Öktem Erkartal, P. & Ökem, S., Gözmerkezci paradigmanın sorgulanması: dokunsal mimari. UPAD -2014,1. Uluslararası Kentsel Planlama-Mimarlık-Tasarım Kongresi, İzmit, 2014.
- [14] Pallasmaa, J., Tenin Gözleri: Mimarlık ve Duyular. İstanbul: YEM Yayınları, 2011.
- [15] Cosco, N. & Moore, R., Well-being by nature: Therapeutic gardens for children. American Society of Landscape Architects, 2005, 35–50, 2005.
- [16] Parsons, A., Young children and nature: outdoor play and development, experiences fostering environmental consciousness, and the implications on playground design. Master of Landscape Architecture Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University, 2011.
- [17] Çukur, D., Çocukların kentsel mekânda temsili bağlamında eğitim yapılarının irdelenmesi: İzmir örneği. Mimarist, 2004/1 Ana ve İlkokul Yapıları, 54-59, 2004.
- [18] Özdemir, O. A., New environmental education perspective: “Education for sustainable development”. Education and Science, 32(145), 23-34, 2007.
- [19] Köşker, N. & Çalışandemir, F., Child and nature. In Efe R, Bizzarri C, Cürebal İ and Nyusupova GN (eds) Environment and ecology at the beginning of 21st century. (pp. 326-336). Sofia: St. Kliment Ohridski University Press, 2015.
- [20] Walimbe, A. S. & Chitgopkar, A. S., Nurturing children’s biophilia through nature connectedness in school buildings for a sustainable future. Int. J. Civ. Eng. Technol., 9 (3), 187-192, 2018.
- [21] Wijesooriya, N. & Brambilla, A., Bridging biophilic design and environmentally sustainable design: A critical review. Journal of Cleaner Production, 283: 124591, 2021.
- [22] Fromm, E., The heart of man. New York, USA: Harper and Row, 1964.
- [23] Wilson, E. O., Biophilia. Massachusetts: Harvard University Press, 1984.
- [24] Kellert, S. R. & Wilson, E. O., The biophilia hypothesis. Washington, D.C.: Island Press, 1993.



- [25] Kellert, S. R., Heerwagen, J. & Mador, M., Biophilic design: the theory, science, and practice of bringing buildings to life. USA: John Wiley and Sons Ltd., 2008.
- [26] Beatley, T., Handbook of biophilic city planning and design. Washington, USA: Island Press, 2016.
- [27] Yurtgün, H. Ö., Evaluation of Biophilic Design Criteria through Open Offices. International Design and Art Journal, 2(2), 281-296, 2020.
- [28] Kellert, S. R. & Calabrese, E. F., The practice of biophilic design. 2015. Retrieved from www.biophilicdesign.com.
- [29] Ryan, C. O., Browning, W. D., Clancy, J.O., Andrews, S. L. & Kallianpurkar, N. B., Biophilic design patterns: Emerging nature-based parameters for health and well-being in the built environment. ArchNet-IJAR: International Journal of Architectural Research, 8(2), 62-76, 2014.
- [30] Beatley, T., Biophilic cities: Integrating nature into urban design and planning. Washington, D.C.: Island Press, 2010.
- [31] Heath, O., Jackson, V. & Goode, E., Creating positive spaces using biophilic design. Brighton, Oliver Heath Design, 2008.
- [32] Beyaz, E., Beyşehir'deki XIII. ve XIV. Yüzyıl camilerinin biyofilik kriterler üzerinden incelenmesi (Yayın No.467920) Yüksek Lisans Tezi, KTO Karatay Üniversitesi, 2017.
- [33] Kellert, S. R., Dimensions, elements and attributes of biophilic design. In: Kellert, S. R., Heerwagen, J. H. & Mador, M. L. (eds), Biophilic design: the theory, science, and practice of bringing buildings to life. (pp. 3-19). USA: John Wiley and Sons Ltd., 2008.
- [34] Browning, W. D., Ryan, C. O. & Clancy, J. O., 14 patterns of biophilic design: Improving health & well-being in the built environment. New York: Terrapin Bright Green llc., 2014.
- [35] Day, C., Places of the Soul: Architecture and environmental design as a healing art. Oxford: Elsevier, 2004.
- [36] McCullough, M. B., Martin, M. D. & Sajady, M. A., Implementing green walls in schools. Front. Psychol., 9, 619, 2018.
- [37] Çorakçı, R. E., İç mimarlıkta biyofilik tasarım ilkelerinin belirlenmesi (Yayın No. 444471) Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, 2016.
- [38] Özsvaş, N., Color perception in interior design. Art-e Sanat Dergisi, 9(18), 449-460, 2017.
- [39] Balocco, C. & Colaianni, A., Modelling of reversible plant system operations in a cultural heritage school building for indoor thermal comfort. Sustainability, 10(10), 3776, 2018.
- [40] Monsur, M., Transitional Space and Preschool Children's Play & Learning Behavior in Childcare Environment. ARCC Conference Repository, Charlotte, USA, 2013.



INVESTIGATION OF CATALYTIC BEHAVIOUR OF WO₃ DOPED MAGNETIC DENDRIMERS

Nurdan Kurnaz YETİM^{1*}, Elvan HASANOĞLU ÖZKAN², Mümin Mehmet KOÇ^{3,4}

¹Department of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, Kirkklareli University, Kirkklareli, Türkiye

²Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Gazi University, Ankara, Türkiye

³School of Medical Service, Department of Medical Service and Techniques Kirkklareli University, Kirkklareli, Türkiye

⁴Department of Physics, Faculty of Arts and Sciences, Kirkklareli University, Kirkklareli, Türkiye

Abstract

In this work, WO₃ nanoparticle decorated magnetic polyamidoamine (PAMAM) dendrimer nanocomposites were fabricated and used as a catalyser for the reduction of 4-nitrophenol (4-NP). Fe₃O₄ superparamagnetic iron oxide nanoparticles were used as magnetic core. Magnetic iron oxide nanoparticles were produced using co-precipitation method. Magnetic nanoparticle core was covered with PAMAM dendrimers. The dendrimers used in the covering process was 2nd generation dendrimers which proposed to protect nanoparticles from losing their magnetic characteristics. PAMAM coated core@shell structure was decorated with WO₃ nanoparticles where Fe₃O₄@G2/WO₃ magnetic dendrimer composites were obtained. Structural characterization of magnetic dendrimers was performed using microscopic, spectroscopic and crystallographic methods where SEM, TEM, EDX, XRD methods were used. Vibrating sample magnetometry was used in the assessment of magnetic characteristics. Catalytic performance of the magnetic dendrimers were tracked using UV-vis spectroscopy. Magnetic dendrimers were used for the reduction of 4-NP. Reaction rate coefficient k_{app} was calculated and found as $4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

Keywords: Fe₃O₄ Nanoparticles; Magnetic Dendrimers; WO₃ Nanoparticles; 4-Nitrophenol

Sorumlu Yazar: Nurdan KURNAZ YETİM, nurdankurnazyetim@klu.edu.tr



WO₃ KATKILI MANYETİK DENDRIMERLERİN KATALİTİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Öz

Bu çalışmada, WO₃ nanoparçacıklar ile dekore edilmiş manyetik poliamidoamin (PAMAM) dendrimerler üretildi ve 4-nitrofenolün indirgenmesi işleminde kullanıldı. Bunun için Fe₃O₄ süperparamanyetik demir oksit nanoparçacıklar manyetik çekirdek olarak üretildi. Üretimde birlikte çöktürme yöntemi kullanıldı. Manyetik çekirdeğin manyetik özelliğinin kaybolmaması için ikinci jenerasyon PAMAM dendrimerler ile kaplandı. PAMAM kaplı çekirdek@kabuk yapı WO₃ nanoparçacıklar ile dekore edildi ve Fe₃O₄@2G/WO₃ manyetik dendrimer nanokompozitler elde edilmiş oldu. Elde edilen yapıların yapısal özellikleri SEM, TEM, EDX, XRD gibi mikroskopik, spektroskopik ve kristalografik metotlar ile incelendi. Manyetik özellikler titreşimli numune magnetometresi ile incelenirken 4-NP UV-vis spektroskopisi ile incelendi. Manyetik dendrimerler 4-NP'nin indirgenmesinde kullanıldı. Tepkime hız sabiti k_{app} değeri ise $4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ olarak belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Fe₃O₄ Nanoparçacıklar; Manyetik Dendrimerler; WO₃ Nanoparçacıklar; 4-Nitrofenol

1. INTRODUCTION

Nanoparticles were used in various medical and engineering applications since they have a unique structure which enables users to tune their characteristics by altering their structure, shape, and size[1]–[3]. Such alteration often leads to a drastic change in optic, electronic, catalytic, and magnetic properties [1]–[5]. Up to now, various types of nanoparticles were reported. Among those, metallic nanoparticles were found to be quite interesting since they can provide paramount characteristics which make them suitable candidates for catalytic, electronic and optoelectronic applications[5], [6]. Metallic nanoparticles have high electron density with low electron affinity. Some metal nanoparticles illustrate ferromagnetic or superparamagnetic characteristics which made them a suitable candidate for magnetic applications[4], [7]. Different forms of nanoparticles such as nanocomposites, nanoalloys, nanofilms, nanocubes, *etc.* were reported in the literature [5]. Nanocomposites are smart nanotools which can exhibit multifunctional characteristics. For example, nanocomposites can illustrate good magnetic and catalytic properties with high stability. To be able to do this, magnetic nanoparticle core such as Fe₃O₄, Co₃O₄, NiO, *etc.* were often



preferred [8]–[10]. In this regard, Fe_3O_4 nanoparticles are a good candidate as core material illustrates outstanding magnetic saturation with low coercivity [11]. Covering such a magnetic core with protective organic shell layer often provides stability in magnetic characteristics, since the a protective layer limits interaction with the surrounding environment [6], [12]. Different organic molecules or dendrimers were used as shell layers in core@shell structures. The shell layer can also be doped with different molecules and/or nanoparticles which enables inorganic-organic core@shell structure to be functionalized [6], [12]. Where multifunctional properties could be obtained. Decorating magnetic core@shell structure with material with high catalytic properties can enable us to obtain functionalized magnetic nanocomposites.

In this regard, magnetic nanocomposites have the potential to be used in catalytic applications. Catalytic materials are needed for different applications and can be applied in different fields, antimicrobial applications, environmental applications, medical applications, *etc.* Organic and inorganic pollutants are often released to nature and degradation and/or reduction of such compounds were needed for a better, cleaner, and healthier environment. Nitrophenol-based compounds were found in industrial and agricultural waste waters and were known as common organic pollutants [13], [14]. Degradation and/or removal of nitrophenol-based products from waters were found to be expensive and compelling [13], [14]. Nitrophenol derivatives are also toxic to the marine life, ecosystem and living organisms [15], [16]. Nitro derivatives should be degraded or reduced to amine-based derivatives since such derivatives could naturally be decomposed or biologically degraded [15], [17]. 4-nitrophenol (4-NP) is vastly used in different industrial products and is often produced as an intermediate product. To reduce the toxic and deleterious effects of 4-NP, it should be reduced to 4-aminophenol (4-AP). Such a reduction process may be difficult and/or costly. Catalytic materials could help users to speed up the reduction process with minimum cost. In this regard, metal based nanoparticles provide promising, fast, reliable results with minimum production and operation costs [18]–[22].

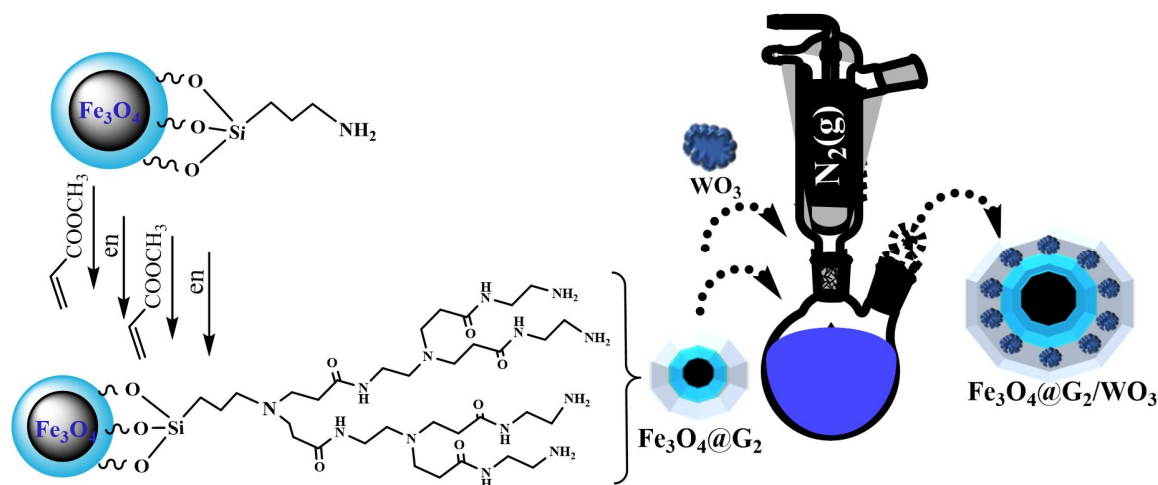


Figure 1. Fabrication of $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{G}_2/\text{WO}_3$ magnetic nanocomposites.

In our work, we produced functional $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{G}_2/\text{WO}_3$ magnetic nanocomposites and used them as a potential catalyser for the reduction of 4-NP to 4-AP. In our previous studies, we managed to produce Fe_3O_4 magnetic nanoparticles with a high saturation rate [17], [23]. We used such magnetic nanoparticles as magnetic core and covered them with 2nd generation PAMAM dendrimers [23], [24]. Core@shell structure was decorated with WO_3 nanoparticles where novel $\text{Fe}_3\text{O}_4@2\text{G}/\text{WO}_3$ magnetic nanocomposites were obtained with good catalytic properties. Structural characterization of the nanoparticles was performed with the scanning electron microscope (SEM) equipped with energy dispersive X-ray spectra (EDX) apparatus. X-ray diffractometry was also used for crystallographic characterization. The catalytic activities were investigated using UV-vis spectroscopy. The catalytic performance of novel multifunctional nanocomposite was assessed, and the results were compared with the results previously reported in the literature.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Materials and Reagents

Tungsten (VI) oxide nanopowders (with nanoparticle size < 100 nm) was obtained from Sigma-Aldrich. Chemical reagents such as 3-Aminopropyl triethoxysilane (APTES), iron salts ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), methylacrylate, tetraethylortasilicate (TEOS), 28% ammonia

(NH₃), ethylenediamine, methanol, ethanol, were purchased from Sigma-Aldrich.

2.2. Synthesis of Fe₃O₄@G2/WO₃ Magnetic Dendrimer

Fe₃O₄ magnetic nanoparticles used as a core was produced according to the method we previously describe in our previous reports [23], [24]. Fe₃O₄ magnetic core was covered with 2nd generation PAMAM dendrimers and Fe₃O₄@G2 PAMAM structures were obtained. To decorate the core@shell structure 0.2 g Fe₃O₄@G2 PAMAM was dissolved in 20 mL methanol and sonicated for 20 min. 20 mg of WO₃ nanopowder was added to the suspension and the suspension was stirred for 24 h under nitrogen flow. As a result, novel Fe₃O₄@G2/WO₃ multi-functional nanocomposites were obtained. Nanocomposites were collected using a magnet. Nanocomposite powder was washed with ethanol and pure water and kept in over for 12 h at 40°C. Please see the Figure 1 for the detailed schematics of the production.

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1. Characterization of Fe₃O₄@G2/WO₃ Nanocomposites

Results about Fe₃O₄ magnetic core and Fe₃O₄@2G structures were discussed in our previous reports where results pertaining to FTIR, XRD, TGA, VSM, and different elemental analysis methods were provided [11], [23], [24]. In this section, the characterization of Fe₃O₄@G2/WO₃ nanoparticle composites will be discussed. Figure 2 illustrates EDX spectrum and SEM image of Fe₃O₄@G2/WO₃ nanocomposites. EDX spectrum illustrates apparent Fe, O, W, and C peaks. Si and N peaks that appeared in the spectrum are related to TEOS and APTES support. SEM image shows Fe₃O₄@G2/WO₃ nanocomposites. As can be seen from the image, nanocomposites were in granulated form. The particle size was found to be around 100 nm. To confirm the nanostructure in detail, TEM images of the nanocomposites were also obtained.

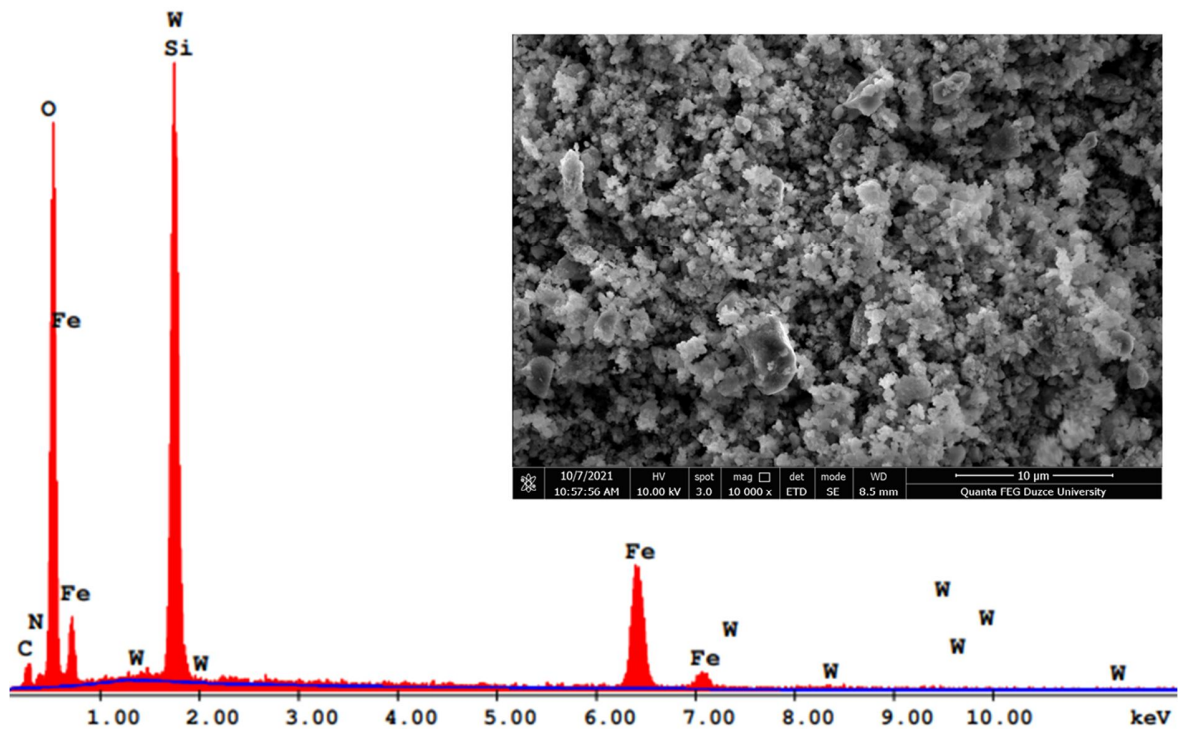


Figure 2. SEM image and EDX spectrum and SEM image of Fe₃O₄@G2/WO₃ nanocomposites

TEM image of the Fe₃O₄@G2/WO₃ nanocomposites were illustrated in Figure 3. The figure also confirms the granulated form of the nanocomposites. Granulated parts seemed to be clustered where agglomerated clusters could be seen. Also, very dark, dark, and light sections could be seen in the figure. In the branched clusters, dark sections could be seen inside where lighter clusters covers them. Darker sections were thought to be Fe₃O₄ magnetic cores. The very dark sections placed outside of the branched clusters were thought to be WO₃ nanoparticles. Lighter parts around darker spheres are organic shells consisting of PAMAM, APTES and TEOS. The size of the nanoparticles in the dendritic structure alters where the Fe₃O₄ nanoparticles were found to be around 10-20 nm. The WO₃ nanoparticles were found to be around 20 nm. Nanocomposites consisting of agglomerated nanoparticles and organic dendrimers were measured around 100 nm. Nanocomposites were found to be agglomerated form. Since PAMAM dendrimers are in branchy structure, nanoparticles are stuck between organic branches and tend to agglomerate. The branches also tend to stick to each other where slightly bigger chain like cluster groups were formed.

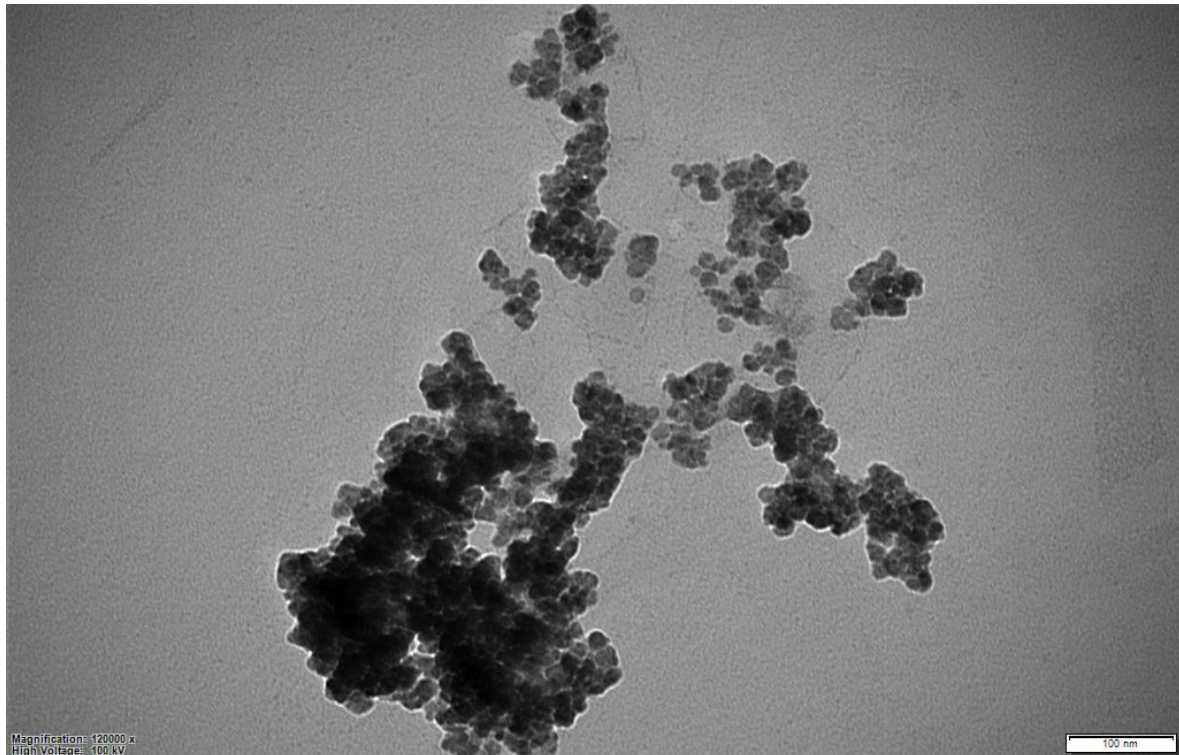


Figure 3. TEM images of $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{G2}/\text{WO}_3$

Magnetic characteristics of the iron (II/III) oxide core and $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{G2}/\text{WO}_3$ nanocomposites were investigated using vibrating sample magnetometry (VSM). Figure 4 illustrates VSM results of Fe_3O_4 and $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{G2}/\text{WO}_3$ nanocomposites. VSM plots of the iron oxide core and magnetic nanocomposites exhibit superparamagnetic characteristics where almost no coercivity was observed for each sample. The magnetic saturation value of the magnetic iron (II/III) oxide core was found as 63.7 emu/g while the magnetic saturation value of the magnetic nanocomposites was found as 22.9 emu/g. A dramatic decrease in magnetic saturation value was obtained after covering magnetic nanoparticles with PAMAM dendrimers and decorating them with WO_3 nanoparticles. It is highly possible that covering iron oxide nanoparticles with the outer shell and decorating them with WO_3 change their electronic structure which causes a rapid decrease in magnetic saturation values. It was seen that our magnetic nanoparticles exhibit outstanding magnetic characteristics where the saturation value of the nanoparticles was found to be quite high compared to the different organic-inorganic core@multi-shell nanocomposites.

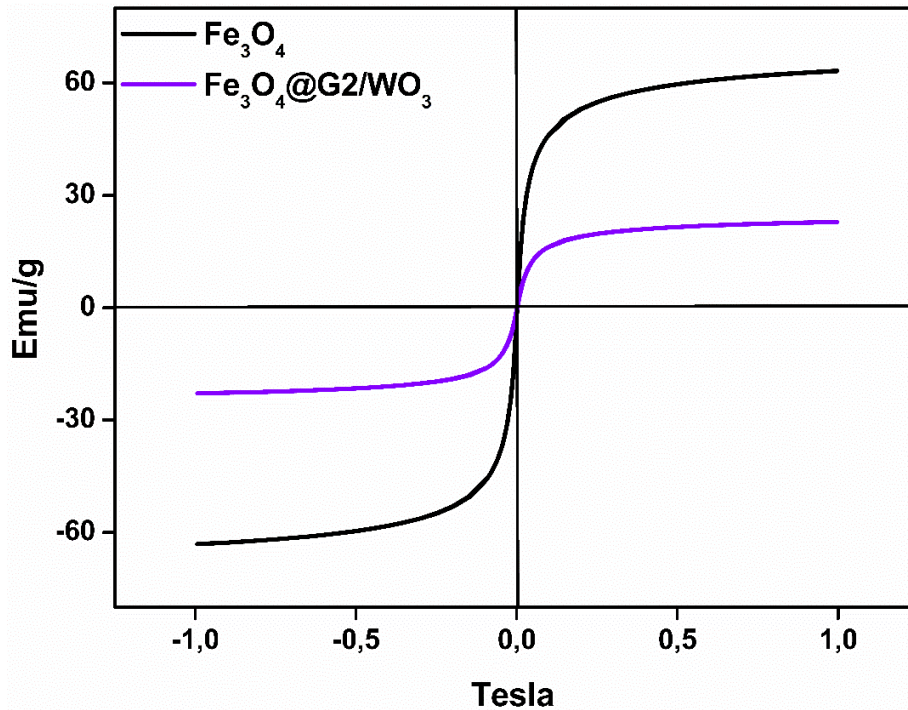


Figure 4. Magnetic hysteresis of Fe_3O_4 and $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{G2}/\text{WO}_3$ magnetic nanocomposite

Table 1: Comparison of magnetic saturation values

Sample	Magnetic Saturation Values (emu/g)	Reference
Fe_3O_4	63.7	[23]
$\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$	48.7	[23]
$\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{G2}$	34.7	[23]
$\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{G2}/\text{WO}_3$	22.90	TW

TW: This work

3.2. Catalytic Activity

The catalytic performance of the Fe_3O_4 nanoparticle core for the degradation of 4-NP to 4-AP was assessed in our previous studies [23]. In this work, the catalytic performance of $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{G2}/\text{WO}_3$

magnetic nanocomposites was assessed for the reduction of 4-NP to 4-AP in the presence of NaBH_4 . In the catalytic reaction, 10 mg of $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{G2}/\text{WO}_3$ magnetic nanocomposites were used as a catalyser for the reduction of 0.1 mM 4-NP where 0.2 mM NaBH_4 was used as support material. The catalytic reaction was tracked using UV-vis spectrometry. UV-vis spectroscopy consecutively scans the solution. The schematic illustrating the experimental procedure was presented in Figure 5. For the initial scan. A peak related to the 4-NP was seen in the absorbance spectra at around 400 nm. The peak is a 4-NP related peak, and the peak strength is related to the concentration of 4-NP. After the presence of NaBH_4 , a sudden peak appears around 310 nm. The peak at 310 nm is a 4-AP related peak indicating the existence of 4-AP. However, in the measurement where no catalyser was added to the solution the intensity of the peak at 400 nm did not change. The case indicates that the peak at 400 nm is definitely related to the 4-NP. In addition, the strong peak at 325 nm illustrates that 4-NP is directly reduced to 4-AP without any side reaction. Figure 5 illustrates the reaction mechanism and the measurement process.

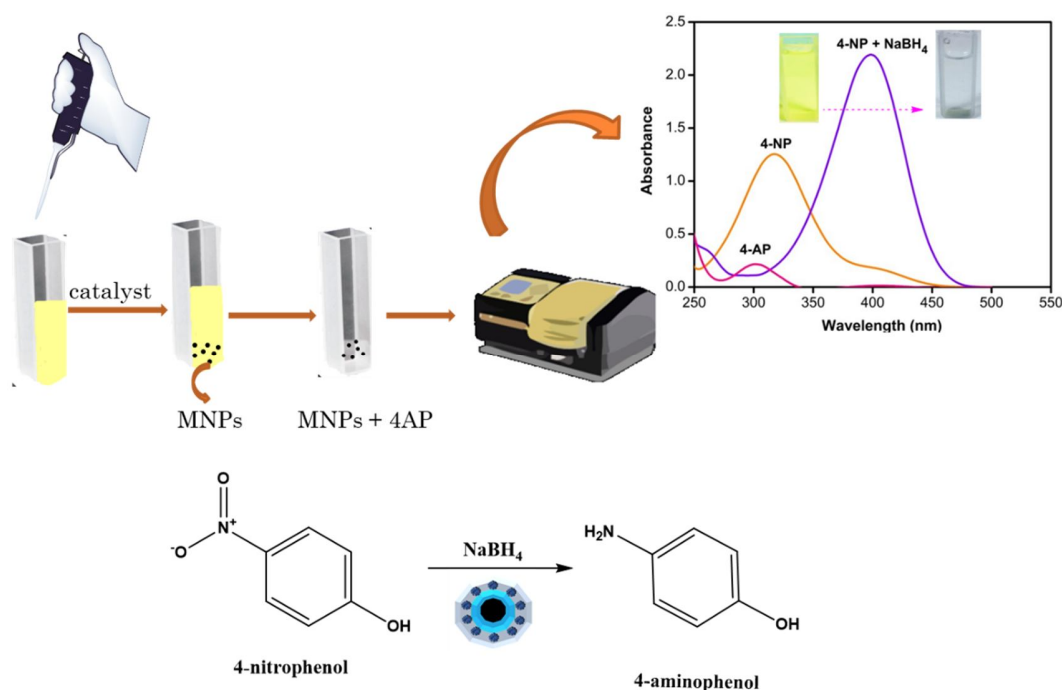


Figure 5. Experimental process and reduction of 4-NP to 4-AP was illustrated in the figure.

UV-vis spectrum related to the reduction process for $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{G2}/\text{WO}_3$ magnetic nanocomposites were illustrated in Figure 6. 1h later of addition of $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{G2}/\text{WO}_3$ nanocomposites 89% of the

reduction process was completed. In the catalysis reaction, NaBH₄ concentration was found to be much higher than 4-NP; therefore, NaBH₄ concentration was assumed to be stable during the reaction. Hence, the catalysis reaction should be accepted as a first order pseudo reaction which depends on the concentration of 4-NP. Catalysis reaction was accepted as a first order reaction since $\ln(A_t/A_0)$ is a time dependent reaction. Thus, Eq.1, Eq.2 and Eq.3 were used to assess the reaction rate coefficient “k”.

$$\vartheta = dC/dt = -k * C^n \quad (\text{Eq.1})$$

n = 1 assuming;

$$\int_{C_0}^{C_t} dC/C = -k \int_0^t dt \quad (\text{Eq.2})$$

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = \ln\left(\frac{A_t}{A_0}\right) = -k * t \quad (\text{Eq.3})$$

where ϑ reaction speed, n reaction order, C_t time dependent concentration, C₀ initial reaction, k reaction rate coefficient, t time, A_t time related absorbance value, A₀ is the absorbance value when t= 0.

Figure 6b illustrates a time related $\ln(A_t/A_0)$ plot where the reaction rate coefficient was able to be calculated. The reaction rate of our nanoparticles and similar results in the literature was presented in Table 1. For Fe₃O₄@G2/WO₃ nanoparticles, the reaction rate k_{app} was defined as $4 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$. It was seen that the reaction rate obtained by the Fe₃O₄@G2/WO₃ nanoparticles for the reduction of 4-NP to 4-AP is much better than the results previously reported in the literature. It was found that our nanoparticles exhibit outstanding catalytic performance with magnetic properties that magnetic nanoparticles could easily be collected from the solution via magnets.

Table 2. Comparison of the results of this work with other reported methods in the reduction of 4-NP to 4-AP.

Catalyst	The amount of catalyst	4-NP	NaBH ₄	k_{app}	Ref.
Fe ₃ O ₄ @PS@PAMAM-Ag	10 mg	0.015 g/L	4 g/L	0.131 min ⁻¹	[25]
Ag-DENs	5 μM	600 μM	0.1 M	2.51x10 ⁻² s ⁻¹	[26]
Fe ₃ O ₄ @CS-Starch/Pd	0.01 mol%	2.5 mM	0.25 mM	0.58 min ⁻¹	[27]
Fe ₃ O ₄ @G2/WO ₃	10 mg	0.1 mM	0.2 M	4x10 ⁻⁴ s ⁻¹	TW

TW: This work

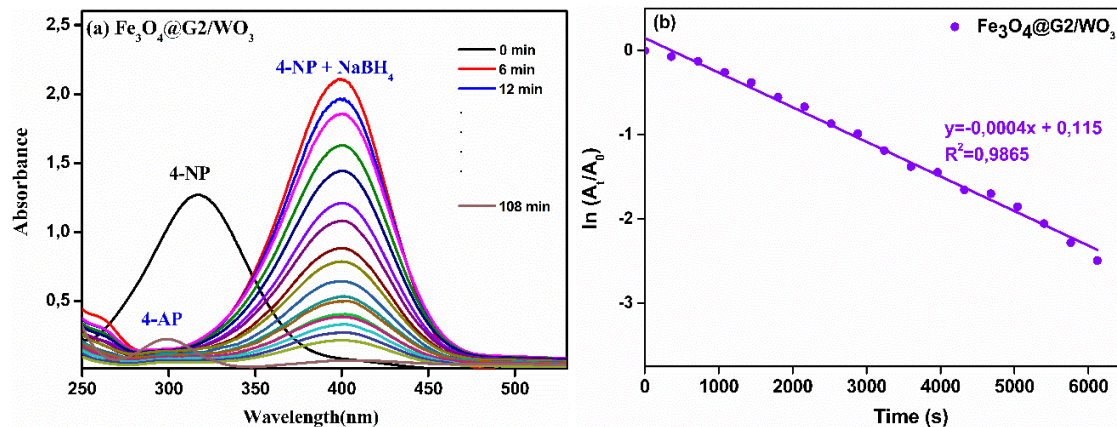


Figure 6. UV-vis spectra obtained in the 4-NP reduction in the presence of Fe₃O₄@G2/WO₃ (a) nanostructures and plot of the $\ln(A_t/A_0)$ against the reaction time (b)

4. CONCLUSION

In this work, we managed to produce Fe₃O₄@G2/WO₃ nanocomposites. Nanocomposites consisting of iron oxide magnetic superparamagnetic core which was covered with organic PAMAM shell and decorated with WO₃ nanoparticles. Structural characteristics of the nanocomposites were confirmed where the dendritic structure was achieved with magnetic characteristics. VSM results illustrate that the magnetic core has 63.7 emu/gr magnetic saturation rate whereas Fe₃O₄@G2/WO₃ has 22.9 emu/gr magnetic saturation rate. It was seen that covering the magnetic core with organic molecules and decorating it with WO₃ decreased the overall saturation rate. We compared our results with the results reported in the literature. Our results show that our nanocomposites have still relatively high magnetic saturation rates. Magnetic saturation rates of our nanoparticles were found to be higher than similar magnetic nanoparticles previously reported in the literature. The catalytic performance of the nanoparticles was assessed for the reduction of 4-NP to 4-AP. It was concluded that nanocomposites exhibit good catalytic performance. In our work, we compared the reaction rate coefficient of the nanocomposites with the reported works. We found our nanoparticles exhibit better performance than similar nanoparticles and nanocomposites which were reported in the literature. It was concluded that our nanocomposites are multifunctional materials, and they illustrated astonishing catalytic performance with outstanding magnetic characteristics.



5. ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by Kirkklareli University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project number: KLÜBAP 236 and KLÜBAP 229.

REFERENCES

- [1] M. M. Koç and G. E. Ragkousis, AFM induced diffusion of large scale mobile HOPG defects, *Appl. Nanosci.*, vol. 9, no. 7, 2019.
- [2] D. Vikraman and H. J. Park, Shape-selective synthesis of NiO nanostructures for hydrazine oxidation as a nonenzymatic amperometric sensor, *RSC Adv.*, vol. 6, no. 89, pp. 86101–86107, Sep. 2016.
- [3] S. A. Kulkarni, P. S. Sawadh, P. K. Palei, and K. K. Kokate, Effect of synthesis route on the structural, optical and magnetic properties of Fe₃O₄ nanoparticles, *Ceram. Int.*, vol. 40, no. 1 PART B, pp. 1945–1949, Jan. 2014.
- [4] C. Binns et al., Preparation of hydrosol suspensions of elemental and core-shell nanoparticles by co-deposition with water vapour from the gas-phase in ultra-high vacuum conditions, *J. Nanoparticle Res.*, vol. 14, no. 9, p. 1136, Aug. 2012.
- [5] E. Roduner, Size matters: Why nanomaterials are different, *Chem. Soc. Rev.*, vol. 35, no. 7, pp. 583–592, Jun. 2006.
- [6] N. Aslan, B. Ceylan, M. M. Koç, and F. Findik, Metallic nanoparticles as X-Ray computed tomography (CT) contrast agents: A review, *J. Mol. Struct.*, vol. 1219, p. 128599, Nov. 2020.
- [7] S. Aktas, S. C. Thornton, C. Binns, and P. Denby, Gas phase synthesis of core-shell Fe@FeO x magnetic nanoparticles into fluids, *J. Nanoparticle Res.*, vol. 118, p. 365, 2016.
- [8] J. Safaei-Ghomi and F. Eshteghal, Nano-Fe₃O₄/PEG/succinic anhydride: A novel and efficient catalyst for the synthesis of benzoxanthenes under ultrasonic irradiation, *Ultrason. Sonochem.*, vol. 38, pp. 488–495, Sep. 2017.
- [9] S. R. Krishnakumar et al., Magnetic linear dichroism studies of in situ grown NiO thin films, *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 310, no. 1, pp. 8–12, Mar. 2007.
- [10] Y. Zhang, Y. Chen, T. Wang, J. Zhou, and Y. Zhao, Synthesis and magnetic properties of nanoporous Co₃O₄ nanoflowers, *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 114, no. 1–3, pp. 257–261, Sep. 2008.
- [11] N. Kurnaz Yetim, F. Kurşun Baysak, M. M. Koç, and D. Nartop, Characterization of magnetic Fe₃O₄@SiO₂ nanoparticles with fluorescent properties for potential multipurpose imaging and theranostic applications, *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 31, no. 20, pp. 18278–18288, 2020.




- [12] M. M. Koç, N. Aslan, A. P. Kao, and A. H. Barber, Evaluation of X-ray tomography contrast agents: A review of production, protocols, and biological applications, *Microsc. Res. Tech.*, vol. 82, no. 6, 2019.
- [13] J. Luan and A. Plaisier, Study on treatment of wastewater containing nitrophenol compounds by liquid membrane process, *J. Memb. Sci.*, vol. 229, no. 1–2, pp. 235–239, Feb. 2004.
- [14] Z. D. Pozun et al., A systematic investigation of p -nitrophenol reduction by bimetallic dendrimer encapsulated nanoparticles, *J. Phys. Chem. C*, vol. 117, no. 15, pp. 7598–7604, Apr. 2013.
- [15] N. Kurnaz Yetim, N. Aslan, and M. M. Koç, Structural and catalytic properties of Fe₃O₄ doped Bi₂S₃ novel magnetic nanocomposites: P-Nitrophenol case, *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 8, no. 5, p. 104258, 2020.
- [16] A. Serrà, R. Artal, M. Pozo, J. Garcia-Amorós, and E. Gómez, Simple Environmentally-Friendly Reduction of 4-Nitrophenol, *Catal. 2020*, Vol. 10, Page 458, vol. 10, no. 4, p. 458, Apr. 2020.
- [17] N. Kurnaz Yetim and E. Hasanoğlu Özkan, Synthesis of Au-doped magnetic nanocomposites: structural, magnetic, and catalytic properties, *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 32, no. 20, pp. 24766–24774, Oct. 2021.
- [18] C. Pan et al., “Facile fabrication of steam-exploded poplar loaded with non-metal-doped Ni-Fe nanoparticles: Catalytic activities in 4-nitrophenol reduction and electrocatalytic reaction,” *Arab. J. Chem.*, vol. 15, no. 7, p. 103944, Jul. 2022.
- [19] K. Saravanakumar, V. S. Priya, V. Balakumar, S. L. Prabavathi, and V. Muthuraj, Noble metal nanoparticles (Mx = Ag, Au, Pd) decorated graphitic carbon nitride nanosheets for ultrafast catalytic reduction of anthropogenic pollutant, 4-nitrophenol, *Environ. Res.*, vol. 212, p. 113185, Sep. 2022.
- [20] X. Liu et al., Microwave-assisted synthesis of 2D Zr-MOF nanosheets supported gold nanocomposites as efficient catalysts for the reduction of 4-nitrophenol, *J. Alloys Compd.*, vol. 922, p. 165939, Nov. 2022.
- [21] N. Sahiner, A. Kaynak, and S. Butun, Soft hydrogels for dual use: Template for metal nanoparticle synthesis and a reactor in the reduction of nitrophenols, *J. Non. Cryst. Solids*, vol. 358, no. 4, pp. 758–764, Feb. 2012.
- [22] G. Kibar and D. Ş. Ö. Dinç, In-situ growth of Ag on mussel-inspired polydopamine@poly(M-POSS) hybrid nanoparticles and their catalytic activity, *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 7, no. 5, p. 103435, Oct. 2019.
- [23] N. Kurnaz Yetim, M. M. Koç, and D. Nartop, Magnetic dendrimer-encapsulated metal nanoparticles (Au, Ag): effect of dendrimerization on catalytic reduction of 4-nitrophenol, *J. Iran. Chem. Soc.*, vol. 19, no. 6, pp. 2569–2580, Jun. 2022.



- [24] N. Kurnaz Yetim, F. Kurşun Baysak, M. M. Koç, and D. Nartop, Synthesis and characterization of Au and Bi₂O₃ decorated Fe₃O₄@PAMAM dendrimer nanocomposites for medical applications, *J. Nanostructure Chem.*, vol. 11, pp. 589–599, Feb. 2021.
- [25] G. Dang, Y. Shi, Z. Fu, W. Yang, Fe₃O₄@PS@PAMAM-Ag Magnetic Nanocatalysts and Their Recoverable Catalytic Ability, *Chin. J. Catal.*, vol. 33, pp. 651–658, April. 2012.
- [26] M. Nemanashi, R. Meijboom, Synthesis and characterization of Cu, Ag and Au dendrimer-encapsulated nanoparticles and their application in the reduction of 4-nitrophenol to 4-aminophenol, *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 389, pp. 260–267, Jan. 2013.
- [27] H. Veisi, Z. Joshani, B. Karmakar, T. Tamoradi, M. M. Heravi, and J. Gholami, Ultrasound assisted synthesis of Pd NPs decorated chitosan-starch functionalized Fe₃O₄ nanocomposite catalyst towards Suzuki-Miyaura coupling and reduction of 4-nitrophenol, *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 172, pp. 104–113, Mar. 2021.



SLOPE DEFLECTION TRANSFER MATRIX METHOD FOR CONTINUOUS BEAMS

Duygu ÖZTÜRK^{*1} , Kanat Burak BOZDOĞAN² 

¹ Ege University, Engineering Faculty, Civil Engineerin Department, İzmir.

² Çanakkale Onsekiz Mart University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Çanakkale

Abstract

The Slope Deflection Method is one of the displacement-based methods developed for structural analysis. In this study, an approach is proposed for the static analysis of continuous beams. The basis of this approach includes the Ricatti Transform, which was used in the literature to get the Transfer Matrix Method by using the Finite Element Method. In this study, Ricatti Transform was applied to the Slope Deflection Method for continuous beams. In the study, firstly, the application of Ricatti Transform to the Slope Deflection Method was shown theoretically, and then two numerical examples were solved to show the application and suitability of the presented approach. With the presented method, the number of system unknowns that are the basis for the solution is reduced, thus saving the analysis time.

Key Words: Slope deflection-transfer matrix method, continuous beam, static analysis.

Öz

Açı yöntemi, yapı analiz için geliştirilmiş deplasman esaslı yöntemlerden birisidir. Bu çalışmada sürekli kirişlerin statik analizi için bir yaklaşım önerilmiştir. Yaklaşımın esası literatürde Sonlu Elemanlar Yönteminden yararlanarak Taşıma Matrisi Yöntemine geçmek için kullanılan ricatti dönüşümünü içermektedir. Bu çalışmada Ricatti dönüşümü sürekli kirişler için Açı Yöntemine uygulanmıştır. Çalışmada önce Ricatti dönüşümünün Açı Yöntemine uygulaması teorik olarak gösterilmiş, sonrasında sunulan yaklaşımın uygulanmasını ve uygunluğunu göstermek üzere iki sayısal örnek çözülmüştür. Sunulan yaklaşım ile çözüme esas sistem bilinmeyenlerinin sayısı azalmakta böylece analiz süresinden tasarruf edilmektedir.

Anahtar Kelime: Açı–taşıma matrisi yöntemi, sürekli kiriş, statik analiz.

Sorumlu Yazar: Duygu ÖZTÜRK, duygu.ozturk@ege.edu.tr



1. INTRODUCTION

The Slope Deflection Method is one of the classical methods used in structural analysis. The method is widely used, especially in civil engineering education, in Structural Analysis courses to better understand the behavior of beams and frames.

Early 20th century, the Slope Deflection Method was introduced by Maney and it was considered to be precursor of the Matrix Stiffness Method [1]. In the method, only the bending deformations are taken into account.

A number of studies have been carried out using this method in the literature. Chi and Lin [2] applied the Slope Deflection Method to the elasto plastic analysis of multistory frames. Ermopoulos [3] used the method for the analysis of variable cross-section beams subjected to stepped loads. Deretić –Stojanovic [4] explained the use of the Slope Deflection Method in composite beams. Backer et al. [5] used the Slope Deflection Method for the analysis of orthotropic plated bridge decks. Deretić –Stojanovic and Kostić [6] adapted the method to the time dependent analysis of composite and prestressed beams. Mirfallah and Bozorgnasab [7] proposed a new Jacobi-based Iterative Method for the solution with the Slope Deflection Method. Husain [8] suggested changes in the equations for more practical use of the Slope Deflection Method. Gholhaki and Sabet [9] applied the Slope Deflection Method for the analysis of steel plate shear wall with Thin Plates. Kotrasova et al. [10] presented their experience by addressing the computer-assisted teaching of the Slope Deflection Method. Husain and Hasan [11] introduced the Slope Deflection Method and applied it to various problems.

On the other hand, the transfer matrix method is an effective method used in the solution of various mechanical problems, and it stands out especially in terms of saving matrix dimensions and thus saving time [12], [13], [14], [15], [16].

In this article, the Ricatti transform, which is known from the literature, was applied to the Slope Deflection Method to obtain Ricatti Transfer Matrix for the static calculation of continuous beams.

In the study assumptions have been made:

- a) The material obey the hooke's law,
- b) The displacements are small enough so that geometric nonlinear effects can be neglected.

2. Material and Method

2.1. SLOPE DEFLECTION -TRANSFER MATRIX METHOD

The Slope Deflection Method, which is one of the classical methods used in structural analysis, has been taken part in the literature [17] [18] [19] [20].

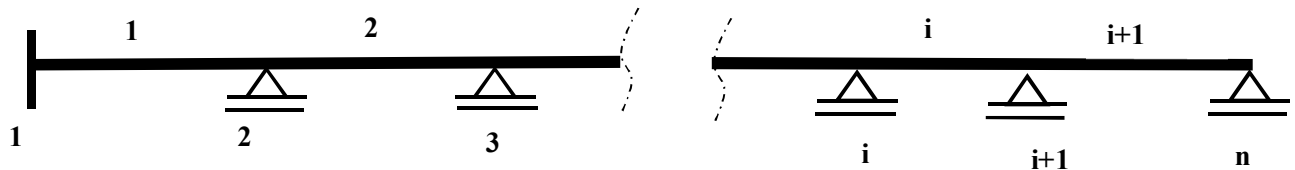


Figure 1. Continuous Beam

The basic equation of the Slope Deflection Method for the i^{th} element of a continuous beam shown in Figure 1, is written as follows

$$\begin{bmatrix} \frac{4EI_i}{L_i} & \frac{2EI_i}{L_i} \\ \frac{2EI_i}{L_i} & \frac{4EI_i}{L_i} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_{i,i} \\ \theta_{i,i+1} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} FM_{i,i} \\ FM_{i,i+1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -Q_{i,i} \\ Q_{i,i+1} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

In this equation, E is the modulus of elasticity, I is the moment of inertia, L is the length, θ is the angle of rotation. The above equation can be written as:

$$\begin{bmatrix} 2k_i & k_i \\ k_i & 2k_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_{i,i-1} \\ \theta_{i,i+1} \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} FM_{i,i-1} \\ FM_{i,i+1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -Q_{i,i-1} \\ Q_{i,i+1} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

where k_j is defined by Equation (3).

$$k_i = \frac{2EI_i}{L_i} \quad (3)$$

The matrix Equation (2) can be written clearly as in the Equation (4) and Equation (5)

$$2k_i\theta_{i,i} + k_i\theta_{i,i+1} + FM_{i,i} = -Q_{i,i} \quad (4)$$

$$k_i\theta_{i,i} + 2k_i\theta_{i,i+1} + FM_{i,i+1} = Q_{i,i+1} \quad (5)$$

The Riccati transform, known from the literature [21], [22], [23], [24], [25], can be applied for Q moments as in the Equation (6) and Equation (7) below.

$$Q_{i,i} = T_{i-1}\theta_{i,i} + R_{i-1} \quad (6)$$

$$Q_{i,i+1} = T_i\theta_{i,i+1} + R_i \quad (7)$$

If the transformations in Equation (6) and Equation (7) are applied to Equation (4) and Equation (5), Equation (8) and Equation (9) are obtained.

$$2k_i\theta_{i,i} + k_i\theta_{i,i+1} + FM_{i,i} = -T_{i-1}\theta_{i,i} - R_{i-1} \quad (8)$$

$$k_i\theta_{i,i} + 2k_i\theta_{i,i+1} + FM_{i,i+1} = T_i\theta_{i,i+1} + R_i \quad (9)$$

If $\theta_{i,i+1}$ taken from the Equation (8), Equation (10) can be written as below

$$\frac{k_i}{[-T_{i-1} + 2k_i]}\theta_{i,i+1} + \frac{FM_{i,i} + R_{i-1}}{[-T_{i-1} + 2k_i]} = \theta_{i,i} \quad (10)$$

If the Equation (10) is written in Equation (9), Equation (11) is obtained.

$$\frac{3k_i^2 + T_{i-1}k_i}{[-T_{i-1} + 2k_i]}\theta_{i,i+1} + \frac{k_i[FM_{i,i} + R_{i-1}]}{[-T_{i-1} + 2k_i]} + FM_{i,i+1} = T_i\theta_{i,i+1} + R_i \quad (11)$$

Equation (12) and Equation (13) are obtained from Equation (11)

$$T_i = \frac{3k_i^2 + T_{i-1}k_i}{[-T_{i-1} + 2k_i]} \quad (12)$$

$$R_i = \frac{k_i[FM_{i,i} + R_{i-1}]}{[-T_{i-1} + 2k_i]} + FM_{i,i+1} \quad (13)$$

Equation (12) and Equation (13) are the main expressions of the Slope Deflection Transfer Matrix Method.

Before the method can be applied sequentially, T_1 and R_1 must be known.

T_1 and R_1 are computed using the initial support conditions in the continuous beam. In case of fixed support, these expressions are computed as follows

$$T_1 = 2k_1 \quad (14)$$

$$R_1 = FM_{1,2} \quad (15)$$

In case of pinned support, these expressions are computed as follows

$$T_1 = \frac{3k_1}{2} \quad (16)$$

$$R_1 = FM_{1,2} - \frac{FM_{1,1}}{2} \quad (17)$$

As a result of sequential operations, the following relation is written for the last element.

$$Q_{n,n+1} = T_n \theta_{n,n+1} + R_n \quad (18)$$

If the last support of the continuous beam is fixed, $\theta_{n,n+1}$ is equal to zero and the moment is calculated by Equation (19).

$$Q_{n,n+1} = R_n \quad (19)$$

If the last support of the continuous beam is hinged, the moment at the end is equal to zero and for $\theta_{n,n+1}$ Equation (20) is written.

$$\theta_{n,n+1} = -\frac{R_n}{T_n} \quad (20)$$

After the first and last unknowns (rotation and bending moment) are found, the other unknowns are obtained sequentially with Equation (21) and Equation (22).

$$\theta(i) = -\frac{2k(i)\theta(i+1) + FM_R(i) + M(i+1)}{k(i)} \quad (21)$$

$$M(i) = 2k(i)\theta(i) + k(i)\theta(i+1) + FM_L(i) \quad (22)$$

3. Numerical Example

In this section, two examples were solved to show the suitability of the Slope Deflection Transfer Matrix Method presented in the study, and the results were compared with the Finite Element Method.

Example 1

Continuous beam with two span shown in Figure 2, was analyzed using Slope Deflection Transfer Matrix Method and the bending moment and rotations at the nodes were calculated. They were compared in Table 1 and Table 2.

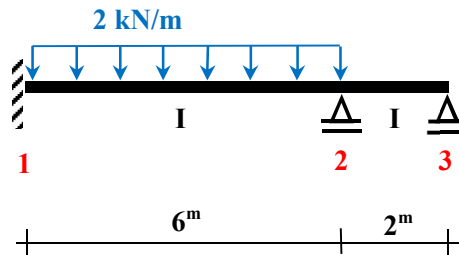


Figure 2. Example Beam

Table 1 shows the flexural moments for the joints.

Table 1. Comparison of Flexural Moment of Example 1 (kNm)

	1	2	3
SDTM	-6.9231	-4.1538	0
FE	-6.9231	-4.1538	0

Table 2 shows the rotations for the joints.

Table 2. Comparison of Rotation of Example 1 (radian)

	1	2	3
SDTM	0	$-2.76923/EI$	$1.38462/EI$
FE	0	$-2.76927/EI$	$1.38456/EI$

As can be seen in Table 1 and Table 2, it has been observed that the Slope Deflection Transfer Matrix Method gives results compatible with the Finite Element Method.

Example 2

For this example, the continuous beam with five span shown in Figure 3, was analyzed using Slope Deflection Transfer Matrix Method . The bending moment and rotations of the joints were calculated and compared in Table 1 and Table 2.

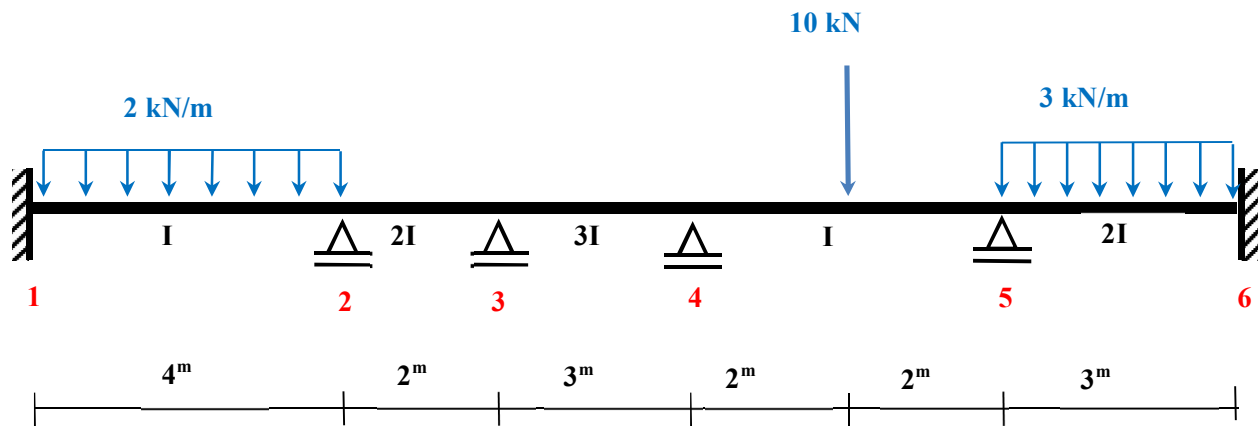


Figure 3. Example Beam

Table 3 shows the flexural moments for the joints.

Table 3. Comparison of Flexural Moment of Example 2(kNm)

	1	2	3	4	5	6
STM	-2.9022	-2.2056	1.6248	-4.2938	-4.672	-1.039
SAP2000	-2.8985	-2.203	1.6241	-4.2936	-4.672	-1.039

Table 4 shows the rotations for the joints.

Table 4. Comparison of Rotation of Example 2 (radian)

	1	2	3	4	5	6
STM	0	-0.46439/EI	-0.17401/EI	1.16045/EI	-0.90841/EI	0
SAP2000	0	-0.46365/EI	-0.17422/EI	1.16052/EI	-0.90826/EI	0

The rotations and bending moment values were compared in Table 3 and Table 4 and found to be compatible.

While in the classical Slope Deflection Method, a set of equations with four unknowns is required for the calculations in the example, the result can be obtained by solving an equation with a single unknown for the Slope Deflection-Transfer Matrix Method presented in this study. This shows the advantage of the presented approach.



4. CONCLUSION

In this study, an approach was proposed for the static analysis of continuous beams. For this purpose, the Ricatti transform known from the literature was used. In the study, the Ricatti Transfer Matrix was obtained by applying the Ricatti transform in the slope deflection equations written for the continuous beam. At the end of the study, as solved examples showed the suitability of the approach, it was observed that the presented approach gives correct results.

In the presented approach, due to the feature of the Ricatti Transfer Matrix, the set of equations, which are the basis for the solution, is reduced to a single unknown. After the unknowns at the last point are found, the unknowns at other points are easily obtained as a result of sequential operations. In the study, shear deformations have been neglected, but these effects can also be taken into account in the method.

REFERENCES

- [1] Aslam Kassimali, Structural Analysis, Cengage Learning, 2011
- [2] Chi, K.S., Lin, T.H., Slope-Deflection Method for Elastic-Plastic Multistory Frames, International Journal of Solids and Structures, 13 (2), pp. 125-135, 1977
- [3] Ermopoulos, J., C., Slope-Deflection Method and Bending of Tapered Bars under Stepped Loads, J. Construct. Steel Research, 11, 121-141, 1988
- [4] Deretic-Stojanovic, B, 6th ASCCS International Conference on Steel-Concrete Composite Structures, Los Angeles, Mar 2002
- [5] De Backer, H., Outtier, A., Van Bogaert, P., Analytical Calculation of Internal Forces in Orthotropic Plated Bridge Decks Based on the Slope-Deflection Method, Journal of Constructional Steel Research, 64 (12), pp. 1530-1539, 2008
- [6] Deretić-Stojanović, B., Kostić, S.M. Time-Dependent Analysis of Composite and Prestressed Beams Using the Slope Deflection Method, Arch Appl Mech 85, 257–272, 2015.
- [7] Mirfallah S., M., H. and Bozorgnasab M., A New Jacobi-based Iterative Method for the Classical Analysis of Structures, Latin American Journal of Solids and Structures 12, 2581-2617, 2015
- [8] Husain M., A., New Modification for Slope – Deflection Equation in Structural Analysis, International Journal of Engineering and Technical Research, Volume-3, Issue-7, p. 2454-4698, July 2015



- [9] Gholhaki, M., Sabet, Z.E. Interactional Analysis of Steel Plate Shear Wall with Thin Plate Using Modified Slope Deflection Method, KSCE J Civ Eng 20, 1852–1862, 2016.
- [10] Kotrasova, K., Kormanikova, E., Loukili, M., Using Software Applications in Teaching of Slope-Deflection Method in Subject Static Analysis of Constructions. International Journal Education and Information Technologies, Volume 15, p. 263-273, 2021
- [11] Muhammed Abbas Husain M., A. and Hasan, Z., H., Reduced Equations of Slope-Deflection Method in Structural Analysis, Int. J. of Applied Mechanics and Engineering, vol.26, No.4, p.51-62, 2021
- [12] Pestel, E.C., Leckie, F. A. Matrix Methods in Elastomechanics. New York: McGraw-Hill,1963.
- [13] Inan, M., The Method of Initial Values and the Carry-over Matrix in Elastomechanics, Middle East Technical University,1968.
- [14] Rui, X., Wang, G., Lu, Y., Transfer Matrix Method for Linear Multibody System. Multibody Syst. Dyn. 19, No.3,179-207, 2008
- [15] Feyzollahzadeh M, Bamdad M, A Modified Transfer Matrix Method to Reduce the Calculation Time: A Case Study on Beam Vibration, Applied Mathematics and Computation, 378, 2021
- [16] Feyzollahzadeh M, Bamdad M. An Efficient Technique in Transfer Matrix Method for Beam-Like Structures Vibration Analysis. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science.;236(14):7641-7656., 2022
- [17] Çakıroğlu, A.and Çetmeli E., Yapı Statiği 2, Beta Basım Yayım, 2000
- [18] Ekiz, İ., Yapı Statiği 2, SeçYayın Dağıtım, 2005
- [19] Darılmaz, K., Girgin, K., Aksoylu, M., G., Yapı Statiği - Hiperstatik sistemler Konu Anlatımı ve Çözümlü Problemler, Birsen Yayınevi, 2011
- [20] Karadoğan, F., Pala, S., Yüksel, E., Durgun, Y., Yapı Mühendisliğine Giriş Yapısal Çözümleme Cilt 3, 2016
- [21] Hoerner, G.C., The Riccati Transfer Matrix Method. Ph.D. Thesis, University of Virginia, Charlottesville, VA.,1975.
- [22] Choi, M.S., Free Vibration Analysis of Plate Structures Using Finite Element Transfer Stiffness Coefficient Method. J. Mech. Sci. Tech., 17, No. 6, 805-815, 2003
- [23] Rong, B., Rui, X.T., Wang, G.P. Modified Finite Element Transfer Matrix Method for Eigenvalue Problem of Flexible Structures. J. Appl. Mech., ASCE, 78, No.2, 2011



[24] Ozturk, D., Bozdogan, K., Nuhoglu, A. Modified Finite Element-Transfer Matrix Method for The Static Analysis of Structures. Struct. Eng. Mech., 43, No.6, 761-769, 2012

[25] Bozdogan, K.B., Maleki, K.F. An Application of the Modified Finite Element Transfer Matrix Method for a Heat Transfer Problem Kırklareli University Journal of Engineering and Science, 5, No. 1,15-28, 2019

BEHAVIOR OF RETAINING WALLS CONSTRUCTED IN THE SATURATED CLAY AND WATER-SATURATED SAND SOILS UNDER THE DYNAMIC LOADS

Onur YAVAN^{1*}, Tuğçe LEBLEBİCİ², Ahmet TUNCAN³

¹ Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Kırklareli, Turkey

² Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Eskisehir Technical University, Turkey

³ Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Eskisehir Technical University, Turkey

Abstract

Since the main purpose of building retaining walls is to hold up the slopes, the calculations are important during the design process. Although static loads that affect retaining walls are generally taken into consideration, dynamic effects should also be marked in our country located in the earthquake zone. Within the scope of this study, stability checks were performed by taking the effects to the retaining walls subjected to static and dynamic loads and wall designs were also made.

In this study, behavior of retaining walls constructed in saturated clay soil and water-saturated sand soil have been determined under static and dynamic loads. Analyses of static and dynamic behavior of gravity and cantilever walls have been done by Plaxis 2D software packet program. The heights of the walls are selected such as 5.0 m, 10.0 m and 15.0 m. Active earth pressures are calculated by using Rankine active earth pressure theory. Factor of safeties such as overturning, sliding and bearing capacity are selected as 2.0, 1.5 and 3.0, respectively. Three different earthquake loads such as Van, Turkey, Petrolia-California, USA and Volcano-Hawaii, USA are chosen to determine the dynamic behavior of walls. Records of earthquake loads were taken from “United States Geological Survey” (USGS) official web site. Format of earthquake records is “strong motion CD” (.smc) due to Plaxis 2D software packet program.

The results of analyses done in the saturated clay showed that 5.0 m and 10.0 m heights of retaining walls can be safely constructed in the earthquake zones having the magnitude up to 7.0. 15.0 m height of retaining walls cannot be safely constructed due to the insufficient wall dimensions. The results of analyses done in the water-saturated sand soil showed that 5.0 m height of retaining walls can be safely constructed in the earthquake zones having the magnitude up to 7.0. While the 10.0 m height of retaining walls can be safely constructed in the earthquake zones having magnitude of 6.0, it cannot be constructed in the earthquake zones having magnitude of 5.0 due to the earthquake acceleration. While the 15.0 m height of retaining walls can be safely constructed in the earthquake zones having magnitude of 6.0, it cannot be safely constructed in the earthquake zones having magnitude of 5.0 and 7.0.

Keywords: Retaining Wall, Clay Soil, Sand Soil, Dynamic Load, Static load, Plaxis 2D Program.

Sorumlu Yazar: Onur YAVAN, oyavan@klu.edu.tr

SUYA DOYGUN KİLLİ ve KUMLU ZEMİNLERDE İNŞA EDİLEN İSTİNAT DUVARLARININ STATİK VE DİNAMİK DAVRANIŞLARI

Öz

İstinat duvarların yapılış amacı genel olarak şevleri tutmak olduğu için tasarımda hesaplamalar önem taşımaktadır. Genellikle istinat duvarlarına etki eden statik yükler göz önünde bulundurulsa da deprem bölgesinde yer alan ülkemizde dinamik etkiler de dikkate alınmalıdır. Bu çalışma kapsamında istinat duvarların statik ve dinamik yükler altında maruz kalacağı etkiler dikkate alınarak stabilite kontrolleri yapılmış ve duvar tasarımları yapılmıştır.

Bu çalışmada; farklı tür ve boyutlardaki istinat duvarlarına etki edecek olan geri dolgu malzemesinin, doygun kil ve kötü derecelenmiş kum olması durumunda duvarların statik ve dinamik yükler altındaki deformasyonları incelenmiştir. Statik ve dinamik yük analizleri Plaxis 2D paket programı kullanılarak yapılmıştır. İstinat duvarları; ağırlıklı ve konsol olmak üzere 2 farklı türde ve yükseklikleri 5.0m, 10.0m ve 15.0m olmak üzere 3 farklı yükseklikte tasarlanmıştır. Duvarlara etki edecek olan aktif basınç değeri Rankine aktif basınç teorisi ile bulunmuştur. İstinat duvarlarının devrilmeye karşı, kaymaya karşı ve taşımaya karşı güvenlik sayıları sırasıyla 2.0, 1.5 ve 3.0 olarak alınmıştır. Statik yükler altında dengede olan istinat duvarların dinamik yükler altında nasıl davrandığını anlamak için 3 farklı büyüklüğe sahip olan Van, Türkiye; Petrolia-California, ABD ve Volcano-Hawaii, ABD depremleri kullanılmıştır. Deprem kayıtları “United States Geological Survey” (USGS) sitesinden alınmıştır. Bu kayıtlar Plaxis 2D paket programında kullanılması için “strong motion CD” (.smc) uzantısına sahiptirler.

Doygun killerde yapılan analiz sonuçları, büyüklüğü 7.0'a kadar olan deprem bölgelerinde 5.0m ve 10.0m yüksekliğinde istinat duvarlarının güvenle yapılabileceğini ama 15.0m yüksekliğindeki istinat duvarları yetersiz duvar boyutları nedeniyle güvenli bir şekilde yapılamayacağını göstermiştir. Suyu doygun kum zeminde yapılan analiz sonuçları ise, büyüklüğü 7.0'a kadar olan deprem bölgelerinde 5.0m yüksekliğinde istinat duvarlarının güvenle yapılabileceğini göstermiştir. 6.0 büyüklüğündeki deprem bölgelerinde, 10.0m yüksekliğindeki istinat duvarları güvenle yapılabilirken, 5.0 büyüklüğündeki deprem bölgelerinde deprem ivmesinden dolayı yapılamamaktadır. 15.0m yüksekliğindeki istinat duvarları 6.0 büyüklüğündeki deprem bölgelerinde güvenle yapılabilirken, 5.0 ve 7.0 büyüklüğündeki deprem bölgelerinde güvenli bir şekilde yapılamamaktadır.

Anahtar Kelimeler: İstinat Duvarı, Killi Zemin, Kumlu Zemin, Dinamik Yük, Statik Yük, Plaxis 2D Program.

1. INTRODUCTION

Retaining walls are constructed to resist lateral earth pressures on sloped surfaces [1]. They are generally divided into two categories such as cantilever and gravity walls. Stability checks of retaining walls can be generally done according to overturning, sliding and bearing capacity. There are many theories to calculate the active earth pressure which acts to the retaining wall. These theories can change according to weight of wall, friction between the soil and the wall surface and the unit weight of soil. Rankine earth pressure theory does not consider the friction between the soil and wall surface. Therefore, it is simple than Coulomb theory and widely used. Active pressure can also be calculated by using graphical method of Cullmann theory as well [2].

Earthquake load can cause displacements and stability failures on the wall in the earthquake zones. Therefore, theories are developed to find excessive earth pressures under the earthquake forces. Especially, Mononobe-Okabe equations are mostly preferred. In this theory, earthquake acceleration is used to find excessive earthquake loads which act to the wall [1].

Many researchers studied static and dynamic behavior of retaining walls in the literature. These studies considered the soil slope and the soil type behind the wall. Studies showed that wall displacements decrease with increasing wall rigidity. Besides, foundation soil properties of retaining wall are also important for the overturning and sliding of the wall [3, 4, 5, 6]. When the periods and amplitudes of soil and dynamic loads coincide, wall can displace so much [3, 7]. The behavior of sheet pile, concrete slurry wall or rigid reinforced concrete wall is different under the dynamic loads [7]. Cavalera and Lipani [8] investigated the behavior of geosynthetics under the dynamic loads.

Using finite element method in the analysis has an advantage of time and calculation [9]. Gursoy and Durmus [10] investigated linear and non-linear behavior of reinforced concrete cantilever retaining walls under dynamic loads. Li et al. [11] modelled lateral soil pressure acting to the wall. Cakır [12] investigated the interaction between the soil and wall under the dynamic loads. Harraz et al. [13] investigated the behavior of cantilever retaining wall under the dynamic loads. They used FLEX program and developed numerical model by using 2D finite element program to analyze the behavior of gravity wall constructed in dry sand [14]. Other numerical methods are developed by using FLAC [15]. Gazetas et al. [16] developed numerical model by using ABAQUS for the

plane-unit deformation case.

Deformation controlled analysis mainly consider earthquake acceleration and deformation amount of structure after the earthquake. Newmark [17] and Kramer [7] showed that deformation controlled analyses is suitable for the displacements of the retaining walls under the seismic conditions. The deformation of earth fill dams under the earthquake loads is developed by sliding the soil block on the plane. Richards and Elms [18] suggested Newmark model based on modified new model considering originally seismic slope stability to design gravity wall.

Some researchers gave limit deformation values for retaining walls under the earthquake loads [19]. Limit deformation values in the horizontal direction are $300.a_{max}$ (mm) and $250.a_{max}$ (mm) according to Eurocode [20] and AASHTO [21], respectively, where, a_{max} is the maximum earthquake acceleration. Wu and Prakash [22] gave the limit deformation value of $0.02H$ in the horizontal direction and this deformation reaches $0.1H$, failure occurs, where H is the wall height. DAS [1] gave the settlement amount of 5-7 cm for strip footings. JRA [23] suggested differential settlement of 10-20 cm for strip footings. Rafnsson and Prakash [24] analyzed combination of shear and vibration considering soil rigidity, geometrical and material damping under lateral soil movement and also developed new model. Wu [25] investigated gravity retaining wall changing the wall heights from 4 m to 10 m under the earthquake loads. He investigated the deformations of 8 m wall height and 4.6 m wall width retaining wall subjected to El-Centro earthquake. Sandzevicins et al. [26] studied retaining wall constructed on hydro-structures. They determined that the limit deformation of retaining wall is about one-fifth of the wall height.

In this study, the behavior of cantilever and gravity retaining walls constructed in the saturated clay soil and water-saturated sand soil under the earthquake loads is investigated. Dynamic behavior of walls is simulated by using Plaxis 2D Dynamic Modulus program.

2. MATERIAL and METHOD

2.1. Retaining Wall Design

In this study, Plaxis 2D Program is used to determine the displacements and stability checks. Plaxis 2D program is commercially available finite element program that is commonly used in geotechnical engineering applications in Turkey.

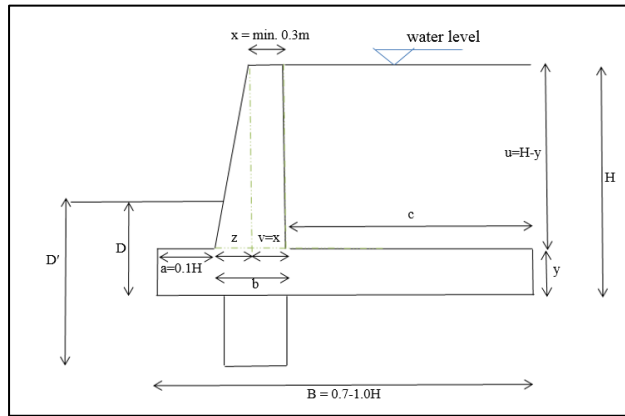


Figure 1. Design Parameters of the CRW

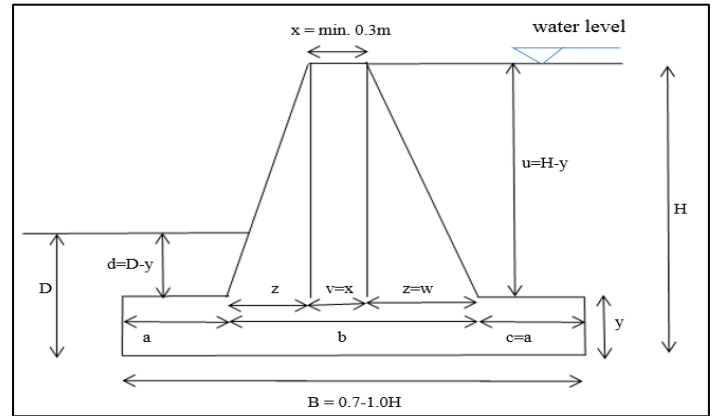


Figure 2. Design Parameters of the GRW

Design parameters of the walls are determined in the model. Factor of safeties are chosen minimum 2.0, 1.5 and 3.0 for overturning, sliding and bearing capacities, respectively. Rankine earth pressure theory is used for the earth pressure calculations. Mayerhoff theory is used for the bearing capacity calculations. The wall heights are chosen 5 m, 10 m and 15 m. Water level behind the wall is same as the wall height shown in figures 3 and 4. Design parameters of cantilever and gravity walls are given in Fig. 1 and Table 1 and Fig. 2 and Table 1, respectively [27, 28].

Table 1. Design Parameter Values of the Retaining Walls

	Cantilever Retaining Walls			Gravity Retaining Walls		
	Model-A	Model-B	Model-C	Model-A	Model-B	Model-C
Wall Height H (m)	5.0	10.0	15.0	5.0	10.0	15.0
Foundation Length B	4.0	9.5	12.5	5.0	10.0	15.0
Key Depth D' (m)	1.85	4.0	6.75	--	--	--
Frost Depth D (m)	0.75	1.5	2.5	1.4	3.5	5.5
x (m)	0.5	1.0	1.5	1.0	3.0	5.0
a (m)	0.5	1.0	1.5	0.4	0.5	0.5
b (m)	0.5	1.0	1.5	4.2	9.0	14.0
c (m)	3.0	7.5	9.5	0.4	0.5	0.5
d (m)	0.25	0.5	1.0	0.6	1.5	1.5
u (m)	4.5	9.0	13.5	4.2	8.0	11.0
v (m)	0.5	1.0	1.5	1.0	3.0	5.0
y (m)	0.5	1.0	1.5	0.8	2.0	4.0
z (m)	0.0	0.0	0.0	1.6	3.0	4.5
w (m)	--	--	--	1.6	3.0	4.5

Mononobe-Okabe theory can be used to calculate lateral earth pressures considering earthquake loads in the literature. However, these equations given below cannot be practical and rarely used. Some packet programmes are also widely used instead of these equations. Because these programmes are much more practicable and faster than the equations. Lateral earth pressures and factor of safeties for cantilever and gravity walls are given in Tables 2 and 3, respectively.

$$k_h = \frac{\text{horizontal component of earthquake acceleration}}{g} \tag{1}$$

$$k_v = \frac{\text{vertical component of earthquake acceleration}}{g} \tag{2}$$

$$\bar{\beta} = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1-k_v} \right) \tag{3}$$

$$K_a = K_a(\alpha', \theta') = \frac{\cos^2(\phi - \theta')}{\cos^2 \theta' \cos(\delta + \theta') \left\{ 1 + \left[\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha')}{\sin(\delta + \theta') \cos(\theta' - \alpha')} \right]^{1/2} \right\}^2} \tag{4}$$

$$P_{ae} = \left[\frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) \right] [K_a(\alpha', \theta')] \left[\frac{\cos^2 \theta'}{\cos \bar{\beta} \cos^2 \theta} \right] \tag{5}$$

Table 2. Lateral Earth Pressures and Factor of Safeties for Cantilever Retaining Wall

Natural Soil	Saturated Clay			Water-Saturated Sand		
	Model A	Model B	Model C	Model A	Model B	Model C
Cantilever Retaining Wall						
Active Earth Pressure, P_a (kN/m)	110.0	610.0	1535.0	149,75	500	1347,75
F.S.overturning	2.02	3.0	2.3	2,71	3,39	3,68
F.S.sliding	1.5	1.5	1.5	1,96	1,95	2,06
F.S.bearing capacity	8.3	9.3	8.2	3,12	3,01	3,36
Excessive Load due to the Earthquake Load, P_{ae} (kN/m)	111.0	442.0	993.0	111.0	442.0	993.0

Table 3. Lateral Earth Pressures and Factor of Safeties for Gravity Retaining Wall

Natural Soil	Saturated Clay			Water-Saturated Sand		
	Model A	Model B	Model C	Model A	Model B	Model C
Gravity Retaining Wall						
Active Earth Pressure, Pa (kN/m)	110.0	610.0	1535.0	149,75	500.0	1347,75
F.S.overturning	3.7	3.9	4.1	4.98	5.22	5.35
F.S.sliding	1.5	1.5	1.5	1.87	1.94	1.95
F.S.bearing capacity	3.7	3.2	3.0	5.84	4.77	4.34
Excessive Load due to the Earthquake Load, P _{ae} (kN/m)	111.0	442.0	993.0	111.0	442.0	993.0

Earthquake records of the City of Van, Turkey, Petrolia-California, USA and Volcano-Hawaii, USA are used for the dynamic analysis. Latest great earthquake is occurred in the city of Van in 2011 and its magnitude is $M_w=7.2$. Strong ground motion records are taken from “United States Geological Survey” (USGS) official web site. Properties of the earthquakes are given in Table 4.

Table 4. Properties of Earthquakes

Earthquake	Volcano-Hawaii, ABD	Petrolia-California, ABD	Van, Türkiye
Earthquake Magnitude (M_w)	4.90	5.87	7.20
Episantr Distance (km)	84.3	71.7	200.0
Date	08/2013	02/2010	10/2011
Place	Hawaii	California	Van

2.2. Properties of Materials Used in the Design

Concrete properties of retaining wall used in the Plaxis 2D packet program are given in Table. 5. Natural soil properties which act to the walls given in Table 6. Foundation soil under the retaining wall is chosen as a dense sand having internal friction angle of 30° , unit weight of 20 kN/m^3 and cohesion of 10 kN/m^2 .

Table 5. Parameters of Walls in the Models

Model	Material Type	Unit Weight (kN/m ³)	Elasticity Modulus (kN/m ³)	Poisson Ratio
Concrete	Non-Porous	24.00	2E+7	0.2

Table 6. Soil Properties Used in the Models

Soil Properties	Soil-I	Soil-II	Soil-III	Soil-IV	Soil-V	Soil-VI
Soil Type	Very soft	Soft	Medium	Loose	Medium	Dense
Saturated Unit Weight, γ_{sat} (kN/m ³)	17,0	17,0	17,0	16,0	16,0	16,0
Poisson Ratio, ν	0,2	0,25	0,3	0,2	0,25	0,3
Elasticity Modulus, E (kN/m ²)	2050	4050	5500	15000	17500	20000
Internal Friction Angle, ϕ (°)	5	5	5	30	35	40
Cohesion, c (kN/m ²)	10	20	40	0	0	0
Saturation Degree, S (%)	100	100	100	100	100	100

3. ANALYSIS of MODELS

3.1. Displacements of Retaining Walls under the Static Loads

Horizontal and vertical deformations of retaining walls under the static loads given in Tables 7 and 8, respectively. Changing the shear strength parameters of soil cannot much affect the deformations considering 5 m, 10 m and 15 m height of walls. Cantilever and gravity walls can be designed with minimum design parameters under the static loads. However, it is suggested that vertical deformations of 15 m height of walls constructed in the saturated clays can be checked in the design process. Because, vertical deformations of walls are greater than limit deformations.

Horizontal and vertical deformations of gravity walls with different heights are less than that of cantilever walls. Limit horizontal displacements of wall is considered as 0.02H. Limit vertical displacements of wall is considered as 5-7 cm. Deformations under the static loads considering all

wall heights, except 15 m height of cantilever wall constructed in the saturated clay and sand soil do not exceed the limit values under the static loads. When the heights of walls increase for both type of walls, deformations also increase. Both deformations of walls decrease with increasing the strength of soil. Both type of walls are safe in the horizontal direction according to the limit values. However, Deformation values of cantilever retaining wall of 15 m height are in the limits in the vertical direction.

As a result, 5 m and 10 m height of retaining walls constructed in the both soils are safe under the static loads. Cantilever length of wall is extended to satisfy safety against sliding and therefore, deformations of 15 m height of cantilever wall constructed in the saturated clay are high due to the non-uniform distributions of vertical deformations. Because, Plaxis 2D program gives the maximum deformation of one point on the cantilever part of the wall. Therefore, 15 m height of cantilever wall is not safe. It can be suggested that 15 m height of cantilever walls can be constructed either with counterfort wall or gravity wall.

Tablo 7. Horizontal Displacements of Retaining Walls Under the Static Loads

		Horizontal Displacements of Retaining Walls (u_x) (cm)					
		Soil					
Height of Wall	Type of Wall	Soil-I	Soil-II	Soil-III	Soil-IV	Soil-V	Soil-VI
5 m	Gravity R.W.	0,580	0,550	0,530	0,15	0,13	0,12
	Cantilever R.W.	0,500	0,60	0,650	0,94	0,87	0,83
10m	Gravity R.W.	1,340	1,260	1,220	0,42	0,37	0,33
	Cantilever R.W.	2,260	2,710	2,840	3,14	2,92	2,73
15 m	Gravity R.W.	2,270	2,140	2,080	0,69	0,62	0,55
	Cantilever R.W.	6,840	7,010	7,490	5,78	4,59	3,60

Tablo 8. Vertical Displacements of Retaining Walls Under the Static Loads

Height of Wall	Type of Wall	Vertical Displacements of Retaining Walls (u_x) (cm)					
		Soil					
		Soil-I	Soil-II	Soil-III	Soil-IV	Soil-V	Soil-VI
5 m	Gravity R.W.	0,600	0,590	0,580	0,030	0,020	0,020
	Cantilever R.W.	2,390	2,400	2,410	0,220	0,170	0,160
10m	Gravity R.W.	1,380	1,370	1,360	0,080	0,070	0,060
	Cantilever R.W.	5,950	5,970	5,980	1,210	1,100	1,040
15 m	Gravity R.W.	1,890	1,820	1,790	0,140	0,120	0,100
	Cantilever R.W.	12,850	12,810	12,820	1,740	1,470	1,240

3.2. Horizontal Displacements of Retaining Walls under the Dynamic Loads

Limit deformations used in this study are 300. a_{max} (mm) according to Eurocode (1994) and 250. a_{max} (mm) according to AASHTO (2002), where a_{max} is the maximum horizontal design acceleration. Wu and Parakash (1999) gave the limit horizontal deformation of 0.02 H and this deformation value exceeds 0.1H, failure occurs in the wall. Limit and maximum deformation values in the horizontal direction under the dynamic loads are given in Table 9 and Table 10, respectively.

Table 9. Limit deformation Values in the horizontal direction under the dynamic loads

Name of Earthquake and Maximum Acceleration	Eurocode	AASHTO
Volcano-Hawaii $M_W=5.0$ $a_{max}=140$ cm/sn ²	4,2 cm	3,5 cm
Petrolia-California $M_W=6.0$ $a_{max}=45$ cm/sn ²	1,3 cm	1,1 cm
Van $M_W=7.0$ $a_{max}=180$ cm/sn ²	5,4 cm	4,5 cm

Table 10. Limit and Maximum Deformations in the Horizontal Direction According to the Wall Height

Wall Height(m)	Limit Deformation 0,02H (cm)	Maximum Deformation 0,1H (cm)
5.0	10.0	50.0
10.0	20.0	100.0
15.0	30.0	150.0

3.2.1 Retaining Walls Constructed in the Saturated Clay Soil

Maximum deformations of both retaining walls under the earthquake magnitude of $M_w=5.0$, $M_w=6.0$ and $M_w=7.0$ are given in Tables 11, 12 and 13, respectively.

3.2.1.1. Earthquake Magnitude of $M_w=5.0$

5 m height of both cantilever and gravity retaining walls are safe according to for both earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction and limit deformations with respect to the wall height of 0,02H. In the vertical direction, both types of walls are safe according to the limit deformations of 5-7cm.

10 m height cantilever retaining wall are not safe according to the earthquake acceleration limit deformations in the horizontal direction given by AASHTO and Eurocode. However, they are safe according to the limit deformations with respect to the wall height of 0,02H. 10 m height of gravity retaining walls are safe according to for both earthquake acceleration limit deformations in the horizontal direction and limit deformations with respect to the wall height of 0,02H. In the vertical direction, both types of wall are safe according to the limit deformations of 5-7cm.

15 m height of cantilever retaining walls are not safe according to the earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. However, they are safe according to the limit deformations with respect to the wall height of 0,02H. 15 m height of gravity retaining walls are safe according to earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO

and Eurocode in the horizontal direction. In the vertical direction, they are not safe according to the limit deformations of 5-7cm.

3.2.1.2. Earthquake Magnitude of $M_w=6.0$

5 m height of cantilever retaining walls are not safe according to earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. However they are safe according to the limit deformations with respect to the wall height of 0,02H. In the vertical direction, both types of wall are safe according to the limit deformations of 5-7cm.

10 m height of both cantilever and gravity retaining walls are not safe according to the earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. However, both types of walls are safe according to the limit deformations with respect to the wall height of 0,02H. In the vertical direction, both types of wall are safe according to the limit deformations of 5-7cm.

15 m height of both cantilever and gravity retaining walls are not safe according to the earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. However, both types of wall are safe according to the limit deformations with respect to the wall height of 0,02H. In the vertical direction, both types of wall are not safe according to the limit deformations of 5-7cm.

3.2.1.3. Earthquake Magnitude of $M_w=7.0$

5 m height of cantilever retaining walls is not safe according to earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. However it is safe according to the limit deformations with respect to the wall height of 0,02H. 5 m height of gravity retaining walls is safe according to earthquake acceleration limit deformations in the horizontal direction and the limit deformations with respect to the wall height of 0,02H. In the vertical direction, both types of wall are safe according to the limit deformations of 5-7cm.

10 m height of cantilever retaining walls is not safe according to the earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. However, it is safe according to the limit deformations with respect to the wall height of 0,02H. 10 m height of gravity retaining walls is safe according to the earthquake acceleration limit deformations in the horizontal

direction and the limit deformations with respect to the wall height of $0,02H$. In the vertical direction, both types of wall are not safe according to the limit deformations of 5-7cm.

15 m height cantilever retaining walls is not safe according to the earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. However, it is safe according to the limit deformations with respect to the wall height of $0,02H$. 15 m height gravity retaining walls is safe according to the earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction and the limit deformations with respect to the wall height of $0,02H$. In the vertical direction, both types of wall are not safe according to the limit deformations of 5-7cm.

3.2.2. Retaining Walls Constructed in the Water-Saturated Sand Soil

3.2.2.1. Earthquake Magnitude of $M_w=5.0$

5.0 m height of both cantilever and gravity retaining walls are safe according to for both earthquake acceleration limit deformations given by Eurocode in the horizontal direction and limit deformations with respect to the wall height of $0,02H$. However, 5 m height of both cantilever and gravity retaining walls are not safe according to for both earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO. In the vertical direction, both types of wall are safe according to the limit deformations of 5-7cm.

10.0 m height cantilever and gravity retaining walls are not safe according to the earthquake acceleration limit deformations in the horizontal direction given by AASHTO and Eurocode). However, they are safe according to the limit deformations with respect to the wall height ($0,02H$). In the vertical direction, both types of wall are safe according to the limit deformations of 5-7cm.

15.0 m height of cantilever and gravity retaining walls are not safe according to the earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. However, they are safe according to the limit deformations with respect to the wall height of $0,02H$. In the vertical direction, they are not safe according to the limit deformations of 5-7cm.

3.2.2.2. Earthquake Magnitude of $M_w=6.0$

5.0 m height of cantilever and gravity retaining walls are not safe according to earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. However it is safe according to the limit deformations with respect to the wall height of $0,02H$. In the vertical direction, both types of wall are safe according to the limit deformations of 5-7cm.

10.0 m height of both cantilever and gravity retaining walls are not safe according to the earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. However, both types of wall are safe according to the limit deformations with respect to the wall height of $0,02H$. In the vertical direction, both types of wall are safe according to the limit deformations of 5-7cm.

15.0 m height of both cantilever and gravity retaining walls are not safe according to the earthquake acceleration limit deformations by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. However, both types of wall are safe according to the limit deformations with respect to the wall height of $0,02H$. In the vertical direction, both types of wall are not safe according to the limit deformations of 5-7cm.

3.2.2.3. Earthquake Magnitude of $M_w=7.0$

5.0 m height of cantilever and gravity retaining walls are not safe according to earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. However it is safe according to the limit deformations with respect to the wall height of $0,02H$. In the vertical direction, both types of wall are not safe according to the limit deformations of 5-7cm.

10.0 m height of cantilever and gravity retaining walls are not safe according to the earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. Also they are not safe according to the limit deformations with respect to the wall height of $0,02H$. In the vertical direction, both types of wall are not safe according to the limit deformations of 5-7cm.

15.0 m height of cantilever and gravity retaining walls are not safe according to the earthquake acceleration limit deformations given by AASHTO and Eurocode in the horizontal direction. Also they are not safe according to the limit deformations with respect to the wall height of $0,02H$. In the vertical direction, both types of wall are not safe according to the limit deformations of 5-7cm.

Table 11. Maximum Deformations of Retaining Walls Under the Dynamic Load ($M_w=5.0$)

		Displacements of Retaining Walls (cm)											
		Soil											
Wall Height	Wall Type	Soil-I		Soil-II		Soil-III		Soil-IV		Soil-V		Soil-VI	
		u_x	u_y	u_x	u_y	u_x	u_y	u_x	u_y	u_x	u_y	u_x	u_y
5 m	Gravity	0,70	2,51	0,65	2,54	0,65	2,55	3,51	3,20	3,50	3,20	3,50	3,20
	Cantilever	2,63	3,09	2,51	3,04	2,1	3,03	3,56	3,21	3,55	3,21	3,55	3,21
10 m	Gravity	1,63	6,77	1,37	6,80	1,56	6,82	6,12	7,40	6,12	7,40	6,12	7,40
	Cantilever	5,06	6,09	6,47	6,15	6,35	6,13	7,56	6,44	7,56	6,44	7,60	6,44
15 m	Gravity	2,69	14,18	2,67	14,14	2,42	14,11	9,18	11,01	9,18	10,95	9,18	10,95
	Cantilever	11,94	12,81	12,89	12,71	12,77	12,71	11,40	9,57	11,37	9,57	11,34	9,57

Table 12. Maximum Deformations of Retaining Walls Under the Dynamic Load ($M_w=6.0$)

		Displacements of Retaining Walls (cm)											
		Soil											
Wall Height	Wall Type	Soil-I		Soil-II		Soil-III		Soil-IV		Soil-V		Soil-VI	
		u_x	u_y	u_x	u_y	u_x	u_y	u_x	u_y	u_x	u_y	u_x	u_y
5 m	Gravity	0,64	3,03	0,66	3,00	0,63	3,00	1,58	1,60	1,58	1,60	1,58	1,60
	Cantilever	4,92	2,5	5,29	2,54	4,64	2,48	1,58	1,60	1,58	1,60	1,58	1,60
10 m	Gravity	1,60	7,12	1,62	6,80	1,47	7,05	3,16	3,36	3,16	3,36	3,16	3,36
	Cantilever	6,83	6,14	8,57	6,16	8,45	6,17	3,24	3,32	3,26	3,30	3,26	3,30
15 m	Gravity	2,82	14,06	2,70	14,06	2,60	14,02	4,74	4,77	4,74	4,77	4,74	4,77
	Cantilever	12,34	12,88	13,04	12,77	13,36	12,76	4,74	4,77	4,74	4,86	4,74	5,04

Table 13. Maximum Deformations of Retaining Walls Under the Dynamic Load ($M_w=7.0$)

		Displacements of Retaining Walls (cm)											
		Soil											
		Soil-I		Soil-II		Soil-III		Soil-IV		Soil-V		Soil-VI	
Wall Height	Wall Type	u_x	u_y	u_x	u_y	u_x	u_y	u_x	u_y	u_x	u_y	u_x	u_y
5 m	Gravity	1,47	9,51	1,38	9,55	1,38	9,58	10,81	10,78	10,81	10,78	10,81	10,78
	Cantilever	24,07	9,95	22,09	10,00	23,53	10,05	10,82	10,80	10,81	10,80	10,81	10,80
10m	Gravity	3,14	13,01	3,17	13,02	2,07	12,95	21,64	21,80	21,62	21,74	21,62	21,70
	Cantilever	29,25	12,43	28,81	12,53	28,23	12,59	21,74	26,62	21,74	25,18	21,74	25,04
15 m	Gravity	5,19	21,91	5,02	22,03	4,83	21,91	32,61	32,64	32,55	32,64	32,52	32,67
	Cantilever	30,54	19,32	30,93	19,30	30,36	19,30	33,09	38,34	32,76	32,76	32,73	32,73

4. CONCLUSIONS

Both types of retaining walls having 5.0 m wall height constructed in the saturated clay soil and water-saturated sand soil are safe under the 5.0 and 6.0 magnitudes of earthquakes for the horizontal deformation limit of 0.02H and vertical deformation limit of 5-7 cm. After the dynamic analysis, deformations of 5.0 m height of gravity wall has less deformations than that of cantilever wall. Deformations in the horizontal direction of cantilever retaining wall having 5.0 m wall height are greater than that of gravity wall. However, it is determined that deformations in the vertical direction for both types of retaining walls are more or less same.

5.0 m height of gravity wall constructed in the saturated clay soil is safe under the 7.0 magnitude of earthquake for the horizontal deformation limit of 0.02H, however it is not safe for the vertical deformation limit of 5-7 cm. 5.0 m height of cantilever wall constructed in the saturated clay soil is not safe under the 7.0 magnitude of earthquake both for the horizontal deformation limit of 0.02H and for the vertical deformation limit of 5-7 cm.

Deformations in the horizontal direction of cantilever wall having 10.0 m wall height constructed in the saturated clay soil are higher than that of gravity wall. However, deformations in the horizontal direction of cantilever wall having 10.0 m wall height constructed in the saturated sand soil are almost same that of gravity wall. Deformations in the vertical direction for both types of retaining walls are more or less same under the 5.0 and 6.0 magnitudes of earthquakes. Deformations in the vertical direction of both walls having 10 m wall height constructed in the both types of soil found in the limit of 5-7 cm.

Deformations in the horizontal direction of cantilever wall having 10.0 m wall height are higher than that of gravity wall under the 7.0 magnitude of earthquake. Deformations in the vertical direction of both types of retaining walls constructed in the saturated clay are more or less same. 10 m height of both walls constructed in the saturated clay soil is safe under the 7.0 magnitude of earthquake for the horizontal deformation limit of $0.02H$, however it is not safe for the vertical deformation limit of 5-7 cm. 10.0 m height of both walls constructed in the water-saturated sand soil is not safe under the 7.0 magnitude of earthquake both for the horizontal deformation limit of $0.02H$ and for the vertical deformation limit of 5-7 cm.

Deformations in the horizontal direction for both type of retaining walls having 15.0 m wall height constructed in the saturated clay soil and water-saturated sand soil are not under the limit deformation of $0.02H$, except that of wall constructed in the saturated clay soil. High deformations is due to the liquefaction occurred in the water-saturated sand soil.

Deformations in the vertical direction for both types of retaining walls having 15.0 m wall height constructed in the both soils exceed the limit deformation of 5-7 cm under the 7.0 magnitude of earthquake.

As a result, if the limit deformation values in the horizontal direction depending on the wall height (H) and 5-7 cm limit deformations in the vertical direction are considered, following conclusions can be drawn for the both walls constructed in the saturated clay soil.

5.0 m and 10.0 m heights of both cantilever and gravity walls can be safely constructed in the risk cases of earthquakes of magnitudes 5.0 and 6.0. 5.0 m and 10.0 m heights of both cantilever and gravity walls cannot be safely constructed in the risk cases of earthquakes of magnitudes 7.0. Because, limit deformations in the vertical direction are exceeded. Therefore, extra precautions are

needed for construction of walls. 15 m height of both cantilever and gravity walls cannot be safely constructed in the risk cases of earthquakes of magnitudes 5.0, 6.0 and 7.0 due to exceeding the limit deformations in the vertical direction. Extra precautions are needed for construction of wall. As a result, if the limit deformation values in the horizontal direction depending on the wall height (H) and 5-7 cm limit deformations in the vertical direction are considered, following conclusions can be drawn for the both walls constructed in the water-saturated sand soil.

5.0 m heights of both cantilever and gravity walls can be safely constructed in the cases of earthquakes of magnitudes 5,0 and 6,0. 10.0 m heights of gravity walls can be safely constructed in the cases of earthquakes of magnitudes 5,0 and 6,0. While 10.0 m height of cantilever wall can be constructed safely in the case of earthquake magnitudes of 6.0, vertical deformation of the wall is greater than the limit value of 5-7 m in the case of earthquake magnitudes of 5.0. This is due to the high earthquake acceleration of magnitude $M_w=5$ is greater than that of $M_w=6$. Therefore, soil improvement is needed to construct the wall. 15m height of both cantilever and gravity walls can be safely constructed in the cases of earthquakes of magnitudes 6,0. However, 15m height of both cantilever and gravity walls cannot be safely constructed in the cases of earthquakes of magnitudes 5,0 due to the high settlement of wall. 15m height of both cantilever and gravity walls cannot be safely constructed in the cases of earthquakes of magnitude 5,0 due to the high vertical and horizontal displacements of wall.

REFERENCES

- [1] Das B.M. Principles of Geotechnical Engineering. Pws-Kent Publishing Co., USA (1990).
- [2] Cernica J.N. Geotechnical Engineering: Foundation Design. JW&Sons Inc, USA (1994).
- [3] Akhlaghi T., Hamidi P., Nikkar A., Investigation of Dynamic Response of Cantilever Retaining Walls Using FEM,. Int. Journal of Basic Sciences & Applied Research, 2013; 2 (6), pp657-663.
- [4] Veletsos A.S, Younan A.H., Dynamic Soil Pressures on Vertical Walls, Proc. of 3rd Int. Conf. on Recent Adv. In Geotech. Earthquake Eng. and Soil Dyn., 1995; 3, 1589-1604.
- [5] Fishman K.L, Richards Jr., Seismic Analysis and Model Studies of Bridge Abutments, ASCE Geotechnical Special Publication (GSP) No. 60. 1996.
- [6] Steedman R.S, Zeng X., Rotation of Large Gravity Walls on Rigid Foundations under Seismic Loading, ASCE Geotechnical Spec. Publ. No. 60. 1996.

- [7] Kramer, S.L. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, USA. (1996).
- [8] Cavalera L., Lipani B., Dynamic Behavior of Reinforced Earth Walls, Proc. of Int. Conf. on Earthquake Resistant Engineering Structures, 1996; 2, 113-122.
- [9] Santolo A.S., Evangelista A., Dynamic Active Earth Pressure on Cantilever Retaining Walls, Computer and Geotechnics, 2011; 38, 1041-1051.
- [10] Gursoy S., Durmuş A., Investigation of Linear And Nonlinear of Behaviors of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls According To The Earthquake Loads Considering Soil-Structures Interactions, Structural Engineering and Mechanics, 2009; 31, 75-91.
- [11] Li C.S., Gu X.P., Liu Y., Numerical Simulation and Calculation of Earth Pressure For Force Reducing Retaining Wall. Proc. of the Second International Conference on Modelling and Simulation, 2009; 6, 197-202.
- [12] Cakır T., Evaluation of the Effect of Earthquake Frequency Content on Seismic Behavior of Cantilever Retaining Wall Including Soil–Structure Interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2013; 45, 96-111.
- [13] Harraz A.M., Fafitis A., Houston W.N., Development of Database and Guidelines for the Earthquake Resistant Design of Cantilever Retaining Walls, Structures under Shock and Impact, 2002; 11, 345-356.
- [14] Al-Homoud A.S., Whitman R.V., Seismic Analysis And Design of Rigid Bridge Abutment Considering Rotation And Sliding Incorporating Non-Linear Soil Behavior, Soil Dynamics Eng., 1999, 247–277.
- [15] Green R.A., Ebeling R.M., Modeling the Dynamic Response of Cantilever Earth-Retaining Walls Using FLAC. Proc of 3rd International FLAC Symposium. 2003; 333-342.
- [16] Gazetas G., Psarropoulos P.I., Gerolymos A.N., Seismic Behavior Of Flexible Retaining Systems Subjected To Short Duration Moderately-Strong Excitation, Soil Dyn. Earthq. Eng., 2005; 25, 537–550.
- [17] Newmark N.N. Effect of earthquakes on dams and embankments, Geotechnique, 1965; 15 (2), 139–160.
- [18] Richard R., Elms D.G., Seismic Behavior of Gravity Retaining Walls, J. of Geotech. Eng. ASCE, 1979; 105 (GT4).
- [19] Chin-Chan H., Seismic Displacement of Soil Retaining Walls Situated On Slope, J. of Geotech. Geo-Environ. Eng. ASCE, 2005; 31 (9), 1108–1117.
- [20] EUROCODE 8 (European pre-standard), Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures-Part 5: Foundations Retaining Structures and Geotechnical Aspects, The Commission of the European Communities, 1994.



- [21] American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specifications for Highway Bridges, (AASHTO) Sections 3 and 7, 2002.
- [22] Wu Y., Prakash S., Effect of Submergence on Seismic Displacement Of Rigid Walls, Earthquake Geotechnical Engineering, 1999.
- [23] JRA, Seismic Design Specifications and Construction of highway Bridges, Japan Road Association, 1996.
- [24] Rafnsson E.A., Prakash S., Stiffness and Damping Parameters for Dynamic Analysis of Retaining Walls, Proc. of 2nd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Eng. and Soil Dynamics, St. Louis MO, 1991; 3, 1943–2952.
- [25] Wu Y., Displacement-Based Analysis And Design of Rigid Retaining Walls to Real Earthquakes, PhD. Dissertation, University of Missouri-Rolla, 1999.
- [26] Sadzevicius R., Sankauskiene T., Mikuckis F., Limit Deformations of Retaining Walls in Lithuanian Hydro-schemes, Proc. of 4th International Conference Civil Engineering, 2013; I, 336-340.
- [27] Leblebici, T., Investigation of the Behavior of Retaining Walls Built on Water-Saturated Sand Soils Under Static and Dynamic Loads, MSc Thesis, Anadolu University, Institute of Science, Eskişehir, 2021.
- [28] Yavan, O., Behaviour of Retaining Walls which are Constructed in Saturated Clay Soil under Dynamic Loads, MSc Thesis, Anadolu University, Institute of Science, Eskişehir, 2015.



SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF STRUCTURAL, SURFACE MORPHOLOGICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF InSe/PMItz HYBRID HETEROJUNCTION

Fatih ÜNAL^{1*}, Merve ZURNACI², Serkan DEMİR³, Mahmut GÜR⁴, Nesrin ŞENER⁵, İzzet ŞENER⁶

¹ Central Research Laboratory, Application and Research Center, Giresun University, Giresun, Turkey

² Central Research Laboratory, Kastamonu University, Kastamonu, Turkey

³ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Giresun University, Giresun, Turkey.

⁴ Department of Forest Industrial Engineering, Faculty of Forestry, Kastamonu University, Kastamonu, Turkey

⁵ Chemistry Department, Faculty of Arts and Sciences, Kastamonu Uni., Kastamonu, Turkey

⁶ Department of Food Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Kastamonu Uni., Kastamonu, Turkey

Abstract

On a series of annealed and unannealed InSe thin films which were formerly produced by electrochemical deposition method, organic PMItz semiconductor compound was growth by physical vapour deposition (PVD) method. Structural analyses of the films carried out by X-ray diffractometry (XRD) method revealed that glass/ITO/InSe film formed in hexagonal InSe phase while glass/ITO/InSe(annealed) film formed in monoclinic In₆Se₇ and orthorombic In₄Se₃ phases. Surface analyses were conducted by atomic force microscopy (AFM) and it is observed that the layers are homogenous and have different roughness values. Optical analyses of the films demonstrated that annealing of the film result with increased absorption coefficient and reduced energy band gap. Moreover, other optical parameters of the films i.e. refractive indice(n), extinction coefficient (k), real dielectric constant(ε_r), imaginary dielectric constant (ε_i) and optical conductivity were determined and compared within 300-1000 nm range.

Keywords: InSe, Organic semiconductor Hybrid heterojunction, Opto-electronic.

Sorumlu yazar: Fatih ÜNAL, fatih.unal@giresun.edu.tr

InSe/PMItz HIBRIT HETEROEKLEMİNİN SENTEZİ VE YAPISAL, YÜZEYSEL VE OPTİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Öz

Elektrokimyasal depolama yöntemi kullanılarak üretilen ve bir gruba tavlanan inorganik InSe ince filmlerinin üzerine fiziksel buhar depolama yöntemiyle PMItz organik yarıiletken bileşiği kaplanmıştır. İnorganik filmlerin yapısal analizi X ışınları difraktometresiyle (XRD) yapılmış, glass/ITO/InSe filminin hegzagonal InSe fazından oluştuğu görülmüşken glass/ITO/InSe(tavllanmış) filminin monoklinik In₆Se₇ ve ortorombik In₄Se₃ fazlarını içerdiği görülmüştür. Tabakaların yüzey analizi atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile yapılmış ve tabakaların homojen bir şekilde oluştuğu ve farklı pürüzlülük değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

UV-Vis spektrometresiyle yapılan optiksel analiz neticesinde; tavllanmış InSe bileşiği ile oluşan heteroeklemin soğurma katsayısının arttığı ve enerji band aralığı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Ayrıca heteroeklemlerin diğer optiksel parametreleri; refraktif indeks (n), molar zayıflama katsayısı (k), gerçek dielektrik sabit (ϵ_r), hayali dielektrik sabit (ϵ_i) ve optiksel iletkenlik (σ) hesaplanmış ve 300-1000 nm dalga boyu aralığında bu değerler karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: InSe, Organik yarıiletken, Hibrit heteroeklem, Opto-elektronik.

1. INTRODUCTION

In modern optoelectronic devices which are critical both industrial and commercial applications, inorganic thin film semiconductors play key roles because of their intrinsic electronic structural characteristics that give rise to their uses as absorber layer, window layer, substrate and so on. Among them, Indium Selenides (In_xSe_y) come forwards in last few decades with respect to other III-VI compounds owing to their unusual electronic structures, inherent polymorphism and involving of different stoichiometries [1-7]. Different stoichiometric combinations of In_xSe_y provide adjustment of band gap and dangling covalent bonds at their layered surface allow heterojunction with other types of organic or inorganic semiconductor [8-10]. Conversely, owing to their rigid physical structure and relatively high fabrication costs, variation of these types inorganic thin films is unfortunately limited. At this point, heteroepitaxy of inorganic materials



with organic small molecules by various methods improves this drawback by increasing the diversity of devices and eliminating the above disadvantages since organic thin film semiconductors are of more flexible film structure, tunable opto-electronic properties by molecular modulation and their fabrication is more affordable [11-15]. As one of the most popular organic semiconductor class of materials, imidazo-phenanthrenes/-phenanthrolines are frequently used in the fabrication of advanced organic optoelectronics since past few decades. By molecular modification, their superior photophysical and electroluminescent properties can be also tuned as well as their diversities can be increased [16-22]. However, their heterojunction with inorganic thin films are still extremely rare. Our study herein reports structural and optical properties of a new heterojunction which is fabricated from In_xSe_y as substrate and a imidazophenanthrene derivative (PMItz) as absorber layer. Heteroepitaxial growth of PMItz on In_xSe_y was performed successfully by physical vapour deposition (PVD) method.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Experimental Details

Autolab PGSTAT128N model electrochemical impedance spectrometer was used for electrochemical deposition. A Vaksis PVD-MT/2M2T thermal vaporization thin film deposition system was used for thermal deposition. XRD analyses was carried out by a GNR Europe powder XRD instrument using Cu K- α radiation with $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ and in $2\theta=0-70$ range. AFM analyses were performed with a NANOSURF C300 model AFM instrument, at room temperature, using top 190A1-G cantilever, in dynamic force mode and within $25 \times 25 \mu\text{m}$ scan area. Optical analyses were performed using a Thermo SCIENTIFIC Evolution Array UV-Vis spectrometer.

2.2. Construction of Glass/ITO/InSe and Glass/ITO/InSe(annealed) thin films

Epitaxial growth of In_xSe_y was taken place on a glass/ITO substrate with a specific resistance of lower than 20Ω by using electrochemical deposition method. The conductive glass/ITO substrate is considered as a working electrode in the electrochemical deposition method. In addition, the transparency of the ITO layer does not affect the optical properties of the heterojunctions. The glass/ITO substrate was successively cleaned with deionized water, acetone, propanol and dried

with nitrogen before further deposition process 250 mM InCl_3 (sigma aldrich %99,999) as indium source, 250 mM $\text{H}_2\text{O}_3\text{Se}$ (sigma aldrich %98) for as selenium source, 250 mM LiCl (sigma aldrich %99) and 350 mM KCl (sigma aldrich %99) as buffer solutions were used. For one-step electrochemical deposition, electrolyte volume was set to 60 ml using 15 ml of each solution. The pH of the electrolyte was adjusted to 1,5 with 9,45 M HCl solution and applied voltage was set to -0,95 V [23]. Platin plate as counter electrode with the dimensions of 1,0x1,5 cm, Ag/AgCl reference electrode, and glass/ITO as working electrode with the surface area of 1 cm^2 were used. The reaction was taken place at room temepature for 60 min. and under nitrogen atmosphere with 0.1 bar. An another set of obtained films was annealed at 70 cmHg and $105 \text{ }^\circ\text{C}$ temperature during 60 min.

2.3. Fabrication of Glass/ITO/InSe/PMItz and Glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterjunctions

PMItz as organic layer in powder form was growth on Glass/ITO/InSe and Glass/ITO/InSe(annealed) by PVD method. The temperature and pressure of the chamber was set to $26 \text{ }^\circ\text{C}$ and 10^{-6} torr respectively using Mo pot. Figure 1 shows the schematic representation of heterojunctions.

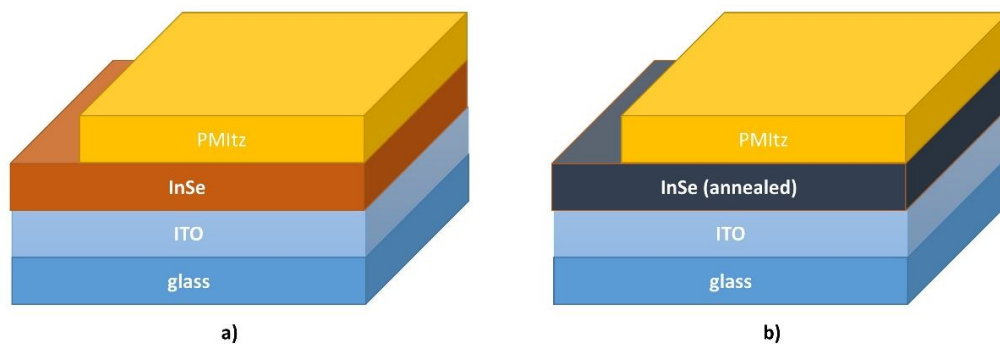


Figure 1. Schematic representation of a) glass/ITO/InSe/PMItz, b) glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterjunctions

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1. Sutructural Analyses

XRD patterns of Glass/ITO/InSe and Glass/ITO/InSe(annealed) thin films were given in Figure 2. Glass/ITO/InSe thin film consists of hexagonal InSe phase with the parameters (entry:00-034-1431) P63/mmc (194) $a=4.005000$ Å, $c=16.639999$ Å, $Z=4$ while annealed one consists of two phases where orthorhombic In_4Se_3 phase with the parameters Pnmm (58) $a=15.296000$ Å, $b=12.308000$ Å, $c=4.080600$ Å $Z=4$ and monoclinic In_6Se_7 phase with the parameters P21(4) $a=4.430000$ Å, $b=4.063000$, $c=18.378000$ Å, $\beta=109.339996^\circ$ $Z=2$ coexist. With annealing, hexagonal InSe phase transformed into monoclinic In_6Se_7 and orthorhombic In_4Se_3 phases. It was observed that InSe phase grown on (002), (004), (103), (105) planes with 2θ values of 10.63, 21.24, 30.43, 37.45. In the annealed thin film, In_6Se_7 phase grown on (201), (-105), (-212), (204) planes with 2θ values of 22.15, 24.85, 29.25, 33.25 and In_4Se_3 phase grown on (220) plane with 2θ value of 18.49.

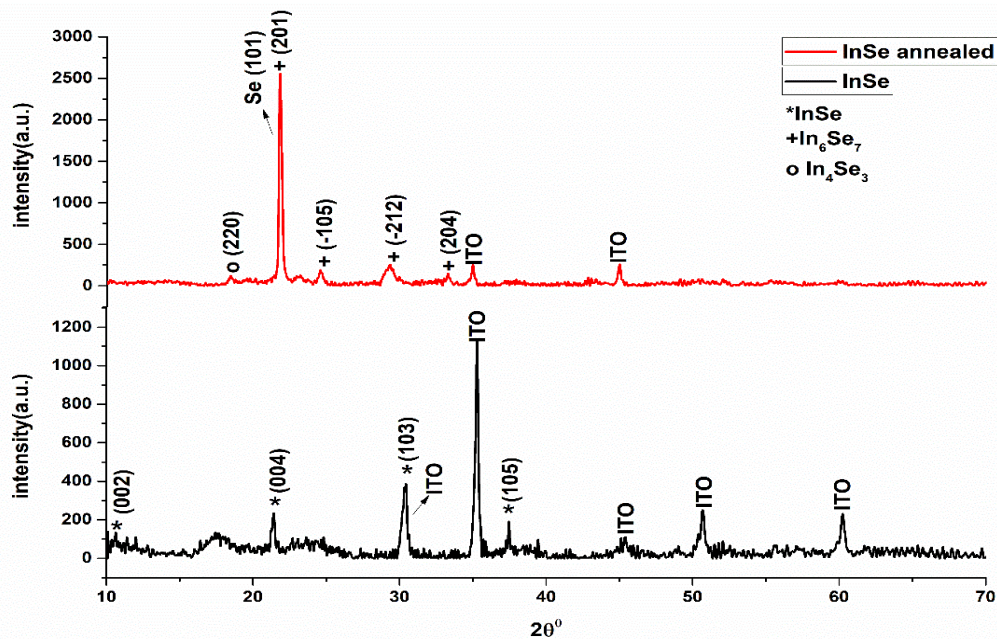


Figure 2. XRD patterns of InSe and InSe(annealed) thin films

3.2. Surface Analyses

AFM images of the fabricated thin films are given in Figures 3 and 4. It is observed that the films were homogenously deposited without any crack or hole. Table 1 lists S_a (avarage rougness) and

Sq (root mean square) values of the fabricated films. According to Table 1, the roughness of the films decreased by annealing which can be ascribed to phase transition of InSe.

Table 1. Sa and Sq values of the fabricated layers

Thin film	Sa (Rougness) (nm)	Sq (Root mean square) (nm)
Glass/ITO/InSe	285.62	349.83
Glass/ITO/InSe/PMItz	253.58	302.85
Glass/ITO/InSe(anneled)	210.78	254.09
Glass/ITO/InSe(anneled)/PMItz	256.23	309.62

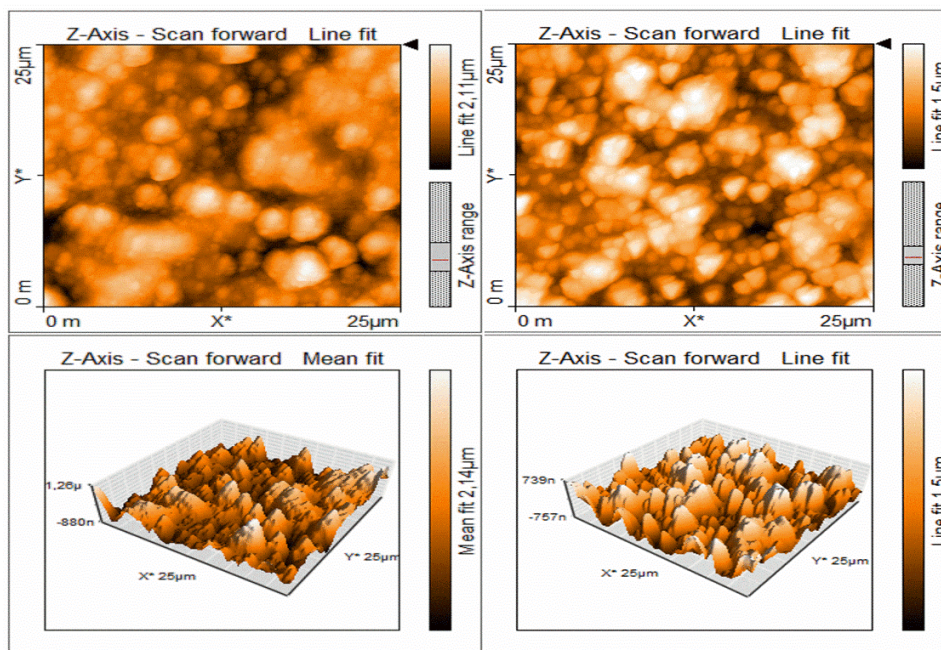


Figure 3. AFM images of Glass/ITO/InSe(left) and Glass/ITO/InSe/PMItz thin films at 25x25 µm sizes.

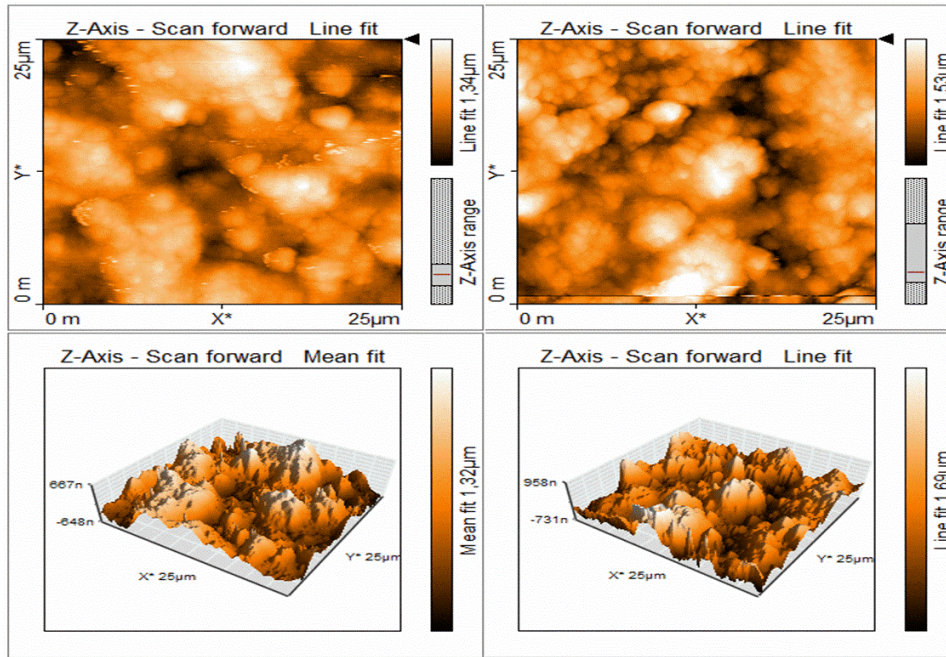


Figure 4. AFM images of Glass/ITO/InSe(annealed)(left) and Glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz(right) thin films at 25x25 µm sizes

3.3. Optical Analyses

Absorption coefficients (α), extinction coefficients (k), transmittances (T), refractive indexes (n), optical conductivities (σ) and dielectric parameters ($\epsilon_i, \epsilon_r, \epsilon_i / \epsilon_r$) of the fabricated films were calculated in 300-1000 nm range.

α is calculated from the formula [24, 25],

$$\alpha = \frac{2.303 \cdot A}{d} \quad [1]$$

Where d is thickness of the film and A is absorbance.

Energy band gap is determined by utilizing optical absorption spectroscopy technique. The relation between absorption coefficient and energy band gap (E_g) is as follow[25, 26]:

$$\alpha(h\nu) \approx (h\nu - E_g)^n \quad [2]$$

where n is equal to $\frac{1}{2}$ in case of direct allowed transitions. From the plots of $(\alpha h\nu)^{\frac{1}{n}}$ vs $h\nu$, E_g is determined through the extrapolation of the straight line portion of the plot to the abscissa. Thereby the intercept gives E_g .

The relation between absorbance (A) and transmittance (T) is given by;

$$A = -\log T \quad [3]$$

if the multiple reflections are ignored, then the transmittance of the film is stated as [26, 27];

$$T = (1 - R)^2 \exp(-A) \quad [4]$$

where the reflectance R can be estimated through the measurements of both T and A using Eq. (4)

which can be reorganized as follow

$$R = 1 - \left(\frac{T}{\exp(-A)}\right)^{1/2} \quad [5]$$

The relation between absorption (α) and extinction (k) coefficients is calculated as

$$k = \frac{\lambda \cdot \alpha}{4\pi} \quad [6]$$

Then the refractive index (n) is given as[27]:

$$n = \frac{1 + R}{1 - R} + \sqrt{\frac{4R}{1 - R^2} - k^2} \quad [7]$$

The real and imaginary parts of the dielectric constant, loss and optical conductivity are given as $\epsilon_r = n^2 - k^2$, $\epsilon_i = 2nk$, ϵ_i / ϵ_r and $\sigma = \alpha nc / 4\pi$ [28] respectively.

In Figure 5, the graphs of absorption coefficients versus wavelength is plotted for heterojunctions. Both heterojunctions have large absorption profiles and high absorption coefficients. Although As seen in Figure 5, the glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunction exhibits higher absorption in the whole range and gives the strongest peak at 330 nm with a α value of $6.45 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$. The unannealed film gives the strongest peak at 382 nm with a α value of $5.85 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$. The annealed film gives a shoulder between 662-474 nm and the strongest peak at 330 nm with a α value of $6.45 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$. As expected, the strengthening of absorption profile upon anneraling can be dedicted to phase transition of InSe. The plot of $h\nu$ versus $(\alpha h\nu)^2$ is given in Figure 4 (right). Direct band gap of PMItz which was deposited on InSe phases was previously calculated in our previous report [29]. It is observed that both heterojunctions have two energy band gap then. The forbidden band

gaps of unannealed and glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunctions were calculated to be 2.75 eV, 2.11eV and 2.63eV, 1.66eV respectively, which are in visible range. The decrease of forbidden band gap is due to the change in the structure of the inorganic layer by annealing [30]. In addition, it was observed that E_g values were lower than coronene/ZnO [28], Cu doped ZnO/coronene [31] heterojunctions.

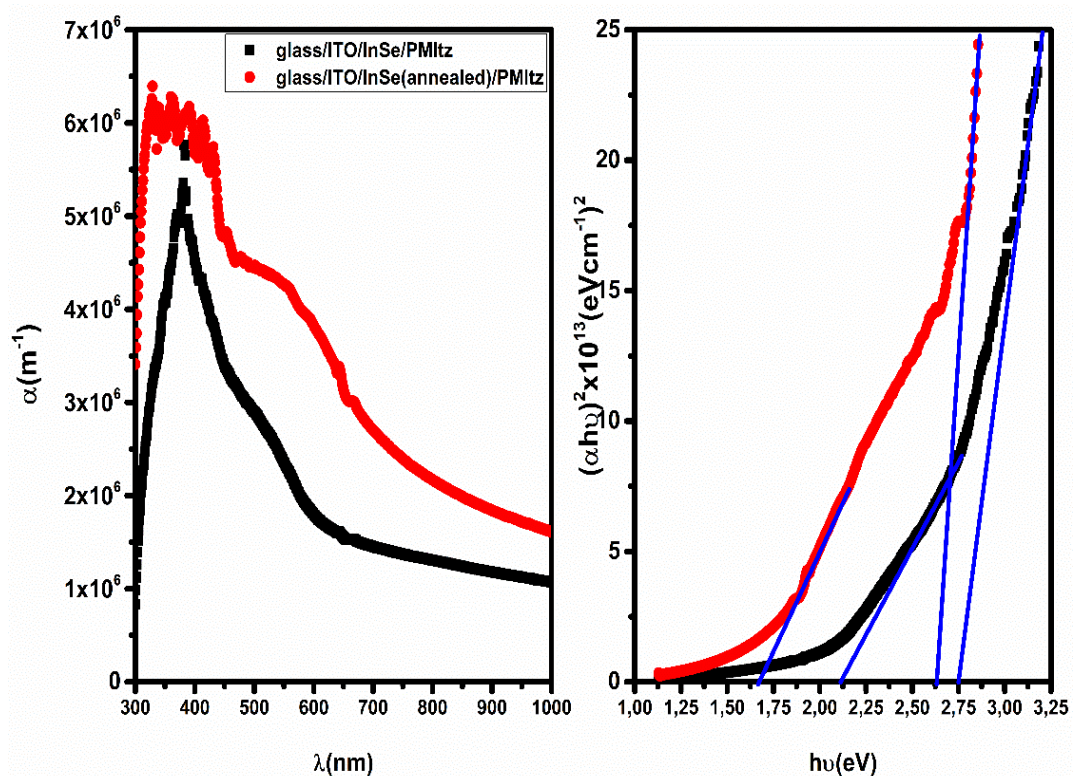


Figure 5. Absorption coefficients versus λ (left) and $h\nu$ versus $(\alpha h\nu)^2$ (right) plots of glass/ITO/InSe/PMItz and glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunctions.

Figure 6 represents plots of T% and R% versus λ for glass/ITO/InSe/PMItz and glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunctions. Transmittance of glass/ITO/InSe/PMItz heterojunction is 19.2% while that of glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunction one is 12.93%. The transmittance reduced down to 0.04 in absorption region and denotes to strong absorption of the films. In similar to situation observed in absorption region, glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunction exhibited lower transmittance than

glass/ITO/InSe/PMItz one. R% values rised up to absorption region from 1000 nm and decreased down to lower wavelengths than absorption region.

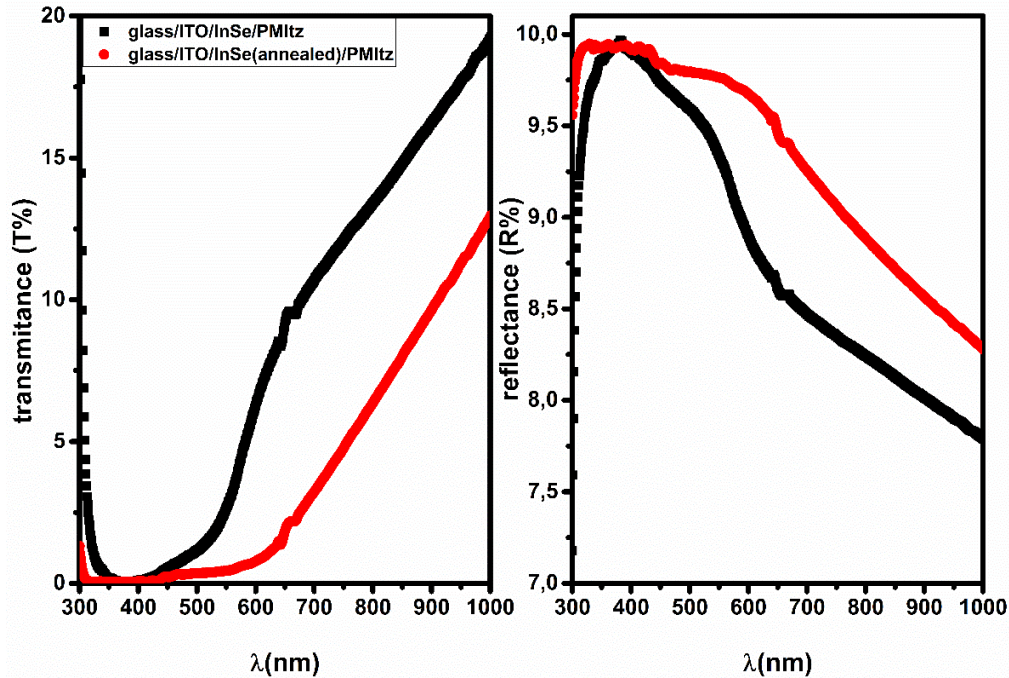


Figure 6. λ versus transmittance% (left) and reflectance% (right) plots of glass/ITO/InSe/PMItz and glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunctions.

The plots of k and n values versus nm are given in Figure 7. As clearly seen in Figure 7(left), the glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunction has higher k values than glass/ITO/InSe/PMItz heterojunction one. The higher k value indicates that more quenching of incident light take place, which means it is absorbed by the material. The n values of glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunction are higher down to 550 nm while the opposite trend is observed in 550-350 nm range. Maximum n values for glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz and glass/ITO/InSe/PMItz heterojunction are 1.46 and 1.47 respectively, which are higher than our previously fabricated hterojunctions [29].

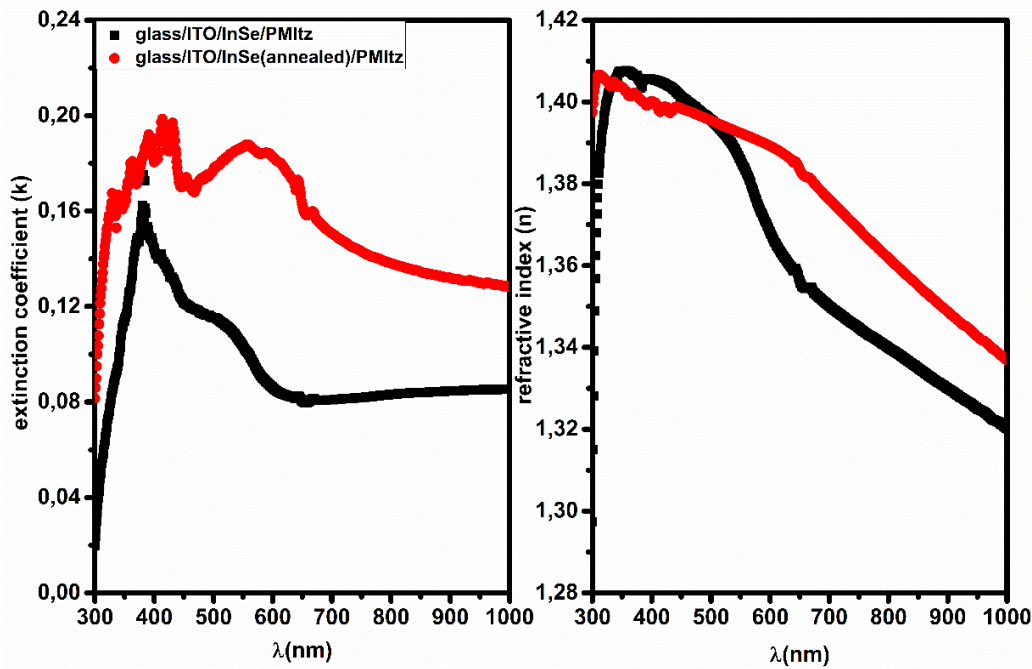


Figure 7. The plots of k (left) and n (right) versus nm for glass/ITO/InSe/PMItz and glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunctions.

Figure 8 represents $\ln(\alpha)$ versus $h\nu$ graphs of heterojunctions. The spectral dependence in the edge of absorption is given by the Urbach or band tail energy (E_U). According to the Urbach energy, the band tails of the localized states are in correlation with the microstructural lattice disorders, and the crystal defects can be estimated according to following equation [32]

$$\alpha = \alpha_0 \exp\left(\frac{h\nu}{E_U}\right) \quad [8]$$

E_U values of glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz and glass/ITO/InSe/PMItz heterojunctions are respectively 0.26 eV and 0.54 eV which can be calculated from the inverse of slope of the graph. The decrease of E_U means reducing of intrinsic disorder [33]. Namely, PMItz has more organized atomic rearrangement on annealed InSe structure and it can be noticed from AFM analyses. E_U is also inversely associated with the crystal size of the structure and hence E_U of PMItz is low owing to big crystal size of organic structure [32, 34].

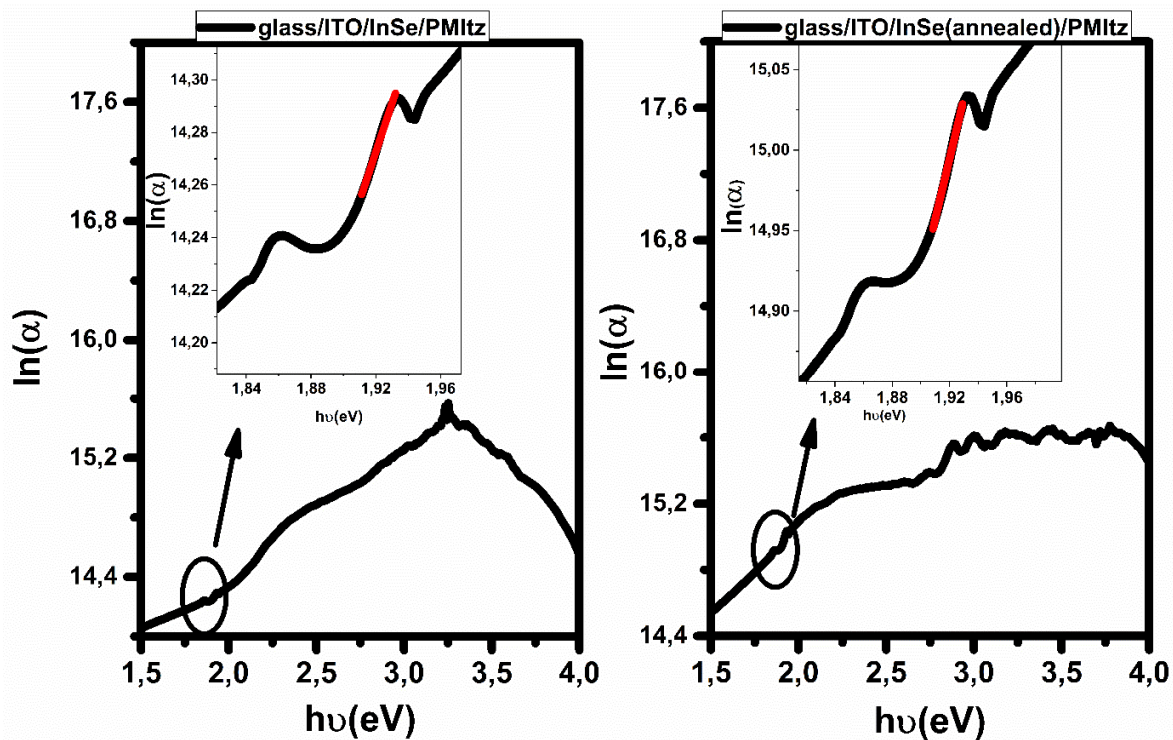


Figure 8. $h\nu$ versus $\ln(\alpha)$ graphs of glass/ITO/InSe/PMItz (left) and glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz (right) heterojunctions.

Real and imaginary dielectric constants vs $h\nu$ plots are depicted in Figure 9. In both heterojunctions, real part of dielectric seems higher than imaginary one. Real dielectric constants increased for both heterojunction with increasing energy of incident light while imaginary dielectric constant increased up to absorption region and decreased after. Figure 10 shows the graph of optical conductivity and dielectric loss versus $h\nu$. Glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunction exhibits higher optical conductivity than unannealed one. Nevertheless, the values are reasonably higher than even our previously reported heterojunction where PMItz was growth only on ITO. Also dielectric loss value of glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunction is higher than that of glass/ITO/InSe/PMItz heterojunction one.

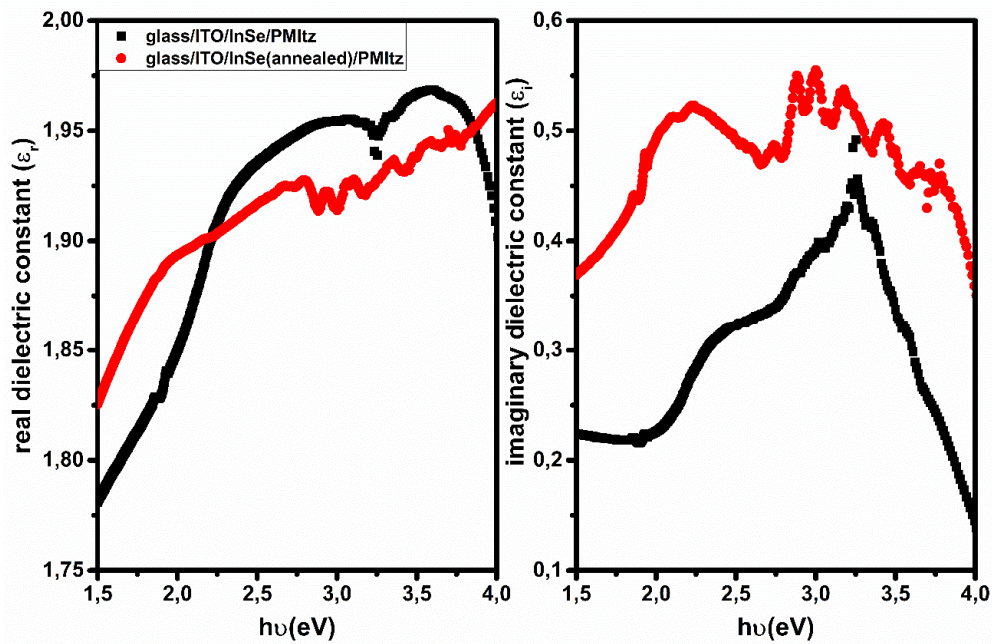


Figure 9. the real(left) and imaginary(right) parts of dielectric functions versus $h\nu$ for glass/ITO/InSe/PMItz and glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunctions.

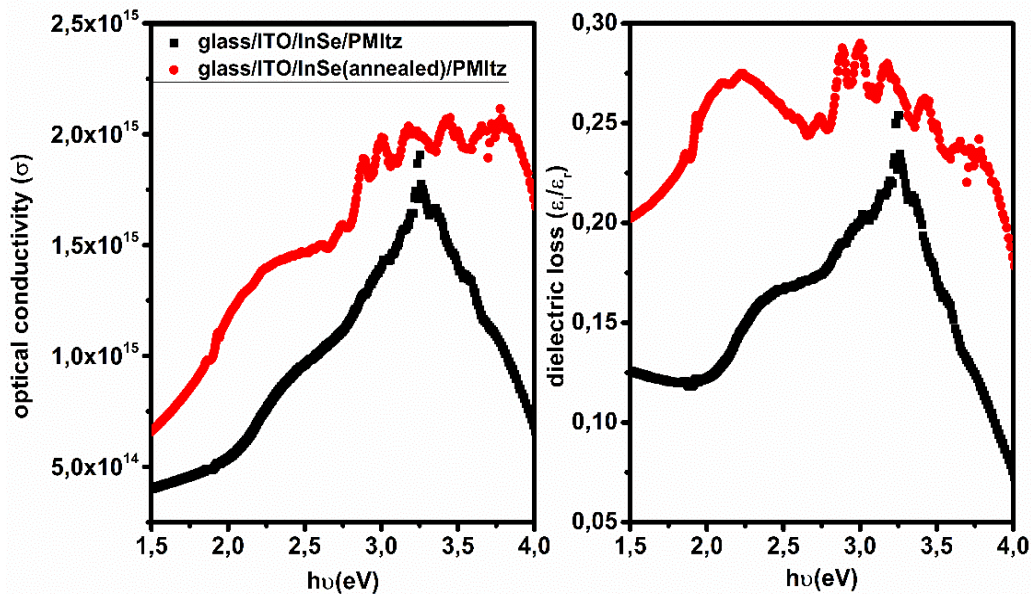


Figure 10. Optical conductivity(left) and dielectric loss(right) versus $h\nu$ for glass/ITO/InSe/PMItz and glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz heterojunctions.

4. CONCLUSION

InSe thin films were obtained successfully on to glass/ITO substrate by electrochemical deposition method. By annealing, stoichiometric change of InSe was determined by XRD analyses. Organic PMItz semiconductor was deposited on the obtained thin films by PVD method. Thereby, glass/ITO/InSe/PMItz and glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz hybrid heterojunctions were fabricated. Surface analyses of the films revealed homogeneity of the them while PMItz layers are more rougher. Optical analyses data of the films demonstrated that optical absorption coefficients are considerably high and transmittances in visible region are very low. It is confirmed from Urbach energy calculation that atomic disorder state of the glass/ITO/InSe(annealed)/PMItz device is better. According to calculated important optical parameters (n , k , σ , ϵ_r , ϵ_i etc.), annealing procedure improves the optical properties of the devices.

REFERENCES

- [1] Mudd, G.W., et al., Tuning the Bandgap of Exfoliated InSe Nanosheets by Quantum Confinement. *Advanced Materials*, 2013. 25(40): p. 5714-+.
- [2] Han, G., et al., Indium Selenides: Structural Characteristics, Synthesis and Their Thermoelectric Performances. *Small*, 2014. 10(14): p. 2747-2765.
- [3] Yuksek, M., et al., Nonlinear and saturable absorption characteristics of Ho doped InSe crystals. *Optics Communications*, 2014. 310: p. 100-103.
- [4] Ho, C.H. and Y.J. Chu, Bending Photoluminescence and Surface Photovoltaic Effect on Multilayer InSe 2D Microplate Crystals. *Advanced Optical Materials*, 2015. 3(12): p. 1750-1758.
- [5] Politano, A., et al., Indium selenide: an insight into electronic band structure and surface excitations. *Scientific Reports*, 2017. 7.
- [6] Zhou, J.D., et al., InSe monolayer: synthesis, structure and ultra-high second-harmonic generation. *2d Materials*, 2018. 5(2).
- [7] Fatih, Ü., et al., Electrical Properties of InSe/PMItz Nanocomposite Thin Films. *Journal Of Materials And Electronic Devices*, 2022. 3(1).
- [8] Wang, Y., et al., Molecular Doping of 2D Indium Selenide for Ultrahigh Performance and Low-Power Consumption Broadband Photodetectors. *Advanced Functional Materials*, 2021. 31(30).
- [9] Sanchez-Royo, J.F., et al., Electronic structure, optical properties, and lattice dynamics in atomically thin indium selenide flakes. *Nano Research*, 2014. 7(10): p. 1556-1568.



- [10] Cho, S.H., et al., Bias-controlled multi-functional transport properties of InSe/BP van der Waals heterostructures. *Scientific Reports*, 2021. 11(1).
- [11] Zhou, Y., *Optoelectronic Organic–Inorganic Semiconductor Heterojunctions*. 1st ed, ed. Y. Zhou. 2021: CRC Press. 351.
- [12] Wang, Z., L. Huang, and L. Chi, *Organic Semiconductor Field-Effect Transistors Based on Organic-2D Heterostructures*. *Frontiers in Materials*, 2020. 7(295).
- [13] Novota, M., et al., New phenanthrene-based organic semiconductor material for electronic devices. 2014 10th International Conference on Advanced Semiconductor Devices & Microsystems (Asdam), 2014: p. 97-100.
- [14] Pudasaini, P.R. and A.A. Ayon, Low-cost, high-efficiency organic/inorganic hetero-junction hybrid solar cells for next generation photovoltaic device. 13th International Conference on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (Powermems 2013), 2013. 476.
- [15] Li, G.W., et al., Planar Conjugated Polymers Containing 9,10-Disubstituted Phenanthrene Units for Efficient Polymer Solar Cells. *Macromolecular Rapid Communications*, 2014. 35(12): p. 1142-1147.
- [16] Jayabharathi, J., P. Ramanathan, and V. Thanikachalam, Synthesis and optical properties of phenanthromidazole derivatives for organic electroluminescent devices. *New Journal of Chemistry*, 2015. 39(1): p. 142-154.
- [17] Zhuang, S.Q., et al., Efficient nondoped blue organic light-emitting diodes based on phenanthroimidazole-substituted anthracene derivatives. *Organic Electronics*, 2012. 13(12): p. 3050-3059.
- [18] Sun, Y.F., et al., The synthesis, two-photon absorption and blue upconversion fluorescence of novel, nitrogen-containing heterocyclic chromophores. *Dyes and Pigments*, 2009. 81(1): p. 10-17.
- [19] Wang, B., et al., Pyridine-containing phenanthroimidazole electron-transport materials with electron mobility/energy-level trade-off optimization for highly efficient and low roll-off sky blue fluorescent OLEDs. *Journal of Materials Chemistry C*, 2015. 3(29): p. 7709-7719.
- [20] Chen, W.C., et al., Molecular modification on bisphenanthroimidazole derivative for deep-blue organic electroluminescent material with ambipolar property and high performance. *Organic Electronics*, 2015. 17: p. 159-166.
- [21] Li, C.L., et al., High performance full color OLEDs based on a class of molecules with dual carrier transport channels and small singlet-triplet splitting. *Chemical Communications*, 2015. 51(53): p. 10632-10635.
- [22] Wang, Z.M., et al., Phenanthro[9,10-d]imidazole as a new building block for blue light emitting materials. *Journal of Materials Chemistry*, 2011. 21(14): p. 5451-5456.



- [23] Ünal, F., ITO cam üzerine büyütülen InSe/rubrene, CIS/rubrene, CIGS/rubrene, InSe/coronene, CIS/coronene, CIGS/coronene heteroeklemlerin yapısal, optik ve elektriksel özelliklerinin belirlenmesi. 2021.
- [24] Aktaş, S. and F. Ünal, Investigation of Structural and Electrical Properties of Metal Oxide and Organic Based Multi Heterojunction. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 2022. 12(1): p. 508-520.
- [25] ÜNAL, F., Investigation Of Some Optical And Electrical Properties Of InSe Thin Film, a Window Layer for Photovoltaic Cell Growth on Glass/GaSe Substrate by M-CBD Method. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 2021. 11(1): p. 297-306.
- [26] Dwivedi, D.K., et al., Structural and optical investigations of Cd_{1-x}Zn_xTe thin film. Journal of Non-Crystalline Solids, 2010. 356(31-32): p. 1563-1568.
- [27] Kırmızıgül, F., E. Güneri, and C. Gümüş, Effects of different deposition conditions on the properties of Cu₂S thin films. Philosophical Magazine, 2013. 93(5): p. 511-523.
- [28] Kurt, M.S., et al., Optical and Electrical Characterization of a ZnO/Coronene-Based Hybrid Heterojunction Photodiode. Journal of Electronic Materials, 2022.
- [29] Zurnacı, M., et al., Synthesis of a new 1,3,4-thiadiazole-substituted phenanthroimidazole derivative, its growth on glass/ITO as a thin film and analysis of some surface and optoelectronic properties. New Journal of Chemistry, 2021. 45(48): p. 22678-22690.
- [30] Unal, F., S. Demir, and H. Mammadov, Structural, surface morphological, optical and electrical properties of In_xSe_y thin films, an absorber layer for photovoltaic cells fabricated by M-CBD method using different variables. Turkish Journal of Chemistry, 2021. 45(6): p. 1761-1773.
- [31] Aktas, S., et al., Fabrication and morphological, optical, and electrical characterisation of Cu-doped ZnO nanorod/coronene nanowire hybrid heterojunctions. Physica Scripta, 2022.
- [32] Norouzzadeh, P., et al., Investigation of structural, morphological and optical characteristics of Mn substituted Al-doped ZnO NPs: A Urbach energy and Kramers-Kronig study. Optik, 2020. 204: p. 164227.
- [33] OLeary, S.K., S. Zukotynski, and J.M. Perz, Disorder and optical absorption in amorphous silicon and amorphous germanium. Journal of Non-Crystalline Solids, 1997. 210(2-3): p. 249-253.
- [34] Pandey, P., R. Kurchania, and F.Z. Haque, Structural, diffused reflectance and photoluminescence study of cerium doped ZnO nanoparticles synthesized through simple sol-gel method. Optik, 2015. 126(21): p. 3310-3315.



GROUND RESIDENCE AREA ESTIMATION OF ZONING PLOTS BY SUBSET METHOD IN BLOCK BUILDING ZONING AREAS

Selim TAŞKAYA^{1*} 

^{1*}Artvin Coruh University, Department of Architecture and Urban Planning, Artvin, Turkey

Abstract

One of the most important criteria when creating zoning plans is the suitability of the zoning parcels as a construction site. A proper understanding of urbanism should be carried out together with housing, trade or other social reinforcement areas. The zoning islands in these zoning plans generally consist of a group of parcels with different identities. They occur within their boundaries as having the feature of discrete, block, contiguous or free structure. One of the ones with this feature is the zoning islands with the feature of block building. In the building blocks with the feature of block construction, the session is made by measuring the measurement distances on the ground, paying attention to whether there is a construction or not in determining the ground settlement areas. Generally, the front dimensions vary according to the fixed side and back dimensions, height and number of floors. On the other hand, building session estimation on the ground can be done with different methods, and when the subset is considered, the parcel behaves like a universal parcel. In the study, it has been examined how to make a building session estimation on the ground with the display of the residential areas from the zoning plans with different seating areas and this structure.

Keyword: Block Property, Subset Method, Ground Session Estimation

Sorumlu Yazar: Selim TAŞKAYA, selim_taskaya@artvin.edu.tr



BLOK YAPI İMAR ALALARINDA ALT KÜME METODU İLE İMAR PARSELLERİNİN ZEMİN OTURUM ALAN KESTİRİMİ

Öz

İmar planları meydana getirilirken en önemli kıstaslardan biri imar parsellerinin inşaat yapım alanı olarak elverişliliğidir. Konut, ticaret ya da diğer sosyal donatı alanları ile birlikte düzgün bir şehircilik anlayışı yürütülmelidir. Bu imar planlarındaki imar adaları genellikle farklı çeşit kimliğe sahip parseller topluluğundan oluşur. Ayrık, blok, bitişik ya da serbest yapı özelliğine sahip olarak sınırları içinde oluşurlar. Bu özelliğe sahip olanlarından birisi de blok yapı özelliğindeki imar adalarıdır. Blok yapı özelliğindeki yapı adalarında zemin oturum alanları belirlenmesinde yapılaşma olma ya da olmama durumuna dikkat edilerek zemindeki ölçü mesafeleri ölçülerek oturum yapılır. Genellikle ön ölçüler zeminde sabit yan ve arka ölçüler, yükseklik ve kat adetlerine göre değişiklik gösterir. Zeminde bina oturum kestirim işlemi ise farklı metotlarla yapılacağı gibi alt küme şeklinde oturum alanı düşünüldüğünde, evrensel gibi parsel davranış gösterir. Çalışmada farklı oturum alanlarına sahip çeşitli bu yapıya sahip imar planları adalarından oturum alanları gösterimi ile nasıl zeminde yapı oturum kestirimi yapılması incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Blok Özellik, Alt Küme Metodu, Zemin oturum Kestirimi

1. INTRODUCTION

The fact that those whose interests are most affected during the preparation and implementation of zoning plans are favored by the plan-making bodies and actors reveals two major topics. First, is the liberal plan and the decisiveness of the capital, or is it a planning approach that adopts a protectionist policy aiming at the welfare and peace of the broad masses? On the other hand, is it a socialist planning activity in which every power and authority is determined from a single source and therefore carried out by a branch of the central authority? This preference is the factors that will affect the planning preparations and applications. The second is urban clientalism. Supporting the transfer of the rent obtained from zoning and planning practices to certain individuals or groups through abuses is the most obvious obstacle to the use of the generated income in favor of the



society. Urban clientalism, as a much studied concept in the context of zoning plans, makes its weight felt in the scientific field. Today, zoning plans, in other words, planning related to zoning, make their weight felt even more as a result of urbanization and increasing migration from rural to urban areas. The increasing population and the desire for quality life disrupt the absorbable dynamics of cities by forcing them, and as a result of this process, the authorities who are in charge of planning are pushing to find new methods and take the lead [7].

In addition to population growth and migration, industrialization, concentration of economic activity area in big city centers, education quality, etc. reasons lead to agglomeration in cities. Infrastructure and superstructure facilities, transportation investments, activities in the fields of health, education, culture and tourism always constitute the main subject of planning [3]. In addition, the protection of the environment, image and natural resources, which are increasingly important today, and the prevention of interference with the naturalness of the vegetation is another aspect of the planning phenomenon. So much so that in order to create housing and other social facilities, which are the most basic needs of civilized people, there is a need for a regular urbanization with livable spaces and new lands to be produced in a planned manner [5]. Implementation zoning plans are in Art.5/2 of the Zoning Law; It is defined as “the plan that is drawn according to the master zoning plan principles with the cadastral status, if any, processed on the certified current maps and that shows in detail the building blocks of various regions, their density and arrangement, the roads and the implementation stages and other information that will be the basis for the zoning implementation programs required for implementation” [7]. In our country, within the framework of urban plans, 1/100,000 environmental plan and 5000 or 2000 master development plans of areas open to development in cities are transformed into 1000 application plans through local governments, and zoning and urban planning activities are carried out in the light of laws and regulations. It is aimed to be implemented in line with the principles of compliance [12]. Rapid urbanization has brought about unplanned development. This process has revealed an urban texture where social and technical equipment areas are insufficient, transportation planning cannot be made, and industrial facilities are intertwined with living and resting areas [13]. The zoning plans can be made by the public with the arrangements to be made in the city and its surroundings influencing investments, encouraging investment, creating a



healthy and beautiful environment terms of the person, the immovable that he owns or benefits from. Thanks to the investments to be made of the value of the goods, the rights of the people can be positive or negative influence is of great importance. For this reason, when making zoning plans and if the public interest conflicts with the property rights of individuals, must be correlated with each other economic, which is important for the development of a city. It is not correct to evaluate activities only in monetary terms. Sustainable and ensuring the economy-ecology balance in the best way for a quality life goal is also plays an important role in planning activities [16].

2. THEORETICAL FRAMEWORK and SCOPE

Zoning plans have a very important role in establishing orderly and orderly life functions in terms of urbanization. In particular, the plans are created by evaluating the basic factors of topography and population. In the plans, zoning islands are created in such a way as to have many different levels of features such as residential, commercial, social facility areas, so that a regular urbanization is formed. On the other hand, the zoning islands have been determined with the aim of arranging the parcels in such a way that a split, block and adjacent structure will be built at the basic level. It has been discussed about the application of this feature in the blocks in the block structure order, especially on the blocks in the block style parcels, in the form of a nested opening of the universal cube, in the way of closing a missing area from the side, according to the logic of creating at least one depth, provided that the withdrawal distance from the other sides of the parcel is given.

In the study, it has been shown how the front garden, side garden and rear towing distances should be drawn according to the number of floors. It has been examined that the drawing distances in the block building regulations are drawn without depending on the population amount or any local region, only by adhering to the factors of the precedent, the floor area coefficient, the total coefficient of the floor areas and the number of floors. Planned areas in block building regulations According to the type zoning regulation, in the planned areas where the provinces, districts and town municipalities are located, the plan notes will not contradict the regulation, with only minor differences, the drawings in the plan samples will be in the same direction.

3. MATERIAL and METHOD

For the clustering process, many clustering methods have been developed by researchers until today. Generally, clustering methods are grouped under two categories as segmented and hierarchical. Convergence and Fuzzy C-mean methods, which are divisional methods, are frequently used for clustering operations. In addition to these standard clustering methods, clustering methods based on optimization methods have been developed recently. Clustering has been applied to many fields such as bioinformatics, genetics, image processing, speech recognition, market research, document classification and weather classification. In addition, clustering has also been applied to document data analysis, which is one of big data learning [2]. Classification can be generally defined as estimating the most probable case of a categorical variable (class) given the values of other variables. For a given set of variables in the database, the boundaries between classes are represented by measures [10].

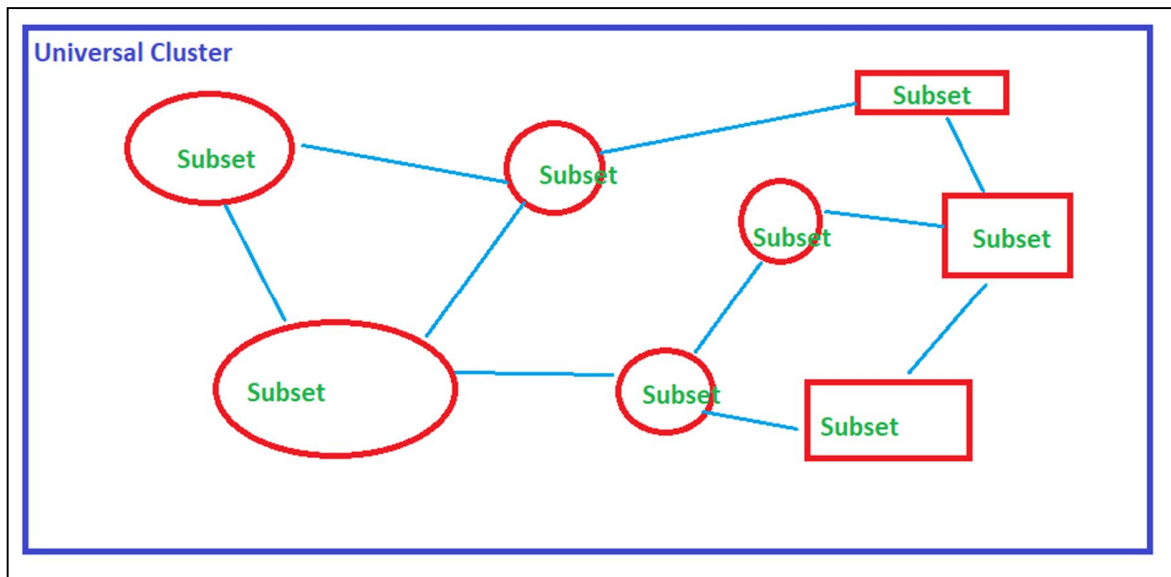


Figure 1. Clustering main logic representation [1].

In Figure 1, if the logic is taken as a cluster from the outside to the inside, the main purpose of our study is to apply the draw distances according to the precedent and the island plan note and feature, no matter what geometric distance finding process is done on the basis of our study.

Cluster analysis is a method that investigates the cluster structures and numbers of data that appear



in different structures. Cluster analysis groups are not exactly known; It is one of the multivariate statistical analysis methods that helps to separate units and variables into similar subsets or groups [6]. The most obvious purpose of cluster analysis is to classify units according to their characteristics [11].

If the zoning island is taken as the basis for the universal cluster, the parcels corresponding to the island are taken as the subset. Soil sessions, which will create the pulling distances that will occur in the parcels that coincide with the island, are defined as the subset. If the universal set is defined mathematically,

$$s(E)=s(A)+s(B)+s(C) \tag{1}$$

$$s(C)c s(B)c s(A) \tag{2}$$

As a subset, A refers to the zoning island, B parcels, and C refers to the residential area. Thus, together with the mathematical simple expression in the form of a subset, the necessity of how to sit on the ground in the block building areas according to certain rules, that is, according to the planned areas type zoning regulation and plan notes, emerges.

4. FINDINGS and DISCUSSION

Relevant local governments make the zoning plans within their own borders. There is a series of steps from the upper scale to the lower scale [4;14]. The first of these is the development and country plans, then the regional and environmental plan plans, the master development plans and finally the implementation development plans that are suitable for urbanization on a local basis. [4]. From this point of view, the work begins by creating clean zoning parcels. The parcels that do not have any problems such as abandonment to the road or creation from the road or that do not have any problems in the façade and the depths are allowed for the construction of buildings [4;15]. With this permission, it is passed to the building construction tour area. The important thing is that the parcels are given the amount of sitting on the ground properly. Thus, regular plots are formed [12].

In the planned type zoning regulation, which entered into force in October 2017, articles were given about garden distances in particular. It is clearly stated that the rear towing distance should be at least 3 meters, especially in the zoning blocks in the adjacent layout style. Based on this, the rear



towing distance should be at least 3 meters in adjacent zoning blocks, and it should be pulled by increasing 0.5 meters per floor after 4 floors, such as in the side garden. However, as long as the plan notes are not contrary to the zoning regulations applied in planned places, studies specific to that region can be carried out with the decision to be taken by the council of the municipalities, which is the relevant institution. In adjacent parcels, the intersection areas of the rear drawbars, which are called lighting, can also be calculated in this way [8]. Before 2017, in the planned type zoning regulation, an application was made at the rear draw distance, based on the parcel depth, the building height, which is called the building depth, which is called L in relation to the rear draw distance. The aim was to remove the whole of the parcel from concrete and leave an area for the population to relax on a parcel basis. Since the TAKS (Base Area Coefficient) event was not taken into account in adjacent layouts, this L was applied as the rear haul distance, together with ensuring the minimum parcel depth and parcel width. If these conditions are not met, at least 3 meters of traction is given and the parcel is given a rear pulling distance. In our study, especially in a local-based region, based on the plan note to be taken from the municipal council, the rear pull distance is taken as half of the height and the zoning diameter is shown.

In Figure 2., zoning parcels are allowed up to 10 floors on a building basis in a zoning island that is a commercial residence. In accordance with Articles 15 and 16 of the Zoning Law, when the parcels are cleared after unification or allotment procedures, an application is made to the municipality for a zoning diameter. Here, too, when giving the zoning diameter, at least one depth must be attached to the neighboring parcel, so the zoning parcel in the north direction is affixed to the south so that it can take a diameter in the future parcels in the south direction. No matter how many floors there are in the block building regulations, the front drawing distance should be 5 meters, if the side garden is clear on the plan, that's it, if not, 3 meters up to 4 floors, after 4 floors, the side garden amount should be increased by half a meter per floor. The side garden distance is 6 meters [9].

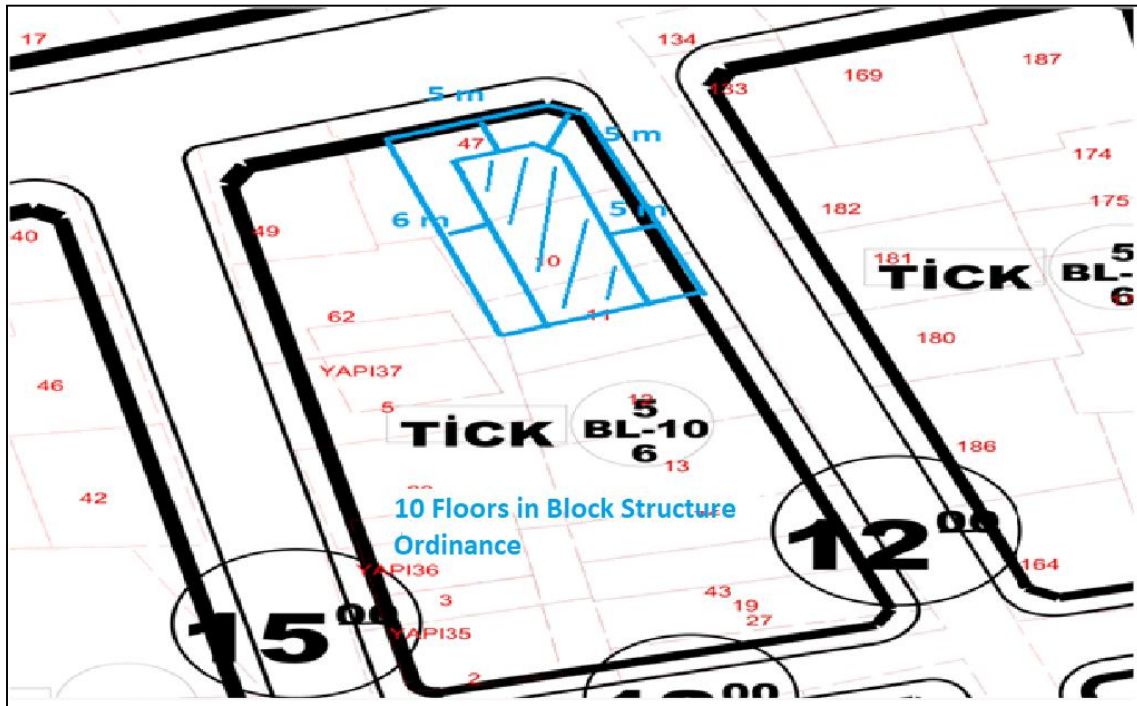


Figure 2. 10-storey parcel display in block building feature

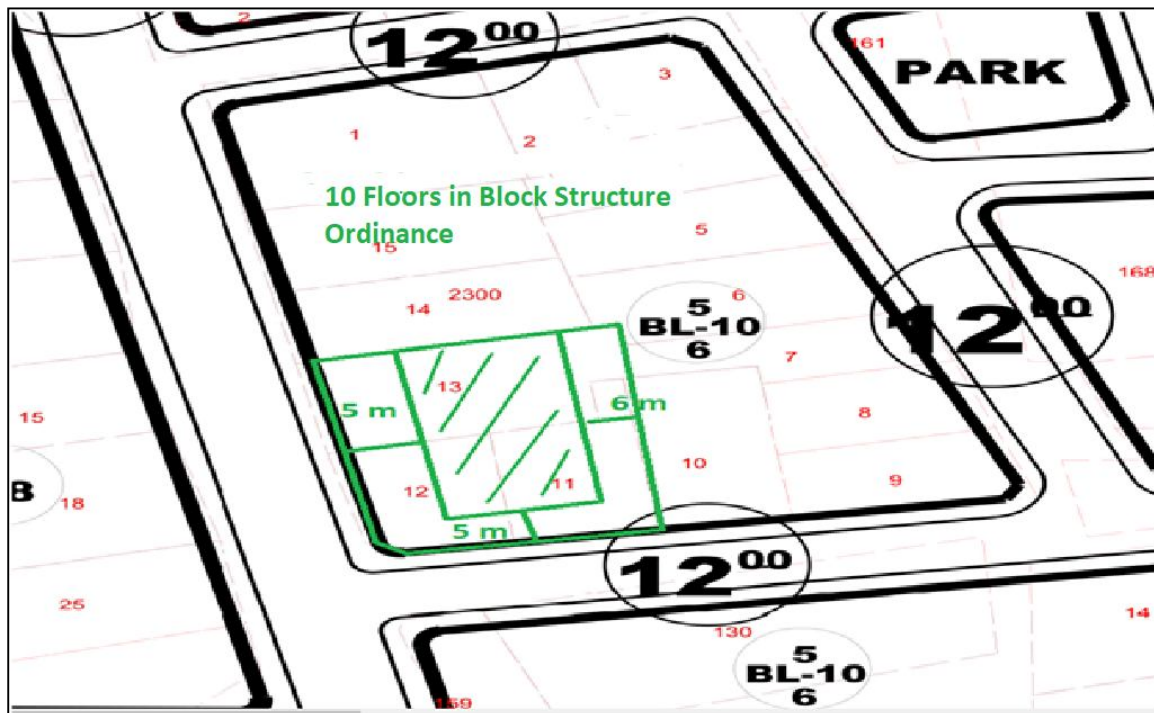


Figure 3. 10-storey parcel display in block building feature

In Figure 3., the residential area zoning island is a zoning island with permission up to 10 floors in the block building order. The zoning island located at the south corner was glued to the north direction, and the front drawing distance was 5 meters and the side garden distance was 6 meters, and the zoning diameter was given. TAKS and total calculations related to the building session will be calculated by multiplying the title deed area with the floor number or by taking 0,40 if the coefficient is not present in the plan, and the total construction area will be found from $TAKS * \text{Building Floor Number} = KAKS$ [9].

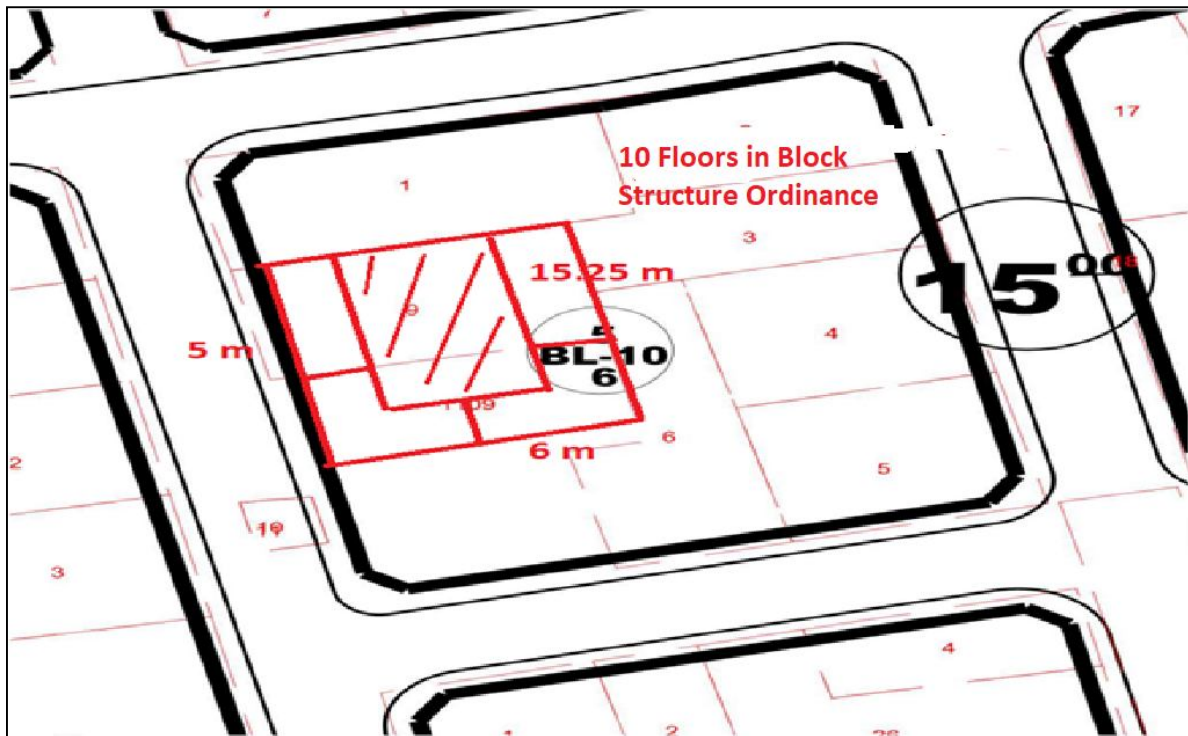


Figure 4. 10-storey parcel display in block building feature

In Figure 4., the immovable in the block order zoning island is allowed up to 10 floors. As the garden distance from the front side, 6 meters from the side, the distance to the back garden has been reduced to half the height, that is, $H/2 = (3 * 10 + 0.5) / 2 = 15.25$ meters. Here, 3 meters is the height per floor and 0.5 meters is the eaves share. If the minimum parcel depth of 10 meters is not provided, the zoning diameter will be given by drawing 3 meters, which is the minimum rear pulling distance condition, instead of half the height of the backyard distance [9].

In Figure 5., when 3 parcels on an island with permission up to 12 floors in the block building order request a zoning diameter after the merge process, the parcel in the south is affixed to the south because its depth is low, and the front drawing distance is 5 meters and the side garden drawing distance is 6 meters, which is the plan. zoning diameter is given [9].

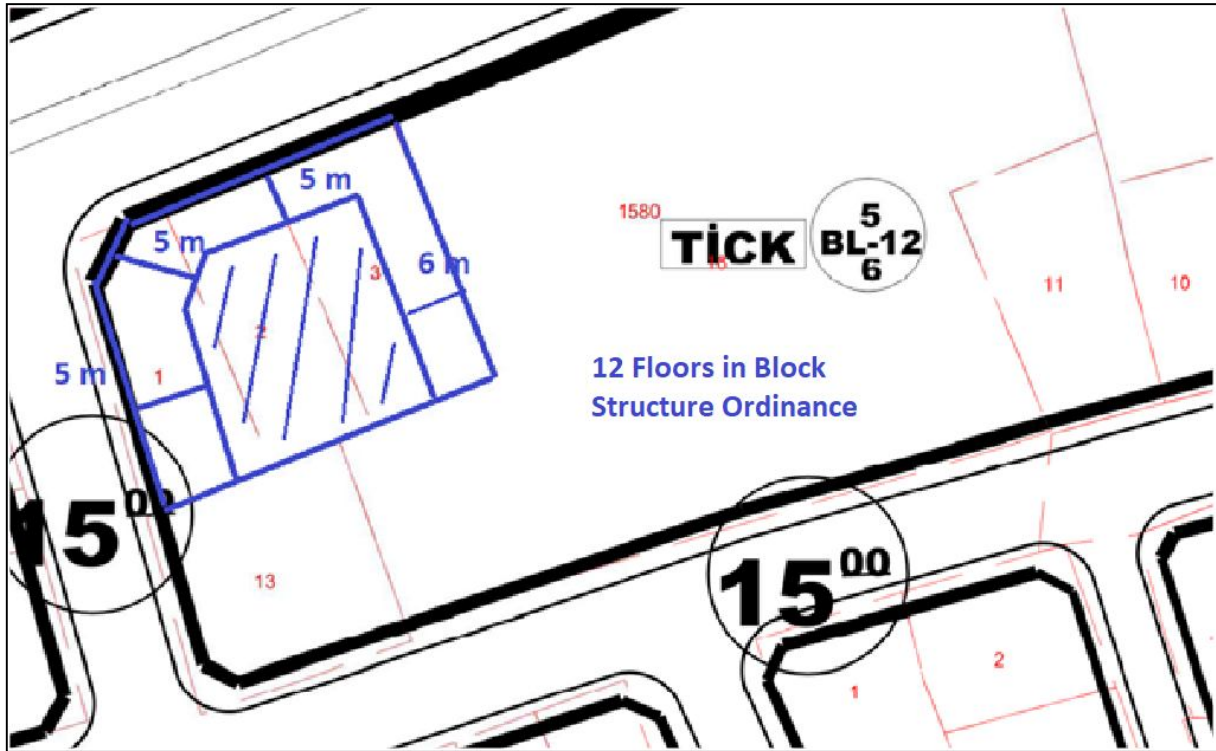


Figure 5. 12-storey parcel display in block building feature

In Figure 6, the parcel located in the east of the island on a zoning island with permission up to 8 floors in block order, when the other parcels of the zoning island are considered holistically, since the surface measurements are high, although it is a block structure, the zoning diameter has been given by converting it into a discrete layout in the middle without the need to stick it to at least a depth. The TAKS plan is given as 0.30, and the total equivalent is given as 2.40 [9].

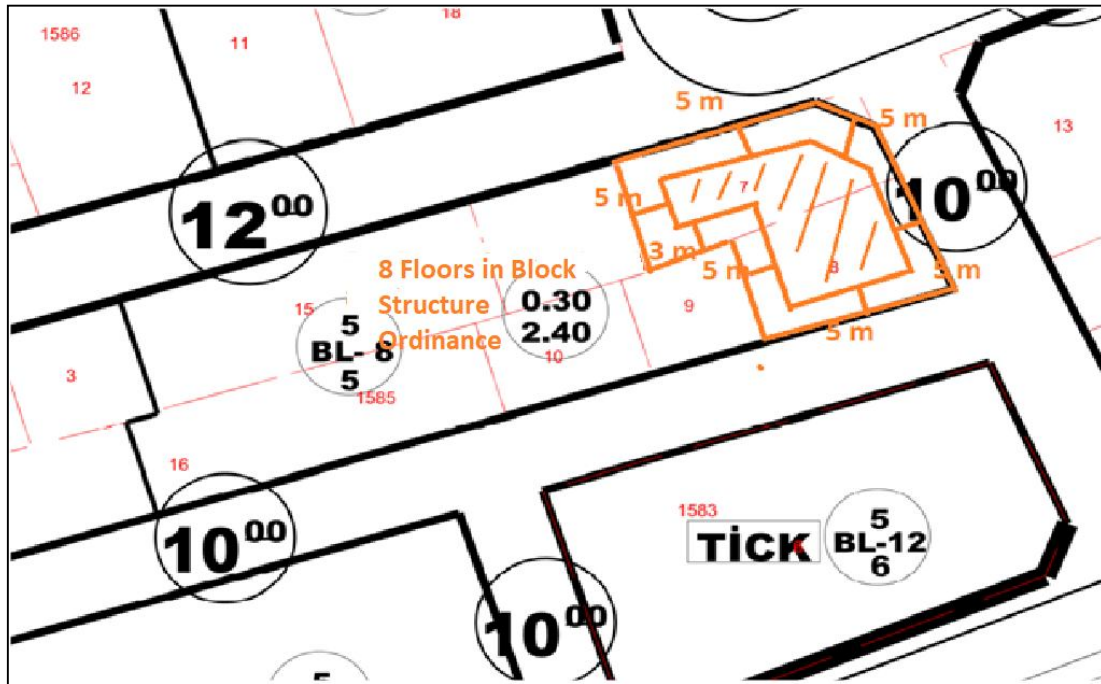


Figure 6. 8-storey parcel display in block building feature

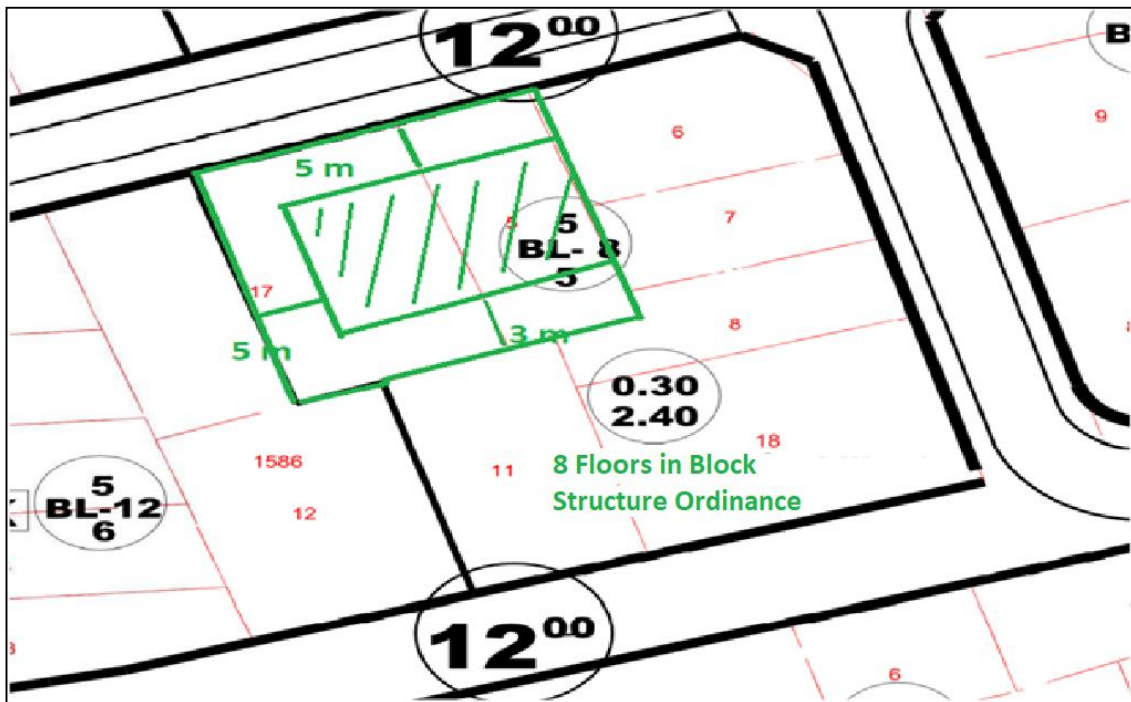


Figure 7. 8-storey parcel display in block building feature

In Figure 7., since the depth of the parcels to the east of the immovable located on a zoning island with a permit up to 8 floors in the block building order is low, it can be glued and the front drawing distance is 5 meters, the side drawing distance is 5 meters, and the rear drawing distance is low, so the depth is low, it is pulled with the condition of at least 3 meters for the zoning diameter. given. The residence area of the building is stated in the plan as the title deed will be 0.30 [9].

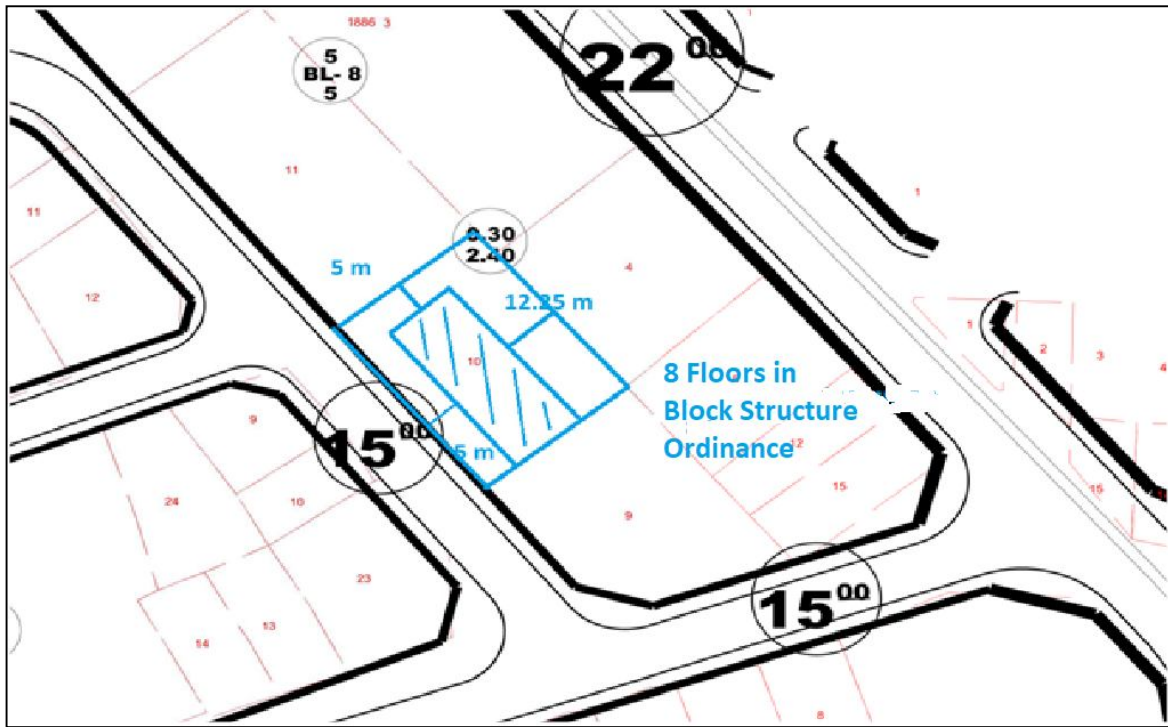


Figure 8. 8-storey parcel display in block building feature

In Figure 8., the zoning diameter is given by sticking the relevant parcel to the parcel in the south of an island with permission up to 8 floors in the block structure order, and drawing the front drawing distance 5 meters, the side garden 5 meters, and the rear drawing distance 12.25 meters [9].

In Figure 9., since the depth of the parcels in the north and south directions of the relevant parcel will be sufficient when they want diameter, and since its area is large, it is transformed into a split arrangement and the front draw distance is 5 meters, the side draw distance is 6 meters, and the back garden distance is 15.25 meters, which is half of the height. diameter is given [9].

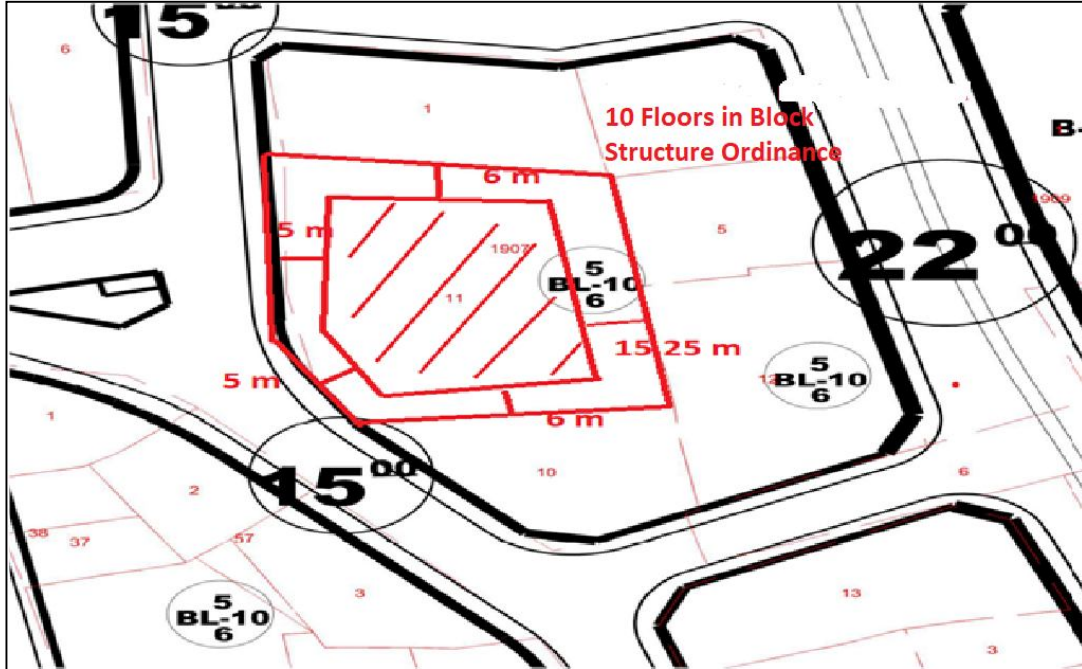


Figure 9. 10-storey parcel display in block building feature

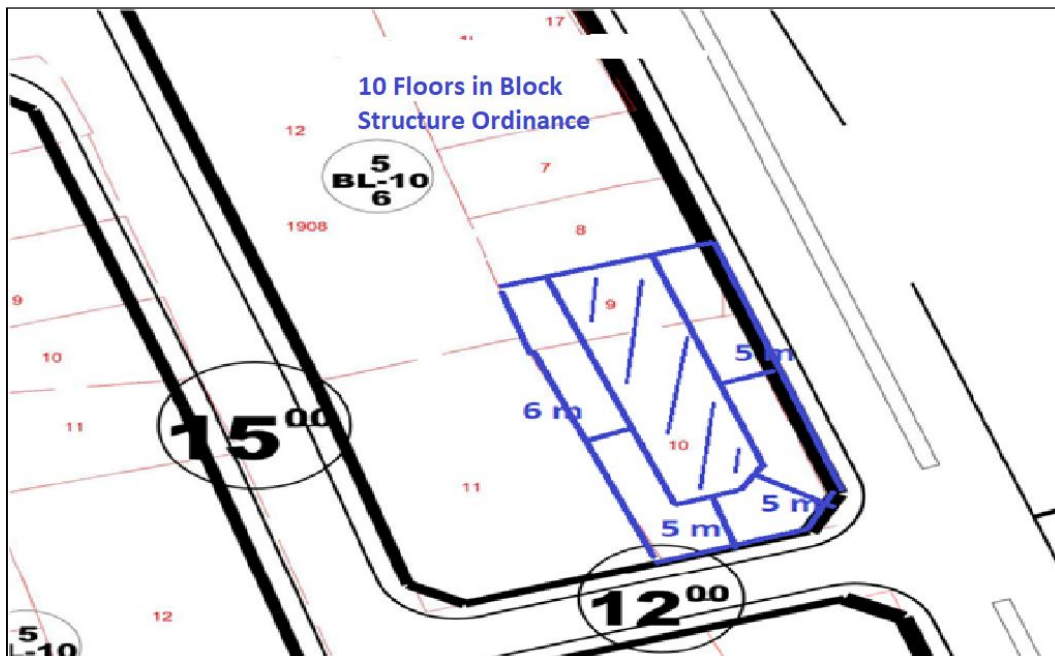


Figure 10. 10-storey parcel display in block building feature

In Figure 10, the front drawing distance to be drawn in a 10-storey area is 5 meters and the side garden is 6 meters, and the zoning diameter is given in the middle by sticking the single zoning parcel formed towards the north of the parcels that have been annexed [9].

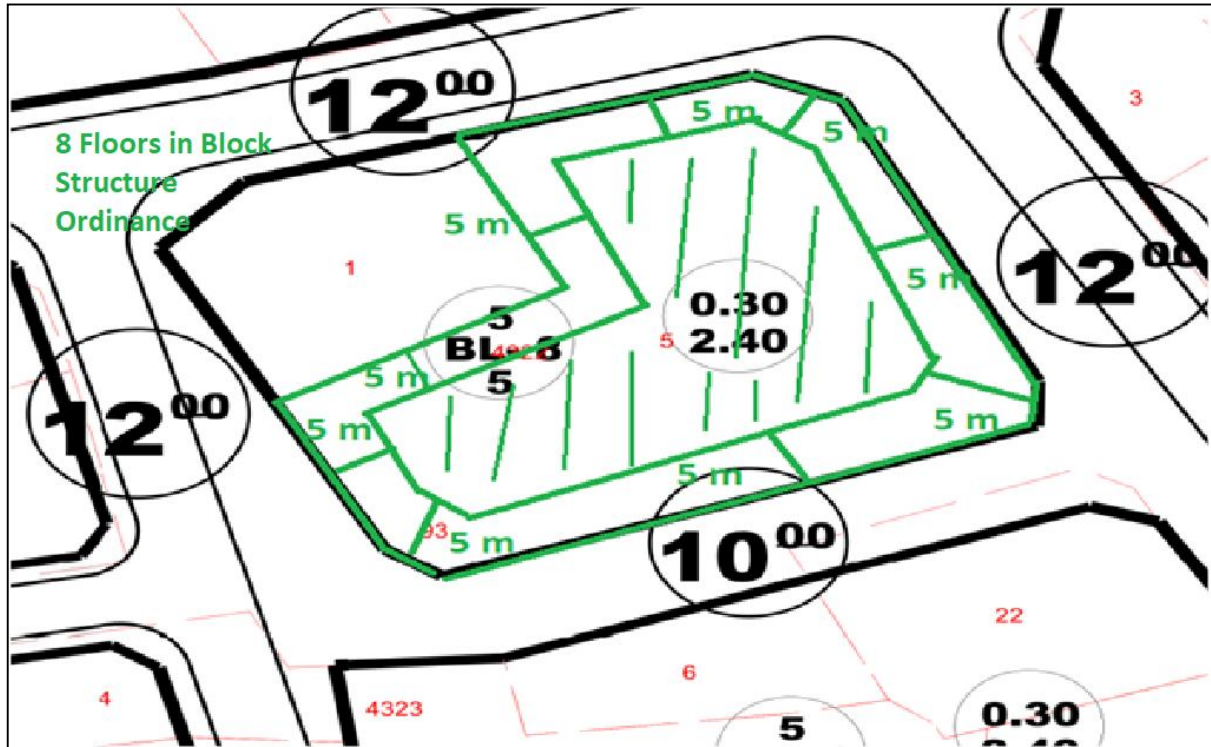


Figure 11. 8-storey parcel display in block building feature

In Figure 11., since the zoning island consists of 2 clean large zoning parcels, the zoning diameter is given as 5 meters for the front drawing distance, and 5 meters for the 8-storey area in the side garden, although it is in the block structure in the middle [9].

As it can be noticed from the examples, in the block building regulations, the distances from the outside to the inside of the parcel are made according to the number of floors and the peers of the parcel.

Table 1. Tension garden distances according to the number of floors of the zoning parcels with a block building order

Number of Floors	Front Garden Distance (m)	Side Garden Distance (m)	Backyard Distance (m)
1	5	3	3
2	5	3	3.25
3	5	3	4.75
4	5	3	6.25
5	5	3.5	7.75
6	5	4	9.25
7	5	4.5	10.75
8	5	5	12.25
9	5	5.5	13.75
10	5	6	15.25
11	5	6.5	16.75
12	5	7	18.25
13	5	7.5	19.75
14	5	8	21.25
15	5	8.5	22.75

In Table 1, it is summarized how the pulling distances for the construction on the whole floor should be based on the number of floors on the basis of factors that should be especially in the zoning blocks in the block building order. When attention is paid, the front towing distances are taken as 5 meters each, the side garden distances are taken as constant three meters up to four floors, then with an increase of half a meter per the following floor, and the rear gardens are the product of the height and the eaves of half a meter will decrease by three meters per floor, not exceeding a minimum of three meters. With the increase in its share, the planned areas before 201 were applied according to the type zoning regulation by dividing them into two. Today's planned areas according to the type zoning regulation, the only difference is the drawing distances by evaluating the rear distances as a side garden according to the number of floors.

Table 2. Display of towing distances compared to their peers

Peer Rates	Front Garden Distance (m)	Side Garden Distance (m)	Backyard Distance (m)
0.30	5	3	3
0.60	5	3	3.25
0.90	5	3	4.75
1.20	5	3	6.25
1.50	5	3.5	7.75
1.80	5	4	9.25
2.10	5	4.5	10.75
2.40	5	5	12.25
2.70	5	5.5	13.75
3.00	5	6	15.25
3.30	5	6.5	16.75
3.60	5	7	18.25
3.90	5	7.5	19.75
4.20	5	8	21.25
4.50	5	8.5	22.75

Table 2 is the summary of the determination of the withdrawals from the total construction precedent as a result of the fact that all garden drawing distances are determined according to the comparable ratios, as in the number of floors, by starting with thirty percent of the tanada parcel and then by multiplying the average rate of 0.30 per floor.

5. CONCLUSION and RECOMMENDATION

It has been seen with examples that when estimating the ground floor area for the zoning parcels with the characteristics of separate, block, adjacent or free structures, it will be acted in the light of the planned type areas regulation. Here, the most important parameters are the characteristics of the islands, the base session coefficients, and the total construction areas together with the height



parameters. After these factors are thoroughly understood, the candidate should be approached in general terms and should move from holistic to specific. The approach dimensions of the neighboring parcels should be approached with extreme precision in the parcels with the identity of a block building, and the measurement distances in the regulation determined to the extent the number of floors must be respected.

As can be seen from the findings and discussion section, after the minimum parcel dimensions are provided in the block building regulations, the determination of the building's residence area is done when the number of floors and the equivalent rates are corrected. These towing distances are given by showing the rear towing distances in line with the regulation before 2017, especially in order to ensure the rate of green space per person between the parcels. It is the process of blindly gluing at least one depth to the other parcel, which should be considered in the parcels in the block structure order. While drawing distances are given in such a way that they coincide with the island, pulling must be applied as if it is given to all parcels on a general basis.

REFERENCES

- [1] Anonymous. Mathematics Lecture Notes, 2022.
- [2] Anwer, K.İ., Artificial Algae Algorithm Based Clustering Method, Selcuk University, Institute of Science and Technology, Department of Information Technologies, Master Thesis, 2021.
- [3] Başöz L., Çakmakçı, R. Zoning Laws Legislation Legal Publishing, page 7, Istanbul, 2014.
- [4] Zoning Law, Official Gazette Date: 09.05.1985, Number: 18749, Edit.5, Volume: 24, Page: 378, 1985.
- [5] Koçak, H., Beyaz, M. Zoning Practices Pursuant to Article 18 of Law No. 3194, page 17, Ankara, 2015.
- [6] Malkoç, H. Using Artificial Neural Networks as Cluster Validity Index in Cluster Analysis, Cumhuriyet University, Institute of Social Sciences, Department of Econometrics, Master's Thesis, 2018.
- [7] Namli, B.S. Preparation and Implementation of Zoning Plans, Başkent University, Institute of Social Sciences, Department of Law, Public Law Program, Master's Thesis, 2017.
- [8] Planned Type Zoning Regulation, Official Gazette Date: 03.07.2017, Number: 30113, 2017.
- [9] Plan Note, Plan Note of the Implementation Zoning Plan, Elazig Municipality, Elazig, 2018.



- [10] Tadesse, T., Wardlow, B., and Hayes, M. J. The application of data mining for drought monitoring and prediction. In Data mining applications for empowering knowledge societies (pp. 278-289): IGI Global, 2009.
- [11] Tatlıdil, H. Applied Multivariate Statistical Analysis. Ziraat Printing House: Ankara, 2002.
- [12] Taşkaya, S. A Research on Reconstruction and Urbanization Activities in Local Governments, Municipality Between 2014-2019, The Case of Elazığ Province. International Journal of Eastern Anatolia Science, Engineering and Design, 1(1), 14-28, 2019.
- [13] Taşkaya, S. A Research on Zoning Diameters, which are the Basic Points for Construction Permits, International Journal of Eastern Anatolia Science, Engineering and Design, 1(2), 142-153, 2019.
- [14] Taşkaya, S., Taşkaya, S. Measurement of Multi-Storey Buildings Using Workbench Module in ANSYS Package Software and Investigation of Prototype Analysis, International Journal of Engineering, Design and Technology 1(2): 51-63, 2019.
- [15] Taşkaya, S., Taşkaya, S. Dimensioning of Coordinate Points of Two-Storey Building in Ansys Workbench Software and Investigation of Stress in Beams, International Journal on Mathematics, Engineering and Natural Sciences, 2019, vol:9 page:40-57, 2019.
- [16] Yağlıoğlu, I. Results of Cancellation of Zoning Plans, Antalya Bilim University Graduate Education Institute, Department of Public Law, Master's Thesis, Antalya, 2022.



ÇİFT SİMETRİLİ DEĞİŞKEN KESİTLİ ÇUBUKLARIN EKSENEL TİTREŞİMLERİ

Aydın ÖZMUTLU^{1*} 

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ.

Öz

Bu çalışmada çift simetrikli değişken kesitli çubukların taşıma matrisi yöntemi ile aksel titreşimleri araştırılmıştır. Ele alınan problemdeki, çubuk açıklık ortasına göre simetrik ve her iki ucundan basit mesnetlidir. Konik çubuk için küresel koordinatlarda yazılan hareket denkleminin değişkenlerine ayırma yöntemi ile Bessel fonksiyonları cinsinden kapalı çözümü yapılmıştır. Simetrik çubuğun 1'inci ve 2'nci bölgesi için çubuk uçlarında durum vektörleri yazılmış ve her iki bölge için taşıma matrisi türetilmiştir. Simetrik çubuk için toplam taşıma matrisi yazılıp sınır koşulları uygulanarak titreşim denkleminde ulaşılmıştır. Bu denklemin çözümünden serbest titreşim frekansları ve mod şekilleri farklı koniklik oranları için belirlenmiştir. Koniklik oranının ve simetrisinin aksel titreşim üzerine olan etkisi ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Konik çubuk, Aksel titreşim, Taşıma matrisi, Küresel Bessel fonksiyonları

AXIAL VIBRATIONS OF DOUBLY SYMMETRIC TAPERED BARS

Abstract

In this study, axial vibrations of bi-symmetrical variable cross-section bars were investigated using the transfer matrix method. The bar in the problem under examination is presumptively symmetrical about its mid-span and simply supported at both ends. The doubly symmetric tapered bar's equation of motion, written in spherical coordinates, is solved in closed form employing the separation of variables, and the solution is expressed in terms of Bessel functions. State vectors are obtained at the ends of the symmetrical bar for the first and second domains, and the transfer matrix is computed for both domains. The vibration equation is obtained by writing the total transfer matrix for the symmetrical bar and applying the boundary conditions. From the solution of this equation, free vibration frequencies and mode shapes are determined for different taper ratios. The effect of taper ratio and symmetry on axial vibration has been demonstrated.

Keywords: Tapered bar, Axial vibration, Transfer matrix, Spherical Bessel functions

Sorumlu Yazar: Aydın ÖZMUTLU, aozmutlu@nku.edu.tr

1. Giriş

Mühendislik uygulamalarında kullanılan bir boyutlu yapılar içinde, çubuk eksen boyunca kesiti bir fonksiyona bağlı (doğrusal, parabolik, üstel, vb.) değişen elamanların ayrı bir yeri vardır [1]. Literatürde kesik konik olarak isimlendirilen bu elemanlar [2], prefabrik yapılar, köprüler, makine elemanları gibi farklı alanlardaki mühendislik uygulamalarında karşımıza çıkmaktadır [3]. Kesik konik yapıların servis ömrü sırasında karşılaşılabilecekleri dinamik yükler, bu yapıların davranışlarının doğru bir şekilde anlaşılmasını ve boyutlandırılmasını zorunlu kılar. Bu anlamda yapı elemanlarında kesitlerin verimli kullanılması güvenlik ve ekonomiklik açısından önemli olup, kesik konik çubuklar bu beklentiye karşılamakta prizmatik çubuklara göre bir adım öne çıkmaktadır [4]. Dolayısı ile bu yapılarda dinamik etkilerle ortaya çıkan titreşimlerin ve dalga yayılımının araştırılması, malzeme mühendisliği ve tasarımında meydana gelen gelişmelerle güncelliğini hala korumaktadır [5,6]. Çift simetrikli değişken kesitli çubukların uygulamada kullanımına ilişkin örnekler, çelik profil kolonlar [7], betonarme kolonlar [8] ve özellikle dönen makine parçalarının (helikopter rotor palası, rüzgar türbini vb.) [9] şeklinde verilebilir.

Banerjee ve Williams [10] ince kiriş (Euler-Bornoulli (EB)) teorisine uyan konik çubukların aksel, burulma ve eğilme titreşimlerinin, Bessel fonksiyonlarını kullanarak dinamik rijitlik yöntemi ile kesin çözümlerini elde etmişlerdir. Gupta [11] konik kirişlerin serbest titreşim frekanslarını ve mod şekillerini belirlemiş, çözümde sonlu eleman yaklaşımı kullanmıştır. Elastik mesnetli konik bir kirişin titreşimlerini, Lee ve diğ. [12] entegral dönüşüm yöntemini, Rosa ve Auciello [13] Bessel fonksiyonlarını, Hsu ve diğ. [14] Adomian ayrıştırma yöntemini kullanarak seçilen sınır koşulları için incelemişlerdir. Banerje ve diğ. [15] dönen konik bir çubuğun eğilme titreşimlerini araştırmışlardır. Frobenius seri çözümü kullanarak dinamik rijitlik yöntemi ile dönüş hızına bağlı, mod şekillerini ve serbest titreşim frekanslarını ortaya koymuşlardır. Ece ve diğ. [16] kesit genişliği üstel olarak değişen konik bir kirişin titreşimlerini araştırıp, problemin değişik sınır koşulları için kesin çözümlerini vermişlerdir. Lee ve Lee [17] konik bir EB kirişinde titreşim frekanslarını Frobenius seri çözümü kullanarak taşıma matrisi yöntemi (TMM) ile elde etmiş ve terim sayısına bağlı serideki yakınsamaya ait sonuçları paylaşmışlardır. Banerjee ve Ananthapurvirajah [18] aynı problemin Bessel fonksiyonları ile analitik çözümünü vermişlerdir. Çalım [19] konikliği üstel ve doğrusal değişen iki farklı durum için Timoshenko kirişinin serbest

titreşimlerini farklı sınır koşulları altında incelemiş, frekanslarını belirlemiştir. Magnucki ve diğ. [20] konikliği doğrusal ve yaddoğrusal değişen açıklık ortasına göre simetrik kirişlerin serbest titreşim frekanslarını analitik ve sayısal çözüm sonunda elde etmişlerdir. Her iki çözüm sonunda elde edilen farkların kabul edilebilir hata sınırı içinde kaldığı gösterilmiştir.

Konik çubukların dinamik davranışı üzerine olan çalışmalara bakıldığında genellikle eğilme titreşimlerinin araştırılmasına yoğunlaşıldığı anlaşılmaktadır. Eksenel titreşimlerin araştırıldığı çalışmalar sınırlıdır. Abrate [21] kesiti doğrusal değişen bir konik çubuğun titreşim frekanslarının kesin çözümünü elde etmiştir. Ayrıca, konik bir çubukta eksen boyunca kesit değişimi bazı özel seçilmiş fonksiyonlar ile tarif edilerek doğal frekansları veren kesin çözümler elde edilebilmektedir [22–26]. Gan ve diğ. [27] farklı çubuk teorileri kullanarak konik bir çubukta boyuna dalga yayılımını taşıma matrisi yöntemi ile incelemişlerdir. Pillutla ve diğ. [28] çubuk eksen boyunca enkesiti çeşitli fonksiyonlara bağlı değişen konik bir çubuğun serbest titreşimlerini frekanslarını veren yaklaşık çözümlerini Chebyshev fonksiyonlarını kullanarak elde etmişlerdir. Ayrıca çalışmada önerilen yaklaşık yöntem homojen olmayan çubuklara da uygulanarak yeter yaklaşıklık sağlandığı gösterilmiştir. Todorovska ve diğ. [29] piramit şeklindeki bir binayı kesik piramit biçiminde modelleyerek, kayma dalgası yayılımını deprem verileri üzerinden incelemişlerdir. Elde edilen sonuçları sistem tanımlaması yapmak için kullanmışlar ve yapı sağlığı izlemesine kaynaklık etmesi konusunda önemli bilgiler ortaya koymuşlardır. Šalinić ve diğ. [30] konik çubuk ve kirişlerdeki serbest titreşimleri eksenel derecelendirilmiş malzeme hali için incelemişlerdir. Ele alınan örneklerde çubuk ve kiriş elemanların en kesiti kademeli ve sürekli değişen parçalardan oluşmakta olup, bu yapıların uçlarına bağlı kütle ve yayların serbest titreşim üzerindeki etkilerine bakılmıştır.

Konik kirişler üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde çubuk boyunca enkesit alanının kademeli değişim gösterdiği problemlere çok az rastlanmaktadır. Bu çalışmada taşıma matrisi yöntemi ile konikliği kademeli değişen çubukların serbest titreşim analizine ait kapalı bir çözüm sunulmaktadır. Çalışmada açıklık ortasına göre simetrik konik bir çubuğun eksenel titreşimleri incelenmiştir. Konik geometrisi eksene dik her iki düzlemde de doğrusal değişim göstermektedir. Problemin geometrisine uygun olarak hareket denklemi küresel koordinatlarda tanımlanmıştır. Elde edilen dalga denklemi ayrıklaştırılarak Bessel diferansiyel denklemine indirgenmiştir. Bu

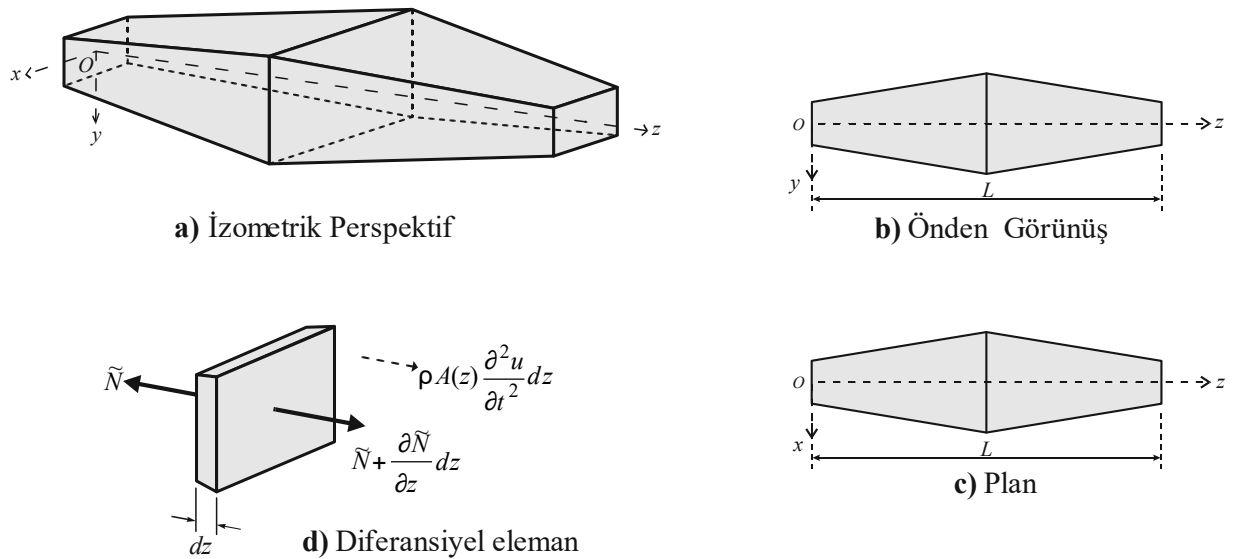
denklemin çözümü kullanılarak, çubuğun her iki bölgesinde uçlarında yazılan durum vektörleri ilişkisinden taşıma matrisi elde edilmiştir. Çubuğun mesnetlenme durumu göz önüne alınarak yazılan sınır koşulları, titreşim frekanslarının elde edilmesini sağlayan denklemi vermiş ve bu frekanslara karşılık gelen mod şekilleri belirlenmiştir. Koniklik oranındaki değişimin frekanslara ve mod şekillerine etkisine bakılmış, prizmatik bir çubukla sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümünde homojen, izotrop konik bir çubuğun hareket denklemi ve çözümü, çubuğun her bölgesi için taşıma matrisi ve bütünü için toplam taşıma matrisi, son olarak sabit mesnetlenme durumuna ait frekans denklemi verilmiştir.

2.1 Analitik Model ve Çözüm

Ekseni boyunca çubuk en kesiti doğrusal değişen, açıklık ortasına göre simetrik L uzunluğunda bir çubuk göz önüne alalım (Bk. Şekil 1). Çubuğun doğrusal esnek davrandığı kabul edilmiş olup küçük şekildeğiştirme teorisi göz önüne alınmaktadır.



Şekil 1. Analitik model

$$\frac{\partial}{\partial r} \left[EA(r) \frac{\partial u}{\partial r} \right] = \rho A(r) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (4)$$

Çubuk enkesit alanı çift simetriye sahip olduğu için değişimi $A(r) = A_0(r/r_0)^2$ şeklindedir. Çubuğun mesnet noktasındaki kesitin kenar uzunluğu a_0 , açıklık ortasındaki kesitin kenar uzunluğu a_m olmak üzere çubuk geometrisinden $r_0 = a_0 L / (a_m - a_0)$ şeklinde hesaplanır.

İncelenen problemde küresel simetri söz konusu olduğu için $\partial / \partial \theta = 0$ ve $\partial / \partial \varphi = 0$ 'dır, burada θ ve φ sırası ile kutup ve azimut açısıdır. Buna göre Denklem (4) yeniden düzenlenir.

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial u}{\partial r} \right) = \frac{1}{c_L^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (5)$$

Burada $c_L = \sqrt{E/\rho}$, boyuna dalga hızıdır. Çubuğun zamana göre davranışının $e^{i\omega t}$ şeklinde harmonik olduğu varsayılırsa, $u(r;t) = U(r)e^{i\omega t}$ ve $\tilde{N}(r;t) = N(r)e^{i\omega t}$ ilişkileri yazılabilir. Burada ω açısal frekans, $i = \sqrt{-1}$ 'dir. Bu ilişkiler kullanılarak Denklem (5), zamana göre ayrıklaştırılmış olur. Sadece uzaysal koordinatlara bağlı olan Denklem (6) aşağıda verilmiştir.

$$r^2 \frac{d^2 U}{dr^2} + 2r \frac{dU}{dr} + (kr)^2 U = 0 \quad (6)$$

Burada $k = \omega / c_L$ boyuna dalga sayısı ve karşımıza çıkan bu denklem, sıfıncı mertebeden küresel Bessel diferansiyel denklemdir. Bu denklemin çözümü

$$U(r) = A j_0(kr) + B n_0(kr), \quad r > 0 \quad (7)$$

kesik konik çubuk için Denklem (7)'deki gibi elde edilir [31]. Burada $j_0(kr)$ ve $n_0(kr)$ sırası ile sıfıncı mertebeden Bessel ve Neuman fonksiyonudur. A ve B ise entegrasyon sabitidir. Bu fonksiyonlar ayrıca

$$j_0(kr) = \frac{\sin(kr)}{kr}, \quad n_0(kr) = -\frac{\cos(kr)}{kr} \quad (8)$$

Denklem (8)'deki gibi de ifade edilebilir. Bu durumda alternatif bir çözüm

$$U(r) = A \frac{\sin(kr)}{kr} - B \frac{\cos(kr)}{kr} \quad r > 0 \quad (9)$$

Denklem (9)'da görülmektedir. Bu çözüm (O, z) koordinat takımında ifade edilmek istenirse (O', r) koordinat takımından dönüşüm yapılır.

$$U_1(z) = \frac{1}{r_0 + z} [C_1 \sin(kz) + C_2 \cos(kz)], \quad 0 \leq z \leq L/2 \quad (10)$$

Böylece konik çubuğun 1'inci bölgesinde geçerli yerdeğiştirme elde edilmiş olur (Denklem (10)). Burada C_1 ve C_2 farklı sabitler olup, problemin sınır koşullarını sağlayacak şekilde belirlenir. Konik çubuğun $z = 0$ noktasındaki kesiti A_0 ise, 1'inci bölgede herhangi bir z noktasındaki en kesit alanı $A_1(z) = A_0 [1 + (z/r_0)]^2$ şeklinde değişmektedir. Denklem (2)'deki bünye bağıntısı kullanılarak

$$N_1(z) = EA_1(z) \left\{ -(r_0 + z)^{-2} [C_1 \sin(kz) + C_2 \cos(kz)] + k(r_0 + z)^{-1} [C_1 \cos(kz) - C_2 \sin(kz)] \right\} \quad (11)$$

eksenel normal kuvvet elde edilmiş olur (Denklem (11)). Şimdi çubuğun 2'inci bölgesinde geçerli yerdeğiştirmeyi elde edelim, bu bölgede koniklik negatif eğimlidir (Bk. Şekil 2). Bu durumda 2'nci bölgede (O, z) koordinat takımında geçerli yerdeğiştirme,

$$U_2(z) = \frac{1}{(r_0 + L) - z} [D_1 \sin(kz) + D_2 \cos(kz)], \quad L/2 \leq z \leq L \quad (12)$$

Denklem (12)'de verilmiştir. Burada D_1 ve D_2 , 2'nci bölgedeki entegrasyon sabitleridir. Konik çubuğun $z = L/2$ noktasındaki kesiti A_m ise, 2'nci bölgede herhangi bir z noktasındaki en kesit alanı $A_2(z) = A_u \{1 - [z/(r_0 + L)]\}^2$ şeklinde değişmektedir. Çubuğun simetrik geometrisi sonucu $A_u = (a_u)^2 = (2a_m - a_0)^2$ yazılır. Bünye bağıntısından elde edilen bu bölgedeki aksenal normal kuvvet aşağıda verilmiştir (Denklem (13)).

$$N_2(z) = EA_2(z) \left\{ ((r_0 + L) - z)^{-2} [D_1 \sin(kz) + D_2 \cos(kz)] + k((r_0 + L) - z)^{-1} [D_1 \cos(kz) - D_2 \sin(kz)] \right\} \quad (13)$$

2.2 Alan ve Toplam Taşıma Matrisinin İnşası

Bu kısımda konik çubuğun 1'inci ve 2'nci bölgesi için alan taşıma matrisleri türetilcek sonra tüm çubuğu temsilen toplam taşıma matrisi elde edilecektir. Alan taşıma matrisleri türetilirken eleman

uçlarında yazılan durum vektörleri arasındaki ilişkilerden yararlanılacaktır. Denklem (10) ve Denklem (11) matris formunda Denklem (14)'deki gibi yazılır.

$$\mathbf{f}(z) = \mathbf{B}_1(z)\mathbf{C} \quad (14)$$

Burada geçen $\mathbf{B}_1(z)$ matrisinin açık hali aşağıda Denklem (15)'de verilmiştir.

$$\mathbf{B}_1(z) = \begin{bmatrix} \frac{\sin(kz)}{r_0 + z} & \frac{\cos(kz)}{r_0 + z} \\ -\frac{EA_1(z)\sin(kz)}{(r_0 + z)^2} + \frac{EA_1(z)k\cos(kz)}{r_0 + z} & -\frac{EA_1(z)\cos(kz)}{(r_0 + z)^2} - \frac{EA_1(z)k\sin(kz)}{r_0 + z} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Şimdi 1'inci çubuk parçasının uçlarında durum vektörlerini tanımlayalım (Bk. Şekil 2). 1'inci çubuk parçasının sol ucunda $z = z_0 = 0$ 'da tanımlı durum vektörü $\mathbf{f}(z_0) = \mathbf{B}_1(z_0)\mathbf{C}$ ve sağ ucunda $z = z_1 = L/2$ 'de tanımlı durum vektörü $\mathbf{f}(z_1) = \mathbf{B}_1(z_1)\mathbf{C}$ 'dir.

Her iki uç arasındaki durum vektörü arasındaki ilişki, katsayılar vektörü yok edilirse

$$\begin{aligned} \mathbf{f}(z_1) &= \mathbf{B}_1(z_1)\mathbf{B}_1^{-1}(z_0)\mathbf{f}(z_0) \\ &= \mathbf{T}_1(z_1, z_0)\mathbf{f}(z_0) \end{aligned} \quad (16)$$

Denklem (16)'daki gibi elde edilir. Burada $\mathbf{T}_1(z_1, z_0) = \mathbf{B}_1(z_1)\mathbf{B}_1^{-1}(z_0)$ 1'inci alan taşıma matrisidir.

Benzer şekilde Şimdi 2'nci çubuk parçasının uçlarında durum vektörlerini tanımlayalım (Bk. Şekil 2). 2'nci çubuk parçasının sol ucunda $z = z_1 = L/2$ 'de tanımlı durum vektörü $\mathbf{f}(z_1) = \mathbf{B}_2(z_1)\mathbf{D}$ ve sağ ucunda $z = z_2 = L$ 'de tanımlı durum vektörü $\mathbf{f}(z_2) = \mathbf{B}_2(z_2)\mathbf{D}$ 'dir.

Her iki uç arasındaki durum vektörü arasındaki ilişki, katsayılar vektörü yok edilirse

$$\begin{aligned} \mathbf{f}(z_2) &= \mathbf{B}_2(z_2)\mathbf{B}_2^{-1}(z_1)\mathbf{f}(z_1) \\ &= \mathbf{T}_2(z_2, z_1)\mathbf{f}(z_1) \end{aligned} \quad (17)$$

Denklem (17)'daki gibi elde edilir. Burada $\mathbf{T}_2(z_2, z_1) = \mathbf{B}_2(z_2)\mathbf{B}_2^{-1}(z_1)$ 2'nci alan taşıma matrisidir.

Her iki parça üzerinde yazılan alan taşıma matrisleri ve durum vektörleri ilişkileri kullanılarak simetrik çubuğun sol ve sağ uç durum vektörleri arasındaki ilişki

$$\begin{aligned} \mathbf{f}(z_2) &= \mathbf{T}_2(z_2, z_1)\mathbf{f}(z_1) \\ &= \mathbf{T}_2(z_2, z_1)\mathbf{T}_1(z_1, z_0)\mathbf{f}(z_0) \\ &= \mathbf{T}(z_2, z_0)\mathbf{f}(z_0) \end{aligned} \quad (18)$$

Denklem (18)'deki gibi kurulur. Burada $\mathbf{T}(z_2, z_0)$ çubuğun bütünü için geçerli toplam taşıma matrisidir.

Toplam taşıma matrisi, incelenen probleme göre titreşim özelliklerini belirlemekte, frekans ve mod şekillerini hesaplamakta kullanılabilir. Bu çalışmada örnek olarak her iki ucun sabit mesnetli olmasına ait sınır koşulları kullanılmıştır. Bu duruma karşılık gelen sınır koşulları aşağıdaki gibi ifade edilir (Denklem (19)).

$$U(z=0) = 0, \quad U(z=L) = 0 \quad (19)$$

Denklem (19)'da verilen bu koşullar Denklem (18)'de yerine koyulursa

$$U(L) = \mathbf{T}_{11}(L, 0)U(0) + \mathbf{T}_{12}(L, 0)N(0) \quad (20)$$

Denklem (20) elde edilir. $N(0) \neq 0$ olduğuna göre aşikâr çözümden farklı çözümlere ancak

$$\mathbf{T}_{12}(L, 0) = 0 \quad (21)$$

Denklem (21) ile ulaşılır. Serbest titreşim frekansları Denklem (21)'den hesaplanabilir. Elde edilen her bir frekansa karşılık gelen mod şekilleri C_1, C_2, D_1, D_2 entegral sabitlerinin belirlenmesi ile hesaplanır. Sabitlerin belirlenmesi, birinin keyfi olarak (örneğin $C_1 = 1$) seçilmesi ve diğer sabitlerin, seçilen sabit cinsinden sınır koşullarını sağlayacak şekilde hesaplanması ile olur.

3. Bulgular

Bu bölümde yukarıda teorisi verilen yol izlenerek, açıklık ortasına göre simetrik çifte konik bir çubukta aksenal serbest titreşimlere ait doğal frekanslar ve mod şekilleri için sayısal sonuçlar verilecektir. Çubuk geometrisine ait seçilen büyüklükler; L çubuk boyu, c_L boyuna dalga hızı, ω doğal frekans olmak üzere, boyutsuz frekans

$$\Omega_i = \omega_i L / c_L \quad (22)$$

Denklem (22) ile hesaplanır. Çubuğun başlangıç noktasındaki kesitinin kenar uzunluğu $a_0 = L/10$ alınmıştır. Açıklık ortasındaki kesitinin kenar uzunluğu koniklik oranına bağlı bulunur. Çubuk geometrisinden, pozitif eğimli kısımda koniklik oranı $\alpha_1 = 1/r_0 = 2(a_m - a_0)/a_0L$, negatif eğimli kısımda $\alpha_2 = 1/(r_0 + L) = 2(a_m - a_0)/a_uL$ şeklinde hesaplanır. Kiriş parçasının uzunluğu $L = 1$ m ve malzeme özellikleri $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$, $E = 32 \text{ GPa}$ ve Poisson oranı $\nu = 0.2$ olarak seçilmiştir.

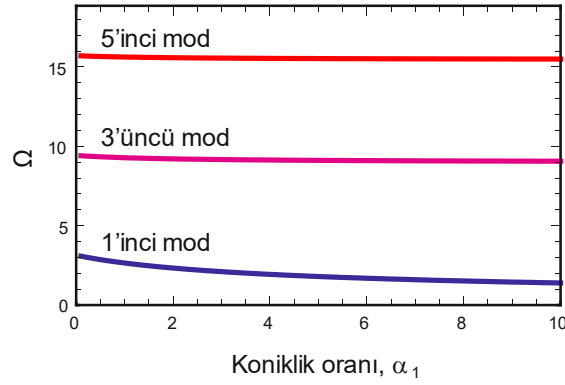
Seçilen geometrik ve malzeme özellikleri kullanılarak çubuğun aksenal titreşimleri Denklem (21) ile hesaplanmıştır. Toplam taşıma matrisi bütün çubuk için yazılıp sınır koşulları uygulandıktan sonra Denklem (21) ile serbest titreşim denkleminde ulaşılmıştır. Bu denklem aşkın bir denklem olup bu denklemin kökleri ardışık yaklaşım yöntemi kullanılarak bulunur. Bulunan köklerin en küçüğü 1'inci doğal titreşim frekansıdır. Bu sonuçlar üzerinde Denklem (22) ile boyutsuzlaştırma yapılarak koniklik oranına bağlı elde edilen boyutsuz doğal frekanslar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1'de koniklik oranı değiştikçe simetrik modlarda (1,3,5,...) mod sayısına bağlı olarak boyutsuz frekansların prizmatik çubuğa göre azaldığı görülmektedir. Asimetrik modlarda ise frekanslar prizmatik çubuk ile aynıdır.

Tablo 1. Koniklik oranına göre boyutsuz doğal frekanslar

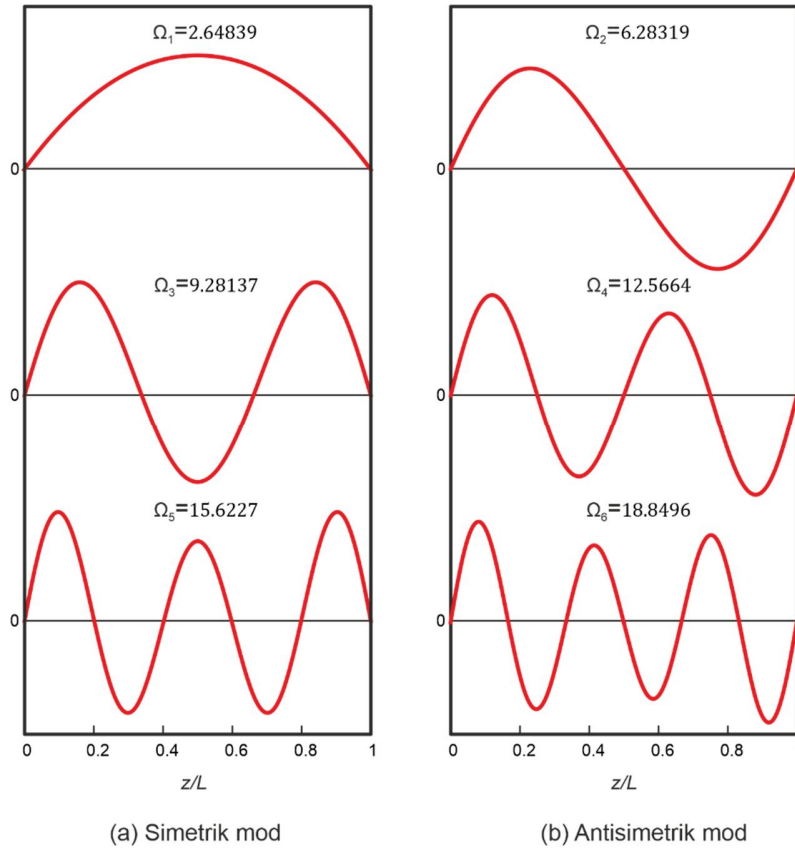
Mod sayısı, n	$\alpha_1 = 0.25$	$\alpha_1 = 1$	$\alpha_1 = 4$	Prizmatik çubuk
1	2.99339	2.64839	1.93481	3.14159
2	6.28319	6.28319	6.28319	6.28319
3	9.37739	9.28137	9.13490	9.42478
4	12.56637	12.56637	12.56637	12.56637
5	15.67962	15.62267	15.53675	15.70796
6	18.84956	18.84956	18.84956	18.84956

Simetrik modlardaki frekans değişimlerine koniklik oranının etkisi Şekil 3'de sunulmuştur. İlk mod için frekansların koniklik oranından çok fazla etkilendiği ama 3'üncü ve 5'inci mod için fazla etkilenmediği görülmektedir. Çubuk 1'inci modda titreşirken düğüm noktası gözlenmez, 2'nci modla beraber hareketin olmadığı bir düğüm noktası oluşur. 1'inci modun dışında her zaman $n-1$ tane düğüm noktası oluşur. Konikliğin etkisi ile düğüm noktaları prizmatik çubuğa göre enkesitin kalınlaştığı tarafa hareket eder [32]. Yüksek modlara çıkıldıkça düğüm noktalarının sayısı artar ve bu hareket kısıtlanmaya başlar böylece koniklikten etkilenmenin daha da azalacağı söylenebilir. Ayrıca koniklik oranının belli bir değerden sonra frekanslar üzerindeki etkisinin kaybolduğu ve bir asimptotik değere yaklaştığı Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Simetrik mod frekanslarının koniklik oranına göre değişimi

Seçilen bir koniklik oranı örneğin $\alpha_1 = 1$ için hesaplanan boyutsuz frekanslara karşılık gelen mod şekilleri Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. $\alpha_1 = 1$ koniklik oranı için a) Simetrik ve b) antisimetrik mod şekilleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada açıklık ortasına göre simetrik değişken kesitli bir çubuğun aksenal titreşimleri incelenmiştir. Değişken kesit çiftli simetriye sahip alınarak kapalı çözüm elde edilmiştir. İki ucu basit mesnetli simetrik çubuk için toplam taşıma matrisi üzerinden titreşim denklemi bulunmuş ve serbest titreşim frekansları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Konik bir çubuğun doğal frekanslarının ve mod şekillerinin, koniklik oranından etkilendiği görülmüştür.
- Değiştirilen koniklik oranı sadece simetrik mod ve frekanslar üzerinde bir etkiye sahiptir.
- Koniklik oranı arttıkça simetrik modların frekansları azalır ve sabit bir değere yaklaşır.
- Koniklik oranının frekanslar üzerindeki etkisi yüksek modlarda kaybolmaktadır.

Çalışmadaki yöntem simetrik ya da simetrik olmayan koniklik oranı çubuk boyunca bölgeden bölgeye değişen çoklu konikliğe sahip çubuklara genişletilebilir. Önerilen yöntem ile elde edilen sonuçlar kesin olduğu için sayısal yöntemlerle elde edilen sonuçların doğrulanmasında kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Elishakoff, I., Eigenvalues of inhomogeneous structures: Unusual closed-form solutions, CRC Press, Boca Raton, Fla., 2005.
- [2] Balduzzi, G., Aminbaghai, M., Sacco, E., Füssl, J., Eberhardsteiner, J., and Auricchio, F., Non-prismatic beams: A simple and effective Timoshenko-like model, International Journal of Solids and Structures, 90, ss. 236–250, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2016.02.017>.
- [3] Vilar, M., Hadjiloizi, D. A., Masjedi, P. K., and Weaver, P. M., Stress analysis of generally asymmetric non-prismatic beams subject to arbitrary loads, European Journal of Mechanics - A/Solids, 90, s. 104284, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.euromechsol.2021.104284>.
- [4] Andrade, A. and Camotim, D., Lateral–Torsional Buckling of Singly Symmetric Tapered Beams: Theory and Applications, Journal of Engineering Mechanics, 131, ss. 586–597, 2005. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(2005\)131:6\(586\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(2005)131:6(586)).
- [5] Demir, E., Çallioğlu, H., and Sayer, M., Vibration analysis of sandwich beams with variable cross section on variable Winkler elastic foundation, Science and Engineering of Composite Materials, 20, ss. 359–370, 2013. <https://doi.org/10.1515/secm-2012-0151>.



- [6] Soltani, M., Atoufi, F., Mohri, F., Dimitri, R., and Tornabene, F., Nonlocal Analysis of the Flexural-Torsional Stability for FG Tapered Thin-Walled Beam-Columns, *Nanomaterials* (Basel, Switzerland), 11, 2021. <https://doi.org/10.3390/nano11081936>.
- [7] Zhang, B.-H., Guo, Y.-L., and Dou, C., Ultimate bearing capacity of asymmetrically double tapered steel columns with tubular cross-section, *Journal of Constructional Steel Research*, 89, ss. 52–62, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2013.06.010>.
- [8] Alkloub, A., Allouzi, R., and Naghawi, H., Numerical Nonlinear Buckling Analysis of Tapered Slender Reinforced Concrete Columns, *International Journal of Civil Engineering*, 17, ss. 1227–1240, 2019. <https://doi.org/10.1007/s40999-019-00395-5>.
- [9] Ozgumus, O. O. and Kaya, M. O., Flapwise bending vibration analysis of double tapered rotating Euler–Bernoulli beam by using the differential transform method, *Meccanica*, 41, ss. 661–670, 2006. <https://doi.org/10.1007/s11012-006-9012-z>.
- [10] Banerjee, J. R. and Williams, F. W., Exact Bernoulli-Euler dynamic stiffness matrix for a range of tapered beams, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 21, ss. 2289–2302, 1985. <https://doi.org/10.1002/nme.1620211212>.
- [11] Gupta, A. K., Vibration of Tapered Beams, *Journal of Structural Engineering*, 111, ss. 19–36, 1985. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1985\)111:1\(19\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1985)111:1(19)).
- [12] Lee, S. Y., Ke, H. Y., and Kuo, Y. H., Analysis of non-uniform beam vibration, *Journal of Sound and Vibration*, 142, ss. 15–29, 1990. [https://doi.org/10.1016/0022-460X\(90\)90580-S](https://doi.org/10.1016/0022-460X(90)90580-S).
- [13] Rosa, M. A. de and Auciello, N. M., Free vibrations of tapered beams with flexible ends, *Computers & Structures*, 60, ss. 197–202, 1996. [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(95\)00397-5](https://doi.org/10.1016/0045-7949(95)00397-5).
- [14] Hsu, J.-C., Lai, H.-Y., and Chen, C. K., Free vibration of non-uniform Euler–Bernoulli beams with general elastically end constraints using Adomian modified decomposition method, *Journal of Sound and Vibration*, 318, ss. 965–981, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.05.010>.
- [15] Banerjee, J. R., Su, H., and Jackson, D. R., Free vibration of rotating tapered beams using the dynamic stiffness method, *Journal of Sound and Vibration*, 298, ss. 1034–1054, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2006.06.040>.
- [16] Ece, M. C., Aydogdu, M., and Taskin, V., Vibration of a variable cross-section beam, *Mechanics Research Communications*, 34, ss. 78–84, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2006.06.005>.
- [17] Lee, J. W. and Lee, J. Y., Free vibration analysis using the transfer-matrix method on a tapered beam, *Computers & Structures*, 164, ss. 75–82, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2015.11.007>.



- [18] Banerjee, J. R. and Ananthapuvirajah, A., Free flexural vibration of tapered beams, *Computers & Structures*, 224, s. 106106, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2019.106106>.
- [19] Çalım, F. F., Değişken Kesitli Timoshenko Kirişinin Serbest Titreşim Analizi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6, ss. 76–82, 2017. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.297736>.
- [20] Magnucki, K., Magnucka-Blandzi, E., Milecki, S., Goliwaş, D., and Wittenbeck, L., Free flexural vibrations of homogeneous beams with symmetrically variable depths, *Acta Mechanica*, 232, ss. 4309–4324, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00707-021-03053-x>.
- [21] Abrate, S., Vibration of non-uniform rods and beams, *Journal of Sound and Vibration*, 185, ss. 703–716, 1995. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1995.0410>.
- [22] LI, Q. S., Exact solutions for free longitudinal vibration of stepped non-uniform rods, *Applied Acoustics*, 60, ss. 13–28, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0003-682X\(99\)00048-1](https://doi.org/10.1016/S0003-682X(99)00048-1).
- [23] LI, Q. S., Exact solutions for free longitudinal vibrations of non-uniform rods, *Journal of Sound and Vibration*, 234, ss. 1–19, 2000. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1999.2856>.
- [24] Raj, A. and Sujith, R. I., Closed-form solutions for the free longitudinal vibration of inhomogeneous rods, *Journal of Sound and Vibration*, 283, ss. 1015–1030, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2004.06.003>.
- [25] Guo, S. and Yang, S., Free longitudinal vibrations of non-uniform rods, *Science China Technological Sciences*, 54, ss. 2735–2745, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11431-011-4534-6>.
- [26] Yardimoglu, B. and Aydin, L., Exact longitudinal vibration characteristics of rods with variable cross-sections, *Shock and Vibration*, 18, ss. 555–562, 2011. <https://doi.org/10.3233/SAV-2010-0561>.
- [27] Gan, C., Wei, Y., and Yang, S., Longitudinal wave propagation in a rod with variable cross-section, *Journal of Sound and Vibration*, 333, ss. 434–445, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2013.09.010>.
- [28] Pillutla, S. H., Gopinathan, S., and Yerikalapudy, V. R., Free longitudinal vibrations of functionally graded tapered axial bars by pseudospectral method, *Journal of Vibroengineering*, 20, ss. 2137–2150, 2018. <https://doi.org/10.21595/jve.2018.19373>.
- [29] Todorovska, M. I., Girmay, E. A., Wang, F., and Rahmani, M., Wave propagation in a doubly tapered shear beam: Model and application to a pyramid-shaped skyscraper, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 51, ss. 764–792, 2022. <https://doi.org/10.1002/eqe.3590>.



[30] Šalinić, S., Obradović, A., and Tomović, A., Free vibration analysis of axially functionally graded tapered, stepped, and continuously segmented rods and beams, *Composites Part B: Engineering*, 150, ss. 135–143, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.05.060>.

[31] Abramowitz, M., and Stegun, I. A., *Handbook of Mathematical Functions: with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables* / edited by Milton Abramowitz and Irene A. Stegun, Dover Publications, New York, 1970.

[32] Balachandran, B., and Magrab, E. B., *Vibrations*, Cambridge University Press, Cambridge, 2019.



DÜŞÜK BASINÇLI KÜKÜRT ENJEKSİYONUNUN SERBEST BASINÇ MUKAVEMETİNE ETKİSİ

Murat KARADENİZ^{1*}, Onur ÖZTÜRK², Zuhal Elif KARA¹, Mücahit OPAN²

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

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

Öz

Fosil yakıtların kullanımındaki artış ile birlikte petrol endüstrisinin yan ürünü olarak elde edilen kükürt miktarları da dünya çapında artış göstermiştir. Artan rezervler sonucu alternatif kullanım alanı olarak inşaat teknolojisinde kullanılan kükürtün, geoteknik uygulamalar içerisinde de geleneksel Portland çimentosu kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerine alternatif olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, geleneksel yöntemlerde bağlayıcı olarak kullanılan su-çimento karışımının yerine petrol endüstrisinden elde edilen kükürt, zemin enjeksiyonu yöntemi ile uygulanmıştır. Oda sıcaklığında katı halde olan kükürt, rölatif sıklıkları %25, %50, %75 ve %100 olarak hazırlanmış uniform kum (SP) sınıfı zemin numunelerine 130-135°C’de sıvı faza getirilerek düşük basınçlı kükürt enjeksiyonu şeklinde uygulanmıştır. Numuneler bu çalışma için özel olarak tasarlanan deney düzeneği kullanılarak sıcaklık ve basınç kontrollü olarak hazırlanmıştır. Enjeksiyon uygulanmış numuneler 1, 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda serbest basınç mukavemeti deneylerine tabi tutulmuş ve rölatif sıklık, kür süresi ile enjeksiyon basıncı değişimlerinin serbest basınç mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmiştir. En yüksek serbest basınç dayanımı 7 günlük numunede 20.16 MPa olarak elde edilmiş ve 1 saat sonunda bu değer yaklaşık %85’ine ulaşabildiği belirlenmiştir. Hızlı priz alma ve yüksek dayanım değerleri ile saf kükürtün zemin enjeksiyonunda çimento harçlarına alternatif olarak kullanılabileceği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Zemin enjeksiyonu, Kükürt, Serbest basınç mukavemeti, Rölatif sıklık

Sorumlu Yazar: Murat KARADENİZ, karadenizmurat61@gmail.com



EFFECT of LOW PRESSURE SULFUR INJECTION on UNCONFINED COMPRESIVE STRENGTH

Abstract

With the increase in the use of fossil fuels, the amount of sulfur obtained as a by-product of the petroleum industry has also increased worldwide. This study was carried out to examine the usability of sulfur, which is used in construction technology as an alternative area of use as a result of increasing reserves, as an alternative to soil improvement methods using traditional Portland cement in geotechnical applications. In this study, sulfur obtained from the petroleum industry was applied by the ground injection method instead of the water-cement mixture used as a binder in traditional methods. Sulfur, which is solid at room temperature, was brought to the liquid phase at 130-135°C and applied in the form of a low-pressure sulfur injection to uniform sand (SP) class soil samples prepared with the relative density of 25%, 50%, 75%, and 100%. The samples were prepared under temperature and pressure control using the experimental setup specially designed for this study. Injected samples were subjected to unconfined compressive strength tests at the end of 1, 7, and 28-day curing periods. The effects of relative density, curing time, and injection pressure changes on unconfined compressive strength were investigated. The highest unconfined compressive strength was obtained as 20.16 MPa in the 7-day sample and it was determined that it could reach 85% of this value after 1 hour. It was seen that pure sulfur could be used as an alternative to cement mortars in soil grouting with its fast setting and high strength values.

Keywords: Soil grouting, Sulfur, Unconfined Compressive Strength, Relative density

1. GİRİŞ

Dünya enerji ihtiyacı tüm kaynaklar içerisinde %86 gibi oldukça yüksek bir oranla petrol, doğal gaz ve kömür kaynaklarından temin edilmektedir. Petrol dünyada birincil enerji tüketimi içerisinde en büyük paya sahip kaynaktır [1]. Enerji kaynağı olan petrol, ham olarak temin edilmektedir ve farklı prosesler kullanılarak son ürün haline getirilip kullanıcıya ulaştırılmaktadır. Ham petrolün yapısında büyük oranda organik kükürt bileşikleri bulunmaktadır [2]. Ham petrolden kükürtün uzaklaştırılması bazı çevre koruma kanunları aracılığıyla zorunlu ve denetimli hale getirilmiştir. Günümüzde teknolojik gelişmeler ve çevre koruma kanunlarındaki iyileştirmeler ham petrolün

içerdiği kükürt yüzdelerinin oldukça küçük miktarlarla sınırlandırılmasına ve açığa çıkan kükürt miktarlarının yoğun bir şekilde artmasına neden olmuştur [3]. Dünya kükürt üretiminin 1992 ve 1997 yılları arasında sadece %24'ünün petrol endüstrisinden elde edilmiştir. Bu kükürt miktarı 2012 yılı itibariyle toplam üretimin %97'sine ulaşmıştır. Petrol endüstrisi, dünya enerji tüketimi içinde en büyük paya sahip olması nedeniyle enerji ihtiyacındaki artış ile bu rakamda da her geçen yıl hızlı bir artış olacağı bilinmektedir [4-5].

Petrol endüstrisinden yan ürün olarak elde edilen kükürt miktarlarında büyük artışların olması sonucunda petrol şirketleri desteğiyle kükürtün alternatif kullanım alanlarının oluşturulması konusunda araştırmalar yoğunlaştırılmıştır [2]. Kükürt, sahip olduğu fiziko-kimyasal yapısı ve üstün mekanik özellikleri sayesinde inşaat sektöründe alternatif yapı malzemesi olarak ilk olarak 1921 yılında kullanılmıştır. Bağlayıcısı geleneksel Portland çimentosu olan betonlara alternatif olarak yapmış oldukları %60 kum ve %40 sıvı faza getirilmiş kükürt karışımından asit direnci ve dayanımı yüksek olan bir malzeme elde etmişlerdir [6].

Bağlayıcısı kükürt olan betonların yüksek dayanımı [7-9], yüksek korozyon direnci [10-12], su geçirimsizlikleri [13], hızlı dayanım kazanma [7-8, 14] ve kısa priz süreleri [14-15], araştırmacıların bu konuya olan ilgilerini arttırmıştır. Kükürt ay yüzeyinde serbest element olarak bulunması nedeniyle ayda yapılacak olan inşaat uygulamalarında kullanılması düşünülen yapı malzemelerinin başında yer almaktadır [16-18]. Ayrıca kükürtün hızlı priz alma özelliği göz önünde bulundurularak son yıllarda yoğun olarak kullanılan 3D printer teknolojisinde kullanılabilirliği üzerine de alternatif araştırmalar yapılmıştır [19].

İnşaat teknolojileri içerisinde kendisine birçok alternatif kullanım alanı bulan kükürt, geoteknik uygulama alanları içerisinde kendisine çok kullanım alanı bulamadığı görülmektedir. Yapılan literatür araştırmalarında zemin iyileştirme teknikleri açısından 2014 yılında gerçekleştirilmiş olan deneysel çalışmada zemin stabilizasyonunda kükürtün kullanılabilirliğinin araştırıldığı görülmüştür. Mohammadi ve diğ. yaptıkları çalışmada kumlu zeminlerin stabilizasyonunu arttırmak için katkı malzemesi olarak modifiye kükürt kullanmışlardır. Zeminin geoteknik özelliklerini yapılan kesme kutusu deneyi ve serbest basınç deneyleri ile araştırmışlardır. Zemine katılan kükürt miktarı ve numunelerin kür süresine bağlı olarak zeminin mekanik özelliklerinin doğrusal olarak arttığını göstermişlerdir. Elde edilen bulgularda modifiye edilmiş kükürtün zemine

katılarak zeminin fiziksel özellikleri üzerinde önemli etkisi olduğunu belirlemişlerdir [20]. Zemin enjeksiyonu yöntemi de zemin iyileştirme yöntemlerinden stabilizasyon kadar yaygın olarak kullanılan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Bu yöntem ile kayaların çatlaklarını veya kum, çakıl gibi granüler zeminlerin boşluklarını doldurarak zemin daha yoğun ve sıkı hale getirilmesi amaçlanmaktadır [21]. Bu çalışmada kullanılan yöntem olan permeasyon enjeksiyonu düşük viskoziteye sahip harcın zemin danelerinin arasındaki boşluklara zemin yapısını bozmayacak düşük basınç ile enjekte edilmesidir. Permeasyon enjeksiyonunda, daneler yer değiştirmeden veya boşluk hacmi değişmeden harç zemine enjekte edilir. Enjeksiyon sırasında zeminin boşluklarındaki su, zemin yapısını bozmadan, enjeksiyon harcı ile yer değiştirir. Bu tip enjeksiyonun ana amacı gevşek zemin içerisindeki boşlukları harç ile doldurup zeminin mukavemetini ve geçirimsizliğini arttırmaktır [22-23]. Zemin enjeksiyonunda en çok tercih edilen harç malzemesi Portland çimentosudur. Dünyadaki toplam karbondioksit (CO₂) emisyonunun %5'inden fazlası çimento üretim sürecinde meydana gelmektedir ve çimento yerine petrol endüstrisinden yan ürün olarak elde edilen kükürtün kullanılmasının çimento üretim miktarlarının ve çevresel etkilerinin azalmasına neden olacağı açıkça görülmektedir [24]. Kükürtün priz süresinin çimento harçlarına göre daha kısa olması, erimiş saf kükürtün viskozitesinin çimento harcına göre daha düşük olması dolayısıyla enjeksiyon kolaylığı sağlanması ve su muhtevası yüksek zeminlerde çimento harçlarının dayanım kazanmalarının kükürte göre daha zor olması, yani kükürtün dayanım kazanma mekanizmasının sudan daha az etkilenmesinin sonucu olarak zemin enjeksiyonunda çimento harcı yerine kükürt kullanılması, saha uygulamalarında büyük avantaj sağlayacağı açıkça görülmektedir [8, 14]. Bu çalışmanın amacı, artan rezerv miktarları göz önünde bulundurulduğunda kükürtün yapı malzemesi olarak kullanılmasının yanında zemin iyileştirme uygulamalarında alternatif kullanım alanı oluşturulması ve bu uygulamalarda kullanılan çimento yerini alarak CO₂ emisyonu miktarının azaltılmasıdır. Deneysel çalışmada zemin iyileştirme yöntemi olarak permeasyon enjeksiyonu yöntemi seçilmesinin en önemli nedeni literatürde bu alanda yapılmış olan çalışmaların oldukça yetersiz olmasıdır. Bu çalışmada geleneksel enjeksiyon yönteminde bağlayıcı olan su-çimento karışımının yerine saf kükürt kullanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak laboratuvar ortamında saf kükürtü numunelere enjekte etmek için deney düzeneği kurulmuştur. Daha sonra



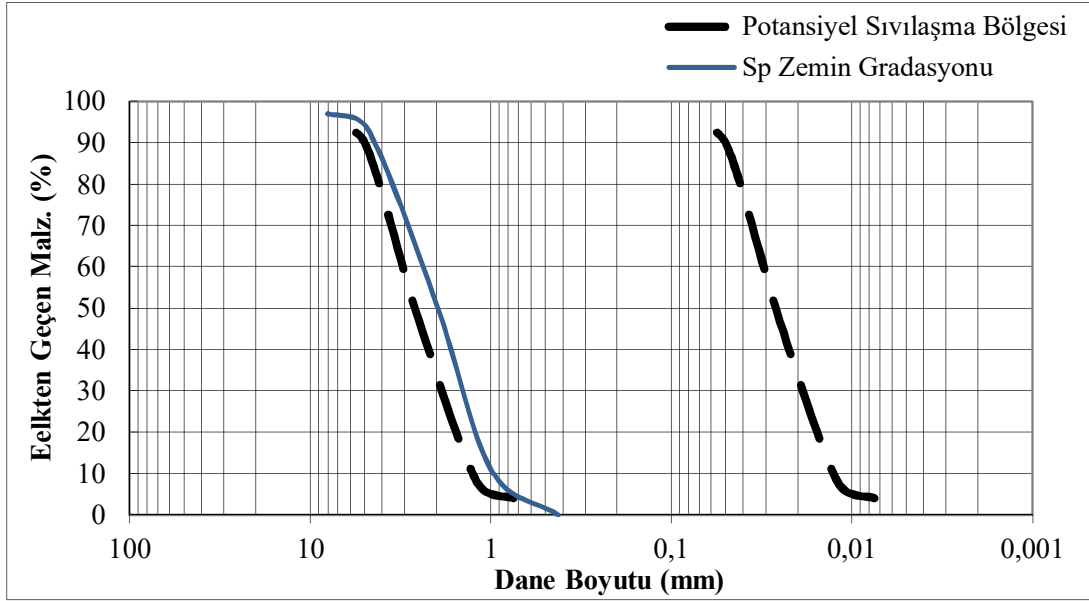
%25, %50, %75 ve %100 rölatif sıklıkta hazırlanmış numunelere kükürt enjekte edilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Serbest basınç deneyi sonucunda numunelerin serbest basınç mukavemeti, birim deformasyonları ve elastisite modüllerindeki değişimler incelenerek kükürtün enjeksiyon yönteminde kullanımının uygulugu araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu deneysel çalışmada saf kükürtün zemin enjeksiyonunda kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada rölatif sıklık, kür süresi ve enjeksiyon basıncı değişken parametre olarak kullanılmış ve bu parametreler göz önünde bulundurularak numuneler hazırlanmıştır.

2.1 Zemin Numunesinin Özellikleri

Laboratuvarda yapılacak olan enjeksiyon uygulamaları için numuneler hazırlanırken Japonya İnşaat Mühendisleri Odası (JSCE) ve Ishihara ve diğ. tarafından önerilen sıvılaşma riski bulunan ve literatürde kabul görmüş dane dağılım sınırlarında kalan ve Şekil 1’de verilmiş olan zemin kullanılmıştır [25-26]. Şekilde verilmiş olan sınırların kullanılmasının nedeni sıvılaşma riskinin azaltılması değil bilinen standart dane dağılımına sahip zeminler üzerinde enjeksiyon uygulanmasının gerçekleştirilmesidir.



Şekil 1. Numunelerde Kullanılan Zeminin Gradasyonu

Numuneler %25, %50, %75 ve %100 rölatif sıklıkta hazırlanmıştır. Kullanılan zemin numunesinin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Elde edilen zemin birleştirilmiş zemin sınıfına göre kötü derecelendirilmiş kum (SP) sınıfına girmektedir.

Tablo 1. SP Sınıfı Zeminin Özellikleri

Numune	γ_{mak} (kN/m ³)	γ_{min} (kN/m ³)	e_{max}	e_{min}	G_s	c_u	c_c	D_{10} mm	D_{30} mm	D_{60} mm
SP	17.3	15.5	0.69	0.53	2.63	2.69	1.02	1.10	1.85	3.0

2.2 Kükürtün Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

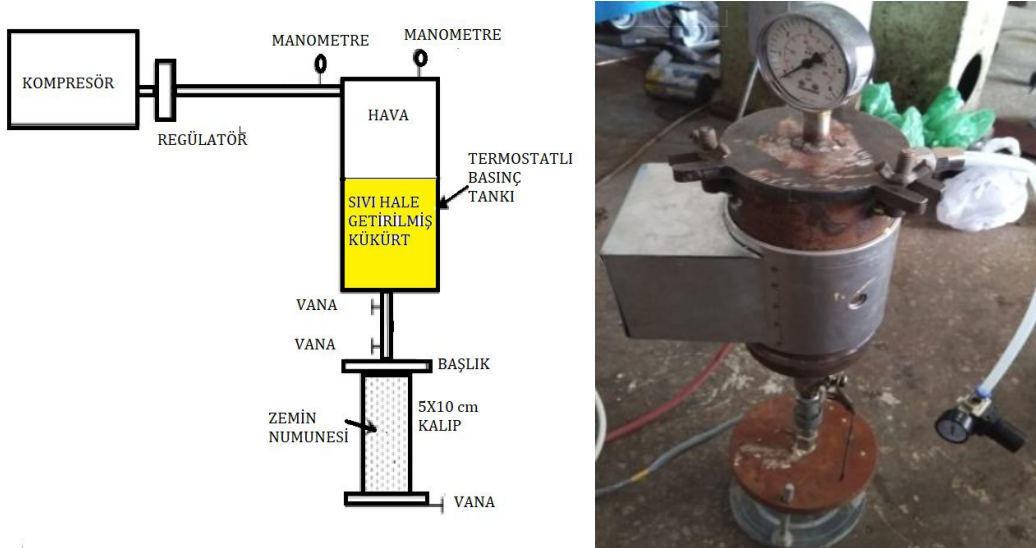
Bu çalışmada Tüpraş-İzmit rafinerisinden elde edilen, petrol işleme sonucunda açığa çıkan saf kükürt kullanılmıştır. Rafineriden temin edilen kükürtün saflık oranı %99.8’dir. Üretici firmadan temin edilen kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Kükürtün Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

	Birim	Değer	Test Methodu
Görünüm	-	Katı Parçaçıklı	Gözle Muayene
Safılık	Wt%	99.8	TS2839
Koku	-	Kokusuz(Saf Kükürt)	-
Erime Noktası/ Donma Noktası	°C	119	ASTM D 97
Kaynama Noktası	°C	445	ASTM D 86
Bağıl Yoğunluk (15 C°)	Kg/L	2.1	ASTM D 1298
Alev Alma Sıcaklığı	°C	206	ASTM D 93

2.3 Deney Düzenegi

Kükürtün zemine enjekte edilebilmesi için Şekil 2’de verilen deney düzenegi tasarlanmıştır.

**Şekil 2.** Laboratuvarda Kurulan Deney Düzenegi

Düzenekte sabit basınç uygulanması için kompresör kullanılmıştır. Basınç tankı 2 lt hacminde 4 mm kalınlığında olup 8 MPa sabit basınçla test edilmiştir. Enjeksiyon sırasında istenilen basıncı ayarlamak için tankın girişinde regülatör kullanılmıştır. Basınç tankının üst kısmında bulunan kapağının içinde ısıya dayanıklı teflon conta kullanılmıştır. Tankın içindeki basıncı ölçmek için tankın kapağına manometre yerleştirilmiştir. Tankı ısıtmak ve içine konulan kükürtün sıvı hale gelmesi için tankın etrafına kelepçe rezistans takılmıştır. Kükürt termoplastik bir malzeme olduğundan sıcaklığın sabit kalması için termostat takılmıştır. Basınç tankının alt kısmında ısıya ve basınca dayanıklı çıkış vanası bulunmaktadır. Basınç tankı ile kalıp arasında basınca dayanıklı

hidrolik çelik boru yardımıyla bağlantı sağlanmıştır. Kalıp ile başlıklar arasında sızdırmazlık sağlanması amacıyla conta kullanılmıştır.

2.4 Numunelerin Hazırlanması

Laboratuvarda deney numuneleri hazırlanırken çapı 5cm ve yüksekliği 10 cm olan çelik kalıplar kullanılmıştır. Zemin kalıplara %25, %50, %75 ve %100 gibi farklı rölatif sıklıkta yerleştirilmiştir. Rölatif sıklıkların hesaplanmasında Denklem (1) kullanılmıştır. Denklem (1), numunenin maksimum ve minimum birim hacim ağırlıkları, kalıbın hacmi ve istenilen rölatif sıklıklar bilindiği için Denklem (2) şeklinde düzenlenmiştir. Zeminin ağırlığı Denklem (2) kullanılarak belirlenmiş olup kalıplara uygun şekilde yerleştirilmiştir.

$$D_r = \frac{\gamma - \gamma_{min}}{\gamma_{max} - \gamma_{min}} \times \frac{\gamma_{max}}{\gamma} \quad (1)$$

$$W = \frac{V \cdot \gamma_{d \max} \cdot \gamma_{d \min}}{\gamma_{d \max} - D_r \cdot (\gamma_{d \max} - \gamma_{d \min})} \quad (2)$$

Burada; D_r rölatif sıklık, $\gamma_{d \max}$ maksimum kuru birim hacim ağırlık (BHA), $\gamma_{d \min}$ minimum kuru BHA, V kalıbın hacmi ve W ise kalıba koyulacak zeminin ağırlığını göstermektedir.

Kükürt oda sıcaklığında katı fazda olduğu için bağlayıcılık özelliği kazanması ve işlenebilir olması için $130 \pm 5^\circ\text{C}$ kadar ısıtılıp sıvı hale getirilmiştir. Kükürtün kristalize olmasında ani sıcaklık değişimlerinin önemli bir etken olmasından dolayı deneylerde kullanılan kalıplar ve ekipmanlar deneyden 2 saat önce $130 \pm 5^\circ\text{C}$ 'deki etüv içinde 2 saat süre ile ön ısıtmaya tabi tutulmuşlardır. Oda sıcaklığında kalıp kullanılması sonucunda kükürtün ani soğuması ile numunelerde soğuk derz olmasının engellenmesi amacıyla bu işlem her numune hazırlığında tekrarlanmıştır [13]. Zemin numunesi ısıtılmış olan kalıpların içine seçilmiş olan farklı rölatif sıklıklarda yerleştirilerek, kükürt enjeksiyonun yapılması için hazırlanmış olan deney düzeneğine sabitlenmiştir. Daha sonra sıvı faza getirilen ve deney düzeneğinde sabit sıcaklık değerinde tutulan kükürt kalıp içindeki zemin numunesine enjekte edilmesi için deney düzeneğinde bulunan tanka koyulup sabit basınç altında kompresör yardımıyla zemine enjekte edilmiştir. Kükürt çimento gibi daneli yapıda olmadığından dolayı kükürt enjeksiyonunda herhangi bir sorun yaşanmamıştır. Kükürt enjekte

edilmiş numuneler kalıplardan zemine hasar vermeden çıkarılması amacıyla hidrolik kriko yardımıyla çıkarılmıştır. Hazırlanan numunelere ait görüntü Şekil 3'te gösterildiği gibidir. Serbest basınç deneyinden önce tüm numunelere, yerel gerilme yığılmalarının önlenmesi amacıyla kükürt başlık yapılmıştır.



Şekil 3. Kükürt Enjekte Edilmiş Zemin Numunesi

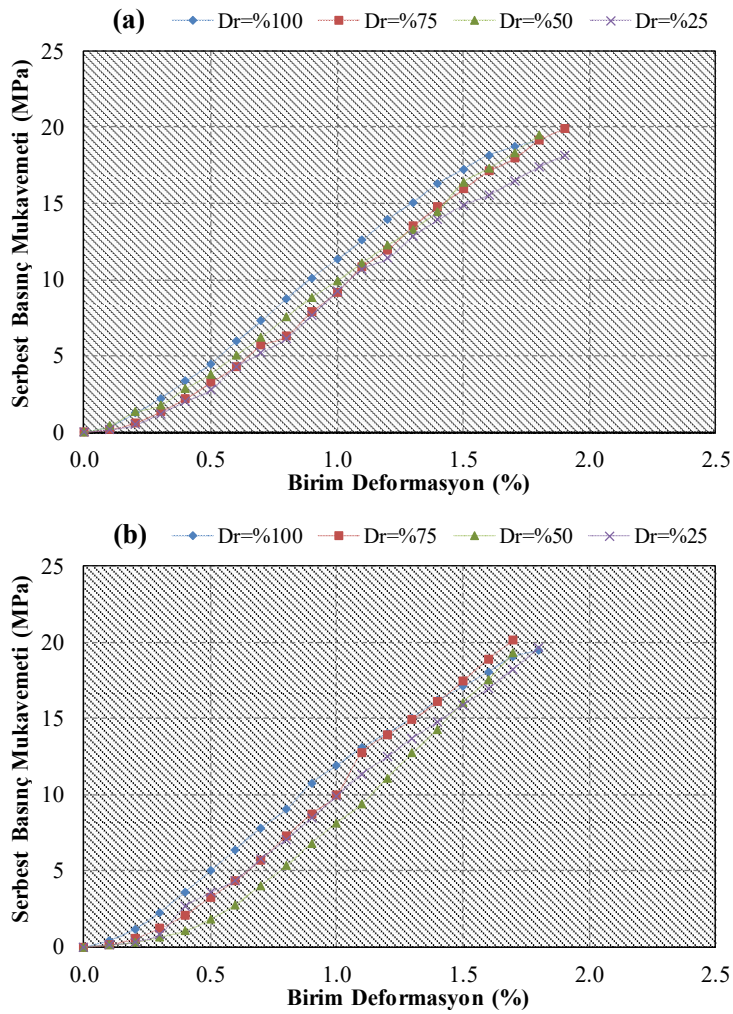
3. BULGULAR

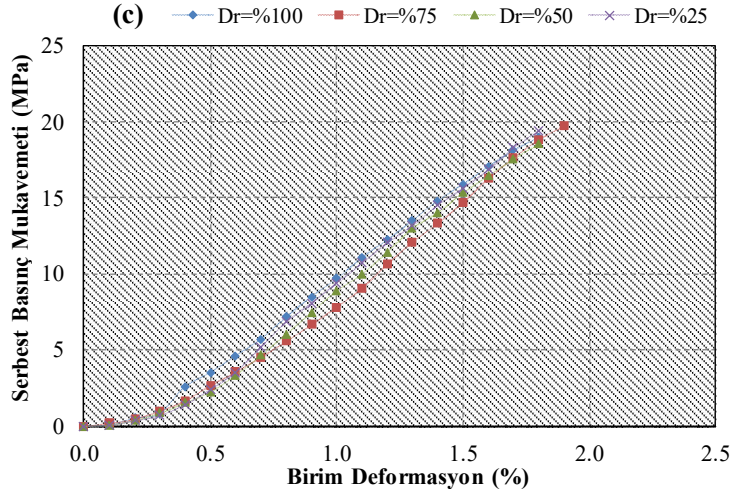
Deneyisel çalışmada bütün rölatif sıklık durumları için 200 kPa sabit basınç altında 9'ar adet numune olmak üzere toplam 36 adet zemin numunesi hazırlanmıştır. Çalışmada kalıplardan çıkarılan numuneler 1, 7 ve 28 gün oda sıcaklığında kürlendikten sonra serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Serbest basınç mukavemeti olarak 3 numuneden elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Serbest basınç deneyi 0.5 mm/dk hızla yapılmıştır. Deneylelerden elde edilen sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kükürt Enjekte Edilmiş Numunelerin Ortalama Serbest Basınç Mukavemetleri

D _r (%)	Serbest Basınç Mukavemeti (MPa)		
	1 Gün	7 Gün	28 Gün
100	19.12	19.46	18.94
75	19.91	20.16	19.72
50	19.04	19.31	18.57
25	19.43	19.61	19.37

Çimento harcı kullanılarak yapılan enjeksiyon uygulamalarının yer aldığı deneysel çalışmalar incelendiğinde, çimento priz süresi göz önünde bulundurularak en erken 7 günlük deney sonuçları alınabilirken kükürtün ilk 1 gün içinde 28 günlük basınç değerine yaklaşık bir değere ulaşabilmesi nedeniyle bu deneysel çalışmada 1 günlük deneysel sonuçlara da yer verilebilmiştir. Farklı rölatif sıklık değerlerine sahip numunelerin 1, 7 ve 28 gün kür süresi sonunda gerçekleştirilen serbest basınç deneylerinden elde edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramları Şekil 4'te verilmiştir.





Şekil 4. Farklı Rölatif Sıklıktaki Numunelerin Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrileri (a) 1, (b) 7 ve (c) 28 gün

Deney sonucunda tüm numunelere ait serbest basınç mukavemetlerinin 18.57 ile 20.16 MPa aralığında oldukça yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. En yüksek serbest basınç dayanımı %75 rölatif sıklıkta hazırlanan 7 günlük numunede 20.16 MPa olarak elde edilmiştir. Göçmenin gevrek olması nedeniyle kırılma maksimum gerilme değerinde ani gerçekleşmiş ve daha sonra okuma alınamamıştır. Yıldız ve Soğancı tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, granüler pomza içeren zeminlerde gerçekleştirilen deneysel çalışmada çimento harcı enjekte edilmesi sonucunda %85 rölatif sıklıktaki zemin numunesine ait 28 günlük ortalama serbest basınç dayımı değeri 8.14 MPa olarak bulunmuştur [27]. Mutman tarafından 2007 yılında uniform kum (SP) zeminlerde çimento enjeksiyonu etkisinin araştırıldığı deneysel çalışmada, çimento harcı enjeksiyonu sonucunda %75 rölatif sıklıktaki zemin numunesine ait 28 günlük ortalama serbest basınç dayımı değeri ise 7.53 MPa olarak bulunduğu görülmüştür [28]. Bu deneysel çalışmada benzer şartlar altında, kükürt enjekte edilen %75 rölatif sıklıktaki zemin numunesine ait 28 günlük ortalama serbest basınç dayımı değeri 20.16 MPa olarak belirlenmiştir. Saf kükürt enjeksiyonu sonucunda uniform kum zeminlerde çimento enjeksiyonundan elde edilen serbest basınç değerine göre yaklaşık olarak 2.7 kat artış elde edildiği belirlenmiştir.

1, 7 ve 28 günlük numunelerde göçmenin gevrek kırılma sonucunda olduğu deneyler sırasında gözlemlenmiştir. Numunelerin hepsinde gözlenen genel kırılma paternine ait görüntü Şekil 5'te

verilmiştir. Enjeksiyon uygulanan numunelerde birim deformasyon %1.7-1.9 aralığında gerçekleşmiştir. Numuneler gevrekleştikçe birim deformasyon azalmıştır.



Şekil 5. Serbest Basınç Deneyi Zemin Numunesi Kırılma Paterni

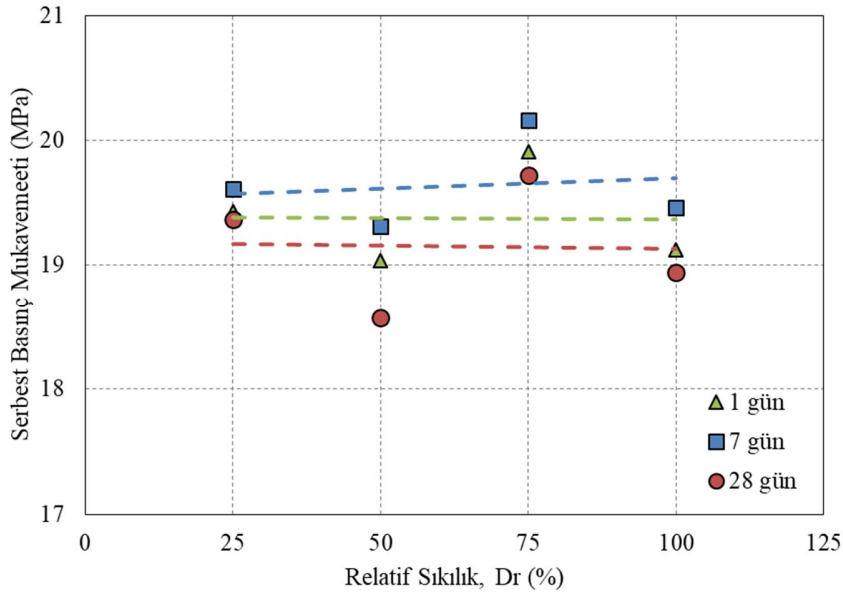
Numunelerin serbest basınç mukavemetleri ve gerilme şekil değiştirme eğrileri kullanılarak elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır. Numunelerin elastisite modülü (E) hesaplanırken serbest basınç mukavemetinin %50 değerine kadar olan gerilme-şekil değiştirme grafiği kullanılmıştır. Kükürt enjekte edilerek hazırlanmış numunelerde elastisite modülü değerleri 853-1193 MPa aralığında hesaplanmıştır. En yüksek değer %100 rölatif sıklıkta hazırlanan ve 7 gün kür edilen numunede 1193 MPa olduğu belirlenmiştir. En düşük değer ise %50 rölatif sıklıkta hazırlanan ve 7 gün bekletilen numunede 853 MPa olduğu görülmüştür. Tablo 4'te hesaplanmış olan tüm elastisite modülü değerleri özetlenmiştir.

Tablo 4. Kükürt Enjekte Edilmiş Numunelerin Elastisite Modülü Değeri

D _r (%)	Elastisite Modülü (MPa)		
	1 Gün	7 Gün	28 Gün
100	1075	1193	967
75	995	996	885
50	987	886	853
25	917	989	939

3.1. Rölatif Sıklığın Serbest Basınç Mukavemetine Etkisi

Farklı kür sürelerinde rölatif sıklılık-serbest basınç mukavemeti değişimine ait grafik Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Serbest Basınç Mukavemeti-Rölatif Sıklılık İlişkisi

En düşük serbest basınç mukavemetleri %50 rölatif sıklılık değerinde elde edilirken, en yüksek mukavemet değerlerine %75 rölatif sıklılık değerinde ulaşıldığı belirlenmiştir. Farklı yaşlardaki zemin numunelerinde gerilme-rölatif sıklılık ilişkisinin çok farklılık göstermeden birbirine yakın bir davranış sergilediği görülmektedir. Farklı rölatif sıklılıktaki numunelerde kükürt miktarları değişmektedir. Numunelerin rölatif sıklılığı azaldıkça numunelerdeki kükürt miktarı artmaktadır. Düşük miktarlarda (%2.5-%10) kükürt kullanılan numunelerde kükürt miktarı ile serbest basınç mukavemeti artmaktadır [20]. Ancak numune içerisine giren kükürt miktarının yüksek oranlarda (%30-%50) olması durumunda numunelerin serbest basınç mukavemetinde optimum değerden sonra azalma meydana gelmektedir [13-29]. Bu çalışmada numunelerin hazırlanmasında ağırlıkça %35-%44 aralığında kükürt kullanılmasından dolayı rölatif sıklılık değerinin değişmesi ile yani numune içine giren kükürt miktarının artması ile serbest basınç mukavemeti üzerinde önemli bir değişiklik olmadığı görülmüş olup, sonuçların literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür.

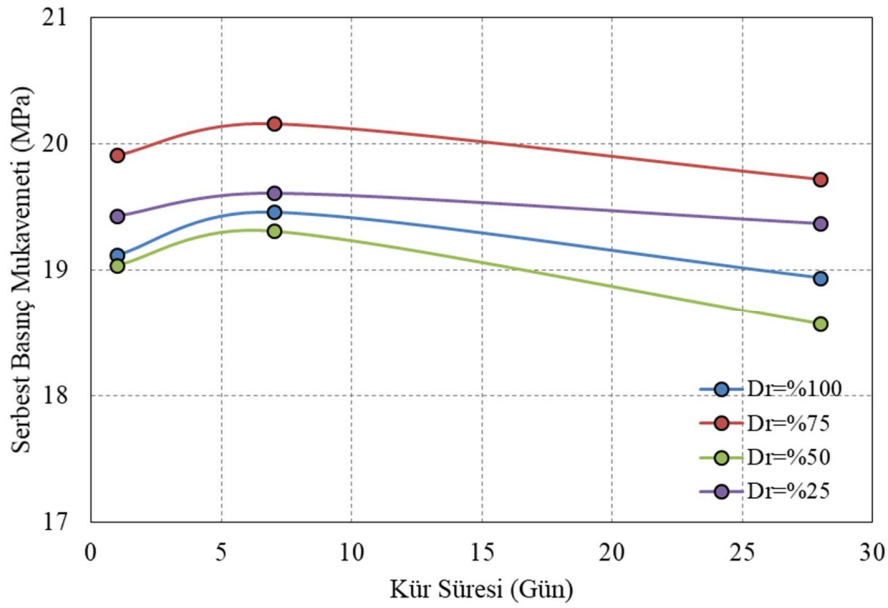


Çimentonun daneli yapıda olması nedeniyle enjeksiyon yapılacak zemin yapısının sıklığından oldukça etkilenmektedir, ancak kükürt eritilerek kullanıldığı için daha düşük viskoziteli olması nedeniyle zeminin sıklığından daha bağımsız bir işlenebilirlik sergilemektedir. Bu nedenle kükürt enjekte edilen uniform kumlu zemin numunelerinde serbest basınç mukavemetinin, rölatif sıklık değerinin değişimden önemli ölçüde etkilenmediği belirlenmiştir.

3.2 Kür süresinin Serbest Basınç Mukavemetine Etkisi

Farklı rölatif sıklık değerlerine sahip numunelerin-kür süresine bağlı olarak serbest basınç mukavemeti değişimi Şekil 7’de verilmiştir.

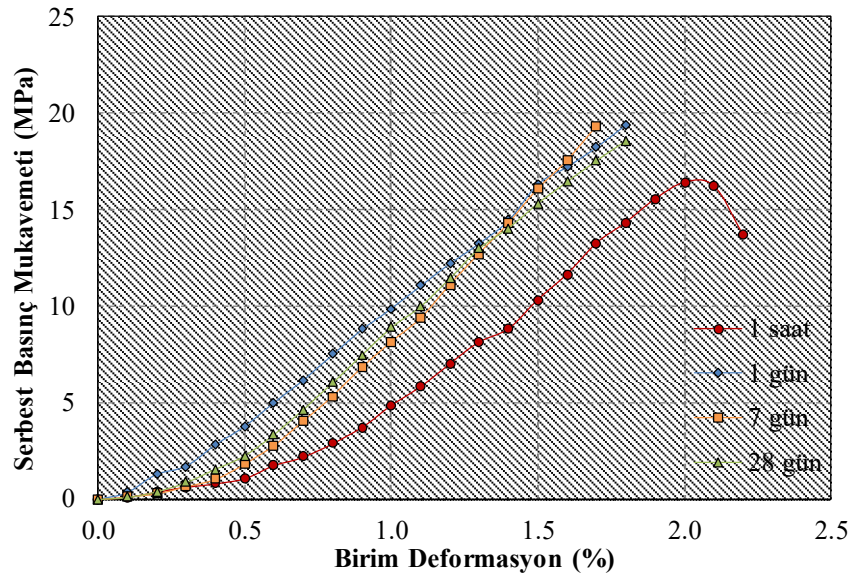
Kükürt enjekte edilmiş numunelerin nihai dayanıma 1 günde ulaştıkları görülmüştür. Numuneler 7 günde en yüksek serbest basınç mukavemeti değerlerine ulaşmıştır. 28 gün bekletilen numunelerde ise 7 günlük mukavemet değerlerinden yaklaşık olarak %1-4 gibi dayanım kaybı olduğu görülmektedir. Saf kükürt soğumaya ile birlikte, sıvı fazdan ilk olarak 114°C’de %7 hacim azalması göstererek monoklinik kristali formunu almaktadır. Soğuma devam ettiğinde sıcaklık 95.4°C’nin altına indiğinde monoklinik kristaller ortorombik kristal formuna dönüşür ve bu form kükürtün oda sıcaklığında sabit formda bulunduğu kristal yapısıdır. Ortorombik kristal yapısı monoklinik kristal yapısına göre daha yoğundur, bu nedenle sertleşmiş kükürt içerisinde iç gerilmeler oluşur ve bunlar bağlayıcı içerisinde ciddi çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. İçyapıda oluşan gerilmeler ve bu gerilmelerin neden olduğu çatlaklar basınç dayanımında azalmalara neden olmaktadır. Bu deneysel çalışmada görülen 28 günlük serbest basınç mukavemeti değerlerindeki azalma literatürde yer alan çalışmalar ile paralellik göstermektedir [8, 14].



Şekil 7. Serbest Basınç Mukavemeti-Kür Süresi İlişkisi

Kükürtün inşaat teknolojilerinde kullanımının getirdiği en önemli avantajlardan biri soğuma ile birlikte çimentoya göre çok hızlı priz alabilmesidir [24]. Bu nedenle erken yaş davranışının da değerlendirilebilmesi için kükürt enjekte edilmiş zemin numunesine 1 saat sonunda serbest basınç deneyi uygulanmıştır. Bu zemin numuneleri, en düşük mukavemet değerinin %50 rölatif sıklık değerinde elde edilmesi göz önünde bulundurularak bu sıklık değerinde hazırlanmıştır. 1 saatlik deney sonucunda elde edilen gerilme-şekil değiştirme diyagramı aynı sıklıktaki 1, 7 ve 28 günlük numunelere ait sonuçlarla karşılaştırmalı olarak Şekil 8’de gösterilmiştir.

Deney sonucunda 1 saatlik serbest basınç mukavemeti 16.45 MPa olarak bulunmuştur. 1 saatlik numunelerde şekil değiştirme miktarlarının daha fazla olduğu görülmüştür. 1, 7, 28 günlük numunelerin aksine daha sünek kırılma meydana gelmiştir ve maksimum değerden sonra da okuma alınabilmiştir. Kükürt enjekte edilmiş numunelerin kür süresi arttıkça daha gevrek kırılmalar meydana geldiği belirlenmiştir.

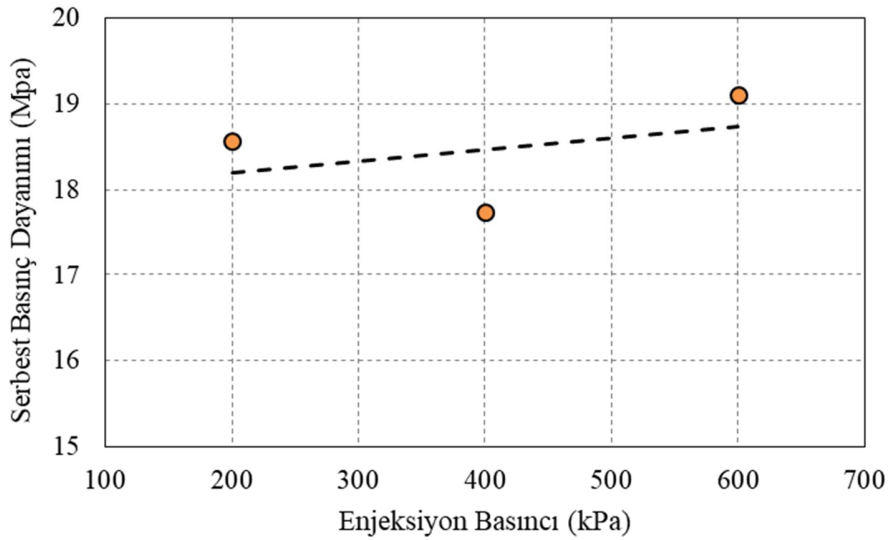


Şekil 8. D_r =%50 için Serbest Basınç Mukavemeti-Erken Yaş Kür Süresi İlişkisi

Kükürt enjekte edilmiş zemin numunesinin 1 saat sonunda 7 günlük maksimum dayanım değerinin yaklaşık %85'ine ulaşabildiği belirlenmiştir. Bu deney sonucu, özellikle acil önlem alınması gereken zeminlerde ve hızlı kullanıma açılması gereken iyileştirme sahalarında kükürt enjeksiyonu uygulamasının kullanılabilirliğini gösteren önemli bir parametredir. Çimentonun priz süresi ve dayanım kazanma hızı göz önünde bulundurulduğunda hızlı kullanıma açılması gereken sahalarda kükürt enjeksiyonun çimento enjeksiyonu uygulamasına göre önemli üstünlüklerinden birini ortaya koymaktadır.

3.3 Enjeksiyon Basıncının Serbest Basınç Mukavemeti Üzerinde Etkisi

Kükürtün enjeksiyon sırasında uygulanan enjeksiyon basıncı değerinin serbest basınç mukavemeti ile ilişkisinin belirlenmesi amacıyla 6 adet zemin numunesi daha hazırlanmıştır. Bu zemin numuneleri, en düşük mukavemet değerinin %50 rölatif sıklık değerinde elde edilmesi göz önünde bulundurularak bu sıklık değerinde hazırlanmıştır. 200 kPa basınç altında hazırlanmış olan numunelere ek olarak 3'er tane 400 kPa ve 600 kPa basınç altında sıvı saf kükürt enjekte edilerek hazırlanmıştır. Farklı enjeksiyon değerleri için deneylerden elde edilen serbest basınç değişimini gösteren grafik Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. $D_r=50$ için Serbest Basınç Mukavemeti-Enjeksiyon Basıncı İlişkisi

Enjeksiyon basıncının artmasına rağmen serbest basınç mukavemeti değerlerinin değişmediği belirlenmiştir. Daneli yapıya sahip çimento kullanılarak yapılan enjeksiyon uygulamalarında da artan enjeksiyon basıncı değerlerinin mukavemet değerleri üzerinde etkin olmadığı bilinmektedir [28]. Daha düşük viskoziteli sıvı kükürtün enjeksiyonunun çimentoya göre daha kolay olması beklendiğinden deneylerden elde edilen sonuçların literatür ile benzerlik gösterdiği görülmüştür. Enjeksiyon için yeterli basınç değerinden daha yüksek basınç değerlerinde uygulama yapıldığında serbest basınç mukavemetlerinde önemli ölçüde değişiklik olmadığı belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada kükürtün zemin enjeksiyonu uygulamalarında çimento harcı yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır. Oda sıcaklığında katı formda olan ve petrol endüstrinden yan ürün olarak elde edilen saf kükürt 130 ± 5 °C'de eritilerek rölatif sıklığı %25, %50, %75 ve %100 olan uniform kum (SP) zemin numunelerine düşük basınçlı enjeksiyon şeklinde uygulanmıştır. Numuneler serbest basınç deneyine tabi tutularak rölatif sıklık, kür süresi ve enjeksiyon basıncı değişimlerinin serbest basınç mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Deneysel sonuçta tüm numunelere ait serbest basınç mukavemetlerinin 18.57 ile 20.16 MPa aralığında oldukça yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir. En yüksek serbest basınç dayanımı %75 rölatif sıklıkta hazırlanan 7 günlük numunede 20.16 MPa olarak elde edilmiştir. Saf kükürt enjeksiyonu sonucunda SP sınıfı zeminlerde çimento enjeksiyonundan elde edilen serbest basınç değerine göre yaklaşık olarak 2.7 kat artış elde edildiği belirlenmiştir.
- 1, 7 ve 28 günlük tüm numunelerde göçmenin gevrek kırılma sonucunda olduğu ve bundan dolayı ani kırılmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- En düşük serbest basınç mukavemetleri %50 rölatif sıklık değerinde elde edilirken, en yüksek değerlere %75 sıklıkta ulaşıldığı belirlenmiştir. Kükürt, enjeksiyon sırasında sıvı fazda olduğu için zeminin sıklığından bağımsız bir işlenebilirlik sergilemektedir. Bu nedenle kükürt enjekte edilen SP sınıfı zeminlerde serbest basınç mukavemetinin, rölatif sıklık değerinin değişimden önemli ölçüde etkilenmediği belirlenmiştir.
- Kükürt enjekte edilmiş numunelerin nihai dayanıma yaklaşık olarak 1 gün sonunda ulaştıkları görülmüştür. Numuneler 7 günde en yüksek serbest basınç mukavemeti değerlerine ulaşmıştır. Kükürtün katılması ile kristal yapısında meydana gelen hacim değişiklikleri sonucunda oluşan iç gerilmeler ve ciddi çatlakların basınç dayanımında azalmaya neden olduğundan 28 gün bekletilen numunelerin mukavemetlerinde 7 günlük değerlere oranla yaklaşık olarak %1-4 gibi dayanım kaybı olduğu görülmektedir.
- Kükürt enjekte edilmiş SP sınıfı zemin numunesinin 1 saat sonunda 7 günlük maksimum dayanım değerinin yaklaşık %85'ine ulaşabildiği belirlenmiştir.
- Çimentonun priz süresi ve dayanım kazanma hızı göz önünde bulundurulduğunda kükürtün hızlı priz alma ve yüksek dayanım kazanma özelliği hızlı kullanıma açılması gereken sahalarda kükürt enjeksiyonunun çimento enjeksiyonu uygulamasına göre önemli üstünlüklerinden biri olarak gösterilebilir.
- Enjeksiyon basıncının artmasına rağmen serbest basınç mukavemeti değerlerinin değişmediği belirlenmiştir. Çimento harcı enjeksiyon uygulamalarında olduğu gibi kükürt enjeksiyonunda da enjeksiyon için yeterli basınç değerinden daha yüksek basınç



değerlerinde uygulama yapıldığında serbest basınç mukavemetlerinde önemli ölçüde değişiklik olmadığı görülmüştür.

DeneySEL çalışmadan elde edilen veriler değerlendirildiğinde hızlı priz alma ve yüksek dayanım değerleri ile zemin enjeksiyonunda petrol endüstrisinden yan ürün olarak elde edilen saf kükürtün çimento harçlarına alternatif olarak kullanılabilceği görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde ve şekillendirilmesinde emeği geçen merhum Doç. Dr. Utkan MUTMAN'a teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, 2017 Yılı Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu, Türkiye Petrolleri Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı, 4-7, 2018.
- [2] Vlahovic M.M., Martinovic S.P., Boljanac T.D., Jovanic P.B., Volkov-Husovic T.D., Durability of Sulfur Concrete in Various Aggressive Environments, Construction and Building Materials, 2011, 25, 3926-3934.
- [3] Wagenfeld J.G., Khalid A.A., Almheiri S., Slavens A.F., Calvet N., Sustainable Applications Utilizing Sulfur, A By-Product from Oil and Gas Industry: A State of the Art Review, Waste Management, 2019, 95, 78-89.
- [4] Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı, 57-105, 2001.
- [5] Harrison P., Global Sulphur Market Outlook, CRU Group, 2012.
- [6] Bacon R.F., Davis H.S., Recent Advances in the American Sulfur Industry, Chemical and Metallurgical Engineering, 1921, 24, 65-72.
- [7] Mohamed A.M.O., Gamal M.E., Sulfur Based Hazardous Waste Solidification, Environmental Geology, 2007, 53(1), 159-175.
- [8] Mohamed A.M.O., El Gamal M.M., Hydro-Mechanical Behavior of a Newly Developed Sulfur Polymer Concrete, Cement & Concrete Composites, 2009, 31, 186-194.
- [9] Öztürk, O., Öner, A., Investigation of Long Term Mechanical Properties of Sulphur Polymer Concrete and Comparison with Portland Cement Concrete, Erzincan University Journal of Science and Technology, 13(3), 1252-1262, 2020. DOI: 10.18185/erzifbed.784711.



- [10] McBee W.C., Sullivan T.A., Jong B.W., Industrial Evaluation of Sulfur Concrete in Corrosive Environments, U.S. Bureau of Mines, 1983, Report No: RI 8786, 15.
- [11] Al-Tayyib A.J., Khan M.S., Evaluation of Corrosion Resistance of Reinforced Steel in Sulfur Concrete, International Journal for Housing Science and Its Applications, 1988, 12(4).
- [12] Al-Tayyib A.J., Khan M.S., Electrical Resistivity of Sulfur Concrete and Its Relation to Corrosion of Embedded Steel, The Arabian Journal for Science and Engineering, 1989, 14(2), 271-281.
- [13] Öztürk O, Kükürt ve Kükürt Polimer Betonların Mekanik ve Dayanıklılık Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019.
- [14] Öztürk, O., Öner, A. Long-term Durability of Bitumen Modified Sulfur Polymer Concrete Under Freeze–Thaw Cycles, Int J Civ Eng, 20, 529–543 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40999-021-00672-2>.
- [15] Al-Otaibi S., Al-Aibani A., Al-Bahar S., Abdulsalam M., Al-Fadala S., Potential for Producing Concrete Blocks Using Sulphur Polymeric Concrete in Kuwait, Journal of King Saud University-Engineering Sciences, 2018, DOI: 10.1016/j.jksues.2018.02.004.
- [16] Grugel R.N., Toutanji H.A., Sulfur “Concrete” for Lunar Applications–Sublimation Concerns, Advances in Space Research, 2008, 41, 103-112.
- [17] Toutanji H.A., Evans S., Grugel R.N., Performance of Sulfur Concrete in Lunar Environments, Construction and Building Materials, 2012, 29, 444-448.
- [18] Grugel R.N., Integrity of Sulfur Concrete Subjected to Simulated Lunar Temperature Cycles, Advances in Space Research, 2012, 50, 1294-1299.
- [19] Hager I., Golonka A., Putanowicz R., 3D Printing of Buildings and Building Components as the Future of Sustainable Construction, Procedia Engineering, 2016, 151, 292-299.
- [20] Mohammadi, A., Dehestani, M., Aff. M., Shooshpasha I., Asadollahi S., Mechanical Properties of Sandy Soil Stabilized with Modified Sulfur, American Society of Civil Engineers, 2014, DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533 .0001059.
- [21] Çinicioğlu, F., Zemin Mekaniğinde Harç Enjeksiyonu, Birsen Yayınevi Ankara, 1997.
- [22] Andrus, R. D., Chung R. M., Ground Improvements Techniques for Liquefaction Redemination Near Existing Lifeliness, National Institute of Standarts and Technology, NISTIR 5714, 1995.
- [23] Akbulut S., Sağlamer A., Estimating the groutability of granular soils: A new approach. Tunneling and Undergroundspace Technology, 17:371-380, 2002.



- [24] Shin M., Kim K., Gwon S.W., Cha S., Durability of Sustainable Sulfur Concrete with Fly Ash and Recycled Aggregate Against Chemical and Weathering Environments, *Construction and Building Materials*, 2014, **69**, 167-176.
- [25] JSCE, Earthquake Resistant Design for Civil Engineering Structure, Earth Structure and Foundation in Japan, Japan Society of Civil Engineers, 1977.
- [26] Ishihara, K., Kokusho, T., Silver, M., L., Recent Developments in Evaluating Liquefaction Characteristics of Local Soils, 12th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2719-2734, 1989.
- [27] Yıldız M., Soğancı A.S., Improvement of the strength of soils which comprises granular pumice by injection of cement under low pressure, *Scientia Iranica*, 2015, **22**(11), 81-91.
- [28] Mutman U, Düşük Basıncılı Çimento Enjeksiyonu ile Zemin Özelliklerinin İyileştirilmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2007.
- [29] Mohamed, A.M., Gamal, M.M., Sulfur Concrete for the Construction Industry, J. Ross Publishing, 2010.

HAVA KİRLİLİĞİNİN (PM₁₀ VE SO₂) ANOVA YÖNTEMİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ – MARDİN (TÜRKİYE) İLİ ÖRNEĞİ

Zinnur YILMAZ^{1*}, Mustafa Bünyamin KARAGÖZOĞLU¹

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 58140, Sivas, Türkiye

Öz

Hava kirliliği, küresel sağlığı tehdit eden önemli bir çevresel risk faktörü olduğundan canlılarda ölümcül olabilen solunum yolu ve diğer hastalıkların nedenleri arasındadır. Bu çalışmada Mardin ilinin 01.01.2010-31.12.2021 tarihleri arasındaki PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyon düzeylerinin seviyeleri değerlendirilmiştir. Gerekli veriler Mardin ilinde bulunan T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na ait hava kalitesi ölçüm istasyonundan temin edilmiştir. PM₁₀ ve SO₂ ölçümlerinin 24 saatlik ortalamaları belirtilen tarihler için hesaplanmış, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) ve Türkiye ulusal sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel analizlerde ANOVA ve çoklu karşılaştırma (TUKEY) testi kullanılmış ve anlamlılık düzeyi p<0.05 kabul edilmiştir. Ölçüm periyodu boyunca elde edilen yıllık PM₁₀ konsantrasyon değerleri 1.26-1607.97 µg m⁻³ arasında (ort: 59.97±64.27; %95 CI: 58.01- 61.94), SO₂ konsantrasyon değerleri ise 0.02-297.61 µg m⁻³ arasında (ort: 18.14±20.31; %95 CI: 17.52- 18.77) arasında değişiklik göstermektedir. PM₁₀ için ulusal sınır değerini aşan gün sayısı ortalama yılda 159.7, DSÖ için 182.5, SO₂ değerlerinde ulusal sınır değeri aşan gün sayısı ortalama 1.7, DSÖ için ise 66.2 gündür. Verilerin analizleri sonucunda PM₁₀ ve SO₂ değerlerinin yıllara ve aylara göre aralarındaki farkın (p<0.05) istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak, Mardin'de hava kirliliği önceki yıllara göre azalma trendinde olmakla beraber hedeflenen seviyelerde değildir.

Anahtar Kelimeler: Hava kirliliği, Partikül madde, Kükürt dioksit, Mardin

EVALUATION OF AIR POLLUTION (PM₁₀ AND SO₂) BY ANOVA METHOD–THE CASE OF MARDİN (TURKEY) PROVINCE

Abstract

Air pollution is among the causes of respiratory and other diseases that can be fatal in living things because it is an important environmental risk factor that threatens global health. In this study, the levels of PM₁₀ and SO₂ concentration levels of Mardin between 01.01.2010-31.12.2021 were evaluated. In this study, the necessary data were obtained from the T.C. Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change from the air quality measurement station in Mardin province between 1 January 2010 and 31 December 2021. The 24-hour means of PM₁₀ and SO₂ measurements were calculated for the specified dates and compared with the World Health Organization (WHO) and Turkey national limit values. ANOVA and multiple comparison (TUKEY) test were used in statistical analyses and the significance level was accepted as p<0.05. Annual PM₁₀ concentration values obtained during the measurement period ranged from 1.26 to 1607.97 µg m⁻³ (mean: 59.97±64.27; 95% CI: 58.01- 61.94), while SO₂ concentration values ranged from 0.02 to 297.61 µg m⁻³ (mean: 18.14±20.31; 95% CI: 17.52- 18.77). The average number of days exceeding the national limit value for PM₁₀ is 159.7 days per year, the average number of days exceeding the national limit value for SO₂ is 1.7 days for WHO, and 66.2 days for WHO. As a result of the analysis of the data, it was found that the difference between PM₁₀ and SO₂ values according to years and months (p<0.05) was statistically significant. As a result, the problem of air pollution in Mardin has decreased compared to previous years, but it is still not at the targeted levels.

Keywords: Air pollution, Particulate matter, Sulfur dioxide, Mardin

1. GİRİŞ

Hava kirliliği, gelişmekte olan çoğu ülkelerde en önemli çevresel sorunların başında gelmektedir. Hava kirliliği, kaynakları ve bileşimi açısından zamansal olduğu kadar mekansal olarak da değişen, zararlı gazlar ve aerosollerden oluşan bir karışımdır [1,2]. Atmosferik aerosollerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerine ilaveten, hava ve iklim üzerinde doğrudan, dolaylı ve yarı doğrudan olmak üzere bölgesel ve küresel ölçekte de etkileri söz konusudur [3-6]. Dolayısıyla hava kirliliği, küresel ölçekte, sağlığı tehdit eden önemli bir çevresel risk faktörüdür. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından önerilen hava kalitesi değerlerine göre 2019 yılında dünya nüfusunun %99'unun hava kalitesinin düşük olduğu yerlerde yaşadığı bulgularla saptanmıştır [7].

Hava kirliliği ölümcül solunum yolu hastalıkları başta olmak üzere diğer hastalıklara da neden olabileme potansiyeline sahip bir sorundur. Hem şehirlerde hem de kırsal alanlardaki ortam (dış) hava kirliliğinin 2016 yılı verilerine göre dünya çapında 4.2 milyon insanın erken ölümüne neden olduğu tahmin edilmektedir. Bu erken ölümlerin yaklaşık %91'i düşük ve orta gelirli ülkelerde, en fazla ise Güneydoğu Asya ve Batı Pasifik bölgelerinde gerçekleştiği raporlanmıştır [7].

Hava kirliliğinin olumsuz etkilerinin araştırılması 1934 yılında Belçika'da Meuse Vadisi'nde, 1947'de ABD'de Donora'da ve 1952'de Londra'da meydana gelen olaylarla başlamıştır (Filleul ve ark., 2003). 1952 Londra sisi olarak anılan hava kirliliği, bu dönemde normalden üç kat daha yüksek bir ölüm oranıyla hava kirliliği epidemiyolojisi araştırmaları için başlangıç noktası olarak kabul edilir (Bell ve Davis, 2001). Hava kirliliğini kontrol etmeye yönelik yasal önlemler ilk olarak ABD ve İngiltere'de uygulanmış ve kentsel hava kirliliğinin azaltılmasının kış sislerinin ortadan kaldırılmasına önemli ölçüde katkıda bulunduğu tespit edilmiştir [10]. Türkiye'de ise Sanayileşme ile birlikte hızla artan nüfus ve bilinçsiz yapılaşma nedeniyle hava kalitesinin belirlenmesi önemli ve güncel bir konu olmaktadır. Türkiye'de 1950'li yıllarda başlayan sanayileşme ile hızlı kentleşme nedeniyle sorun haline gelen hava kirliliği, ilk kez 1960'larda kayıtlara geçmiş [11,12] olup hava kirliliği ve kontrolü izlenmesi kapsamında Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) 2008 yılında yürürlüğe girmiştir. Türkiye'de hava kirliliği genellikle kükürt dioksit (SO₂) ve çapı 10 mikrondan küçük partikül madde (PM₁₀) değişimlerinin ölçülmesiyle saptanmakla birlikte [13] son zamanlarda diğer hava kirletici parametrelerin ölçümleri de bazı istasyonlarda yapılmaya başlanmıştır. Türkiye'de hava kirliliği konusunda şehirlerde PM₁₀ konsantrasyonlarına bakıldığında, Doğu Anadolu Bölgesi ile Yatağan, Çan, Keşan vb. gibi termik santrallerin bulunduğu bölgeler dışında çoğunlukla ölçüm istasyonlarında benzer değerler görülmektedir. Aynı şekilde SO₂ değerlerindeki dağılımlar ise; kömür yataklarınca zengin olan Trakya ve Ege Bölgeleriyle birlikte özellikle soğuk zamanlarda Doğu Anadolu Bölgesinde kömür kullanımının yaygın olmasından dolayı, bu bölgelerde yüksek SO₂ konsantrasyon seviyeleri görülmektedir. Ayrıca hava kirletici ile meteorolojik parametrelerinin haritalandırılmasıyla birlikte özellikle sıcaklık, rüzgar ve karışım yüksekliğinin, hava kirletici konsantrasyonlarının dağılımlarında etkili olduğu raporlanmıştır [14]. Ayrıca Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde kış aylarındaki hava sıcaklık değerleri Türkiye'nin İç ve Doğu bölgelerine göre çok düşük olmaması nedeniyle ısınmak için

kullanılan fosil yakıtları çok fazla değildir. Bunun neticesinde atmosferdeki partikül madde miktarında fosil yakıtların etkisi çok değildir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ilkbahar, sonbahar ve yaz aylarındaki PM10 parametresinin konsantrasyonları Kuzey Afrika, Arabistan ve Suriye'den rüzgarlar vasıtasıyla taşınan çöl tozlarının etkisiyle genellikle kış mevsimindeki değerlerin üzerinde olabilmektedir. Taşınan bu çöl tozları özellikle hava kalitesini düşürmesinden dolayı önemli bir konu haline gelmiştir [15].

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Mardin'de hava kirliliğine ilişkin önceki bilimsel araştırmaların yetersiz olması ve bu konuyla ilgili en son yapılan çalışmanın 2017 verileri içermesinden dolayı bu çalışma gerçekleştirilmiştir [15–19]. Ecer ve ark (2017)' yaptığı çalışmada Mardin ilinde hava kirlleticilerinin (PM₁₀ ve SO₂) 2008-2016 yılları arasındaki değerlerinin kümeleme analizi sonuçları değerlendirilmiştir [16].

Bu çalışmanın amacı; 2010 ve 2021 yıllarında Mardin ili merkezindeki ölçüm istasyonundan elde edilen saatlik PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyon değerlerinin yıllık ile aylık dağılımlarını belirlemek ve ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde yer alan sınır değerleri ile karşılaştırmak, mevcut durumu önceki yıllara göre istatistiksel olarak değerlendirmektir.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Çalışma Yeri

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Mardin ili, Türkiye'nin en kalabalık yirmi altıncı şehri ve 36° 55'-38° 51' kuzey enlemleri ve 39° 56'-42° 54' doğu boylamları arasında yer almaktadır. 2020 Yılı TÜİK verilerine göre nüfusu 862757'dir [20]. İlin yüzölçümü 8779 km²'dir ve ilde km²'ye 98.27 kişi düşmektedir. Mardin, Akdeniz ve karasal iklimin ortak özelliklerine sahiptir. Yazları çok sıcak ve kurak, kışları ise yağışlı ve soğuktur. 1941-2021 arasında Mardin'in ortalama hava sıcaklığı 16.1 °C, ortalama güneşlenme süresi 8.1 saat, ortalama yağışlı gün sayısı 84.7 ve aylık toplam yağış miktarı ortalaması ise 679 mm.'dir [21]. Isınmak için genellikle kömür ve elektrik kullanımı yaygın olup kent merkezinde ısınma için genellikle kömür kullanılmaktadır. Mardin ilinde en gelişmiş sektörler arasında arazi koşulları nedeniyle tarım sektörü ön plana çıkmaktadır. Mardin'de ayrıca jeolojik özelliklerinden dolayı madencilikte nispeten gelişmiştir [22].

2.2 Yöntem

Mardin'de hava kirliliği ölçümleri T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından kurulan tam otomatik cihazlarla gerçekleştirilmektedir. Ölçüm istasyonlarında toplanan veriler bakanlığa ait özel bir ağ üzerinden GSM Modemler aracılığıyla T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Çevre Referans Laboratuvarı Veri İşletim Merkezi'ne aktarılmaktadır.

Çalışma, kesitsel bir çalışma olarak 1 Ocak 2010–31 Aralık 2021 tarihleri arasındaki verileri dikkate almıştır. PM₁₀ ve SO₂ değerleri bağımlı çalışma değişkenlerini oluştururken, ay ve yıl bağımsız değişkenleri temsil etmiştir. İl genelindeki ölçüm istasyonlardan alınan saatlik PM₁₀ ve SO₂ verileri yardımıyla kirletici parametrelerin aylık, mevsimsel ve yıllık ortalama konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Bu veriler Türkiye ulusal ve DSÖ tarafından önerilen eşik değerlerle karşılaştırılmıştır (Çizelge 1). Ayrıca çalışmada hava kirletici parametre değerlerinin yıllar ve aylar arasında farklı ya da aynı olup olmadığını tespit etmek için varyans analizleri (ANOVA) ve Post-Hoc/Tukey testi yapılarak p (probability) değerleri hesaplanmıştır. p değeri, bir sonucun istatistiksel olarak anlamlılığın varlığının ve varsa da var olan farklılığın kanıtının düzeyinin belirlenmesi amacı ile kullanılan bir değerdir [23]. ANOVA analizi, eldeki mevcut örneklem verilerinin birbirlerine karşı ortalamalarının eşit olup olmadığını test etmektedir. Değerlendirmede ANOVA sonucu p<0.05 olarak bulunduğu takdirde çoklu karşılaştırma testi olan Tukey analizi yapılarak kirletici değerlerinin hangi yıl yada ayda farklı yada aynı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 1. Türkiye ve DSÖ için 24 saatlik ortalama SO₂ ve PM₁₀ sınır değerleri

	Türkiye (2021) [24]	DSÖ [7]
SO ₂	125 µg m ⁻³ *	40 µg m ⁻³
PM ₁₀	50 µg m ⁻³ **	45 µg m ⁻³

Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre günlük limit değer yılda * 3 kereden fazla ** 35 kereden aşılamaz.

Mardin'de, hava kalitesi istasyonun konumlandırıldığı yer, sanayi bölgesine uzak olduğundan kentsel ve trafik kaynaklı kirleticilerin daha yoğun olduğu bir bölge olarak tanımlanabilir [16] (Şekil 1).



Şekil 1. Mardin hava kalitesi ölçüm istasyonu konumu

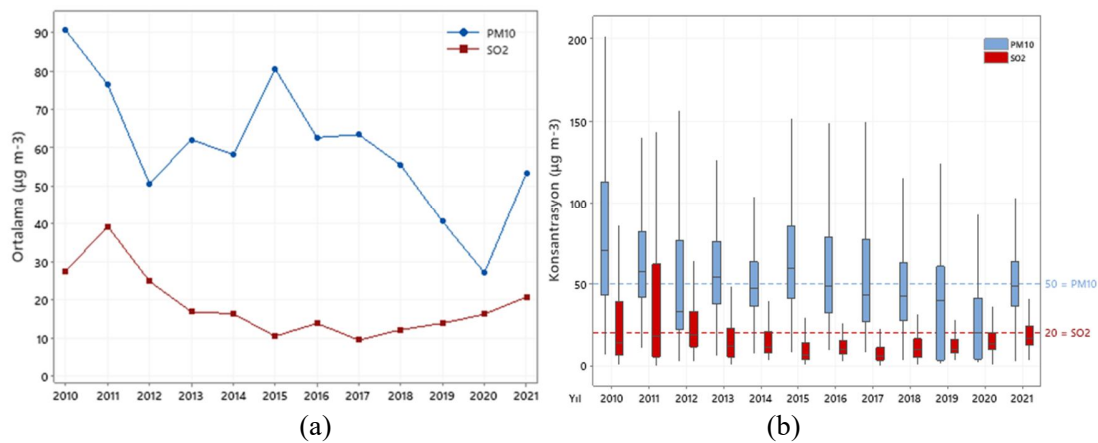
3. BULGULAR ve TARTIŞMA

2010-2021 yıllarında Mardin istasyonunda PM₁₀ 4104 gün (% 93.6) ve SO₂ 4068 gün (% 92.8) olarak ölçülmüştür. Bu 12 yıllık dönemde ortalama PM₁₀ değeri 59.97 µg m⁻³ (min: 1.26; maks: 1607.97) ve ortalama SO₂ değeri ise 18.14 µg m⁻³ (min: 0.02; maks: 297.61) olarak bulunmuştur. PM₁₀ için ulusal ve DSÖ için izin verilen sınır değerlerin sırasıyla, ölçümün gerçekleştirildiği günlerin 1916 (% 46.7) ve 2190 (% 53.4) günde, SO₂ parametresinde ise 20 gün (% 0.1) ulusal ve 356 gün (%8.8) DSÖ tarafından tavsiye edilen eşik sınırlarını aştığı hesaplanmıştır. PM₁₀ değeri en yüksek 91.80 µg m⁻³ ile 2010, en düşük değer ise 27.08 µg m⁻³ ile 2020’de, SO₂ değeri ise en yüksek 38.76 µg m⁻³ ile 2011’de, en düşük 9.27 µg m⁻³ ile 2017 yılında saptanmıştır. Dolayısıyla her iki hava kirlenmelerinin pik yaptığı yıllar veya en düşük seviyeye ulaştığı yıllar birbirinden farklıdır. Yıllara göre SO₂ ve PM₁₀ seviyeleri Çizelge 2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Yıllara göre Mardin’de SO₂ ve PM10 seviyeleri

Yıl	PM ₁₀				SO ₂			
	N	Ort	StdSp	95% CI	N	Ort	StdSp	95% CI
2010	331	91.80	116.81	(85.11; 98.49)	313	27.15	29.90	(25.07; 29.23)
2011	285	77.16	74.39	(69.95; 84.37)	300	38.76	44.87	(36.63; 40.88)
2012	322	50.73	41.14	(43.94; 57.51)	357	24.90	18.28	(22.95; 26.85)
2013	349	62.75	50.81	(56.24; 69.27)	349	16.92	15.51	(14.95; 18,89)
2014	352	59.08	74.58	(52.60; 65.57)	352	16.32	12.01	(14.36; 18,28)
2015	355	81.62	70.58	(75.16; 88.08)	359	10.38	9.09	(8.44; 12,32)
2016	320	62.32	47.78	(55.51; 69,12)	362	13.97	14.33	(12.03; 15,90)
2017	352	63.13	66.70	(56.64; 69,62)	361	9.27	9.01	(7.33; 11,20)
2018	348	56.28	58.38	(49.75; 62,80)	329	12.22	8.70	(10.19; 14,25)
2019	359	40.55	33.62	(34.12; 46,97)	283	14.15	11.61	(11.96; 16,34)
2020	366	27.08	31.97	(20.72; 33,45)	338	16.11	10.27	(14.11; 18,11)
2021	365	53.51	28.30	(47.14; 59,88)	365	20.66	13.28	(18.73; 22,58)

Bursa’da yapılan benzer bir çalışmada il bazında 1990-2017 yılları arasındaki PM_{10} ve SO_2 parametrelerin değerleri incelenmiş ve son yıllarında PM_{10} değerlerinin HKDYY’nin tavsiye edilen sınır değerleri aştığı hesaplanmıştır. 1990-2008 yılları arasında yakılan yakıtlarının (fosil yakıtların) kalitesindeki denetlemelerle zamanla karşı azalan PM_{10} değerleri 2008-2016 yılları arasında arttığı görülmüştür. SO_2 oranları ise 90’ların başında yüksek seyrederken, 2000’lerden itibaren ise öngörülen limit değerleri aşmadığı tespit edilmiştir [25]. Mardin il düzeyinde PM_{10} değerleri 2010’da 231 gün (% 69.8), 2011’de 168 gün (% 58.9), 2012’de 125 gün (% 38.8), 2013’te 188 gün (% 53.9), 2014’te 157 gün (% 44.6), 2015’te 228 gün (% 64.2), 2016’da 159 gün (% 49.7), 2017’de 150 gün (% 42.6), 2018’de 135 gün (% 38.8), 2019’da 141 gün (%39.3), 2020’de 60 gün (% 16.4) ve 2021 yılında 174 gün (% 47.7), SO_2 parametre değerlerinde ise 12 yıllık çalışma döneminde sadece 2010’da 4 gün (% 1.6), 2011’de 14 gün (% 8.2), 2012 ve 2016 yıllarında 1 gün (% 1.3 ve % 0.3) olmak üzere Türkiye yönetmeliklerince belirlenen eşik sınır değerlerini aştığı hesaplanmıştır. 2010-2021 yılları arasında ortalama kirletici değerlerine bakıldığında PM_{10} için 2010-2017 yılları arasında düzensiz bir dağılım, 2017-2020 yılları arasında düzenli bir düşüş ile 2021 yılında ise artış görülmektedir. SO_2 ise PM_{10} parametresinin aksine 2011 yılından 2015 yılına kadar düzenli bir düşüş, 2017 yılından 2021 yılına kadar ise düzenli bir artış söz konusudur (Şekil 2).



Şekil 2: Yıllara göre SO_2 ve PM_{10} (a) seviyeleri ve (b) yıl içindeki konsantrasyon dağılımları

2010-2021 yılları arasındaki PM_{10} ve SO_2 verilerinin değişimlerini analiz etmek için varyans analizi (ANOVA) ve Post-Hoc çoklu karşılaştırma testleri arasında bulunan Tukey testi yapılmıştır.

Yapılan ANOVA testi sonucuna göre PM₁₀ ve SO₂ düzeylerinin yıllara göre farklılıklarının istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlendiğinden (PM₁₀ ve SO₂ için p<0.05), yıllar arasındaki ortalamaların birbirine eşit olmadığı ve farklılıkların olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. 2010-2021 yılları arasında yapılan ANOVA sonuçları

	PM ₁₀					SO ₂				
	DF	Adj SS	Adj MS	F değeri	p değeri	DF	Adj SS	Adj MS	F değeri	p değeri
Yıl	11	1172981	106635	27.66	0.000	11	247038	22458.0	63.71	0.000
Error	4092	15773155	3855			4056	1429772	352.5		
Total	4103	16946136				4067				

Yıllar arasındaki ortalama değerlerin istatistiksel olarak aynı olan yılları bulmak için yapılan post-hoc çoklu karşılaştırma (Tukey) testi sonucuna göre 2010-2015-2011, 2011-2017-2013-2016, 2017-2013-2016-2014-2018-2021-2012, 2021-2012-2019 ve 2019-2020 yılları arasında PM₁₀ seviyeleri açısından istatistiksel olarak bir fark bulunmazken, 2010-2012, 2012-2021, 2021-2013-2014-2020, 2013-2014-2020-2019-2016-2018, 2019-2016-2018-2015 ve 2018-2015-2017 yılları arasında da SO₂ için istatistiksel olarak bir fark bulunmadığı hesaplanmış ve Çizelge 4'te yıllara göre gruplandırılarak gösterilmiştir.

Çizelge 4. PM₁₀ ve SO₂ için yıl bazında kıyaslamalarını içeren Post-Hoc/Tukey testi gruplama sonuçları

PM ₁₀			SO ₂		
Yıl	Ort	Gruplar	Yıl	Ort	Gruplar
2010	91.80	A	2011	38.76	F
2015	81.62	A	2010	27.15	G
2011	77.16	A B	2012	24.90	G H
2017	63.13	B C	2021	20.66	H I
2013	62.75	B C	2013	16.92	I J
2016	62.32	B C	2014	16.32	I J
2014	59.08	C	2020	16.11	I J
2018	56.28	C	2019	14.15	J K
2021	53.51	C D	2016	13.97	J K
2012	50.73	C D	2018	12.22	J K L
2019	40.55	D E	2015	10.38	K L
2020	27.08	E	2017	9.27	L

PM değerinin yükselmesinde insan aktiviteleriyle paralel olduğu ve hakim rüzgarların etkisiyle bir yerden başka bir yere taşınması, hava kalitesi açısından önemli olduğu raporlanmıştır [26,27]. Batman ili için yapılan bir çalışmada, 2006-2011 yılları arasında kış döneminde (Kasım-Mart ayları arasında) PM miktarı en yüksek değerlere 2010 yılında, 2010 yılındaki en yüksek değerlere ise Kasım ve Aralık aylarında ulaşıldığı belirlenmiştir [28]. Mardin ili için 2010-2021 yıllarında aylara göre ortalama PM₁₀'un en yüksek değeri 73.28 µg m⁻³ ile Ekim, en düşük değeri 50.75 µg m⁻³ ile Eylül ayında ve ortalama SO₂'nin en yüksek değeri 33.75 µg m⁻³ ile Ocak, en düşük değeri ise 7.16 µg m⁻³ ile Mayıs ayında ölçülmüştür (Çizelge 5).

Çizelge 5. Aylara göre SO₂ ve PM₁₀ seviyeleri

Ay	PM10				SO2			
	N	Ort	StdSap	95% CI	N	Ort	StdSap	95% CI
Ocak	338	68.12	112.25	(61.29; 74.95)	355	33.75	26.38	(31.90; 35.59)
Şubat	295	54.98	57.91	(47.67; 62.29)	309	30.53	22.85	(28.55; 32.50)
Mart	370	54.45	75.36	(47.92; 60.98)	341	24.75	30.61	(22.87; 26.63)
Nisan	344	60.42	67.67	(53.65; 67.19)	310	10.10	7.38	(8.13; 12.07)
Mayıs	349	53.08	54.91	(46.36; 59.80)	350	7.16	4.94	(5.30; 9.02)
Haziran	357	60.89	35.85	(54.25; 67.54)	331	7.53	4.94	(5.62; 9.44)
Temmuz	317	61.24	41.51	(54.19; 68.30)	330	10.48	7.54	(8.56; 12.39)
Ağustos	334	63.01	44.07	(56.14; 69.88)	324	10.73	6.89	(8.80; 12.66)
Eylül	337	50.75	44.56	(43.91; 57.59)	337	10.96	6.59	(9.07; 12.85)
Ekim	350	73.28	89.73	(66.56; 79.99)	371	13.47	13.64	(11.67; 15.28)
Kasım	355	63.06	47.52	(56.39; 69.72)	355	23.45	18.88	(21.61; 25.30)
Aralık	358	56.14	50.56	(49.50; 62.78)	355	33.42	27.62	(31.58; 35.27)

Aylık PM₁₀ ve SO₂ değerlerine göre uygulanan ANOVA testi sonucunda aylara göre farklılıklarının istatistiksel olarak %95 güven düzeyinde anlamlı olduğu belirlendiğinden (PM₁₀ ve SO₂ için p<0.05), aylar arasındaki ortalamaların birbirine eşit olmadığı ve farklılıkların olduğu bulunmuştur (Çizelge 6).

Çizelge 6. Aylar arasında yapılan ANOVA sonuçları

	PM10					SO2				
	DF	Adj SS	Adj MS	F değeri	p değeri	DF	Adj SS	Adj MS	F değeri	p değeri
Ay	11	160885	14626	3.57	0.000	11	403814	36710.3	116.97	0.000
Error	4092	16785251	4102			4056	1272997	313.9		
Total	4103					4067				

Aylar arasındaki ortalama değerlerin istatistiksel olarak aynı olan ayları bulmak için yapılan post-hoc çoklu karşılaştırma (Tukey) testine göre PM₁₀ için Ekim-Ocak-Kasım-Ağustos-Temmuz-Haziran-Nisan, Ocak-Kasım-Ağustos-Temmuz-Haziran-Nisan-Aralık-Şubat-Mart-Mayıs ve Kasım-Ağustos-Temmuz-Haziran-Nisan-Aralık-Şubat-Mart-Mayıs-Eylül ayları, SO₂ için ise Ocak-Aralık-Şubat, Mart-Kasım, Ekim-Eylül-Ağustos-Temmuz-Nisan ve Eylül-Ağustos-Temmuz-Nisan-Haziran-Mayıs ayları arasında istatistiksel olarak fark tespit edilmediği görülmüştür (p<0.05) (Çizelge 7).

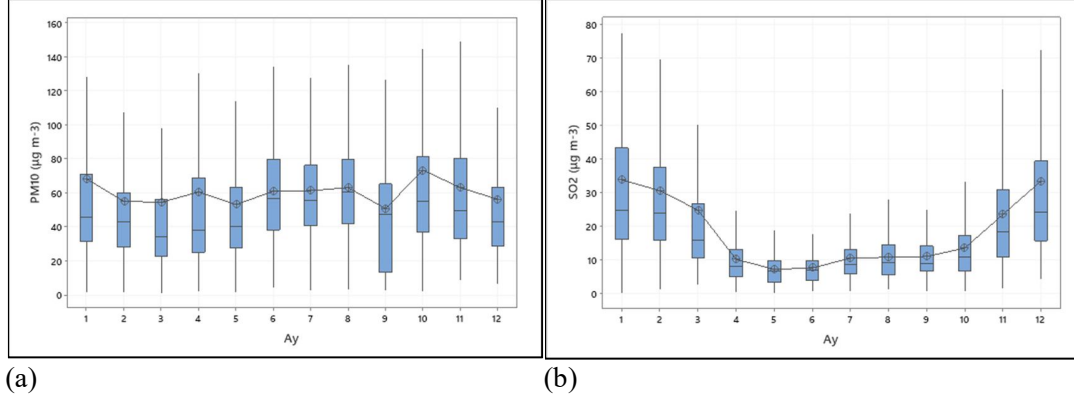
Çizelge 7. PM₁₀ ve SO₂ için ay bazında kıyaslamalarını içeren Post-Hoc/Tukey testi gruplama sonuçları

PM ₁₀			SO ₂		
Ay	Ort	Gruplama	Ay	Ort	Gruplama
Ekim	73.28	A	Ocak	33.75	D
Ocak	68.12	A B	Aralık	33.42	D
Kasım	63.06	A B C	Şubat	30.53	D
Ağustos	63.01	A B C	Mart	24.75	E
Temmuz	61.24	A B C	Kasım	23.45	E
Haziran	60.89	A B C	Ekim	13.47	F
Nisan	60.42	A B C	Eylül	10.96	F G
Aralık	56.14	B C	Ağustos	10.73	F G
Şubat	54.98	B C	Temmuz	10.48	F G
Mart	54.45	B C	Nisan	10.10	F G
Mayıs	53.08	B C	Haziran	7.53	G
Eylül	50.75	C	Mayıs	7.16	G

Hava kirleticilerin değerlerinin ay içinde ve aylara göre dağılımlarını daha iyi anlayabilmek için boxplot grafikleri kullanılmıştır. Şekil 3'te gösterildiği gibi Mardin ilinde bulunan hava kalitesi istasyonunun PM₁₀ verileri Şubat-Mart-Aralık, SO₂ için ise Mayıs-Haziran-Temmuz aylarındaki verilerin diğer aylara göre daha düzenli, buna karşın PM₁₀ için Eylül-Ekim-Kasım aylarında, SO₂ için ise Ocak-Şubat-Aralık aylarında ölçüm verilerin diğer aylara göre daha düzensiz bir dağılımda olduğu sonucuna varılmıştır.

Ortalama PM₁₀ mevsimlere göre kış, ilkbahar, yaz, sonbahar değerleri sırasıyla 55.42, 57.47, 61.19, 65.44 µg m⁻³, SO₂ değerleri ise kışın 30.89, ilkbaharda 9.48, yazın 10.14 ve sonbaharda ise 20.30 µg m⁻³ olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Mardin'de mevsimsel olarak hava kirletici değerlerine göre kışın ısınmak için ve trafik kaynaklı emisyonlarının etkisinin yüksek olduğunu göstermektedir.

İldeki en önemli hava kirletici kaynakları olarak, PM₁₀ kirliliğine çölden gelen tozlar, SO₂ kirliliğine ise ısınma ve trafik emisyonlarından kaynaklı olduğu şeklinde açıklanabilmektedir [16].



(a)

(b)

Şekil 3. Aylara göre (a) PM₁₀ ve (b) SO₂ boxplot grafikleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Mardin'de 2010-2021 yıllarında ve aylar açısından SO₂ ve PM₁₀ düzeyleri değerlendirilmiştir. Ayrıca kirletici parametre değerleri ile ulusal ve DSÖ'de yürürlükte olan hava kalitesi hakkındaki yönetmeliklerdeki sınır değerler arasında karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçlar, zamansal olarak Mardin'de hava kalitesinde önemli farklılıkların varlığını göstermektedir.

Tanımlayıcı, kesitsel nitelikteki bu çalışmanın hava kirliliğinin nedenlerini ortaya koyamaması bir sınırlılığı temsil etmektedir. Bulgular, yerel yöneticiler için mevcut durumun değerlendirilmesi ve konuyla ilgili ileride yapılacak araştırmalar için ve halk sağlığına etkileri ile önlenebilir hava kirliliği sorununun boyutlarını göstermesi açısından önemlidir.

2010-2021 yıllarında Mardin ili merkezinde yapılan ölçümlerde hava kirliliğini değerlendiren iki parametre olan PM₁₀ ve SO₂ seviyeleri hem DSÖ hem de Türkiye'de ki yürürlükte olan yönetmelik sınır değerlerini önemli ölçüde aştığı hesaplanmıştır. Mardin ilinde yaz ve sonbaharda diğer mevsimlere göre hava kirletici parametrelerinin yüksek olması dikkat çekmektedir. Bu durum çöl tozlarına bağlanarak açıklanmaktadır. Ayrıca çöl tozları hem hava kirliliğine dolayısıyla da hem de canlı sağlığını etkilemektedir. Bu yüzden Afrika kıtası üzerinden gelen çöl tozlarının, insanların sağlığını olumsuz yönde etkilemesi azaltmak için şehirde hizmet veren yerel yönetimler insanlara maske gibi koruyucu malzeme vermesi insanların sağlıksal açıdan daha az etkilenmesinde faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- [1] Monks, P.S., Granier, C., Fuzzi, S., Stohl, A., Williams, M.L., Akimoto, H. Ve diğ., Atmospheric composition change – global and regional air quality, Atmospheric Environment, 43, 5268-5350, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.021>.
- [2] Seinfeld J.H., Pandis, S.N., Atmospheric chemistry and physics of air pollution, Wiley, New York, 2006.
https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Atmospheric%20Chemistry%20and%20Physics%20From%20Air%20Pollution%20to%20Climate%20Change&publication_year=2006&author=J.H.%20Seinfeld&author=S.N.%20Pandis, Erişim tarihi: 15.02.2022.
- [3] Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects, Cambridge University Press, Cambridge, 2014. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379>.
- [4] Satheesh, S.K., Ramanathan, V., Large differences in tropical aerosol forcing at the top of the atmosphere and Earth's surface, Nature. 405, 60-63, 2000. <https://doi.org/10.1038/35011039>.
- [5] Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, A., Bex, V., Midgley, P.M., Please use the following reference to the whole report: IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2013. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>, Erişim: 12 Mayıs 2022.
- [6] Wang, Y., Wang, M., Zhang, R., Ghan, S.J., Lin, Y., Hu, J., Pan, B., Levy, M., Jiang, J.H., Molina, M.J., Assessing the effects of anthropogenic aerosols on Pacific storm track using a multiscale global climate model, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 111, 6894-6899, 2014. <https://doi.org/10.1073/pnas.1403364111>.
- [7] DSÖ, Ambient (outdoor) air pollution, 2021. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health), Erişim: 13 Mayıs 2022.
- [8] Filleul, L., Medina S., Cassadou, S., Urban particulate air pollution: from epidemiology to health impact in public health, Revue D'epidemiologie Et De Sante Publique. 51, 527-542, 2003.
- [9] Bell, M.L., Davis, D.L., Reassessment of the lethal London fog of 1952: novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution, Environmental Health Perspectives. 109, 389-394, 2001.
- [10] Sümer, G.Ç., Hava Kirliliği Kontrolü: Türkiye'de Hava Kirliliğini Önlemeye Yönelik Yasal Düzenlemelerin ve Örgütlenmelerin İncelenmesi, Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 37-56, 2014. <https://doi.org/10.18092/ulikidince.232135>.
- [11] Çiçek, İ., Türkoğlu, N., Gürgen, G., Ankara'da Hava Kirliliğinin İstatistiksel Analizi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14, 1-18, 2004.



- [12] Garipağaoğlu, N., Türkiye’de Hava Kirliliği Sorununun Coğrafi Bölgelere Göre Dağılımı, *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9, 57-77, 2006.
- [13] Cavkaytar, Ö., Soyer, Ö.U., Şekerel, E., Türkiye’de Hava Kirliliğinden Kaynaklanan Sağlık Sorunları, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*. 2, 105-111, 2013.
- [14] Sari, M.F., Esen, F., PM10 ve SO₂ Konsantrasyonları Ve Meteorolojik Parametrelerin Konsantrasyonlar Üzerine Etkileri, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8, 689-697, 2019. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.598226>.
- [15] Şengül, M.T., Kıranşan, K., Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nde Çöl Tozlarının Hava Kalitesi Üzerine Etkisi, *Türk Coğrafya Dergisi*, 59, 59-68, 2013.
- [16] Ecer, A., Sarıkaya, B., Tepe, A.M., Doğan, G., Mardin Hava Kirliliğinin Değerlendirilmesi, Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi, Antalya, 853-862, 2017 <http://hkadtmk.org/Bildiriler/HKK-2017/Bildiriler/072.pdf>, Erişim 14 Mayıs 2022.
- [17] Öztaner, Y.B., Kahraman, A., Çalışkan, E., Tanrıöven, Ş.T., Kahya, C., Aksoy, B., İncecik, S., Topçu, S., Barutçu, B., Sezen, İ., Sakarya S., Deniz, A., Açık Gökyüzü Şartlarında Güneş Radyasyonunun WRF Modeli ile Kısa Vadeli Tahmininde Aerosol Etkisinin Değerlendirilmesi, *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, 3, 2-11, 2014.
- [18] Özbey, B.G., Geven, F., Güney, K., Bölükbaşı A., Günday, B., Güneydoğu Anadolu Bölgesi’nin Hava Kalite Analizi (Mayıs 2016-2017), *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 5, 50-64, 2017.
- [19] Yılmaz, M., Güneydoğu Anadolu Bölgesi 2011 ile 2015 Yılları Arasındaki Partikül Madde ve Kükürt Dioksit Ölçümlerinin Değerlendirilmesi, *Konuralp Medical Journal*, 10, 305-310, 2018. <https://doi.org/10.18521/ktd.299553>.
- [20] TÜİK, Mardin İline Ait Nüfus Verileri, 2021. <https://data.tuik.gov.tr>, Erişim 14 Mayıs 2022.
- [21] MGM, Mardin İline Ait Hava Durum İstatistikleri, 2021. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MARDIN>, Erişim 14 Mayıs 2022.
- [22] Akbulut, U., Ekinci, M.E., Kaya, Z., Yaşar, R., Kağar, S., Aydın, S., Mardin İli Temiz Hava Eylem Planı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mardin, 2015. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/mardin/webmenu/webmenu16087.pdf>, Erişim 14 Mayıs 2022.
- [23] Dawson B., Trapp, R.G., Basic & Clinical Biostatistics (LANGE Basic Science), McGraw-Hill Education / Medical, England, 2004.
- [24] Resmi Gazete, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=12188&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>, Erişim 30 Mayıs 2022.



[25] Garipağaoğlu N., Duman, C., Bursa Kenti Hava Kalitesinin Zaman İçerisindeki Değişimi, Marmara Coğrafya Dergisi, 57-70, 2017.

[26] Tong, Z., Whitlow, T.H., MacRae, P.F., Landers, A.J., Harada, Y., Quantifying the effect of vegetation on near-road air quality using brief campaigns, Environmental Pollution, 201, 141-149, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.02.026>.

[27] Isinkaralar K., Güllü, G., Investigation of Particulate Matter (PM10) Concentration Depend on Time in Kastamonu Atmosphere, Ecology Symposium Kayseri, 2017: s. 199.

[28] Adin, H., Yaşar, F., Altun Ş., Işcan, B., Batman Şehir Merkezinde Hava Kirliliği ve Kontrolü, Batman University Journal of Life Sciences, 7, 48-55, 2016.

MORİTANYA'DA GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU VE FİZİBİLİTESİ: NUAKŞOT, NEMA VE WADAN ŞEHİRLERİ İÇİN ÖRNEK ÇALIŞMA

Ali salem SOULEYMEN¹, Mustafa Arif ÖZGÜR^{2*}

^{1,2}Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendislik Bölümü, Kütahya, Türkiye

Öz

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ile Moritanya'nın üç ili için enerji optimizasyonu yapılmıştır. Bu kapsamda Moritanya'da bulunan ve belirlenen iller için 1 MW kurulu güce sahip şebeke bağlantılı güneş enerji santrali PVsyst 7.2 yazılımı ile tasarlanmıştır. Güç istasyonu kurulumu için gerekli teçhizat ve ekipmanların seçimi yazılım ile yapılmış, tespit edilen konumların enerji verileri NASA'ya ait Atmosferik Bilim Veri Merkezi'nden temin edilmiştir. Moritanya'da belirlenen iller için öngörülen senaryolar için aylık elektrik enerjisi üretim miktarları ile kullanıcı ihtiyaçları değerleri hesaplanmıştır. Güneş santrallerinin enerji üretimlerinden elde ettikleri yıllık gelirler, ilk yatırım maliyetleri de hesaplanarak maliyet analizi yapılmıştır. Ayrıca Geri Ödeme Süresi (GÖS) ve Net Bugünkü Değer (NBD) ile geri dönüş süresi hesaplanmıştır. Maliyet analizi sonucunda Moritanya'da belirlenen iller için yatırımın uygun olup olmadığı hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmaya göre Moritanya'da belirlenen iller için yıllık elektrik enerjisi üretimi Nuakşot için 1802 MWh/yıl, Nema için 1694 MWh/yıl ve Wadan için 1734 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Performans oranı en yüksek olan il Wadan % 80,53, Nuakşot %80,15 ve en az performans oranı ise Nema %79,78 olarak hesaplanmıştır. Geri ödeme sürelerinin 4,1 ve 4,3 yıl arasında değerler aldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda belirlenen iller için NBD pozitif olurken değerleri ise 585.900 ile 744.163 \$ arasında değişmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nuakşot, Nema, Wadan, Fotovoltaik, Güneş Enerjisi, Maliyet Analizi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları.

Sorumlu Yazar: Mustafa Arif ÖZGÜR, arif.ozgur@dpu.edu.tr

OPTIMIZATION AND FEASIBILITY OF SOLAR ELECTRICITY GENERATION IN MAURITANIA: A CASE STUDY FOR THE CITIES OF NUAKCHOT, NEMA AND WADAN

Abstract

In this study, energy optimization was made for three provinces of Mauritania with solar energy, which is one of the renewable energy sources. In this context, a grid-connected solar power plant with an installed power of 1 MW for the provinces in Mauritania was designed with PVsyst 7.2 software. The equipment and equipment required for the power station installation were selected with the software, and the energy data of the determined locations were obtained from the Atmospheric Science Data Center of NASA. For the scenarios foreseen for the provinces in Mauritania, monthly electrical energy production amounts and user needs values were calculated. The annual revenues of solar power plants from their energy production and the initial investment costs were calculated and a cost analysis was made. In addition, payback period (PPP) and Net Present Value (NPV) and payback period were calculated. As a result of the cost analysis, it was calculated whether the investment was appropriate for the provinces determined in Mauritania. According to this study, annual electrical energy production for the provinces determined in Mauritania was calculated as 1802 MWh/year for Nuakchott, 1694 MWh/year for Nema and 1734 MWh/year for Wadan. The province with the highest performance rate was Wadan 80.53%, Nuakchott 80.15% and the lowest performance rate Nema 79.78%. It has been determined that payback periods take values between 4.1 and 4.3 years. At the same time, while NPV was positive for the provinces determined, their values varied between \$585.900 and \$744.163.

Keywords: Nuakshot, Nema, Wadan, Photovoltaic, Solar Energy, Cost Analysis, Renewable Energy Resources.

1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi ve dünya nüfusunun git gide artması enerjiye duyulan ihtiyacı da arttırmaktadır. Bu talebe karşı daha fazla enerji üretimi gereksinimi söz konusu olmuştur. Kullanılan kaynakların doğada sınırlı miktarda bulunması, oluşumunun binlerce yıl gerektirmesi ve bu kaynakların oluşturduğu atıkların çevreye zarar vermesiyle farklı enerji kaynakları arayışı başlamıştır. Talep edilen enerjinin karşılanması dışında gelecek nesillere yaşanılabilir bir dünya bırakma adına tüm dünyada su, güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı

enerji üretim sistemleri hayata geçirilmiştir ve hayata geçirilmeye devam etmektedir [1].

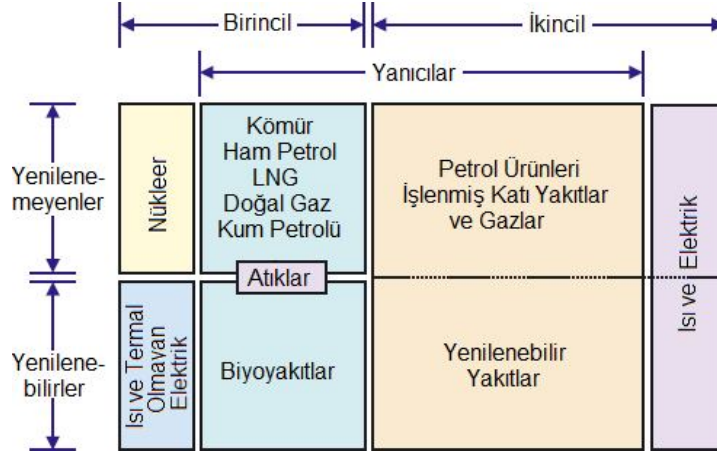
Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal ve kendi kendini yenileyebilen kaynaklar olmalarının yanı sıra çevre ve insan sağlığına olumsuz etkilerinin olmaması, tercih nedenleri arasında yer almaktadır. Bu avantajlara rağmen kurulum maliyetinin yüksek olması ve kullanılan teknolojik yapının çok yaygın olmaması gibi dezavantajları da bulunmaktadır [2].

Güneş'in çekirdeğinde büyük miktarda enerji birikmiştir. Güneş tarafından yayılan ve iletilen enerji, güneş çekirdeğinde meydana gelen füzyon süreci tarafından salınan ışınım enerjisidir. Hidrojen gazının Güneş'te helyuma dönüşmesi, füzyon sürecinden kaynaklanır. Güneş'ten Dünya'ya gelen bir günlük enerji, bir gün için ihtiyaç duyacağımız enerjinin on bin katıdır. Ancak gelen bu enerji, Dünya yüzeyine yüzde yüz ulaşamaz. Hava kirliliği, oksijen ve karbondioksit emilimi gibi birçok çevresel nedenden dolayı ulaşan radyasyon miktarı, gönderilen radyasyon miktarının yarısı kadardır. Atmosfer dışındaki güneş enerjisi ortalama değeri 1.370 W/m^2 olmasına rağmen yeryüzüne ulaşan miktarı $0-1.000 \text{ W/m}^2$ 'dir [3].

Fotovoltaik hücrenin yapısına bağlı olarak güneş enerjisi %5 ile %20 arasında bir verimle elektrige dönüştürülebilir. %10'un altında verim değerine sahip olan fotovoltaik hücreler verimli ve ekonomik sayılmaz. Güç çıkışını artırmak için birden fazla fotovoltaik hücre paralel veya seri olarak bağlanabilir. Bu durumda Watt'tan Megawatt'a kadar santral tasarımı yapmak mümkündür. Fotovoltaik hücre çeşitleri dört farklı teknolojiye sahiptir. Bunlar monokristal, polikristal, ince film ve nano teknoloji olarak sıralanabilir [4].

Yakma işleminden sonra ortaya çıkan enerji çeşitlerine göre kullanılan malzemenin içeriğine ve yanma reaksiyonunun mekanik veya elektrik formda olmasına bağlı olarak ısı veya güç elde edilmesinden dolayı bu enerji çeşitleri 'enerji kaynağı' olarak tanımlanır. Enerji, bir iş yapma kabiliyeti olarak tanımlanabilir ve ısı, ışık (radyant), mekanik, elektrik, kimyasal ve nükleer enerji gibi, farklı formlarda karşımıza çıkmaktadır [5].

Enerji kaynakları temel olarak Şekil 1'de görüldüğü üzere birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak özetlenebilir. Birincil enerjiler; petrol, doğalgaz, kömür gibi yeryüzünde kaynaklarından direkt elde edilen veya bu kaynakların farklı işlemleri sonucu alınan enerjidir. Birincil enerji kaynakları: petrol, kömür, linyit, doğalgaz, nükleer enerji (uranyum ve toryum), hidrolik, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, dalga gücü, odun olarak sayılmaktadır [6-7].



Şekil 1. Enerji Kaynakları Terminolojisi

Güneş enerjisinin avantajları;

- Yenilenebilir bir enerji kaynağıdır.
- Doğaya ve çevreye dost, temiz bir enerji kaynağıdır.
- Karmaşık teknoloji gerektirmez.
- Lokal uygulamalar için uygundur.
- İşletme maliyetleri minimumdur.
- Güneş enerjisi sisteminin kullanımından sonra gaz, duman, kükürt veya radyasyon gibi zararlı atık oluşumu yoktur.
- Tarlada, güneş ışığının alınabileceği her alanda rahatlıkla kullanılır.
- Ülkelerin enerjide dışa bağımlılığını azaltır.
- Tükenmez bir enerji türüdür.

Güneş enerjisinin dezavantajları ise;

- Kışın, enerji ihtiyacının yüksek olduğu zamanlarda güneş radyasyonu miktarı azdır ve geceleri hiç yoktur.
- Güneş enerjisinin yoğunluğu küçüktür ve mevsime, coğrafyaya ve gölgeleme durumuna göre değişir.
- İstenilen zamanda ve istenilen yoğunlukta mevcut olmayabilir.
- Depolama gereklidir.

- İlk yatırım maliyetleri oldukça fazladır.
- Gelen enerji miktarı kontrol edilemez .
- Coğrafi ve mevsimsel koşullara bağlı olarak bir artış veya azalma meydana gelebilir [8].

2. MATERYAL ve METOT

Güneş paneli seçimi yapılırken verimlilik, kalite, fiyat ve servis desteği gibi hususlar göz önünde bulundurulur. Inverterin ana görevi, doğru akımı alternatif akıma dönüştürmektir. Sistemin ürettiği elektrik enerjisini şebekeye verebilmek için uygun duruma getirir. Inverter seçerken aynı şekilde verimlilik, kalite, fiyat ve hizmet desteği gibi unsurlara da dikkat edilmelidir.

Tablo 2.1. Güneş Paneli Verileri

Kapasite	270 W _P
Önyüz	3,2 mm kalınlığında, setleştirilmiş, yansız beyaz cam
Hücre	Polikristal yüksek performans 60 hücre
Çerçeve	40mm kalınlığında alüminyum çerçeve
Ağırlık	Çerçeveyle birlikte 18,7 kg
Ölçüler	1650*992*40mm

Bu çalışmada fotovoltaik güneş panelleri teknik özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir. Sistemde Moritanya’da bulunan 3 il için hesaplamalar yapılmış olup belirtilen her il için (Nuakşot, Nema, Wadan) toplam 3703 adet Axitec marka 270 W_P gücünde 60 hücreli polikristal fotovoltaik güneş paneli kullanılmıştır [9].

Inverter özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir. Kurulan sistemlerde, Nema santrali için 15 diğer iki santral için 16 adet inverter kullanılmıştır. Marka olarak KACO 50 kW model blueplanet 50.0 TL3 BASIC inverterler kullanılmıştır [10].

Tablo 2.2. Inverter Özellikleri

Nominal güç	50.000 W
Max.giriş gerilimi	1.050 V
Min.giriş gerilimi	580 V
Max.giriş akımı	90 A
Çıkış gerilimi	400 V
Çalışma sıcaklığı aralığı	-20 °C- +60 °C
Ses	<61db(A)
Ölçüler	750*500*425 mm
Ağırlık	70-73 kg

2.1 Diğer Teçhizat ve Malzemeler

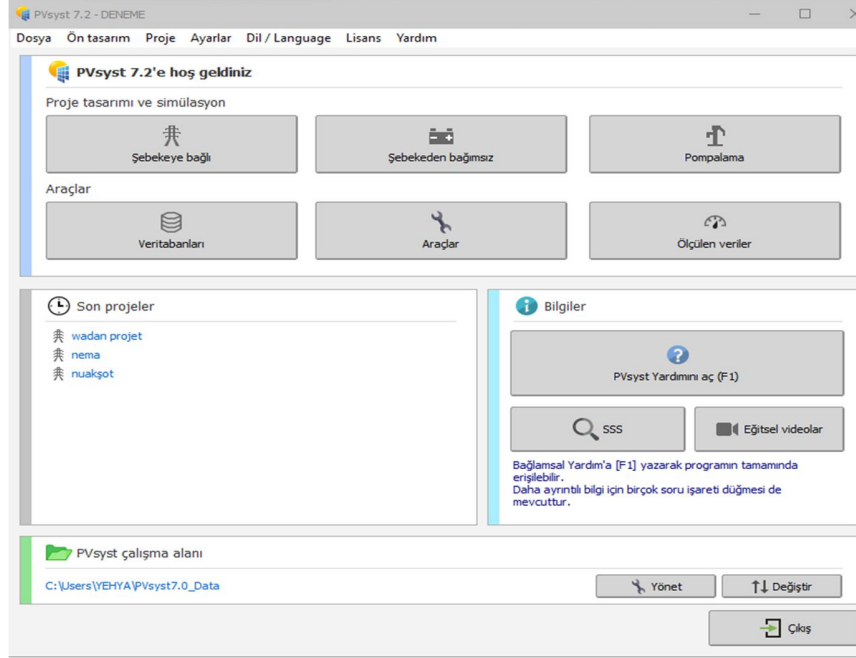
1 MW kurulu güce sahip PV santralleri için güneş panelleri ve inverterler hariç minimum gerekli ekipman ve malzemeler; inşaat, sarf malzemeler, ana panolar ve saha panoları, güç bağlantı ekipmanları/cihazları ve güvenlik malzemeleri tek tek ele alınmış ve maliyetleri hesaplanmıştır.

Galvanizli çelik yapı, bağlantı elemanı yapısı ve malzemeler oluşturulmuştur. Sarf malzemeleri; 4mm solar kablo, 6mm solar kablo, model MC4 solar, konnektörler, DC koruyucu sigortalar, haberleşme kabloları, topraklama ve diğer kablolar, topraklama malzemeleri, kablo kanalları, diğer gerekli tüm sarf malzemelerinden oluşur. Anakart ve saha plakası; anakart, inverter toplama plakasından oluşmaktadır. Güç bağlantı ekipmanı ve cihazları; transformatörler, transformatör aksesuarları, ekipman ve bağlantı malzemeleri, orta gerilim hücre ve ekipmanları, orta gerilim direkleri ve ekipmanlardan oluşmaktadır. Son olarak güvenlik ekipmanları kamera sistemi ile dikenli tel olarak kabul edilmiştir.

2.2 Pvsyst 7.2 Programı

PVsyst Programı, güneş enerjisi santrallerini simüle edebilen üçüncü taraf bir yazılımdır. Şekil 2.1'de giriş ekranı verilen yazılım, yenilenebilir enerji sektöründeki gerçek verileri ve görünürlüğü nedeniyle sektörde çalışan her türlü mühendis, yönetici ve yatırımcının tercihi bir bilgisayar programıdır. Şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız akü bağlantısı, PVsyst ile AC veya DC sulama simülasyonları, pompalar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Ayrıca çatı uygulamaları ve arazi

uygulamaları için başarılı sonuçlar vermektedir.



Şekil 2.1: Pvsyst7.2 Giriş Ekranı

2.3 Güneş Enerji Hesaplamaları

Güneş sabiti yıl boyunca değişir.

$$R = 1 + 0,033 \cos \frac{360 N}{365} \quad (2.1)$$

Güneş sabiti yılın herhangi bir günü için şu şekildedir;

$$I_{on} = I_0(1 + 0,0033 \cos \frac{360 n}{365}) \quad (2.2)$$

Burada seçilen n günün aya göre nasıl hesaplanacağı Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Hesaplama dünya ile güneş arasında oluşan açı dikkate alınmalıdır. Güneş açıları ve tanımları sırasıyla aşağıda verilmiştir [7].

Yükseklik açısı (α): Güneş ışınlarının yönü ile yatay düzlem arasındaki açıdır.

Tablo 2.3: Örnek Günlere Göre N Değerlerinin Hesaplaması

Örnek Gün Ayın i.Günü	Aylar	i. Gün için	Yılın n.Günü
2	Ocak	i	2
4	Şubat	31+ i	35
7	Mart	59+ i	66
8	Nisan	90+ i	98
10	Mayıs	120+ i	130
13	Haziran	151+i	164
15	Temmuz	181+ i	196
17	Ağustos	212+ i	229
21	Eylül	243+i	264
22	Ekim	273+i	295
25	Kasım	304+i	329
27	Aralık	334+i	361

Güneş azimut açısı (β): Güneş ışınlarının yönünün kuzeyden sapmasını veren açı olarak tanımlanır. Yüzey azimut açısı (γ): Yüzey normalinin yerel boylamsal yönden sapmasını veren açıdır, 12:00'de değer 180° olur.

Deklinaşyon açısı (δ): Dünyanın merkezi ile güneşin merkezini ekvator düzlemi ile birleştiren doğrunun oluşturduğu açıdır. Kuzey Yarım Küre'de olumlu, Güney Yarım Küre'de olumsuz. Eğim açısı Cooper denklemi yardımıyla bulunabilir ve -23.45° ile $+23.45^\circ$ arasında değişebilir.

$$\delta = 23,45 \sin\left[\frac{360(284+n)}{365}\right] \quad (2.3)$$

Burada n, Tablo 2.3'te olduğu gibi yılın ilk gününden itibaren günü ifade etmektedir.

Tablo 2.4. Ortalama Yansıtma Katsayıları

Yüzey	Ortalama yansıtma katsayısı (ρ)
Kar	0,75
Su yüzeyi	0,07
Yeşil çim	0,26
Beton kaplı alan	0,22
Toprak	0,14
Çam ormanları	0,07
Sonbahardaki ormanlar	0,26

2.3.1 Net Bugünkü Değer (NBD)

Yatırımın ilk gününden itibaren vergi sonrası net nakit akışının belirli bir iskonto oranına göre iskonto edilmesidir. Buradaki iskonto oranı, yatırımcıların yatırımdan ne bekleyebileceğini gösterir. İndirgenmiş nakit akışı, yatırımın ilk gününde özkaynak giderinden düşülür. Sonuç, yatırımın net bugünkü değerini (NPV) gösterir. $NPV > 0$, yatırımın beklentileri aştığı ve yatırımın kabul edildiği anlamına gelir. $NPV = 0$, yatırımın gelir ve giderlerinin yalnızca başa baş olduğu anlamına gelir. $NPV < 0$, yatırımın beklendiği kadar ekonomik olmadığını gösterir.

Net bugünkü değer aşağıdaki formüle göre hesaplanır [12].

$$NDB = \left[\sum_{T=0}^N \left(\frac{At}{(1+r)^n} \right) \right] - C \quad (2.7)$$

Ekonomik ömrü tamamlanmış bir yatırımın satış değeri olarak kabul edilen hurda değer, bir güneş santralının varlık değerinin %30'u kadardır. [13]

$$\text{Varlık değer} = \text{ilk yatırım} - \text{nakliye} - \text{montaj} - \text{diğer} \quad (2.8)$$

$$\text{Hurda değer} = \text{varlık değeri} * 0,3 \quad (2.9)$$

Yatırımın ekonomik ömrü boyunca gelirleri ile giderlerini birbirine eşitleyen iskonto oranı bulunur. Kısaca $NBD = 0$ eşitliğinin sağlayan iskonto değeri hesaplanır. Hesaplanan iskontonun yatırımcının öngördüğü beklentiyi karşılayıp karşılamadığına bakılır [14].

3. PVSYST ANALİZ SONUÇLARI

3.1 Nuakşot İli İçin Genel Sonuçlar

Şekil 3.1’de gösterilen bilgilerden de anlaşılacağı gibi her aşamayı gösteren simülasyon bilgilerinin bir özeti bulunmaktadır. Panel sayısı, inverter sayısı, simülasyon süresi, verim kaybı vb. bilgilerin bir özetini görülmektedir. [15]

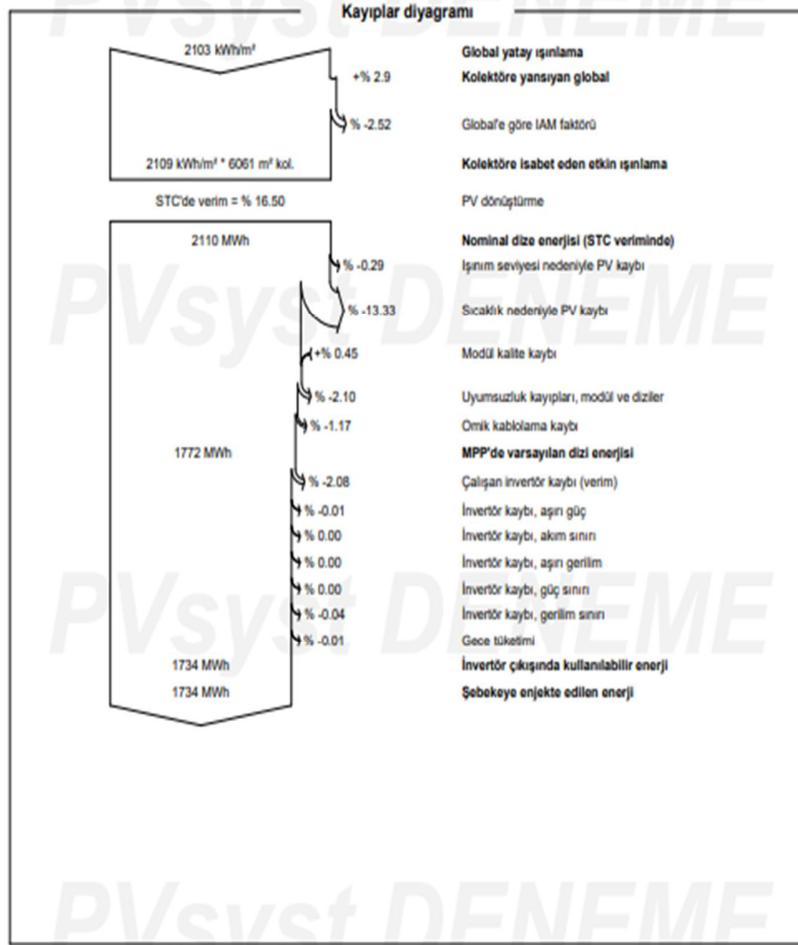
Genel parametreler			
Şebekeye bağlı sistem	3B sahne tanımlanmadı, gölgelemesiz		
Kolektör düzleminin yönlendirmesi	Dizi ayarları	Kullanılan modeller	
Yönlendirme	3B sahne tanımlanmadı	Transpozisyon	Perez
Sabit düzlem		Difüz	Perez, Meteororm
Eğim/Azımut	30 / 0 °	Circumsolar	ayn
Ufuk	Yakın gölgelemeler	Kullanıcı ihtiyaçları	
Ufuk tanımlanmadı	Gölgelemesiz	Sınırsız yüklem (şebeke)	

Kolektör alanının özellikleri			
PV modül	Generic	İnvertör	Generic
Üretici	AXIpower AC-270P/60S	Üretici	Blueplanet 50.0 TL3-INT BASIC
Model		Model	
(Orijinal Pvsyst veritabanı)		(Orijinal Pvsyst veritabanı)	
Birim gücü	270 Wp	Birim gücü	50.0 kWac
PV modül sayısı	3703 adet	İnvertör sayısı	16 adet
Nominal (STC)	1000 kWp	Toplam güç	800 kWac
Modül	161 Zincir x 23 Seri	Çalışma gerilimi	580-900 V
İşletme şartlarında (50°C)		Norm. güç oranı (DC:AC)	1.25
Pmpp	900 kWp		
U mpp	647 V		
I mpp	1391 A		
Total PV gücü		İnvertör toplam gücü	
Nominal (STC)	1000 kWp	Toplam güç	800 kWac
Toplam	3703 modül	İnvertör sayısı	16 adet
Panel yüzeyi	6061 m ²	Norm. güç oranı	1.25
Hücre yüzeyi	5459 m ²		

Dizi kayıpları								
Termal kayıp faktörü	DC kablolama kaybı	Modül kalite kaybı						
İşinme göre modül sıcaklığı	Global alan direnci	7.8 mΩ	Kayıp oranı					
Uc (sabit)	Kayıp oranı	1.5 STC'de%	-0.5 %					
Uv (rüzgar)								
0.0 W/m ² /K								
0.0 W/m ² /m/s								
Modül uyumsuzluk kaybı	Dizi uyumsuzluk kaybı							
Kayıp oranı	Kayıp oranı							
2.0 MPP'de%	0.1 %							
IAM kayıp faktörü								
Yansımaya etkisi (IAM): Fresnel, normal cam, n = 1.526								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

Şekil 3.1. Nuakşot Genel Parametreleri

Şekil 3.2'den de anlaşılacağı üzere sistem %80,15 performans oranına sahip olup teorik olarak yılda 1734 MWh enerji üretebilmektedir. PV panellerin üretim ömrünün 20 yıl sürmesi beklenmektedir. Modüller ve dizi bağlantılarından olan kayıp %2,10 ile en fazla kayba sıcaklık neden olmaktadır [15].

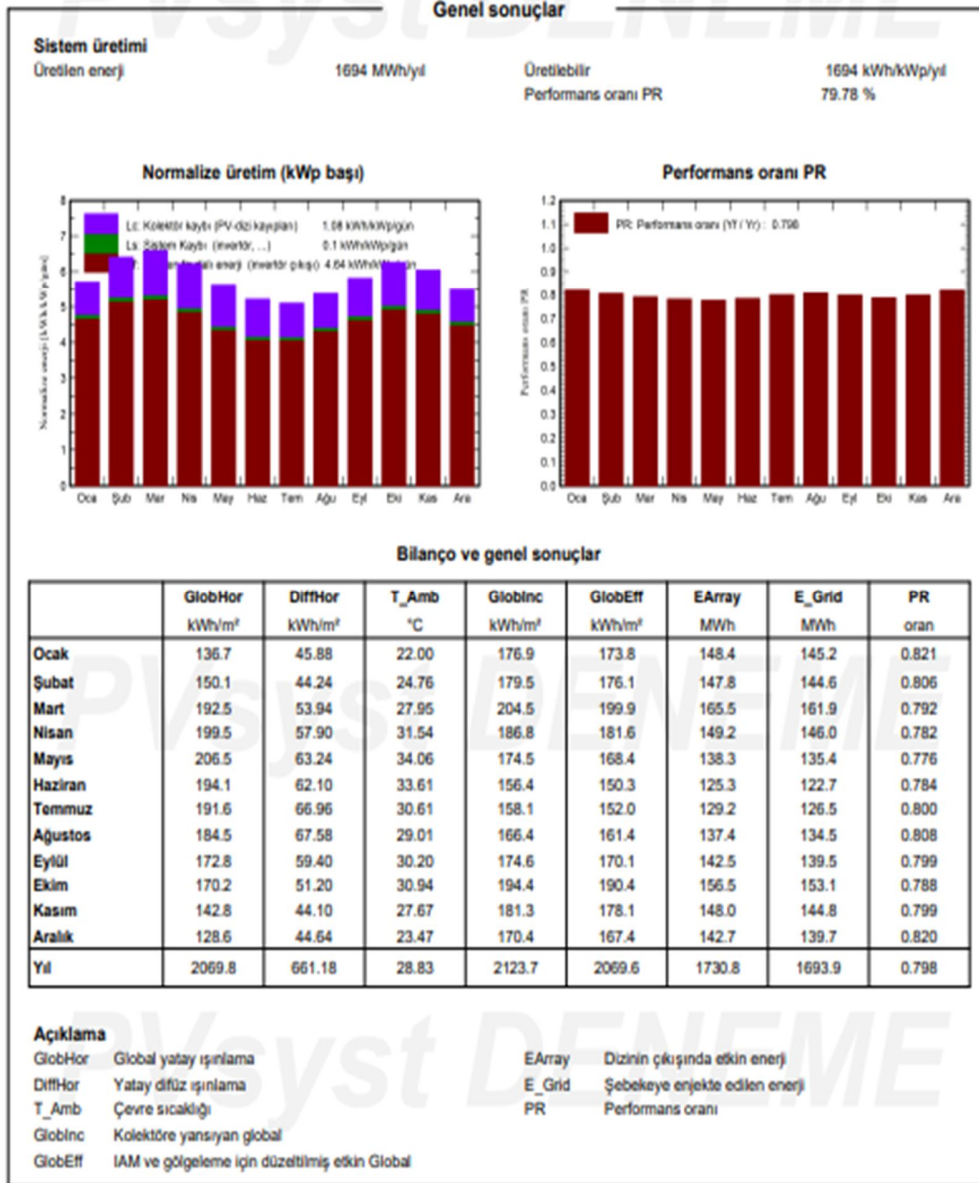


Şekil 3.2. Nuakşot Kayıplar Diyagramı

3.2 Nema İli İçin Genel Sonuçlar

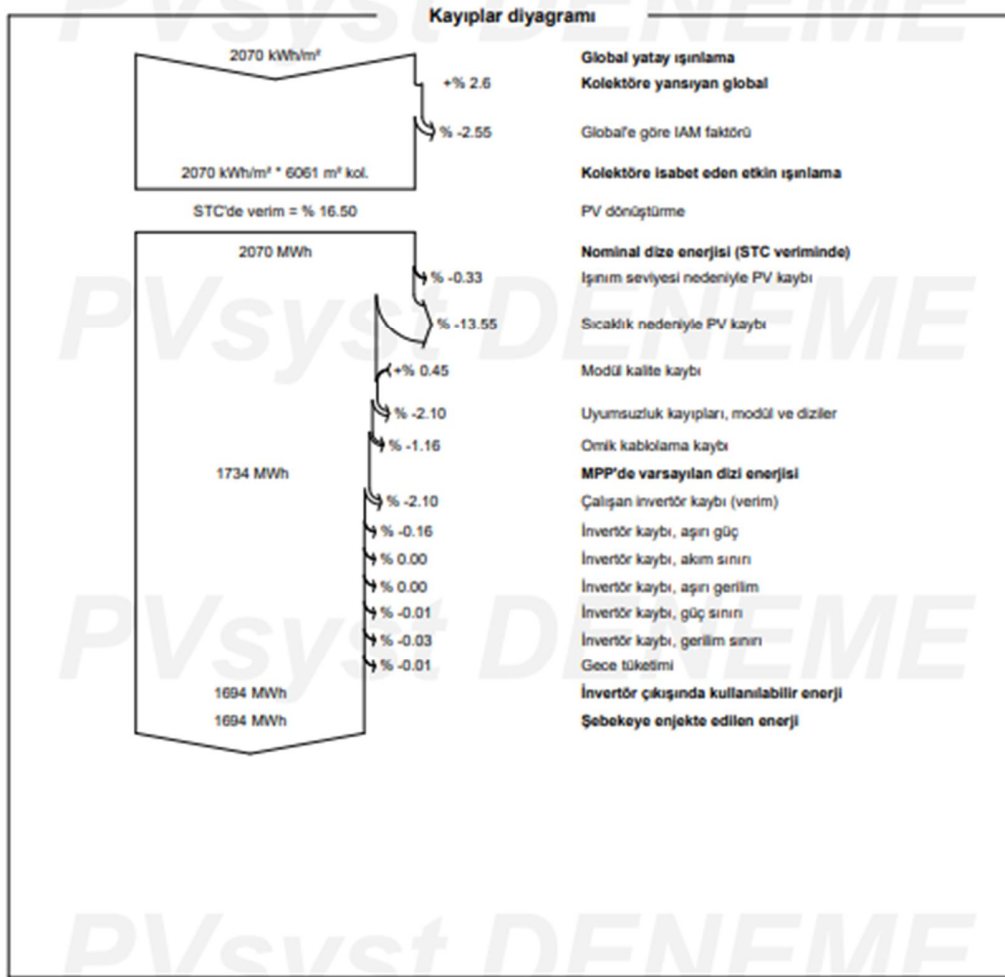
Şekil 3.3'te seçilen bölgeler için sistemin yıllık üretimini göstermektedir. Bu değerler hesaplanırken alandaki radyasyon değerleri, güneşlenme saatleri, panel verimliliği, global yatay ışınlama, çevre sıcaklığı ve performans oranı dikkate alınmaktadır.

Şekil 3.3'te de verilen ışınlam değerleri için piranometrede en dikkat edilmesi gereken husus ise verilerin herhangi bir yıllık değil ortalama 20 yıllık simüle edilmiş değerler olduğudur. Bu doğrudan simülasyon sırasında gerçekleştirilecek olan radyasyon değerlerinin, üretim hacimlerinin ve bunlardan sistem gelirinin hesaplanmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.3. Nema Genel Sonuçlar

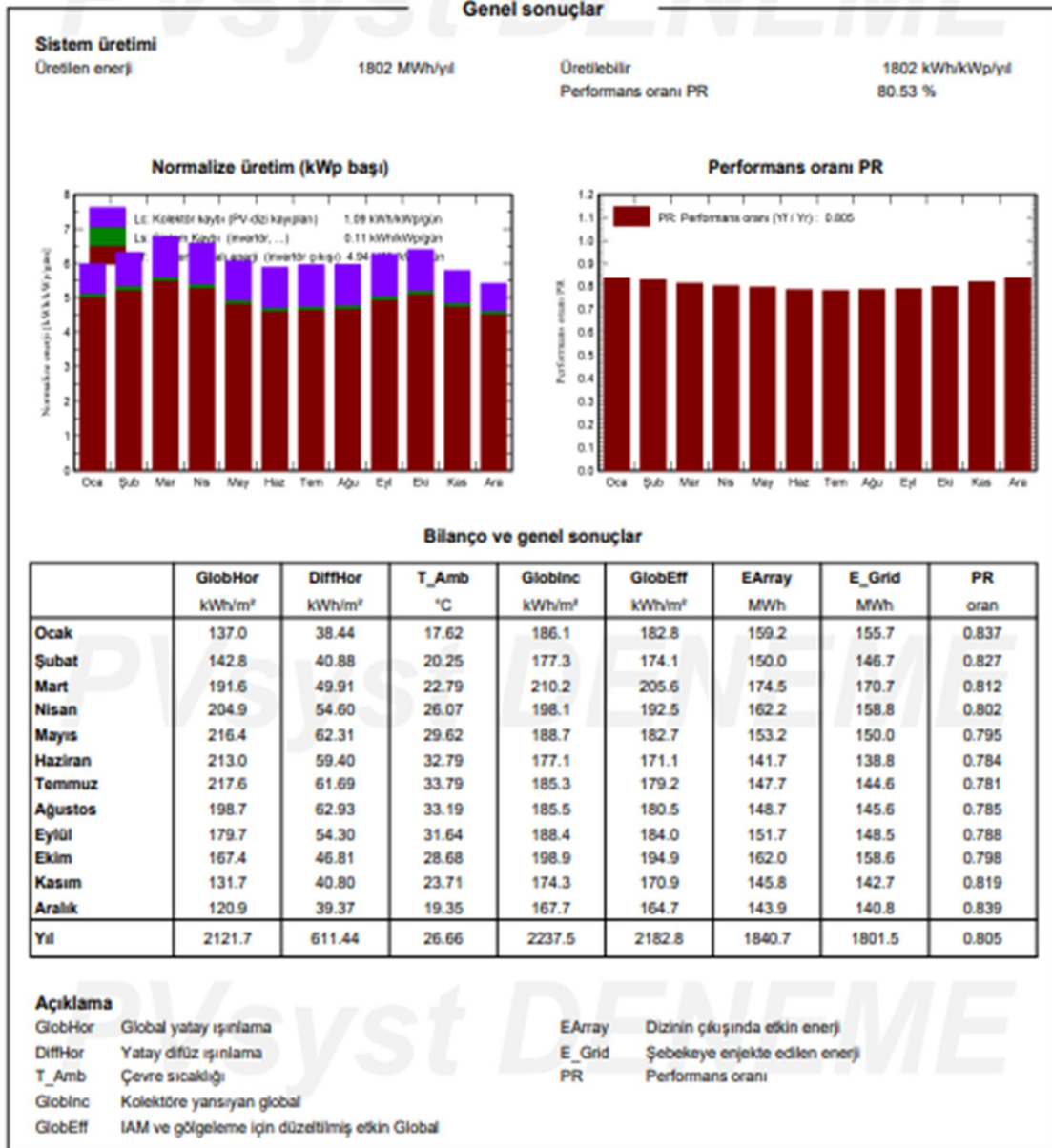
Şekil 3.4.'de görüleceği üzere sistem %79,78 performans oranına sahip olup teorik olarak yılda 1694 MWh enerji üretebilmektedir. PV panel üretim kapasitesinin 20 yıl olması, ardından modüllerde ve dizi bağlantılarında %2,10 ile sıcaklık etkilerinden dolayı %13,5 bozulma olması beklenmektedir [15].



Şekil 3.4. Nema Kayıplar Diyagramı

3.3 Wadan İli İçin Genel Sonuçlar

Şekil 3.5, seçilen bölgeler için sistemin yıllık üretimini göstermektedir. Bu değerler hesaplanırken alandaki radyasyon değerleri, güneşlenme saatleri, panel verimliliği, global yatay ışınlama, çevre sıcaklığı ile performans oranı dikkate alınmıştır. [15]



Şekil 3.5. Wadan Genel Sonuçlar

Şekil 3.6'dan da görüleceği üzere %80,53 performans oranı ile sistemin teorik olarak yılda 1802 MWh enerji üretmesi beklenmektedir. PV panel üretiminin 20 yıl olması, modül ve dizi bağlantılarından %2,10 ve sıcaklık etkilerinden dolayı %12,88 kayıp olması beklenmektedir [15].

Tablo 4.1. İllere Göre Enerji Üretim Değerleri

İl	Enerji üretimi (MWh/yıl)	Performans oranı (%)
Nuakşot	1802	80,15
Nema	1694	79,78
Wadan	1734	80,53

Ayrıca, güneş santralının yıllık satış geliri, ilk yatırım maliyeti baz alınarak maliyet analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Tablo 4.2'den de görüleceği üzere geri ödeme sürelerinin 4,1 ve 4,3 yıl arasında değiştiği belirlenmiştir. Buna ilaveten çalışma yapılan illerinin tamamının net bugünkü değerleri pozitif olurken, 585.900 ile 744.163 \$ arasında değerler almıştır. Bu doğrultuda 1 MW'lık güneş santral yatırımının Moritanya'daki belirlenen iller için uygun ve ekonomik beklentiler doğrultusunda olduğu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4.2. İllere Göre Geri Ödeme Süreleri

İl	Geri ödeme süresi (yıl)	Net bugünkü değer (\$)
Nuakşot	4,2	606.085
Nema	4,3	585.900
Wadan	4,1	744.163

Kısaltmalar

R	Güneş ve dünya arası mesafe
I_0	Güneş sabiti (W/m^2)
I_{on}	Yılın her hangi bir günü için güneş sabiti (kW/m^2)
n	Yılın ilk gününden itibaren seçilen gününkaçıncı gün olduğu
α	Yükseklik açısı ($^{\circ}$)
β	Güneş azimut açısı ($^{\circ}$)
γ	Yüzey azimut açısı ($^{\circ}$)
θ	Geliş açısı ($^{\circ}$)
θ_z	Zenit açısı ($^{\circ}$)
$H_{d,y}$	Yatay yüzeydeki yaygın güneş radyasyonu (kj/m^2)
K_y	Yayıllı radyasyon oranı
n	Ödeme dönemi (yıl)
GÖS	Geri ödeme süresi
$N_{negatif}$	Kümülatif net nakit akışları tablosunda en son oluşan negatif değer
$n_{negatif}$	$N_{negatif}$ 'in olduğu yıl
F	($n_{negatif} + 1$) yılındaki vergi sonrası oluşan net nakit akışı
NBD	Net bugünkü değer
t	Yıllar
A_t	t yılındaki vergi sonrasında oluşan net nakit akışı
r	İskonto oranı (%)
Pr	Performans oranı

KAYNAKLAR

- [1] İrem.A.,Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Beslenen Konutlar İçin Enerji Yönetim Sistemi,Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 4, 2022.
- [2] Mohtasham,J., Review Renewable Energies.Energy Procedia., C 74 , S 1289-1297, 2015.
- [3] TMMOB.,Türkiye'nin Enerji Görünümü (2.baskı). Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 2012.
- [4] Öztürk.H., Güneş Enerjisi ve Uygulamaları. Birsen Yayınevi,Istanbul, 2012.



- [5] OECD/IEA., Organisation for Economic Co- Operation and Development /The International Energy Agency (IEA), www.iea.org. Organisation for Economic Co- Operation and Development 2021, Erişim tarihi : 18.07.2021
- [6] Satman. A.,Türkiye’de Enerji Ve Geleceği.İstanbul Teknik Üniversitesi Görüşü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
- [7] Piero.G., Mediterranean Energy Perspectives, Turkey, S 315-375, 2008.
- [8] Mertens. K., Photovoltaics Fundamentals,Technology and Practice, 2, Jhon Wiley ve Sons, New York, 2018.
- [9] Güneş Paneli Verileri, www.axitec.com 2001, Erişim tarihi: 15.06.2022.
- [10] İnvvertör Özellikleri, www.kaco.com 1998, Erişim tarihi: 16.06.2022.
- [11] Ceyhun. A.,Türkiye Ege Bölgesi Güneş Enerjisi Potansiyeli Tekno-Ekonomik Analizi,Yüksek Lisans Tezi , Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 54-58, 2016.
- [12] Abdelrazik, M.K., Abdelaziz, S.E., Hassan, M.F., Hatem, T.M., Climate Action: Prospects of Solar Energy in Africa. Energy Reports, C 8, s 11363- 11377.
- [13] Demirtürk. C.,Yenilenebilir Enerji kaynaklarından Rüzgar ve Güneş Enerjisi Karşılaştırmalı Fizibilitesi, Yüksek Lisans Tezi , İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 36-39, 2013.
- [14] Kahya. E.,Mühendislik Ekonomisi, Eskişehir, 2009.
- [15] Enerji Üretim Analiz Ve Değerlendime, İşletme Maliyetleri Hesaplaması www.pvsyst.com, Erişim tarihi: 10.05.2022.
- [16] Köse.G., Hibrit (Güneş+Rüzgar) Enerji Sisteminden Elektrik Üretimi Kütahya Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 136, 2010.



KARADENİZ HAVZASININ ENDÜSTRİYEL MİRAS ROTASI POTANSİYELLERİ

Timur KAPROL^{1*}, Berk MİNEZ²

^{1*} Kırklareli Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kırklareli, Türkiye

² Trakya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Edirne, Türkiye

Öz

Yirminci yüzyılda endüstriyel üretimde, teknoloji gelişmiş, yirmi birinci yüzyıl da bu gelişim; dönüşüm ve değişimle kendini göstermeye başlamıştır. Zaman içinde eskiyen teknoloji bu dönemde bir kısım endüstri binalarını atıl hale getirmekte ve getirmeye de devam edeceği gözükmektedir. Bugün ve sonrasında geçmişten gelen sanayi yapılarını içeren yerleşkeler ve binaları, madenler gibi kaynakların tüketimi ve çevreye verdikleri kimi zaman zararlı atıklar, çevresel hasara yol açmıştır. Doğanın geri dönüşte zorlandığı durumlarda ve iyileşmeyi çabuklaştırma da, turistik alanlara dönüştürülmesi çabalarında, eskiden atmosfere verilen endüstriyel atık içeren kötü gazlar yerine, doğa ile iç içe, onunla özdeşleşen, yeşil alanları içeren ve artık doğaya oksijen sunan, doğa dostu yerleşkelere dönüşüm kaçınılmaz olmaktadır.

Avrupa'nın doğusunda yer alan Karadeniz ve hinterlandı, irili ufaklı olmak üzere önemli sayıda, farklı dönem ürünü fabrikalara ve yerleşimlere ev sahipliği yapmaktadır. Bu oluşumların yer aldığı Karadeniz Havzası şehirlerinin bir bölümü yirminci yüzyılda; doğal kaynakları veya doğuyu batıya bağlayan ticaret yolları üzerinde yer almaları, liman şehirleri olmaları nedeniyle, modern dönemin fabrikaları sadece dönemin yenilikçi tesislerini değil aynı zamanda sosyal yaşamı geliştiren birer modern dönem temsilcisi haline getirmiştir. Bu fabrikalar toplumsal belleği oluşturan yaşamsal anıları ile birer endüstriyel miras konumuna gelmişlerdir. İçinde Türkiye'nin de yer aldığı Karadeniz Havzasının sahip olduğu, endüstriyel miras zenginliği bölgesel kalkınmaya ve kalkınmanın sürdürülebilirliğine veri sunmaktadır. Bu nedenle, Karadeniz havzasında endüstri mirası odaklı bir turistik rota oluşturulmak hedeflenmiştir.

Meta Analizi yönteminin kullanıldığı bu çalışmada, Avrupa'da uygulanmış, ERIH rotası kapsamındaki Avrupa endüstri mirası rotaları; literatür araştırması, fotoğraflama ile belgeleme ve benzetmelerle, geri ve ileri besleme sonucu Meta Analizi [1] kullanılarak endüstri mirası rotası verilerine ulaşılmıştır. Rota ve endüstri yapılarının verileri, içerdiği tesisler, dönüşümleri sonrası kazandıkları ve çevreye kazandırdıkları veri olarak ele alınmıştır.

Sorumlu Yazar: Timur KAPROL, tkaprol@klu.edu.tr



Bölgesel kalkınmada turizm Karadeniz havzasındaki endüstri mirasının, yeniden yaşama kazandırılması sonrası, yer aldığı kentin gelişimine ve ortak yaşam alanında turizm getirilerinin bulgusu, örnekleme ile vurgulanması yanı sıra, elde edilen bulgular, yeni rota örgüsünde nelere dikkat edilmesi gerektiğini ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Karadeniz Havzası endüstri mirası, Karadeniz hinterlandı, Karadeniz endüstri mirası rotası, Endüstriyel miras ve turizm

POTENTIAL INDUSTRIAL HERITAGE ROUTES OF THE BLACK SEA BASIN

Abstract

Technology developed in the twentieth century in industrial production; and this development began to be seen with transformation and change in the twenty first century. This technology, which has worn off through time, has made some industrial buildings idle and is prospected to make more of these idle. Energy production out of fossil fuels is being replaced by energy production that is obtained through natural processes. This situation becomes visible in production as well and robotic technology dominates the industry. Transformation and change in industrial complexes have also entered our lives. Complexes and buildings that include industrial structures of old, consumption of sources like mines and some hazardous waste the release to the environment have led to environmental damage today and in the future. The negative effect of constructed environment on nature can be seen upon considering notions such as the rehabilitation of these areas, soil that is extracted from mine excavations, thermal power plants and their impact on the environment. Abandonment of these complexes after they lost their function and the data of constructed environment gives and opportunity to the nature to return to its original state. In cases when it is difficult for nature to return to its previous state, accelerating the recovery, and transformation to touristic places, it is imperative to transform into nature-friendly complexes that include green areas, releases oxygen to the nature, and identifies with it instead of hazardous gases that include industrial waste that is released to the atmosphere. Black Sea and its hinterland that are situated in the east of Europe, houses a considerable number of small and big factories and complexes from different eras. In the twentieth century, in part of The Black Sea Basin cities where these structured are situated, modern era factories have become not only innovative complexes but also representatives of the modern era that advance the social life because cities were situated on the trade routes that connected east to the west, obtained natural resources, and were port cities. In a



developing world, these monumental buildings have lost their function through time, but obtained industrial heritage status with signs of technological development, and living spaces they obtained that constituted the collective memory.

The Black Sea Basin, which also includes Turkey, has a universal richness and diversity in terms of cultural heritage. Thus, the industrial heritage richness that the basin obtains provides data to the local development and the sustainability of the development. Because of this, forming a touristic route that focuses on The Black Sea basin is aimed.

In this study, which uses Meta Analysis method and was applied in Europe, obtained data on the European industrial heritage routes within the ERIH route through literature review, documentation through photography and likenesses, and using feedbacks and feedforwards as a result of Meta Analysis [1]. The obtained data contributed to the study in terms of classification and deduction. Data of the route and its industrial structures were based on data on complexes it included, and what they gained after transformation and what they contributed to the environment. Moreover, route axis that also include industrial heritage evaluated as local in The Black Sea basin were also in the origins of the study. In order to reveal the possible contributions of the present industrial heritage to The Black Sea basin and reveal the potential of the basin, an analysis of the industrial heritage was made and potential new routes and their contribution to development through tourism were discussed with examples. Therefore, the analysis has been made on the tangible value of industrial heritage, and how cultural heritage can be sustained with tourism.

After the inclusion of industrial heritage in The Black Sea basin in the life again, the development of the city it resides in and the tourism profits have been highlighted through samples; in addition, the obtained data revealed the necessary things to pay attention to in the new route organisation. Thus, through the case study, the profits that proposed routes will bring to the development of the area, contribution of the route/routes that include industrial heritage to the area, and necessary point to be paid attention to during the organisation have been established.

Keywords: The Black Sea Basin industrial heritage, The Black Sea hinterland, The Black Sea industrial heritage route, Industrial heritage and tourism, Tourism in local development

1. Giriş

Yirmi birinci yüzyıla girilmesi ve endüstriyel üretimde, teknolojinin gelişmesi ile Yirminci yüzyıl teknolojilerinin eskimeye başlaması sonucu, bu endüstri binaları atıl duruma gelmekte, yalnızlığa terk edilmelerinin aksine çeşitli yaklaşımlar ile yeniden kullanımları da söze konu olmaktadır. Karadeniz Havzasında yer alan yirminci yüzyıl şehirlerinin bir bölümünde doğal kaynakları veya



doğuyu batıya bağlayan ticaret yolları üzerinde yer almaları, liman şehirleri olmaları nedeniyle, endüstriyel üretimin gerçekleştiği fabrika kuruluşlarına ev sahipliği yapmaktadırlar. Modern Mimari Mirasın uygulamalarını içeren fabrika binaları, yer aldıkları şehirlerde yenilikçi ve sosyal yaşamı geliştiren birer yerleşke niteliğinde tasarlanmıştır. Zamanla işlevini yitiren veya terk edilen endüstri yapıları doğal koşullar karşısında köhneleşebilmekte ve yıkılabilmektedir. Bu nedenle Endüstri Arkeolojisi ile ele alınmaları gerekmektedir. Bu makale, Karadeniz havzası bağlamında endüstriyel mirasın değerlendirilmesini, turizme katkısı ve bölgesel kalkınma arasındaki ilişkiyi, ERIH Avrupa Endüstri Miras Rotası ile yapılanları araştırarak ulaşılan, sonuçların Karadeniz Havzasındaki ‘endüstri mirası potansiyeli’ kapsamında önerilen rotaya yansımalarını ve alt- üst kapsamlı rota önerilerini kapsamaktadır.

2. Dünya’da Endüstri Mirasının Korunması Çalışmaları

Uluslararası oluşumları tanımlayan **FICCIM** (1973) -**SICCIM** (1975) -**TICCIH** (1978) (bknz terimler bilgi notu), isimli örgütlenmeler Endüstri Mirası odaklı korumayı hedeflemiştir. **Endüstri mirası**, endüstri kültürünün tarihsel, teknolojik, toplumsal, mimari ya da bilimsel değeri bulunan kalıntılarını içerir. Bu içerikte, bina ve makine, atölye, imalathane ve fabrika, maden ve işletme ve arıtma alanları, ambar ve depo, enerjinin üretildiği, iletildiği ve kullanıldığı yeri, taşımacılığı ve tüm altyapısının yanı sıra ikamet, ibadet ve eğitim gibi endüstri ile ilişkili toplumsal etkinlikler için kullanılan alanları yer alır. Endüstriyel miras; tarihi, teknolojik, sosyal, mimari ve bilimsel değere sahip endüstriyel kültür kalıntılarında oluşur. Bu kalıntılar yapıları ve makinelerini, atölyeleri, imalathane ve fabrikaları, maden ocaklarını, işleme ve arıtma komplekslerini, depo ve ambarları, enerji üretim, nakil ve kullanım alanlarını, taşıma ve tüm altyapılarını, lojman, dini ibadethane veya eğitim gibi endüstriyle bağıntılı sosyal eylemler için kullanılan alanları içerir [URL 1]. Endüstri mirası kavramının uluslararası düzeyde yaygınlaşmasında kilit rol oynayan TICCIH ICOMOS işbirliğinin en önemli ürünlerinden biri, 2006 yılındaki 18 Nisan etkinliğinde, Uluslararası Anıtlar ve Sitler Günü’nün teması “The Heritage of Production” (Üretim Mirası) olarak belirlenmiştir. Bu çalışmaların dışında, UNESCO tarafından hazırlanan Dünya Mirası Listesi’nde, 1978 gibi erken sayılabilecek bir tarihten itibaren eski endüstri yapı ve alanlarının da yer aldığı bilinmektedir. Listedeki ilk endüstriyel varlık, ICOMOS tarafından aday gösterilen, Wieliczka (Polonya) Tuz

Madeni Ocakları, olarak görülür [URL 2]. Endüstriyel varlıklar, 1980'lerin ortalarında yapı ölçeğinden çıkarak eski endüstri alanlarının korunmasını da kapsar hale gelmiş, Falconer'in [2005] aktardığına göre, Ironbridge Gorge bir "endüstriyel peyzaj" olarak 1986 yılında Dünya Mirası Listesi'ne alınmıştır. Gerek ICOMOS'un aday gösterdiği eski endüstri yapı ve alanlarının Dünya Mirası Listesi'ne alınması, gerekse TICCIH-ICOMOS işbirliği ile uluslararası düzeyde üzerinde daha fazla durulan endüstri mirasının korunması çalışmaları, örgütlenmesini tabandan tepeye doğru kuran sivil girişimler olarak dünya endüstri tarihinde yer almıştır.

Kökleri TICCIH organizasyonuna uzanan, Avrupa kıtası için yerel ve uluslararası bir örgüt olan **E-FAITH (European Federation of Associations of Industrial and Technical Heritage)**, Avrupa Endüstri ve Teknik Mirası Dernekleri Federasyonudur. Falconer'in [2005] aktardığına göre, TICCIH'in uluslararası bir karakter kazanarak genişlemesinin ve bu uluslararası yapılanmada ulusal komitelerin oluşturulmasının ardından, örgüt içinde bazı kopuşlar meydana gelmiş ve örgütten ayrılan bazı birimler daha sonra E-FAITH çatısı altında bir araya gelmiştir. Avrupa'daki gönüllüler ve kar amacı gütmeyen gönüllü dernekler arasındaki temasları ve işbirliğini teşvik eden bir platformdur. Bunların buluşabileceği, deneyim alışverişinde bulunabileceği, birbirlerinden öğrenebileceği ve birbirlerinin faaliyetlerini ile kampanyalarını destekleyebilecekleri bir topluluktur [2].

Avrupa Birliği'nin 2000 yılındaki 'kültür projesi', Avrupa ortak kültürünü çeşitlilik ve kültürel miras bağlamında farkındalığı arttıracak anıtlar olarak endüstri mirasını söze konu edinmiştir. Avrupa da Endüstri mirasına turizm ile ele alan **ERIH** Avrupa Endüstri Mirası Rotası dikkate değer diğer bir projedir. Bu projede endüstri mirasına ait yapı ve kalıntıların bulunduğu çeşitli noktalar arasında bir ağ ve çeşitli gezi rotaları oluşturularak, endüstri mirasını sergilemeyi ve böylece koruma kavramının da yaygınlaşmasını amaçlayan bir projedir [3].

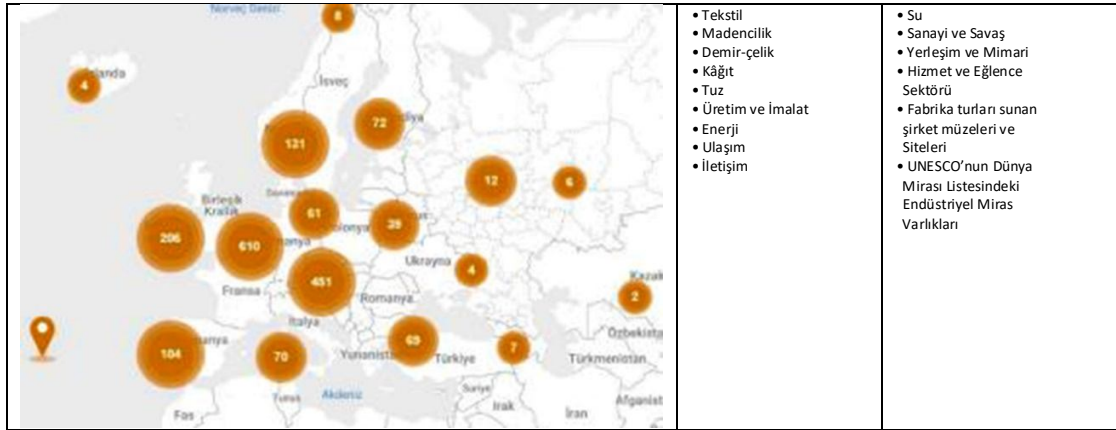
3. ERIH (The European Route of Industrial Heritage) Avrupa Endüstri Mirası Rotası)

ERIH, endüstri mirası konusunda kapsamlı çalışmalar yürüten bir Avrupa topluluğudur. 1999 yılında, eski endüstri bölgelerindeki değişimleri duyurmak, endüstri mirası ile ilgili bilinci geliştirmek ve turistik ilgi oluşturmak amacıyla çalışmalar yapmaktadır [URL 3].

ERIH ‘‘Dünyanın ilk fabrikası neredeydi? En büyük buhar makinesi nerede inşa edildi? ve zamanın en güncel kömür ocağını nerede bulabilirsiniz?’’ gibi soruların cevaplarını ERIH rotaların da bulunabileceğini ziyaretçilerine sunmaktadır. Sanayileşme sonucu, çehresi değişen Avrupa, zengin bir endüstri mirasına sahip olmuştur. Tüm Avrupa'ya yayılmış devasa bir site ağı ile sanayi mirasının hayata döndürülmesi-Avrupa Endüstriyel Miras Rotası (ERIH) ile gerçek olmuş ve yayılım göstermektedir.

Avrupa Tema Rotaları, belirli bir konsept üzerinden hareket eden tüm Avrupa’yı kapsayan bir yaklaşımı ifade etmektedir. Tüm Avrupa’da ERIH ağına bağlanan noktalar, 14 farklı tema arasından seçilerek belirlenip rota oluşturulur. Farklı endüstri alanlarına göre belirlenen temalar şu şekildedir:

ERIH, endüstri mirasının endüstri dönemi insanların tarihi hakkında bilgiler sunduğunu ve bu tarihten günümüze kalan görsel değerler olarak bu mirasın değerlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır. 2001 yılında Almanya Ruhr Bölgesi’nde başlayan rota planlama çalışmaları şu an çok sayıda durak noktası ile (Şekil 1), Avrupa endüstri mirası ile ilgilenen turistler için geniş bir bilgi ağı haline gelerek Avrupa Endüstri Mirası Rotası adı altında genişletilmiştir [4].



Şekil 1. ERIH Avrupa Endüstri Mirası Rotasına ait harita ve rotaya alınan mirasın kapsadığı kategoriler [URL 3]

Avrupa endüstri mirası rotasına girmek isteyen, endüstri yapılarından aşağıdaki özellikleri sergilemesi beklenmektedir.

- Avrupa sanayi tarihinde sembolik değere sahip olmak,
- Tarihi değeri yüksek olmak,
- Çağdaş ve yaratıcı yorum ile tarihi sergilemek
- Yapının yer aldığı çevre özelliklerini sergilemek ve kültürel etkinliklerde kullanılabilir olmak,
- Güncel turizm alt yapısı ve hizmetleri açısından ziyaretçi beklentilerini karşılamak için sahip olunması gerekli donatı mekânları, ziyaretçi merkezi/kabul yeri/mağaza, tüm yıl boyunca veya en azından sezonluk, haftanın 5 günü çalışma saatlerinde faal olmak, restoran/ kafe/bistro sitede veya en azından yakınında, tuvalet tesisleri, Sınırlı hareket kabiliyeti olan kişiler için tamamen erişilebilirlik, toplu taşıma ve bisiklet yollarına bağlantı sağlamak, tesis içi otobüs, araba ve bisiklet park yeri imkânlı olmak, içeride ve dışarıda yön tabelaları, özellikle dış mekân için dinlenme yerleri, sergilere sahip olmak) [URL 3]

Bu koşullar yanında bazı seçim ölçütleri de belirlenerek değerlendirme ve karar verme işlemleri sistemli bir hale getirilmiştir. Belirlenen bu seçim ölçütleri;

- Çekicilik değeri
- Tarihi değeri,
- Sembolik değeri
- Özgünlük değeri,
- Turistik alt yapı,
- Yeni perspektifler sunma olanağı,
- Toplu ulaşım ağı ve özel ulaşım ağıdır [5].

Çok önemli endüstri anıtları ve alanları hakkında görsel olarak da kapsamlı içeriğe sahip olan organizasyonda Türkiye'nin resmi bir üyeliği görünmemektedir. Fakat daha önce bahsi geçen durak noktaları altında *İstanbul Sirkeci Garı, İstanbul Hava Kuvvetleri Müzesi, İstanbul Demiryolu Müzesi, İstanbul Rahmi Koç Sanayi Müzesi, Santral İstanbul, İzmit'teki Seka Kâğıt Fabrikası, Bursa'da Merinos Tekstil Endüstrisi Müzesi ve Merinos Enerji Müzesi, Tofaş Anadolu Arabaları Müzesi ve Çamlık'taki Buharlı Lokomotif Müzesi'nin adı geçmektedir [6].*



Şekil 2. İzmit SEKA Kâğıt Fabrikasına ait fotoğraflar [URL4]

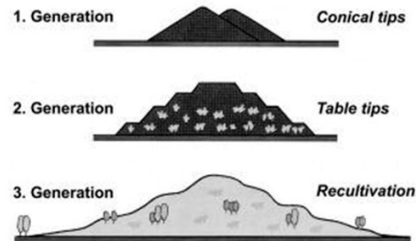
3.1. ERIH Avrupa Endüstri Mirası Rotasında Yer Alan Endüstri Mirası Yapılarından Örnekler

3.1.1. Ruhr Bölgesi ve Zollverien Maden Ocağı

Alman Gümrük Birliği anlamına gelen Zollverein isimli, Zollverien kömür madeni sanayi kompleksi, Almanya'nın Essen Şehrinde yer alır. Bu bölge 2001 yılında "dünyanın en güzel madeni" olarak UNESCO tarafından ilan edildi. Madencilğin en önemli sembolü olan maden ocağı 1932'den 1986 yılına kadar kullanılmıştı. IBA projesi ile başlayan "Endüstri Mirası Rotası"nın odak noktası olan bu alan, yaklaşık 100 hektarlık bir alanı kaplamaktaydı. Üç bölümden oluşan tesisin, Şaft XII, Şaftlar 1/2/8 ve Koklama Tesisi, ziyaretçi akınına uğramaktadır. Bir zamanlar Avrupa'nın en büyük kömür madeni ocağı, bugün kültür, gastronomi, tasarım, mimari ve el sanatları işlevlerini içeren binaları inşa edildi. Zollverien Kompleksi, Ruhr müzesi, Sanayi Portalı, Zollverien anıt yolu, önceden tuz deposu olarak kullanılan günümüzde 16 salonlu bina çağımızın ütopolarını temsil eden 65 projeye sergisine ev sahipliği yapmaktadır. Güneş enerjisi ile çalışan dönme dolap, tüm Zollverein kompleksinin ve Essen şehrinin manzarasını ziyaretçilerine sunmaktadır. Bir yüzme havuzuna sahip olması yanısıra buz pistinede sahiptir. 2010 yılında İstanbul ve Macaristan'ın Pecs şehri ile birlikte Avrupa kültür Başkenti ünvanını paylaştı ve 2.2 milyon ziyaretçi sayısı ile tüm zamanların en yüksek ziyaretçi seviyesine ulaşmıştır [7].

1847'de bölgede ilk kömürün bulunmasıyla birlikte, ilk şaft (maden kuyusu) da inşa edilmeye başlanmıştır. 1847'de açılan ilk şaftı 1852'de ikincisi ve 1883'te üçüncüsü izlemiştir. Daha sonraki yıllarda inşa edilen yeni şaftlarla birlikte 1890'a gelindiğinde on şaft faaliyettedir. Bu şaftlarla Birinci Dünya Savaşı öncesine Zollverein'de yaklaşık olarak yılda 2.5 milyon ton üretim yapılmaktadır. Birinci Dünya Savaşı'ndan 1932'ye kadar on bir tane şaft varken, sonrasında ikonik

görüntüsüyle Almanya'nın Eiffel Kulesi olarak da anılan, kompleksin merkezinde konumlandırılan, Yeni Nesnellik tarzında inşa edilen, bu komplekse "dünyanın en güzel kömür madeni" olarak ün kazandıran, işlevselliğinin yanı sıra bir mimari ve teknik şaheser olan Şaft 12 açılmıştır. Rammelsberg Madenleri İşletme Tesisi'nde olduğu gibi Şaft 12'nin mimarları da Fritz Schupp ve Martin Kremmer'dir. Genel anlamıyla on iki şaft ve bunları besleyen kazan dairesi gibi yapılarla yirmi iki yapıdan oluşan kompleks, Almanya Essen'de konumlanmaktadır [8].



Şekil 3. Almanya Zollverein Madeni görselleri [URL 5, 6, 7] ve Ruhr Bölgesi Yerleşimine ait harita ve yاپay madencilik atıklarının yeşil alana çevrilmesi [9]

Maden kazıları sırasında çıkan madencilik malzemesi olan toprak birikimi yapay tepelerin oluşmasına neden olmuştur. Yapay yükselti ler kömür madenciliği bölgesinin peyzajın tipik birer parçasıdır. Bu yapay yükselti ler kilometrelerce uzaktan görülebilir. Madencilik atığı kayaları içeren bu yapay dağlar, madenciliğin atık kayalarından oluşur. Konveyör bantlarla taşıma sonrası konik tepeler oluşması nedeniyle; ilk nesil tepeler, esas olarak, üst üste binen birkaç konik biçimli oluşumdu ve ikinci nesil tepeler ise teraslama ile pürüzlü konturlu düzleştirilmiş dağlar

kurgulanmıştır. Üçüncü nesil de ise, yeniden ekime uyarlanarak, ormanlık tepeler halini almıştır. Almanya'nın batısındaki Ruhr bölgesi, endüstriyel tesislerin kültürel tesislere ve rekreasyon alanlarına adaptasyonuna yönelik en ileri temsili proje olmuştur. Bu bölgede turizmin hizmet ettiği gerçeği göz önüne alındığında, sürdürülebilir kalkınmanın güzel bir örneği olarak karşımıza çıkar. Koruma aracı olarak yeniden canlandırma yöntemi ile endüstriyel miras hayata döndürülmüştür. Maden ocakları, fabrikalar vb. yerler galeriler, müzik mekânlarına, yeşil sürdürülebilir yüzeyler dönüştürülmüş. Eski sanayi bölgesi imajını değiştirilerek, turizm bölgesi halini almıştır. Endüstri mirası, sanayi orijinli kültür ve rekreasyon turizmine hizmet ederek yaşamına sürdürülebilirlik kapsamında devam etmektedir [10].

2.3.2. İspanya Rotası

İspanya endüstriyel miras rotasında, mevcut bazı endüstriyel ve madencilik mirası örneklerinin turizm kriterleri olduğunu düşünerek, sürdürülebilirlik düzeyini değerlendirmek olmuştur. Bu ana hedefle doğrudan bağlantılı, daha az önemli olmayan diğer ikincil hedefler de ele alınmıştır. Alt hedeflerin ilk; sürdürülebilirliği, yerel topluluklarda daha tutarlı sosyal ilerlemeyi teşvik etmek için mevcut çevresel, ekonomik ve mimari kaynakların korunmasının iyileştirildiği süreç olarak yorumlamak; ikincisi, farklı tematik gruplar ve nitel analiz göstergeleri oluşturmak; üçüncüsü ise bölgenin sürdürülebilirlikle ilgili temel bir rol üstlenen çapraz bir kriter olduğu coğrafi bir bakış açısıyla vaka çalışmalarını değerlendirmek istenmiştir.

Analiz edilen endüstri mirası, ülkenin çeşitli bölgelerine, farklı konumlara ve her zaman ayırt edici özelliklere sahip olarak dağıldığı görülür. Hepsi, çok ilginç yeni turist kullanım deneyimleri ile endüstriyel mirasın ana unsurlarının İspanyol rotasını bir parçasını oluşturmaları gerçeğiyle seçilmiştir. Yerler aşağıdaki gibidir (Şekil 4).



Şekil 4. ERIH İspanya Rotası [11]

Endüstriyel miras, bir dizi unsuru içeren çalışma kültürü ile ilgili geniş bir kavram olması nedeni ile çıkarma, dönüştürme, taşıma, dağıtım ve yönetim faaliyetleriyle bağlantılı Sanayi Devrimi'nin ekonomik sistemi tarafından üretilen, unsurlar belirli bir peyzaja entegredir ve bir dizi kendine özgü teknikler ve uygulamaları tarafından tanımlanan mimari oluşumlar görülmüştür. Bu nedenle endüstriyel miras, aşağıdakilerle karakterize edilen çok disiplinli bir metodolojiye sahiptir.

Üretimin tarihsel kanıtı olarak maddi ve maddi olmayan kalıntıların incelenmesi ve yeniden değerlendirilmesi sürecinde, endüstriyel mirasın sahip olduğu özellikleri nedeniyle, analiz perspektifleri gerekli olur. Temsil edicilik kriterini takip etmek ve en önemli görülen örnekleri seçmek, hem sürdürülebilirlik hem de birleştiricilik ve yeni turist kullanımı açısından önemlidir. Toplam yedi bileşeni olan rota, altı bölgeyi kapsamaktadır. Bunlardan üçü eski maden alanları ve diğer dördü elementler ve fabrika kompleksleridir. Hepsinde öne çıkan özellik yeni kullanım projeleridir. Bu projelerde sürdürülebilirlik adına yapılan öneri ve uygulamalarda, bugüne kadar neredeyse hiç analiz edilmemiş bir bakış açısı sağlayan manzaraları dikkate alan deneyimler, endüstriyel miras amaçlarını belirlemiştir [2].

Rotada yer alan endüstri miraslarını seçme ve belirlemede iki ana kriter izlenmiştir. İlki, özgün aynı türdeki unsurlar ile farklı türdeki unsurların, önemine atıfta bulunan kriterler; tekilik-temsiliyet-bütünlük, ikincisi, miras kriterleri, yani onun tarihsel ve sosyal değeri ile ilgili kriterler;

toplumun belirli bir döneminin temsiliyeti, teknolojik veya sanatsal değer in bölge ve çevresiyle ilişkisi olarak belirlenmiştir. Bu son miras kriteri, şüphesiz coğrafi açıdan önemlidir ve büyük analitik öneme sahiptir. Bu araştırmanın ilgi alanı, bibliyografya dışında, haritacılık da büyük ölçüde bir belgesel konusunda yoğunlaşmıştır. Basın raporları ve dijital arşivlerle yanı sıra sözel tarih araştırmasını da kişilere danışılmıştır. 2000 yılında İspanyolca olarak kaleme alınan PNPI (Ulusal Endüstriyel Miras Planı) belirlenen ihtiyaçlar doğrultusunda 2011 yılında revize edilmiştir. 2016 yılında güncellenen, hâlihazırdaki plana, bilgi eklenmesi, belgelenme çalışmaları ise süreç içinde devam ettiğinden, varlıklar ve Sınai Mülkler Listesinin genişletilmesi mümkün olmaktadır. Koruma planları, sanayisizleştirilmiş bölge organizasyon planları, çevresel ve mimari iyileştirme projeleri, yeni kullanım projesi planları veya İstatistiksel, turistik bilgileri sağlanmıştır. Çalışmanın yönteminin büyük bir kısmında, endüstriyel mirasla ilgili bir dizi temanın önceden seçilmesini içermiştir. Sürdürülebilirlik açısından yapı gruplarının aşağıdaki seçim kriterleri, bir tür temel çalışma kılavuzunun unsuru olmuştur [12].

Tablo 1. İspanya Rotasının temel analiz kriterleri ve inceleme gruplarını gösterir tablo

Tematik Gruplama	Temel Analiz kriterleri	Önerilen Tesisler
Bölgesel ve Peyzaj Sürdürülebilirliği (TIS)	TIS1 Bölgenin kapsamlı planlaması TIS2 Arazi ve Kentsel Donatının iyileştirilmesi TIS3 Doğal ve Yapılı çevrenin adaptasyonu TIS4 Endüstri sonrası peyzajın manzara kalitesinin iyileştirilmesi	1,2
Çevresel Sürdürülebilirlik (EnS)	EnS1 Çevrenin kapsamlı bir şekilde kurtarılması EnS2 Çevresel Restorasyon	3,6
Mimari Sürdürülebilirlik (ArS)	ArS1 Özgün mimari yapının, aslına bozmadan restore edilmesi ArS2 Yeni Kullanımların binalara uyarlanması ArS3 Yeni yapılanmada malzemelerin ve binaların rasyonel kullanımı	4,5
Turizm ve ekonomik Sürdürülebilirlik (TeS)	TeS1 Sürdürülebilir yeniden değerlendirilmenin aracı olarak turizmin teşviki TeS2 İçeriğin dijital olarak yayılması TeS3 Verimli ve sürdürülebilir yönetim modelleri arayışı TeS4 Yerel istihdam yaratılması ve yeni üçüncül faaliyetler	7

Tablo 2. İspanya Endüstriyel Miras Rotasında yer alan nirengi noktası mimari oluşumları gösteren tablo

 <p>Almadén madencilik alanları, Andorra</p> <p>Restore edilen alanın en önemli özelliklerinden biri de bir çevre yorumlama merkezinin olmasıdır. Yedi kilometrelik rehberli yol boyunca turda rehabilitasyonun kapsamı hakkında bilgi edinilmekte, gerçekleştirilen çalışmanın, çevre restorasyonu ve turizmi birleştirmenin en iyi örneklerinden biri olduğu kanısına varılmaktadır. İspanya’da Endüstriyel miras alanı ağırladığı ziyaretçi verisi aşağıdaki sayıdadır.</p> <table border="1" data-bbox="320 1211 620 1413"><thead><tr><th>YIL</th><th>ZİYARETÇİ SAYISI</th></tr></thead><tbody><tr><td>2009</td><td>3250</td></tr><tr><td>2012</td><td>3400</td></tr><tr><td>2019</td><td>4000</td></tr></tbody></table>	YIL	ZİYARETÇİ SAYISI	2009	3250	2012	3400	2019	4000	<p>Yüksek cıva içeriği nedeniyle, 2004 yılında yetkililer renatürasyon (Madensel atık) projesini hazırlamışlar. Bu tehlikeli cüruf yığınının kapsüllenmesi kararı projede hususu oluşturmuştur.</p> <p>Cüruf yığınının yapay formlarının daha iyi görünmesi için mevcut eğimleri daha yumuşak yapmaya karar verilen projede 36° başlangıç eğimini azaltılarak, bölgenin doğal eğimleriyle daha uyumlu şu anki 25° lik eğimli arazi örtüsü ile restore edilerek, yapıların peyzajla daha iyi birleştirmesi yapılmıştır. Çıplak arazide erozyonu mümkün olan en kısa sürede azaltmak için otokton, hızlı büyüyen türlerde bitkiler tercih edilmiştir. [13].</p> <p>Bölgeyi ülkenin en önemli kültürel ve turistik yerlerinden biri haline getirme fikri, çevresel etkileri azaltmak için yenilenebilir çalışmaları gerektirmiştir. Büyük miktarlarda atık madencilik operasyonları ve San Teodoro cürufunda zamanla oluşan metalürjik süreçlerden kaynaklanan cürufun yaklaşık 10 hektarlık bir alanı kaplaması ve 3.5 milyon ton tehlikeli atığın bertaraf edilmesi sağlanmıştır.</p> <p>Almadén maden sahasının rehabilitasyon aşamasındaki atık kayası (Paisajes Español) [14]. Yakın kasabalardan olan konut binaları aynı kategoride, tekstil tesisleri diğer bir kategoride ele alınmıştır. Yerleşimler, kentsel sistemin bileşeni olarak birbirine bağlı mahalleleri, doğal çevrenin bileşeni olarak, endüstriyel kökenli peyzaj ve kültürel değerlerinin, korunması kapsayıcı-lığında ele alınmıştır. Sürdürülebilir kentsel gelişimi teşvik etmek için ilgili belediyelerin işbirliği ve ortak alan yönetimi bakış açısı ile kültür turizmine, endüstriyel mirasın özünün bozulmadan adapte edilmesi kaçınılmaz olmuş, böylelikle bölgesel kalkınma ve ekonomik gelişim sağlanması hedeflenmiştir.</p>
YIL	ZİYARETÇİ SAYISI								
2009	3250								
2012	3400								
2019	4000								



El Prat Endüstriyel Kolonisi, Barcelona



Eski Mezbaha Binası, Madrid

(A) Eski mezbaha binaları; (B) Pico del Pañuelo İşçi
(B) Kolonisi; (C) Manzanares nehri;
[Kaynak: Madrid Şehri Geoportal]

Estetik bir şekilde tasarlanmış çok ilginç bir bina grubu olan Madrid'in eski mezbahası, şehrin endüstriyel mimarisinin mükemmel bir örneğidir. 1908'de Neo-Klasik tarzında, 16 hektarlık bir arazi üzerinde şehrin ıssız bölgesinde inşa edilmiş ve 1996 yılına kadar kullanılmıştır. Tüm binalar grubu beş sektörde; üretim-yönetim- izole pavyonların bir modelini takip eden hayvan pazarı, mezbaha ve sanitasyon olarak gruplandırılmıştır. Bölünmüş sokaklarla ayrılmış ve yönetim binası (Casa del Reloj olarak bilinir) tarafından kompleksin yönetim yapısıdır. Topluluğun ana ekseninde iç içe geçmiş karakterize; geleneksel ve yerli malzemeler kullanılarak sağlanan neredeyse el yapımı binalar haricinde, 1920'lerin sadelik ve işlevselliğin hakim olduğu, tuğla ve fayans malzemenin kullanıldığı rasyonalist ve modernist mimarinin habercisi binalarda 20.yy'a hakim olacak mimari yenilenmesinin habercisi olmuştur.



Blas Demir Fabrikası, Sabero

Leon'daki Sabero kasabesindeki San Blas Demir Fabrikası, 1846'da inşa edilmiş erken bir çelik fabrikasıydı. Ertesi yıl, ilk yüksek fırın, ikinci yüksek fırın 1854'te faaliyete geçti. Bu iki yüksek fırınlar İspanya'daki ilk koklaşabilir taş kömürü fırınlarıydı ve aynı zamanda birkaç buhar motoru da vardı. Fabrikanın yeri ulaşılması çok zor bir dağlık bölgededir.

Bir grup girişimci bir araya gelerek ve büyük miktarda maden kaynakları ile yenilikçi bir endüstriyel projeye başlamakta başarmış, ancak zamanı çok sınırlı olması ayrıca demir ve çelik faaliyetleri, ulaşım güçlükleri ve finansal yetersizlik nedeniyle 1862 yılında sona ermiştir. Bölgedeki madencilik faaliyetleri, madenler nihayet 1991 yılında kapatılmaya kadar devam etmekteydi.

Dövme ve laminasyon binası, sivri kemerler tarafından tutulan büyük bir merkezi neften oluşur. Ortaçağ esintileri ve yarım daire kemerli iki yan nefli iç mekân kurgusu yanı sıra estetik özellikleri olduğu açık alanlı atölye binası, 2008 yılında açılan bir demir-çelik sanayi ve maden müzesine ev sahipliği yapmaktadır. Restore edildikten sonra orijinal işlevinin önemli bir kısmı geri kazanılmıştır. Kastilya ve Leon bölgesel hükümeti, bu bölgede kültürel ve turistik bir kaynak sağlamak için atölye binasını restore ettirmiştir. Restorasyon çalışmaları, ana bina üzerinde yoğunlaşmış, referans noktası ve bölgede madenciliğin gelişimi için genel bir çerçeve olarak Sabero Vadisi bölgesinin sanayileşme kültürünü turistik ve kültürel miras bağlığında ekonomiye kazandırmıştır. Ekonomik canlanma hedefi Müze yöneticilerinin verdiği bilgilere göre, gerçek olmuştur ve bölgeyi ziyaret eden turist sayısı aşağıda verilmiştir.

YIL	ZİYARETÇİ SAYISI
2012	20.642
2015	31.882
2019	37.118



Eski Madrid mezbahasının ana cephesi. Mimar Luis Bellido'nun projesi.[15] Kaynak: Madrid Resmi Mimarlar Koleji (COAM)

Madrid'in 1997 Genel Kentsel Gelişim Planında (PGOU) eski mezbaha korunan binalar envantere işlenmiş, 2002 yılında, Kent Konseyi kararı ile şehirde geniş bir kültürel çevre yaratma fikri ile, mimari uyarlama ve kentsel çevre kullanımlarının kontrolü gündeme getirilerek, bu planlamada; yeniden yapılanma, boş alanların değerlendirilmesi kapsamında bir grup benzersiz yapının korunması, güçlü spekülasyon baskılara maruz kalan sanayileşme bölgesi 'Matadero Madrid' olarak bilinen alan, 2007'de uygulamaya açılmış, restorasyonlar aslına uygun olarak, yapımsal, morfolojik ve tipolojik bina özellikleri dikkate alınarak, farklı kültürel kullanımlar mevcut mekanlara uyarlanmıştır

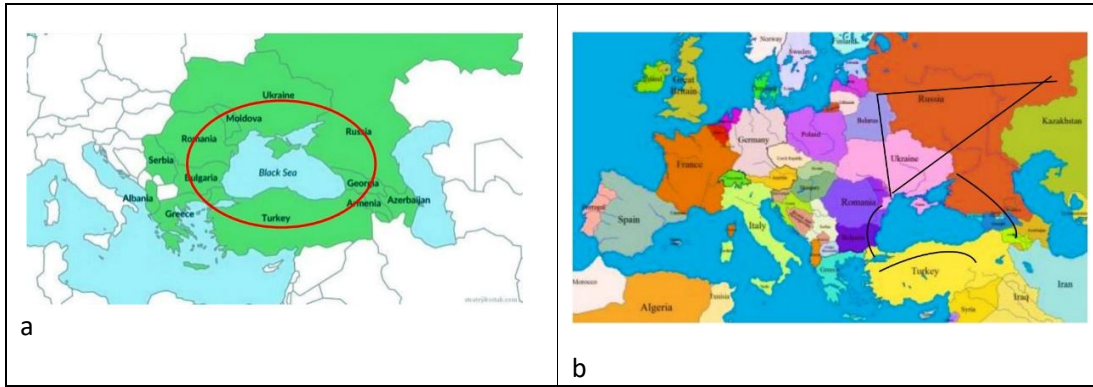
4. Karadeniz Havzasında Yer Alan Ülkelerde Sanayileşme

Avrupa kıtasında yaklaşık iki yüzyıl boyunca işleyen ağır sanayinin getirdiği çevre kirliliğinden duyulan rahatsızlık, ağır işgücünün gerektirdiği genç nüfusun giderek azalması ve bunun sonucu işgücünün pahalılaşması, endüstriyel hammadde kaynaklarının azalması gibi sebeplerle ağır sanayinin kentlerden ve coğrafyadan uzaklaşma süreci başlamıştır. Avrupa'yla beraber diğer gelişmiş kapitalist toplum kentlerinde de aynı değişim yaşanmıştır. Üretimin şekli değişmiş; dünyadaki taşımacılık sisteminin gelişerek büyük konteynerlerde yük taşımacılığının başlamasıyla beraber ağır sanayi tesisleri; endüstriyel hammadde kaynaklarına sahip daha az gelişmiş coğrafyalarda gelişmiş kapitalist toplumlar tarafından kurulmaya başlamıştır. Bu coğrafyalarda iş gücü maliyetinin ve vergilerin düşüklüğü, üretimi yaptıran adına yüksek kazanç ve artan bir sermaye birikimi sağlamıştır [16].

Sanayi tesislerinin yer seçimi ve gelişiminde eski yıllarda sanayi üzerinde devlet kesin bir denetim kurmuştur. Bu günümüzde de farklı değildir. Böylelikle fabrikaların her şeyi gibi kuruluş yerlerinin belirlenmesi ve işletmesi devlet tarafından yapılmakta ya da devlet stratejik düşünce ile bazı sanayi kollarının kuruluş yeri ve işletmesine etki yapmaktadır. Bu iki durumda da sanayi faaliyetlerinin

kuruluşunda devletin belirleyici rolü vardır. Bunların dışında ise devlet, daha dolaylı olarak, sanayi tesisleri kurulması için özel sermayeye birçok bakımdan yardım etmekte ve vergi ve yasalarla sanayiye desteklemektedir. [17].

Karadeniz ve havzasında yer alan ülkelerde de dünyada sanayinin kuruluşu ve sanayi bölgelerinin oluşumunda görülen yapılanma benzer parametrelerde (iş gücü, yerleşim, ulaşım, su kullanımı gibi yapılanmalar görülmüştür. Böylelikle Karadeniz havzası endüstri yapılaşmalarına ev sahipliği yapmaya başlamıştır (Şekil 5) (Şekil 6).

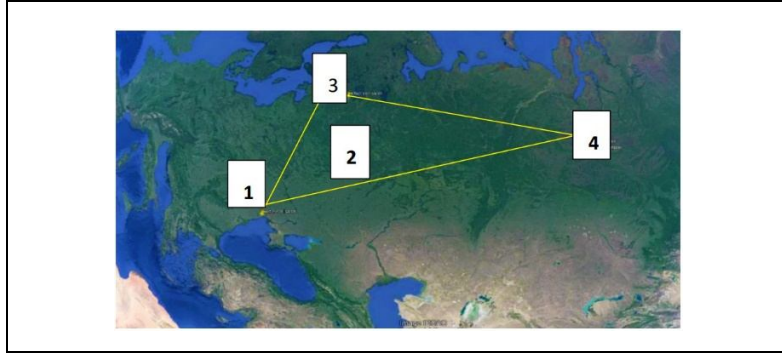


Şekil 5. Karadeniz çevresinde yer alan endüstriyel miras eksenini(a) ve alt-üst ölçekte endüstri mirasına ait alt bileşen etkileşim aksları(b)

Karadeniz'in kuzeyinde yoğun sanayileşmenin yer aldığı; Ukrayna - Rusya'da St Petersburg, Merkez Sanayi Bölgesi, Orta Volga Bölgesi ve Urallar, Türkiye'de Karadeniz Bölgesi ve Kuzey Marmara Karadeniz sahil kesimini içeren harita üzerinde endüstriyel aksın açılımı yukarıda şekil 1.b verilmiştir.

Doğu Avrupa ve eski Sovyetler Birliği'nde her biri belirli bir sektörde uzmanlaşmış sanayi bölgeleri bugün Karadeniz havzasında veya onun hinterlandında yer almaktadır. Merkezi planlama ülkeleri olarak anılan bu ülkelerdeki sanayileşmede şimdiye kadar üretim mallarına özellikle ağır sanayiye önem verilmiş, tüketim malları üzerinde durulmamıştır. Doğu Avrupa sanayi bölgesi, Sovyetler tarafından üretilen hammaddelere bağımlı kalmış ve özelleşmiş mallar üretmiştir. 1990 lı yıllardan sonra bazı sanayi bölgelerinde köhneleşme söz konusu olmuş ve kimi sanayi kolları durma noktasına gelmiş ve yeniden yapılanma ve örgütlenme süreci ine girmişlerdir [18].

Karadeniz havzasında toprakları bulunan Rusya ve Ukrayna'nın sanayi bölgeleri, özellikle Rusya 1980 öncesi dönemden gelen başlıca üç bölgeye sahiptir. İlki **Moskova-Merkez Sanayi Bölgesi**, ikincisi **St. Petersburg Şehri** tekstil, gemi sanayi, ithal hammaddelerin işlendiği çok sayıda fabrikaları, üçüncüsü doğu **Ukrayna'da ki Doneç Havzası** maden kömürü, demir çelik kömüre dayalı, 19.yy ağır sanayi kompleksini kapsar. Tüm bu bölge demir yolu hattıyla birbirine bağlanarak bölgesel kendi kendine yetebilme sağlanmıştır (bknz Şekil 5 ve Şekil 6).

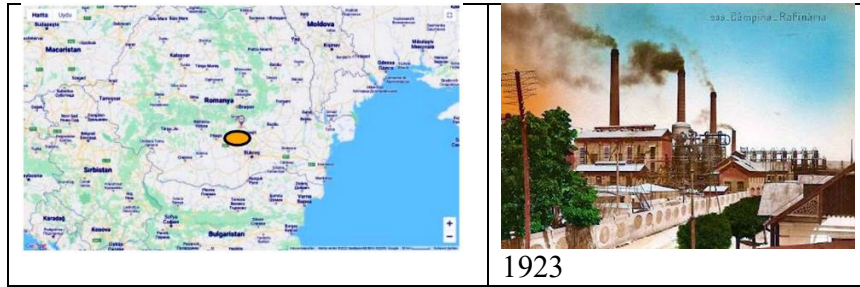


1) Ukrayna, 2) Merkez Sanayi Bölgesi 3)St. Petersburg 4) Urallar

Şekil 6. Rusya Federasyonu'nda geçmişte oluşmuş ve süregelen sanayi bölgelerine ait görsel

4.1. Karadeniz Havzasında Yer Alan Endüstri Mirası Örnekleri

4.1.1. Romen Yıldızı Petrol Rafinerisi, Kampina/Romanya



Şekil 7. Romen Yıldızı Petrol Rafinerisini gösteren ait harita ve 1923 tarihli görsel [URL 8]

4.1.2. Tütün Depoları, Filibe / Bulgaristan



Şekil 8.Tütün depolarına ait cephe ve plana ait görseller [URL 9]

Dünya Savaşları ülkenin üretim tesisi sayısının artışı etkilememiştir. 1939 yılına gelindiğinde sanayi hala esa olarak büyük şehirlerde ve onların genişleyen banliyölerinde yoğunlaşmıştır. Plovdiv (Filibe), Varna, Sofya, Plevne, Stara Zagora ve Gabrovo 1920-1940 arasında önemli gelişim göstermiştir. Ülkedeki beş şehir Sofya, Filibe, Rose,, Varna ve Burgaz tüm sanayi üretiminin %46.5 una sahip olmuştur. Tekstil, deri, ayakkabı, tütün, şeker, gıda endüstrisi gelişmiş, madencilik, az miktarda olsada Pernik yakınlarında demir cevherinin çıkarımı gerçekleşmiş. Lovech, Bozhurishte ve Kazanlak'ta Uçak üretimi de yapılmıştır. Filibe şehri, bölgenin konumu açısından, şehir merkezi ve endüstriyel canlılığın daha aktif hale getirmiştir. Bölge fabrikalarının çoğunluğu olumlu ve ticari gelir saptamasına rağmen, sonrasında rejim karşıtlığı ve siyasal olaylar beraberinde, yangınlar, ve bir çok etken olan olaylar dahilinde kapanmaya yüz tutmuştur. O dönemde faaliyetine devam eden birkaç fabrika ile geri kalan endüstriyel yapılar kullanım dışı kalmıştır [Tobacco City-ERIH, URL 9].

4.1.3. Varna Deniz Müzesi, Varna / Bulgaristan

1923 yılında açılan müze, ülkenin ilk kamusal askeri müzesidir ve ulusal turizm bölgesinde yer alır. Deniz kıyısında Sea Garden şehrinde yer alır. 19.yy sonu inşa edilen müze binası, mimari miras olarak önemlidir. Müze, Bulgaristan'daki denizcilik ile ilgili kazanımları korumak, sunmak ve yaygınlaştırmayı amaç edinmiştir.

Bulgaristan'ın Denizcilik filusunun inşası, Balkan ve Dünya Savaşları ile ilgili deneyimler müzede

sergilenmektedir. Bulgaristan'ın Karadeniz kıyılarından deniz fenerlerinin optik cihazları, madalyalar, araç ve gereçler, navigasyon ve gemi inşası ile ilgili denizcilik ile ilgili meslek branşlarına ait malzeme ve belgeler sergilenmektedir [URL 10]

4.1.4. Arcelormittal Kryvy Rih Kok Fabrikası ve Müzesi, Ukrayna

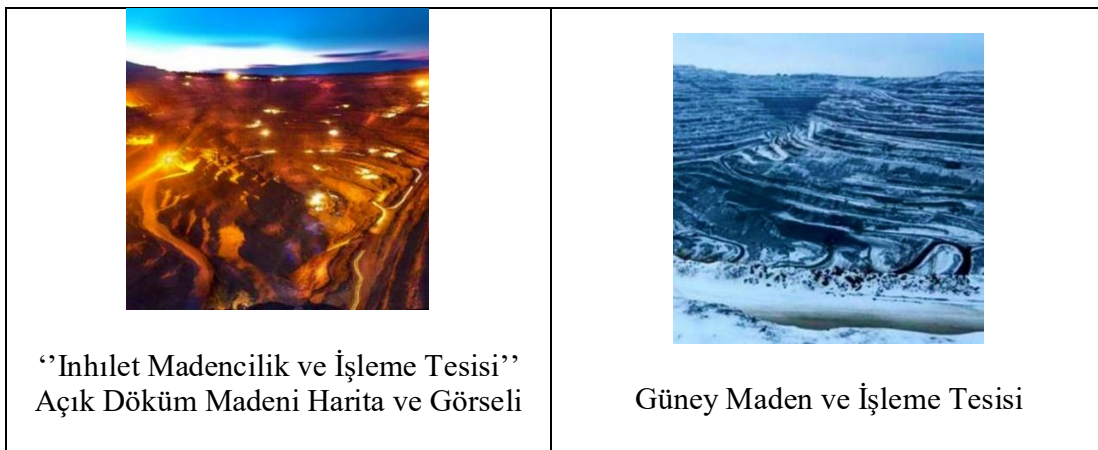


Şekil 9. Arcelormittal Kryvy Rih' Kok Fabrikası ve Müzesine ait görsel [URL 11]

'Arcelormittal Kryvy Rih' Kok Fabrikası ve Müzesi, Ukrayna'daki en büyük tam zamanlı metalurji şirkettir. Üretim tesisleri, diğer büyük tesislere ek olarak, belirli zamanlarda ziyaret edilebilecek bir kok tesisi içermektedir.

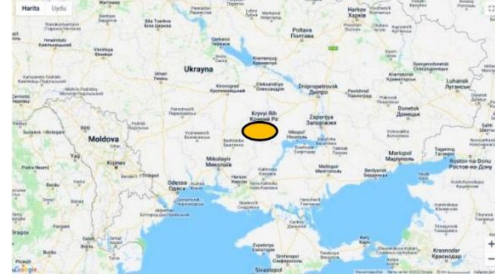
4.1.5. Inhulets Madencilik ve İşleme Tesisi Açık Döküm Madeni ve Güney Maden ve İşleme Tesisi Ocağı, Kryvy Rih / Ukrayna

Tablo 3. Inhulets Madencilik ve İşleme Tesisi Açık Döküm Madeni ve Güney Maden ve İşleme Tesisi Ocağı



Açık döküm maden Özel Anonim Şirketi "Inhulets Madencilik ve İşleme tesisi"nin bir parçasıdır ve maksimum 426 metre derinliği ile Avrupa'nın en güçlü ve en derin ocaklarından birini sunar. Çukur 1955'te kuruldu. Buradaki demir cevheri üretimi yıllık 38 milyon tondur. Demir cevherinin çıkarılması, yüzeyden ve ayrıca özel araçlar kullanılarak derinliklerden gerçekleştirilir. Cevher, konveyör makineleri ile taşınır. Çukur, 2050 yılına kadar tükenmeyecek olan büyük cevher rezervlerini depolar. Inhulets Madencilik ve İşleme tesisinin Çukuru, yalnızca boyutuyla değil, aynı zamanda güzelliğiyle de tanınır. Burada, çukuru sayısız farklı renkle opak hale getiren çok çeşitli kayalar bulunabilir [URL 12]

Halka Açık Anonim Şirketinin Ocağında "Güney Madencilik ve İşleme Tesisi" demir cevheri çıkarılmaktadır. Bir gözlem platformu, 3 km uzunluğunda, 2,6 km genişliğinde ve 425 m derinliğinde olan Taş Ocağı'nın nefes kesen panoramik manzarasını sunmaktadır [URL 13].



4.1.6. PJSC Archelor Mittal Kryvyi' Açık Hava Madencilik Ekipmanları Müzesi ve PJSC Kuzey Madencilik ve İşletmesi' Açık Madencilik Ekipmanları Müzesi, Kryvyi Rih / Ukrayna

Tablo4. PJSC Archelor Mittal Kryvyi' Açık Hava Madencilik Ekipmanları Müzesi ve PJSC Kuzey Madencilik ve İşletmesi' Açık Madencilik Ekipmanları Müzesi



'Archelor Mittal Kryvyi' Açık Hava Madencilik Ekipmanları Müzesi [URL 14]
PJSC ArcelorMittal Kryvyi Rih, Ukrayna'nın madencilik ve çelik üretim sektörünün en büyük şirketleri arasında en iyi performans gösterenlerden biridir ve uluslararası ArcelorMittal Group'un bir parçasıdır. Şirket, Ukrayna ve Doğu Avrupa'nın en büyük kok üreticilerinden biridir. Üretim sahasında daha sonra kok, kok gazı ve yan ürünlerin



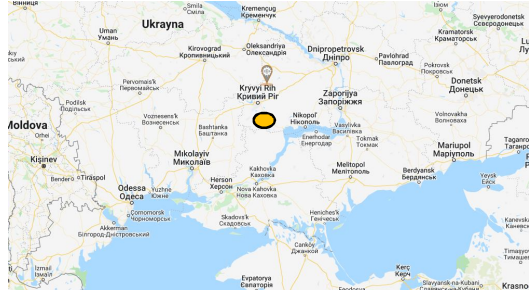
PJSC 'Kuzey Madencilik ve İşletmesi' Açık Madencilik Ekipmanları Müzesi [URL 15]

Teknoloji tutkunları için gerçekten bir cennet: Her nesnenin amacını açıklayan bir işareti vardır. Açık hava Madencilik Ekipmanları Müzesi, PJSC "Kuzey Madencilik ve İşleme Tesisi" Kültür Evi'nin yakınında yer almaktadır.

Her parçanın amacını açıklayan bir işareti vardır. İlk fark edilen şey, bir ekskavatörden çıkarılan ve restore edilen devasa sarı bir kol.

imalatıyla birlikte bir taş kömürü işleme vardır.

"Açık Hava Madencilik Ekipmanları Müzesi", Kasım 2018'de Kryvyi Rih şehrinin tüm sakinleri ve misafirleri için açıldı. Sergi, Maden Dairesi İdari Binası'nın bitişiğindeki bölgede yer alıyor. Daha önce şirketin farklı bölümlerinde madenciler tarafından kullanılmış 14 adet gösteri parçası, Maden Departmanı'nın işleyişi ve en iyi çalışanları ile Walk of Fame hakkında bilgi veren stantlar var. Gösteri parçaları geceleri aydınlatılır [URL 14].



Yanında 105 ton taşıma kapasiteli 2BC-105 yük vagonu (dumpcart) bulunmaktadır. Kryvyi Rih madenlerinde 20 yıl çalıştıktan sonra, skansen'e bir madencilik elektrikli lokomotifi K-10 kuruldu. Ardından ziyaretçiler, donmuş veya sert toprak toplama için özel bir aletle donatılmış büyük sarı bir buldozer T-330 görür. Sırada bir damperli kamyon BelAZ 7540 var. Yanındaki bilgi işareti, bu kamyonun 94000'e yakın yük yaptığını ve 850000 m2'yi taşıdığını açıklıyor. kayadan. Sonra bir bantlı konveyör ve tek spiral sınıflandırıcı KC1-12x65 var. Amacı, yukarı doğru su akışlarında çöken cevheri boyutlarına göre ayırmaktır [URL 15].

4.1.7. Rohsen Çikolata Fabrikası, Kiev / Ukrayna

1886 yılında tüccar Valantine Efimov tarafından şekerleme fabrikası kurulmuştur.1930 yılında üretim hacmi 700 tona ulaşan fabrika, bugünkü fabrikanın yerine taşınmıştır.1940 yılında üretim hacmi 32.800 tona ulaşır.2.dünya savaşı yıllarında kadın çalışan sayısı oldukça artmıştır.1959-1965 yılları arasında 24 akış mekanize hat, 230 ünite teknolojik ekipman satın alınan ekipmanlar kuruldu ve gazla çalışır hale getirildi.1987 yılı itibari ile üretim hacmi 52.800 tona ulaşmıştı ve bu rekoltenin %52.2'si Kiev'e tedarik edilmekteydi.1990 lı yıllarda İsviçre, Almanya, İtalya üretim hatları satın alınarak fabrikaya kuruldu.1998-2012 yılları arasında üretim hacminde 5 kat artış elde edilmiştir [URL 16].

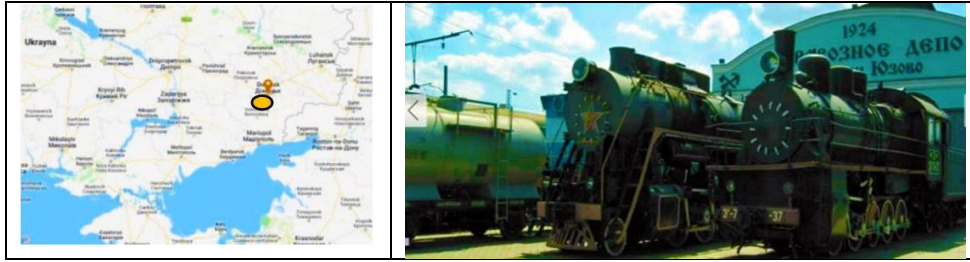
Günümüzde 800 kişi çalışana ve verimliliği günde 100 ton ürüne ulaşan, fabrika, hem yabancı hem de yerli üreticilerin yüksek kaliteli ekipmanlarına sahiptir. Üretimde ürün çeşitliliğine ulaşılmıştır.

Kek, hamur işleri, kekler, marshmallow, Kurabiye ve krakerlerin yanı sıra kutulu tatlılar "Kyiv Vecherny" üretimine ulaşılmıştır. Kyiv ROSHEN şekerleme fabrikası, uluslararası kalite standartları ISO 9001: 2008 ve gıda güvenliği ISO 22000: 2005 gerekliliklerine uygun olarak sertifikalandırılmıştır.



Şekil 10.Rohsen Çikolata Fabrikasına ait görseller [URL 16]

4.1.8. Bölgesel Tarih Müzesi, Donetsk / Ukrayna



Şekil 11. Bölgesel Tarih Müzesi, Donetsk bölgesi haritası ve lokomotif görseli [URL 17]

Donetsk, varlığını 1870 yılında Valaisian John Hughes tarafından kurulan bir demir fabrikasına borçludur. Aslen kurucusundan sonra Yuzovka olarak adlandırılan bitki, Don Havzası'nın zengin maden kaynaklarından yararlandı ve hızla büyüdü. 1924'te Sovyet diktatörünün onuruna Stalin (daha sonra Stalino) olarak adlandırıldı ve 1961'de yeniden Donetsk olarak yeniden adlandırıldı. İkinci Dünya Savaşı sırasında demirhaneler ağır hasar gördü. Hughes, Teknik Üniversite'nin merkezindeki bir heykel ve 1873 ile 1891 yılları arasında inşa edilen koruma altındaki evi ile anılır. Bölgesel Tarih Müzesi, 1924 yılına kadar uzanır ve başlangıçta madencilik, demir ve çelik endüstrilerinin gelişimine adanmıştır. Daha sonra arkeolojik araştırmalarla da uğraştı, bu yüzden sergi şehrin tarihinin sayısız yönünü gösteriyor. Bununla birlikte, 19. yüzyılın sonlarında bölgesel ağır sanayinin kökenleri hala net bir odak noktasıdır [URL 18].

4.1.9. Enerji Müzesi Santralistanbul (ERIH rotasında yer almaktadır)

"Tate alla turca" daha açılışını kutlamadan önce üniversite ve kültür kampüsü santral İstanbul'u süsleyen akılda kalıcı isimlerden biri, Londra'daki Tate Modern örneğinde olduğu gibi, eski bir elektrik santrali müze dönüşümü için başlangıç noktası olarak hizmet ediyor. Ancak, Alman uzmanlığı sayesinde, endüstriyel anıtın korunmasına odaklanıldı. Bir ziyaretçi geçidi ve depreme dayanıklı çelik takviyeler dışında, eski makine salonu, kullanıldığı zamanki gibi görünüyor.

Aslen Osmanlı İmparatorluğu'ndaki ilk elektrik santrali olan santral 1914'te faaliyete geçti. İstanbul 1952'ye kadar elektriğini sadece bu kaynaktan çekti. 1956'da santralin çıktısı 120.000 kilowatt'a ulaştı. Bundan sonra, 18 Mart 1983'te işletme nihayet durdurulana kadar enerji üretimi giderek azaldı. Tesis, 2004 yılında İstanbul Bilgi Üniversitesi'nin mülkiyetine geçmeden önce onlarca yıl atıl kaldı. Santral ile İstanbul kampüsü, yeni sahipleri daha önce ihmal edilmiş bir semti yeniden canlandırma hedefinin peşinden koşmuş ve kültürel etkinlikler, birinci sınıf sergiler, tüm yaş grupları için müze atölyeleri, sanatçılar için konaklama ve çalışma alanlarının yanı sıra üniversite kullanımı, kompleksi ortak sanat ve öğrenme deneyimleri için bir merkez haline getirmeyi amaçlamıştır. Enerji müzesinin, yerin endüstriyel köklerini açıkça ortaya koyması, Türkiye'de 2007 yılında açılışıyla birlikte ilk enerji müzesini de kutlanmıştır. Öne çıkan özelliklerinden biri şüphesiz kontrol merkezidir. Eski makine salonunun jeneratörleri ile birlikte, vurgulu bir şekilde dokümantasyona yönelik bir restorasyon içermesi ve müze konseptinin temsilcisi olması, iyi korunmuş endüstriyel topluluğun anıtsal etkisini mümkün olduğunca katkısız ortaya çıkarması, bilgisayar terminallerinin kullanımı, özellikleri kompleksin tarihi ve turistik değeri ile önemli bir değer olarak ortaya çıkmasını sağlamıştır. [URL 19].



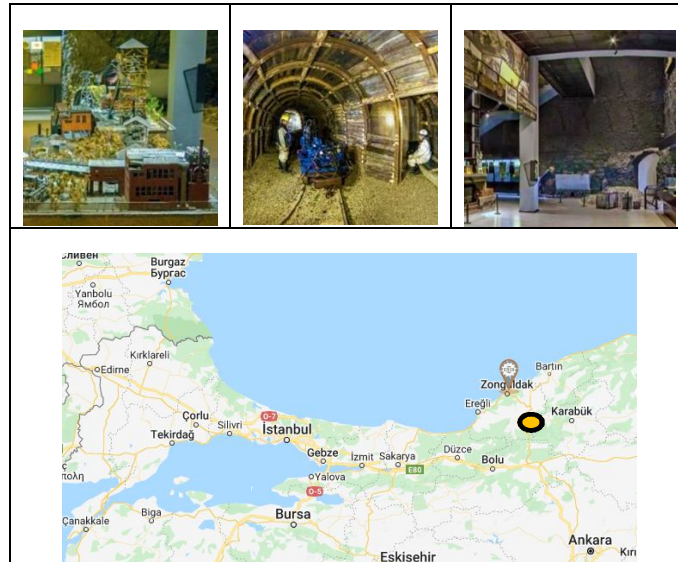
Şekil 12. Enerji Müzesi Santralistanbul [URL 19]

4.1.10. Rahmi Koç Endüstri Müzesi (ERİH rotasında yer almaktadır)

Haliç'teki eski Osmanlı donanma cephaneliğinin (tersaneler) eski demir ocağında sanayici Rahmi Koç, sanayi-tarihi yapıların dönüştürülmesine örnek olarak kabul edilen bir müze bağışlamıştır. 19. yüzyıldan bu yana, Haliç kıyıları, askeri (16. yüzyıldan beri) ve sivil gemi inşasının esas olarak kuzey kıyısında evde olduğu Osmanlı İmparatorluğu'nun sanayileşmesinin bir simgesi olmuştur. 18. yüzyılda inşa edilen binalar, 1850'den 1951'e kadar, Osmanlı İmparatorluğu ve Türkiye Cumhuriyeti'nin Maliye Bakanlığı olarak kullanılmıştır. Daha sonra alkol deposu için devlet tarafından, tütün ve alkol tekeli devralınmış, ta ki 1984 yılındaki bir yangında ağır hasar görene kadar. Koç Vakfı harap olan tesisi satın alıp restore ederek içinde 1994 yılında açılan ve 2001 ve 2006 yıllarında ek bölümlerle genişletilen Sanayi Müzesi'ni inşa ettirmiştir.

Müze, demiryolları, uçak ve denizcilik tarihini orijinaler ve modeller üzerinden sunmakta, iletişim teknolojisi ve astronomi alanındaki gelişmeleri günümüze aktarmaktadır. Yüzer kaptan köprüleri, iskelede gerçek bir denizaltı ve güzel minyatür trenler, müzeyi çocuklar için de ilginç kılması yanı sıra müzede Koç ailesinin yaşam öyküsünü aktarılır [URL 20].

4.1.11. Zonguldak Maden Müzesi (ERİH rotasında yer almaktadır)



Şekil 13. Zonguldak'ın Karadeniz kıyısındaki konumunu gösteren harita ve Maden Müzesine ait görseller [URL 21]

Türkiye'nin en önemli taşkömürü yatakları Batı Karadeniz kıyısındaki Ereğli Havzasında bulunmaktadır. 1822 yılında kömürün ilk keşfinden sonra 1840 yılında kömür madenciliği başlamış ve bu güne kadar devam etmiştir. Bölgenin merkezi, bölgede çıkarılan kömürü taşımak için yükleme tesislerine sahip bir limanın inşa edildiği 135.000 nüfuslu Zonguldak ilçesidir. 1992'de ülkedeki en kötü maden kazalarından birinde burada 290 madenci hayatını kaybetmiştir. 2016 yılında Türkiye'nin ilk maden müzesi şehirde açılmıştır. 3 katlı müze binasının yanı sıra açık alanda da kömür madenciliğinin başlangıcından günümüze kadar olan tarihini, kömür havzasının topografyasının temellerini, kömür ve fosil oluşumlarını sunmaktadır. Müzede bir film ile madencilik tarihinin tanıtımına yer verilir. Müzenin sergileri arasında aletler, maden modelleri, belgeler ve duvar resimleri, madencilerin malzemeleri ve kıyafetleri ve çok daha fazlası yer alıyor olması ziyaretçilere zengin bir izleme imkânı sunmaktadır. Müze alanına entegre edilmiş bu bölgenin, ziyaretçilerin erişimine açık olması, maden şirketinin eğitim madeninde gezilmesine imkan tanımıştır. Bir simülatör 600 m derinliğe kadar bir yolculuğu yeniden yaratır ve sonrasında gerçek bir madene girme hissi verir. Açık alanda daha önce yerüstü ve yer altı demiryolu taşımacılığında kullanılan araçlar da ilaveten sergilenmektedir [URL 21].

4.1.12. Hasanpaşa Gazhane Parkı ve Müze Kompleksi (ERIH rotasında yer almaktadır)



Şekil 14. Hasanpaşa Gazhanesinin Marmara denizi ve Karadeniz arasındaki konumu ait harita ve görseller [URL 22]

Hasanpaşa Gazhane Kompleksi, İstanbul'un Anadolu yakasında bir sanayi sitesidir. Külliye 1892 yılında (Osmanlı döneminde) gaz ocağı olarak inşa edilmiştir. Kompleks, doğalgazın İstanbul'a taşındığı 1993 yılına kadar kömürden gaz üretmiştir.

1993 yılında gaz işleri durdurulduğunda bina kompleksinin yıkılması planlanmasına rağmen, yerel

STK'ların muhalefeti sayesinde site tarihi bir anıt olarak listelenir ve alanın bir kültür merkezine dönüştürülmesi uzun süredir tartışılmış ve inşaatı 2014'te başlamıştır. 2021 yılında Hasanağa Gaz İşleri Parkı ve Müze Kompleksi, İstanbul'un kalbinde bir kültür merkezi olarak hizmete açılarak, o zamandan beri kompleks, kütüphanesi, tiyatrosu, sosyal odaları vb. ile yerli halka ve turistlere hizmet vermeye devam etmektedir [URL 22].

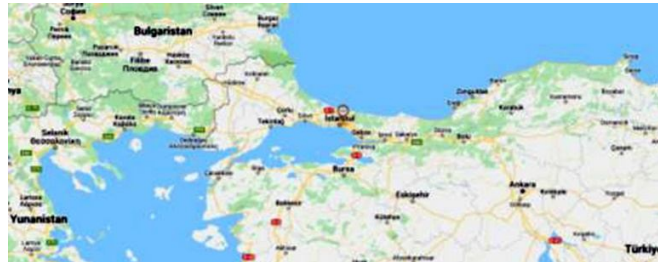
4.1.13. İstanbul Demiryolu Müzesi (ERİH rotasında yer almaktadır)

İstanbul Demiryolu Müzesi küçük olabilir, ancak Avrupa tarihinin önemli bir bölümünü belgelemesi önemlidir. 2005 yılında Sirkeci Tren İstasyonu'nun 1888-90 tarihli bir bölümünde inşa edilmiş, şimdi sadece yerel servisler için kullanılan, bir zamanlar *Calais ve Paris'ten Orient Express*'in terminali olması diğer bir önemli husustur. Sergi, 19. yüzyılın son yılları ve 20. yüzyılın ilk üç çeyreğine ait Orient Express ve diğer lüks trenlere odaklanmakta ilaveten trenlerde kullanılan tabaklar, çatal bıçak takımı ve döşemeli mobilyalar da sergide yer almaktadır [URL 23].

4.1.14. İzmit Seka Kağıt Fabrikası (ERİH rotasında yer almaktadır)

Seka'nın inşası (kelime, kağıt ve kağıt hamuru anlamına gelen Türkçe kelimelerin birleşimidir) 1934'te kuzeybatı Anadolu'da başladı ve Kemal Atatürk (1881-1938) döneminde Türkiye'nin sanayileşmesinin simgesiydi. Şirket 1997 yılında özelleştirilmiş ve 2005 yılında üretimi durdurmuştur.

Dünyanın en büyük kâğıt müzelerinden biri olan müze, fabrikanın dört katını kaplar ve büyük kâğıt ve matbaa makinelerini ve elektrik santralini içerir. On altı bölümde fabrikanın tarihini anlatan sergi, işçilerin sosyal hayatını da anlatıyor. Geleneksel kâğıt yapımı, hat sanatı ve kâğıt ebru öğreten düzenli atölye çalışmaları vardır [URL 24].



Şekil 15. İzmit SEKA Kağıt Fabrikasının yerini gösterir harita ve fabrikaya ait görseller [URL 24]

4.1.15. Teleferik Sistemi, Chiatura / Gürcistan (ERIH rotasında yer alır)



Şekil 16. Teleferik Sisteiye ait haritadaki yeri ve teleferik görseli
Chiatura, Gürcistan [URL 25]

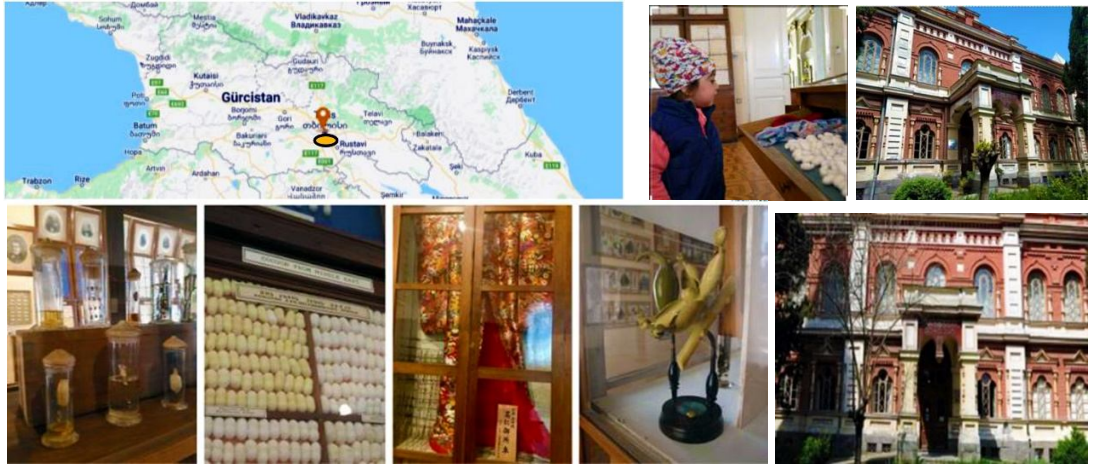
Chiatura, Gürcistan'ın batı kesiminde, Tiflis'e yaklaşık 220 kilometre uzaklıkta, Qvirila Nehri üzerindeki derin bir vadide yer alan bir şehirdir. 1870'lerden itibaren, şair ve Gürcü milliyetçisi Akaki Tsereteli (1840-1915) tarafından sömürülmesi önemli ölçüde teşvik edilen Avrupa'daki en önemli mangan cevheri kaynaklarından biri haline gelmiştir. Rus Çarı ve Essen'deki Krupp endüstrisi yerel madencilik destekler ve 1895'ten itibaren Zestaphoni'deki demirhane ile Karadeniz limanı Poti arasında bir demiryolu geçirilmiştir. 1905'ten itibaren Chiatura kasabası madenlerin etrafında büyüdü ve 1913'e kadar dünyanın mangan tüketiminin yarısı Gürcistan'ın bu bölgesinden gelir. Birinci Dünya Savaşı sırasında üretime ara verilmiş, ancak Sovyet rejimi bunu tekrar ele alarak, 1925'te Amerikalı politikacı Averell Harriman'a (1891-1986) ancak beklentileri karşılamayan bir taviz verir. Madende zirvede 4.000 kişi çalışmış ve şu anda 3.000 çalışanı bulunmaktadır.

1954'te şehir, Kanatnaya Doroga veya "Teleferik" olarak bilinen 17 gondollu altı kilometrelik bir teleferik alır. Kanyonun içinde yer alan bir şehrin günlük ulaşım ihtiyaçlarını karşılayan sistem günümüzde yeniden inşa edilmektedir. Yolcular için on teleferik hattı ve mangan cevherini demiryolu vagonlarına yüklemek için iki teleferik hattı bulunan bir merkezi merkeze sahip olan, Chiatura'yı ziyaret edenler teleferiklerden maden ve taş ocaklarının çalışmalarını takip edebilirler. Teleferik sistemi iyi korunmaz ve bazen sevilmeyen Sovyet rejiminin bir kalıntısı olarak kabul edilir, ancak diğer yandan mühendislerin zorlu bir topografyaya sahip bir şehirde toplu taşıma için teknik bir çözüm bulmaya yönelik yaratıcı bir girişimi temsil eder.

Chiatura otellere sahip ama turizm ofisi bulunmamaktadır. Teleferikler gün boyunca hizmet vermektedir. Tiflis'ten ve Gürcistan'ın diğer şehirlerinden Chiatura'ya giden otobüs seferleri, ziyaretçileri ülkenin seçkin tarihi anıtlarından birini görmeye götürmektedir [URL 25].

4.1.16. Devlet İpek Müzesi (ERIH rotasında yer almaktadır)

İpeğin çıkarılması ve işlenmesi Kafkas bölgesinde her zaman önemli olmuştur. Tiflis'teki İpek Müzesi, 1887'de Moskova Tarım Cemiyeti'nden Nikolay Shavrov (1858-1915) tarafından kurulan ve 1884-86'da bir çalışma gezisinde Avrupa çapında ipek endüstrisi deneyimi kazanan Kafkas İpekböceği Yetiştiriciliği Enstitüsü'nün bir parçasıdır. Enstitü, diğer şeylerin yanı sıra, Gürcü ipek üreticileri için en iyi dut tohumlarını belirlemek için çalışmalar yapılmıştır. 1930'da müze ve kütüphaneyi içersede, şimdi adı Transkafkasya İpekböceği Yetiştiriciliği ve İpek Üretimi Enstitüsü olarak değiştirilmiştir. 1980'lerde, bir bakanlık kurumu 1988'de müzeyi devralarak, kurumu kapandıktan kurtarmıştır. Müze, sergileri ve eğitim programları ile ipeğin anlaşılmasını ve takdir edilmesini sağlamayı, üretim süreçlerini ve kullanımlarını tanıtmayı amaçlar. Bir zamanlar Rus İmparatorluğu araştırma merkezi olarak hizmet veren prestijli bir binada yer alan bina (Klasik, Gotik ve İslam etkilerinde süslemeleri ile dikkate değerdir), geniş dut ağaçları, canlı ipekböcekleri ve koza koleksiyonlarının yanı sıra geleneksel cam kasalarda sergilenen örneklerle sahiptir [URL 26].



Şekil 17. Devlet İpek Müzesine ait görseller [URL 26]

4.1.17. Nobel Kardeşler Teknik Müzesi (ERİH rotasında yer almaktadır)

19. yüzyılın sonlarında Kafkasya bölgesindeki petrol endüstrisinin gelişimi, Rothschild'ler ve Nobel'ler de dâhil olmak üzere Avrupa'nın önde gelen birkaç sanayi ve bankacılık ailesinden büyük destek almıştır. Zorluklardan biri, Azerbaycan'daki Hazar Denizi kıyılarındaki Bakü bölgesinden Gürcistan'daki Batum yakınlarındaki Karadeniz kıyılarına petrol taşımak için demiryolları ve boru hatları inşa etmek olmuştur.

Batum'da 2007 yılında açılan müze, petrol endüstrisinin gelişimine, Çin emeğinin kullanılmasına ve çay içme kültürünün gelişimine adanmıştır. Sergide ayrıca renkli fotoğrafçılığın öncüsü Gürcü Prokudin-Gorsky'nin baskıları ve fotoğrafları da yer almaktadır. [URL 27]



Şekil 18. Nobel Kardeşler Teknik Müzesinin Gürcistandaki yerini gösteren harita ve müzeden görsel

4.1.18. Stamba Hotel, Tiflis / Gürcistan

Yapım yılı 1930 lu yıllar olan ‘Yayınevi Binası’ 2018 yılında Adjara Group tarafından otel binasına dönüştürülmüştür. Tarihi Yayınevi Binası, dış cephesi aynen korunmuş, baskı makineleri restore edilerek otel yapısında sergilenmektedir. Otelin lobisi su ve bitki orjinli tasarımı ile biofilic yaklaşımı sunmaktadır. Otelde ayrıca çok sayıda Gürcü sanatçının eserleri sergilenir. Otelin hem ortak mekânlarında hem de otel odalarındaki raflarda 80.000 adet kitap misafirlerin kullanımına sunulmaktadır [URL 28].



Şekil 19. Baskı makinelerine ait (1) ve otel lobisinden (2,3) görseller

4.1.19. Kuzey Kafkasya Demiryolları, Demiryolu Mühendisliği Müzesi (ERİH rotasında yer almaktadır)

Kuzey Kafkasya Demiryolu (Rusça: Северо-Кавказская железная дорога , romanize: Severo-Kavkazskaya zheleznaya doroga), Rusya'nın güney batısındaki demiryolu hatlarını işleten Rusya Demiryolları'na bağlı yan kuruluştur. Merkezi Rostov-na-Donu'da bulunan kuruluş, batıda Azak Denizi kıyısından doğuda Hazar Denizi kıyısına kadar uzanan ve toplam uzunluğu 6311,4 km. olan demiryolu hatlarını işletmektedir. Kuzey Kafkasya Demiryolu'nun işlettiği demiryolu hatları, Rusya Federasyonu'nun Güney Federal Bölgesi'ne bağlı Rostov Oblastı, Krasnodar Krayı, Adige Cumhuriyeti ve Kalmukya toprakları ile Kuzey Kafkasya Federal Bölgesi'ne bağlı Stavropol Krayı, Çeçenistan, Dağıstan, İnguşetya, Karaçay-Çerkesya, Kuzey Osetya-Alanya topraklarından geçer.Kuruluşun işlettiği demiryolu ağı Grozni, Krasnodar, Mahaçkale, Mineralniye Vodı ve Rostov yolcu ve yük demiryollarının yanı sıra Vladikavkaz ve Rostov'da bulunan iki çocuk demiryolunu da içermektedir. 2005 yılı itibarıyla Kuzey Kafkasya Demiryolu sisteminde 403 istasyon bulunmakta ve kuruluşta 80.757 kişi istihdam edilmektedir.

Karadeniz'deki tatil beldeleri Soçi, Gelencik ve Anapa, demiryolu sistemindeki başlıca yolcu destinasyonlarıdır. Karadeniz kıyısı boyunca kilometrelerce uzanan Soçi demiryolu, özellikle yaz aylarında tatilciler için işletilen düzenli ve direkt ekspres trenler tarafından yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Novorossiysk ve Tuapse'deki petrol rafinerisi limanları da demiryolu yük trafiği için önem arz etmektedir [URL 29].



Şekil 20. Kuzey Kafkasya Demiryolu ve Kuzey Anadolu Demiryolu bağlantısını gösteren harita ve Demiryolu Mühendisliği Tarihi Müzesi görselleri [URL 30,31,32]

Kuzey Kafkasya Demiryolu Tarihi Müzesi, 4 Kasım 1960 yılında Rostov-Glavny istasyonundaki Demiryolu İşçileri Kültür Sarayı'nda bir halk müzesi olarak açılmıştır. Müzenin sergilenmesi, Kuzey Kafkasya'da demiryollarının doğuşu, devrim dönemi, Büyük Vatanseverlik Savaşı ve sonrası yıllar, modern dönemden başlayarak kronolojik olarak düzenlenmiştir. Kuzey Kafkas Demiryolu Müzesi iki bölgeden oluşmaktadır. İlki, Rostov-Glavny istasyonu yakınındaki Demiryolu İşçileri Kültür Sarayı, ikincisi ise Demir Yolu Tarih Müzesi'nin şubesidir. Sergi şehrin güneybatısındaki Gnilovskaya durağında açık hava müzesidir. Burada 1940 lı yılların trenlerini deneyimlemek ve ilk Sovyet Elektrikli Lokomotifini ziyarete sunulmuştur [URL 29].

4.1.20. Admiralteysky Gemi İnşa Tesisi, St. Petersburg / Rusya

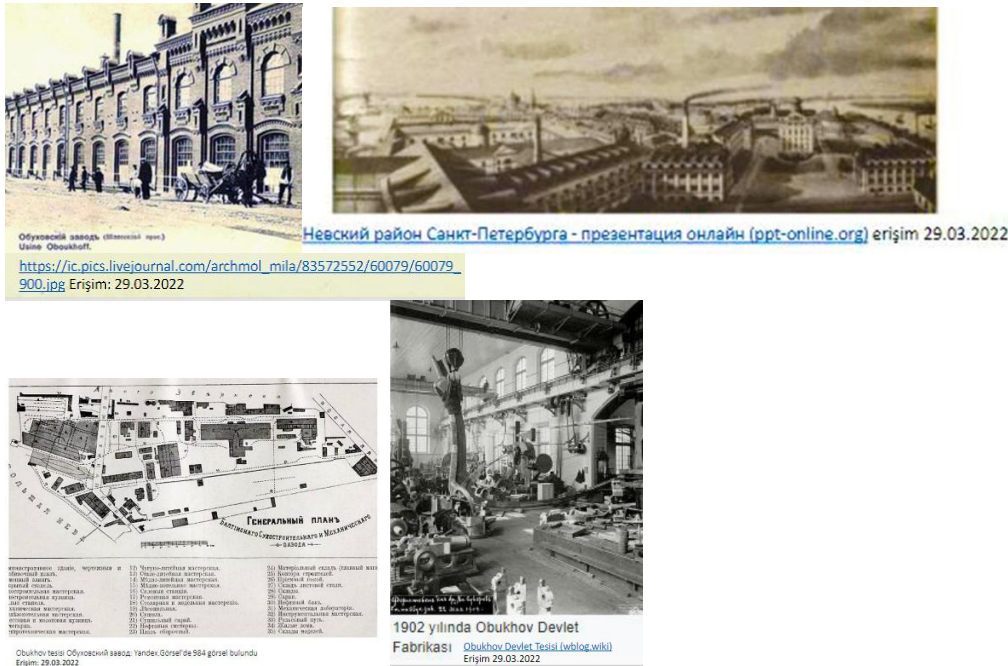
Önerilen Karadeniz Rotasının kuzeyinde kalan ancak, irdelediğimiz alanı etkileyen, çekim bölgesi oluşturan endüstri yatırımlarının yer aldığı, alanda St. Petersburg şehri önemlidir (Bknz. Şekil 3 ve 4). Bu şehir Rusya'nın kuzey sınırlarını savunmak için deniz kalesi olarak kurulmuştur. Bu nedenle bu alanda 2 tesis rota etkileşim alanı dışında kalmasına rağmen söze konu alınmıştır. Şehrin ilk sanayi kuruluşu ise Admiralteysky Tersanesi olmuştur. St. Petersburg'un 300 yılı aşan tarihi deniz üzerine kurulmuştu ve askeri gemi inşa merkezi durumuna gelmiştir. Bu tersanelerde ülkenin % 30'luk gemi inşa gereksinimine cevap verilmiştir. Şehirdeki araştırma, geliştirme ve tasarım

çalışmalarının %70'i gerçekleştirilmektedir. Eski adıyla 194 no'lu Sovyet Tersanesi (Admiralteysky Tersanesi) Rusya'nın en eski ve en büyük tersanelerinden biridir ve tersanenin inşa yollar (kızakları) 70.000 ton ham ağırlığa, 250 metre uzunluğa ve 35 metre genişliğine kadar olan gemileri barındırabilmektedir. Askeri ürünler, nükleer ve dizelle çalışan denizaltılar ve lojistik içerikli deniz araçları ve de savaş gemileri inşa edilebilmektedir [URL 33,34,35,36,37,38,39].



Şekil 21. Admiralteysky Gemi İnşa Tesisine ait görseller

4.1.21.Obukhov Tesisi, St. Petersburg / Rusya



Şekil 22. Obukhov Tesisinin yerleşim planı ve tesise ait tarihi görseller (URL 40,41,42,43)

Obukhovski Devlet Fabrikası olarak da bilinen fabrika, St. Petersburg kentinde bulunur ve Rus metalürji ve ağır makine yapım tesisi olarak kurulmuştur. 1863 yılında Kurpp tarafından Alman Tasarımlarına dayalı deniz topları üretmek üzere kurulmuştur. 1920'lerin sonunda, 2 ana Sovyet tank fabrikasından biridir. Diğeri ise Kharkov Lokomotif Fabrikasıdır. Bu fabrikalarda ilk yerli tankı olan T-18 üretilmiştir. Bunların haricinde zaman içinde genişleyen tesis askeri mühimmat dışında traktör, optik cihazlar üretimininde de ön plana çıkmıştır. Paris, Viyana gibi ünlü şehirlerde gerçekleşen sergilerde ödüle layık görülen Obukhov, 1992 yılında üniter bir işletme olan FSUE kurulduğunda restore edilmiştir. 2002 yılında Almaz-Antey askeri sanayi kuruluşunun bir parçası olmuş 2003 yılında ise OJSC GOZ Obukhov Fabrikası anonim şirketi olmuştur.

Şirket St Petersburg'da Obukhovsky Savunma Bulvarı, 120. Binada yer almaktadır. Bu tesiste, şirket tarihi, askeri ürünler ve askeri teçhizat koleksiyonu, şirketin önde gelen çalışanlarının biyografileri hakkında bilgi veren sergilerin bulunduğu bir müzede bulunmaktadır.

İleri düzeyde askeri mühimmat üreten Deniz, Hava, Stratejik Füze Kuvvetlerine önemli ölçüde katkıları bulunmaktadır. Modern ekipmanların alınıp kurulduğu, yeni teknolojik süreçlerin getirildiği, yeni atölyelerin inşa edildiği tesis, günümüzde de güncel teknolojik gelişmelerine devam etmektedir [URL 40,41,42,43].

4.1.22. Moskova Elektrik Santrali, Moskova / Rusya

Önerilen rotanın çekim alanının genişletilmesine imkân veren (bknz. Şekil 5 ve 6), yapılardan biride, Moskova'da Yakimanka Bölgesinde Bolotnaya üzerinde 1904-1908 yılları arasında, Vasili Bashkirov tarafından inşa ettirilen santral istasyonudur. Moskova'daki devlet eliyle inşa edilmiş ikinci büyük elektrik santralidir ve şehrin tramway sistemine güç kaynağı olarak inşa edilmiştir.

Rusya ve eski Sovyetler Birliği'nden çıkan çağdaş sanat sergilerini ve projelerini desteklemeye odaklanan, kar amacı gütmeyen uluslararası özel bir kuruluş olan V-A-C Vakfı tarafından 2015 yılında görevlendirilen, mimar Renzo Piano, Building Workshop (RPBW), mevcut binayı, insanlara yönelik görselden performans sanatlarına kadar eklemli bir deneyim yaratabileceği bir alan dönüştürmeyi amaçlamıştır.

GES-2 House of Culture olarak adlandırılan 20.000 metrekarelik dönüşüm 4 aralık 2021'de resmi olarak halka açılmış ve sergiler, performanslar, sinema, turlar tiyatro ve müzik gibi bir dizi etkinlik

alanları yaratılmıştır. Yapının yer aldığı bölgede kafeleri ve restoranları içeren konteynere dönüştürülmüş bir çikolata fabrikası, Strelka Enstitüsü, Tarihi Udarnik Tiyatrosu da yer almaktadır.



Şekil 23. Moskova Elektrik Santrali Restorasyon Sonrası Görselleri

Binanın güneyinde halk meydanı ve batısında 624 yeni dikilmiş Huş Ağacı ormanını içeren peyzaj tasarımında yer verilmiştir. Bu alanda yer altı otoparkına imkan açılmak için topoğrafyada kısmi yükselme yapılması gerekmiştir [URL 44,45,46].

5. Türkiye'nin Karadeniz Bölgesinden Öneri Rota Alanları

5.1.Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Miraslarını Kapsayan Zonguldak-Bartın-Karabük Endüstri Mirası Rotası

Batı Karadeniz: Zonguldak, Bartın, Karabük: Sanayinin yoğunlaştığı Batı Karadeniz bölümünde Zonguldak'ta ki maden kömürünün varlığı, Karabük ve Ereğli Demir Çelik fabrikalarının beraberinde kendilerine bağlı olarak yan sanayi kolları gelişmiştir. Ayrıca bir bütün olarak Karadeniz bölgesinde şeker, kâğıt, sülfürik asit, bitkisel yağ, fındık kırma ve fındık ürünleri, orman ürünleri, balık unu, sigara, çimento ve ateş tuğlası fabrikaları da kurulmuştur [19].

Bölge aynı zamanda endemik bitki örtüsü de dâhil olmak üzere birçok farklı türe sahip doğal bir ağaç parkı niteliğindedir. Zonguldak kömür havzası, hem en zengin maden yatakları arasında hem de ülkenin tek taşkömürü havzasıdır. Zonguldak ilindeki öne çıkan endüstriyel miras öğeleri; Zonguldak limanı, demiryolu ve taş kömürüyle, Türkiye'nin endüstri devrimi yolculuğunda önemli bir rol üstlenmiştir. Batı Karadeniz'in öne çıkan kenti, ülke endüstri mirasına ait önemli örnekleri barındırmaktadır. Bunun dışında Üzülmüş bölgesi, Fener (Yayla Mahallesi), Karadon İşletmesi, Çatalağzı Tesisleri, Kozlu ilçesi, Çaycuma ilçesi ve Filyos'ta yer alan endüstriyel alan ve yapıları olarak ele alınabilir [20].



Şekil 24. Osmanlı Döneminden günümüze, Ereğli çevresinden görseller [23]

Karadeniz sahilinde yer alan Bartın, doğusunda Kastamonu, batısında Zonguldak ve güneyinde Karabük'e komşudur. Karadeniz'e Bartın Irmağı yoluyla bağlanmış olması ve ırmak üzerinde taşımacılık yapılabilmesi, Bartın için her daim büyük bir avantaj olmuştur. Zonguldak Endüstri Mirası Rotası Zonguldak'ın endüstriyel geçmişi ve sahip olduğu kültürel değerler merkezde yoğunlaşmış durumdadır ve hali hazırda turizme uygun alanlar bakımından önemli bir turizm rotası oluşturulmasına imkân sunmaktadır.

Türkiye'nin endüstrileşme tarihinde önemli bir yeri olan Kömüre Giden Demiryolu, bölgenin endüstri tarihi, doğa ve kültür odaklarının harmanlanmasıyla Yeşil Rota ismiyle turizmde yeni bir destinasyon rotası oluşturulması amacıyla geliştirilmiş konsept bir tren turizmi projesi önerilmiştir [24].

Tablo 5. Zonguldak-Bartın-Karabük Şehirlerini İçeren Öneri Endüstri Mirası Rotası [25]

<p>Bireysel ve turlar için gezi rotası (1 günlük)</p> <ul style="list-style-type: none">• Zonguldak Maden Müzesi ve Eğitim Ocağı• Karacimas Maden Şehitleri Müzesi• Zonguldak Feneri• Fener Varagel Tünelinden Liman Alanına Yürüyüş• Hızlı Kömür Yükleme İskelesi (Şarjöman Rapid)• Merkez Lavuar Alanı Yeşil Rota (Kömüre Giden Demiryolu)• Zonguldak Garı (Gökgöl Mağarası, Endüstri Rotası ve Zonguldak'ta konaklamaklama)	<p>Bireysel ve turlar için gezi rotası (2-3 günlük) –YEŞİL ROTA</p> <ul style="list-style-type: none">• Ankara Garından trene biniş• Eskipazar İstasyonu (Hadrianapolis Antik Kenti)• Karabük Garı (Tarihi Safranbolu gezisi ve konaklama)• Yeşil Yenice İstasyonu (Şeker Kanyon, İhlamur Teras ve Yenice Ormanları)• Filyos İstasyonu (Filyos Kalesi, Tios Antik Kenti, Filyos Sahil)
--	--

Bartın ve çevresi; Zengin ormanlara sahip olan Bartın'da orman ürünlerinden özellikle kereste üretimi ve taşımacılığı yüzyıllardır yapmıştır. Fakat Bartın'da kereste fabrikaları ile depolarının açılmaya ve kereste tüccarlarının ortaya çıkmaya başlaması 1884 yılından sonra gerçekleşmiştir. Kereste ihtiyacının Bartın ormanlarından karşılandığı, Osmanlı arşiv belgelerinden anlaşılmaktadır. Bartın ırmağında taşımacılık ön plana gelmiş, bölgede on üç kereste fabrikası faaliyet göstermiştir. Bu Fabrikalar: Birinci (1884-1910) ve İkinci Fabrika (1884) (Filyos mevki), Gürgenlik (1896-1916), Demirören Fabrikası (1900-1912), Iskalan (1902-1934), İbrahim Deresi(1909), Derbent (1910), Yenihan (1914) [26].

**Şekil 25.** Bartın'da gemi inşaatçılığı

Maden Direkçiliği; Bartın ekonomisi ile Zonguldak havzasının iktisadi gelişimi arasında sıkı bağlar vardır. Ereğli'nin Köseazgı köyünden Bahriyeli Uzun Mehmet'in köyünde ilk defa olarak bulunduğu kömürün üretimi için maden ocaklarının açılmaya başlamasıyla birlikte, ocak galerilerinde kullanılan maden direkleri, civardaki ormanlardan temin edilmeye başlanmıştır. Kömür

madenciligi geliştikçe de maden direkçiliği yayılmış ve gelişmiştir [27].

Bölgede Spor Faaliyetleri; 1930’lu yılların getirdiği modernleşme hareketlerinde tüm ülkede spor adına yeniden yapılanma süreci başlamıştır. Kurulan kulüplerle de bubu hareket, organizasyonel anlamda da desteklenmiştir. Zonguldak’ta Maden Mühendisi yetiştirmek amacıyla kurulan maden yüksekokulunda öğrencilerin sosyal bakımdan da gelişme göstermelerine önem verilmiştir, binicilik, futbol, voleybol ve tenis için bu alanlarda dışarıdan öğretmenler bile getirilmiştir. 1920’li yıllarda Karaelmas Futbol Takımı, 1945 yılında Kömürspor kurulmuştur. 1966 yılında 2. Lig’e çıkınca adı Zonguldakspor olarak değiştirilmiştir. Karabük’te ise Kardemir Karabükspor kurulmuş, zamanla Karabükspor adını almış, birçok kez alt liglerde başarılı olmuş ve Süper Lig seviyesine kadar çıkmıştır. Futbolun yanı sıra, atletizm, boks, güreş, atıcılık, tenis, bisiklet gibi alanlarda da atılım yapılmış, bölgede bu spor dalları geliştirilmiştir. Spor dışında toplumsal iletişim içinde girişimler olmuştur. EKİ Radyosu; Türkiye’de bölgesel ilk radyo olan, Ereğli Kömür İşletmesi (EKİ) tarafından kurulan ve “İnsan Gücü Eğitim Radyosu” olarak da anılan EKİ Radyosu, kurulduğu 1967 yılından 1983 yılları arasında öncelikle madencilere yönelik programlarıyla yayın hayatı sürdürmüştür. EKİ Eğitim Radyosu, o günün şartlarına göre müzik yayınından ayrı asıl kurulma amacı, maden işçilerimizin bilgilendirilmesine çalışmaktır. Ayrıca canlı yayın ile Zonguldak halkına sağlık bilgisi, eğitim, yol ve trafik durumu, valilik ilanları, hava raporları, konferans, duyuru ve kan anonsları gibi acil ihtiyacında yol göstermek gibi önemli bir hizmeti de görmüştür [28].

Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan, Karabük- Demir sanayisine, 1937 yılında kurulan ilk demir-çelik fabrikası ile sahip olmuştur. 1950 yılında yapılan sanayi sayımında ülkemizdeki 83.500 civarında tesisten biri olmuştur [29].



Şekil 26. Karabük Demir-çelik Fabrikasının açılışına ait gazete kúpürü [30] ve fabrikanın dış görseli [31]

Öktem'in 2006'da aktarımında "Fabrika yerleşimi içinde fabrikanın kurulmasına başlanmasıyla eşdeğerli olarak ilerleyen işçi ve mühendisler için yerleşim alanları, sosyal tesis alanları (hastane, sinema, okul, spor tesisleri) yer almaktadır. Karabük Demir Çelik Fabrikasının kurulmaya başlandığı dönemde Zonguldak Kömür İşletmesi devletleştirilmiş ve bölgeye Cumhuriyet döneminin ilk taşıyıcısı demiryolu getirilmiştir. Bu faaliyetler Ankara'dan Anadolu'ya yayılması planlanan modern toplumu oluşturmanın ilk adımları" olduğu belirtilir [31]. Bu bağlamda Karabük Demiz Çelik Fabrikası ve yerleşimi Cumhuriyet'in ilk dönemlerinin özgünlüğünü yansıtan, modern bir yaşam standartını sunan ve mühendislik faaliyetlerine hammadde sağlayan Anadolu'nun nadir endüstri mirası örneklerindedir. Tesisin devamlılığını sürdürmesi endüstri mirası olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır [32].

Doğu Karadeniz bölümünde süt ve süt ürünleri sanayii, Amasya, Giresun, Bayburt, tereyağı yapımında Trabzon (Vakıfkebir ve Tosya) yer aldığı görülür [33]. Ülkemizde balık unu ve balık yağı üreten Et ve Balık Kurumuna bağlı fabrikaların en önemlisi Trabzon da yer almıştır. Şehirde Karadeniz Su Ürünleri Sanayii, Rize'de Karadeniz Balık Sanayii, Samsun'da kedi köpek maması üreten tesisler yer almaktadır. Karadeniz'de yoğun olarak yapılan çay üretimi, Çay fabrikalarının özellikle Rize'de yoğun olarak kurulmasını getirmiştir. Doğu Karadeniz kesiminde Rize'yi Artvin, Trabzon ve Giresun takip eder. Karadeniz'in iç kesimlerinde Ayçiçek yağı üreten fabrikalar yer almaktadır. Samsun ve Tokat'ta ise sigara fabrikalarının kurulduğu ile karşılaşılır. Zonguldak, Karabük ve Samsun'da yapay gübre fabrikaları yer alır. Ertin, G'nin aktardığına göre, "Orman ürünleri odun, mobilya, kâğıt, kereste selüloz vb. çeşitli sanayi kollarına hammadde sağlar. Bu ürünlerin kereste sanayi orman yönünden zengin Karadeniz bölgesinde; Gide, Bolu, Bartın, Düzce, Rize, Yenice Ayancık, Ardeşen, Ordu, Borçka, Bafra'da kereste fabrikaları yer alır". Düzce'de ambalaj, Kastamonu'da orman ürünleri entegre tesisleri bulunur. Karadeniz'de 1955 yılında kurulmuş SEKA'ya bağlı Paşaköy, Çaycuma, Bartın, Giresun fabrikaları bulunmaktadır. Samsun ve Tokat'ta hem tütün hem alkollü içki üretim fabrikaları yer alır [34]. Ayrıca Samsun'da Tekel Fabrikası da inşa edilmiştir [35].

Öneri Karabük-Zonguldak Rotası Karabük-Zonguldak Türkiye Sanayileşme Rotası, Erken Cumhuriyet döneminde bölgede kurulan endüstri alanlarının ziyaret edilerek, 20. yüzyılın başında

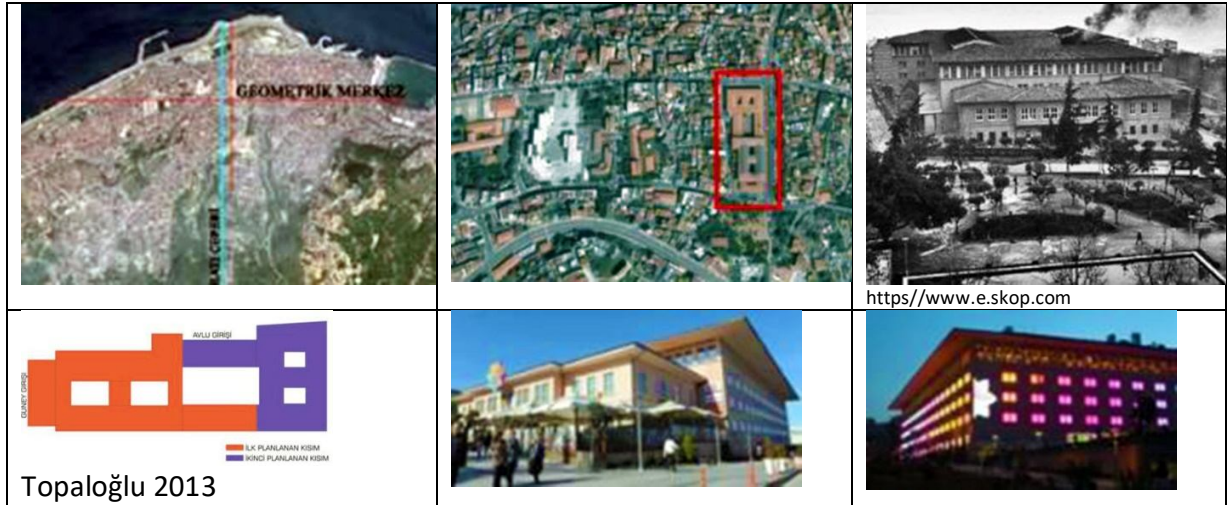


ayağa kalkmaya çalışan ülkenin ideallerinin kültür tarihi açısından değerinin anlaşılmasını hedeflemektedir.

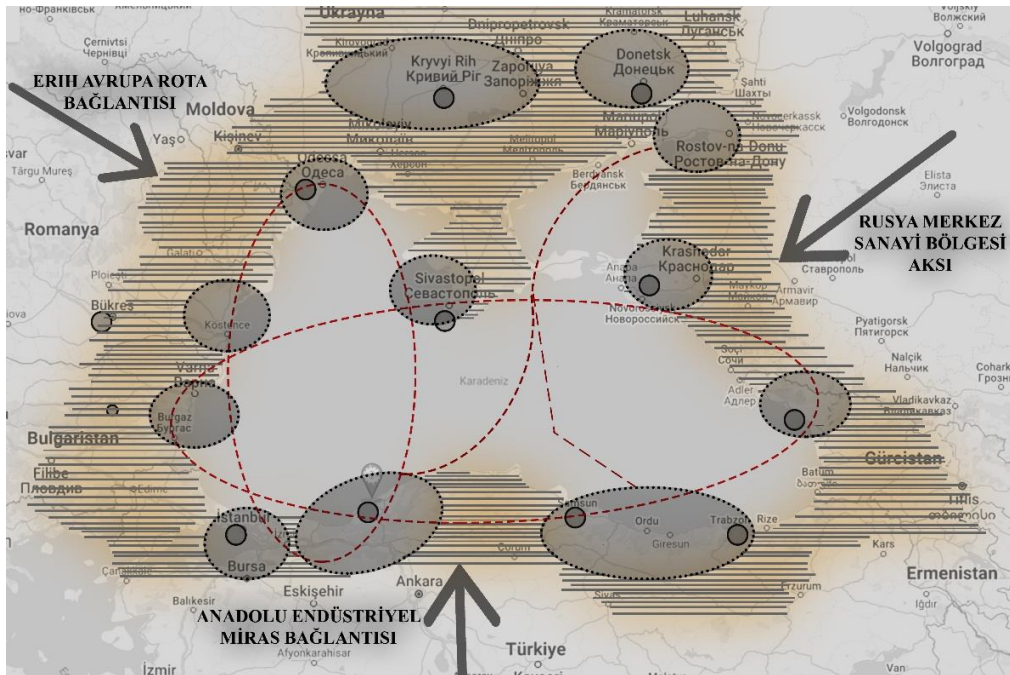
Batı Karadeniz Endüstri Rotası'nın ana omurgası; Kardemir Demir Çelik Müzesi-Yenişehir Mahallesi- Filyos Ateş Tuğla Fabrikası gezisi, Filyos çayı-Işıkveren Sanayi Müzesi-Çatalağzı Bölge Müzesi-Zonguldak Fener Mahallesi -Varagel Tüneli-Zonguldak Limanı ve kıyı şeridi-Çaydamar Yaşayan Madencilik Müzesi-Zonguldak Maden Müzesi- Eğitim Ocağı-Üzülmez Kültür Vadisi-Gökgöl Mağarası-Karaelmas Maden Şehitleri Müzesi-Yukarı Üzülmez'de yer alan Seyfi Arkan yapıları etrafında gezi, Rombaki Çocuk Bilim Evi'ni ziyaret olacak şekilde önerilmektedir [36].

5.2. Doğu Karadeniz Bölgesinde Endüstri Mirası Örneği Trabzon Tekel Binası

Trabzon Tekel Binası, tarihi Trabzon kent surlarının yanında, surlara ve Zağnos Vadisi'ne paralel şekilde konumlanmıştır. Günümüzde kent merkezinde, Geometrik Merkez adlandırması ile yer alır. Mülkiyeti Trabzon Belediyesinde olan bina, doğusunda eski kent surları ve Aşağıhisar olarak isimlendirilen mevkiide yer alan yapının, güneyinde bulunan ana giriş kısmı geleneksel sivil mimarlık etkilerinin görüldüğü Milli Mimarlık Hareketi özelliği göstermektedir. İlk kısım 1951 yılında,1965 yılında ise ek olarak ikinci kısım inşa edilmiştir. Avlulu bir planlamaya sahip tesisin ilk tasarımında güney kısmı 2 katlı, bu kütleinin kuzeyindeki kısım ise 5 katlı ve avlunun doğusundaki kısım ise 3 katlı olarak inşa edilmiştir [37]. Günümüzde alışveriş merkezi işlevi yüklenen yapının dış kabuğu korunarak, yeniden işlevlendirilen kompleksin alışveriş merkezi olarak kullanımına devam edilmektedir.



Şekil 27. 1948 yılında tasarlanan Trabzon Tekel Binası ve 2010'lu yıllarda alış veriş merkezine dönüşümüne ait görsel [38]



Şekil 28. Karadeniz Havzası Endüstriyel Miras Rotası (deniz ve karayolu) Potansiyelleri [Hazırlayan: Kaprol ve Daşdemir 2022 [39]

6. SONUÇ

18. yüzyıl İngiltere’inde yaşanan endüstri devrimi sonrası, endüstrileşme süreci, uzun bir süreyi kapsamış ve bu süreç, yaşanan teknolojik ilerlemeler ile birlikte, endüstri yerleşimlerinin yer aldığı, bölgelerin fiziki değişimlerini getirmiştir. Zamanla teknolojik bilgi düzeyinin gelişmesi ile mevcut endüstri tesisleri ihtiyacı karşılayamaz duruma gelerek, endüstrileşme sürecinin ardından bir kısmı günümüzde atıl halde olan, geçmişin üretim ve yaşayış biçimlerinin belgesi niteliğindeki, teknolojik üretim alanlarının, endüstri mirası olarak korunması gerektiği bilinci gelişmiştir. Kullanılmadığında tahrip olmaları kaçınılmaz olan endüstriyel mirası tanımlayan alanların, güncel kullanımları ile niteliklerinin zedelenmeyeceği yeni aktiviteler ile yeniden ilerlendirilmeleri, korunmalarını ve geleceğe aktarımlarını sağlayacaktır. Bu alanların kentsel ölçekten bina ölçeğine kadar önemle alınması için bakış perspektifi aşağıda verilmiştir.

Öncelikle yer aldığı bölgenin kapsamlı planlaması,

yer aldığı arazi ve kentsel donatının tahrip var ise iyileştirilmesi,

doğal ve yapılı çevrenin adaptasyonu,

endüstri sonrası peyzajın manzara kalitesinin iyileştirilmesi,

çevrenin kapsamlı bir şekilde kurtarılması,

çevresel restorasyonu,

özgün mimari yapılanmanın ve planlı çevresel dokunun aslımı bozmadan restore edilmesi,

yeni kullanımların işlevini yitirmiş binalara uygulanması (eski yapıya yeni işlev yüklenmesi),

yeni yapılanmada malzemelerin ve binaların rasyonel kullanımı,

sürdürülebilir yeniden değerlendirmenin aracı olarak turizm teşviki, endüstriyel rota içeriğinin dijital olarak yayılımı,

verimli sürdürülebilir yönetim modeli,

yerel istihdam yaratılması ve yeni üçüncül faaliyetlere imkan tanınması,

Endüstriyel mirasın yeniden ele alınmasında uygulanmış yöntemlerdir ve Avrupa’da, dünyada yaygın olarak kullanılmış birçok örneği yaygınlaşmaktadır.

Endüstriyel miras alanlarının, yeniden işlevlendirilerek kentin bir parçası haline getirilmesi sonucunda, bu alanlar kentten kopuk alanlar olmaktan kurtarmaktadır. Aynı zamanda döneminin

inşa tekniğini de yansıtan endüstri mimarisi ile üretim ve yaşam biçiminin ilgili izlerinin, yaşatılmasına ve yerel halkın mekânla ilişki kurmasına katkı sağlama potansiyelini sunulmaktadır. Böylelikle bölgesel kalkınmaya bu alanlar araç olmaktadır.

Endüstrileşme süreci, dünyanın değişik coğrafyalarda çeşitli oluşumlarda yaşanmış ve yaşanmaktadır. Osmanlı İmparatorluğunda, dönemin başkenti İstanbul ve hinterlandında endüstriyel oluşum görülmüştür. Çünkü İstanbul, tüm endüstriyel faaliyetler için sadece hammadde değil aynı zamanda mamul ürünün taşınmasında kullanılabilecek, hem ulaşım ağına hem de üretim için gereken enerjinin sağlandığı su kaynaklarına sahipti böylelikle dönemin başkenti olması yanı sıra endüstrinin de başkenti olmuştur.

Ülkemizde Endüstri mirasının cumhuriyet öncesi ve sonrası yatırımları olarak tasniflenmesi uygundur. Kullanıma açılacak endüstri yapısı veya yerleşimlerin zamanla, halk tarafından, hem sahiplenilip korunarak yaşatılması hem de yaşam alanları ile kente uyum sağlaması, kentlinin yeni işleve sahip çıkması, kentin gelişiminde önemli bir etkidir.

Koruma çalışmasında, farklı uzmanlık alanları ile koordineli çalışmanın sağlanması gereği, koruma uzmanları koruma bilincine ve koruma terminolojisine sahip olmalıdır. Bu gerekçe ile koruma kavramlarına uluslararası ve ulusal düzeyde sahip olmaları gereklidir. Türkiye'nin geçerli olan yasal, yönetsel ve ekonomik koşulları kapsamında ele alınmalıdır. Her binanın tasarım kuramı ile ilişkisini yapma, doğal ve sosyal yanı sıra, ait olduğu toplumun nitelikleri açısından da değerlendirebilecek bilgi birikimi ve bakış açısına sahip olmak, mimari koruma projelerinin başarısını öngörülen hedeflerin, uygulamalara tam ve doğru biçimde aktarılmasıyla sağlanır. Bu hedef doğrultusunda, uygulamaları gerçekleştirecek teknik elemanların yetiştirilmesi ve bu elemanların uzmanlıkları doğrultusunda istihdamlarının sağlanması gereklidir.

Endüstri mirasının yer aldığı alanın diğer tasarım disiplinleri ile ilişki olarak planlamalarda, ortak çalışmalar sonucu elde edilecek ülke ve ülkeler üstü endüstriyel miras rotasında,

- **Öneri rota üzerinde yer alacak tesislerin yer aldığı kentsel ve alan ölçeği kapsamından bina ölçeği kapsamına dökümünün çıkarılarak envantere alınması,**
- **Envanteri oluşturulan yapıların önce ülke ve bölge kapsamında Karadeniz havzası bütününde işbirliğine alt yapı oluşturması,**

- **Karadeniz Havzası endüstri mirası rotası oluşturulduğunda, çeşitli sanayilere sahip Karadeniz Havzası ülkelerinin kentlerinin endüstriyel miras başlığı altında edindikleri yaşam tecrübelerini, önerilen sanayileşme rotası ile sergileme imkânına sahip olması,**
- **Sürdürülebilir kalkınmada araç olarak turizmde ürünün korunabilmesi, yaşatılması ve tanıtımına önem verilmesi,**
- **Özellikle turizm başlığı altında müzeciliğinde değerlendirilmesi ile farkındalık oluşturulması,**
- **Endüstriyel mirasın değerlerinin, turistik rotalar içinde her tür turizm türüne hizmet verecek düzenleme ile ilgili müzelerin rota güzergâhına katarak, turizm için nirengi noktası haline getirilmesi,**
- **Endüstriyel Kültür olarak tanımlanan özel ortamların, çeşitli olumsuz sosyal ve ekonomik koşullardan etkilenen bölgelere yeni dürtüler getirmede, ekonomik fayda elde etmede sadece ziyaretçi çekmekle kalmayıp, endüstriyel seri üretimin geçmiş çağının kalıntılarını incelemeye ve endüstriyel birimleri güçlendirme potansiyelinin de, geleceğin işgücü ve de yeni bölgesel ağlar oluşturmada yaratıcı olması,**
- **Endüstriyel Kültürün bilgiye dayalı yönünün, eski sanayileşmiş bölgelerin mevcut becerileri, gelenekleri ve bilgisi ve onun insanların, bir zamanlar eski sanayileşmiş bölgeler değişimin itici güçleri olduğu ve kendi alanlarında belirli zihniyetler ve beceriler geliştirerek girişimci ve yenilikçi üretimin öncüsü olmaları,**
- **Endüstriyel miras değerlerinin salt bina olarak restorasyonu yanında çevrelerindeki peyzaj öğeleri ile bütünleştirilmesi,**
- **Endüstriyel miras değerleri kültürünü, tarihini ve özgünlüğünü yansıtmaya yönelik kullanımlarla işlevlendirilmesi, mirasın hikâyesi turizm ürününe dönüştürüldüğü doğrultuda, projeler geliştirilmesi,**
- **Endüstriyel miras alanlarında öğretici ve eğlendirici etkinlikler düzenlenmesi ve bu alanlar turizm pazarlamasında farklı turizm türlerine eklemlenmesi, endüstri mirasının yeniden kullanımını, gerekli durumda rehabilitasyonu yapmayı, bu**

alanların, makro ölçekte; kentsel ve bölgesel bağlamda, mikro ölçekte ise bina ölçüğünde yenilenmelerini gerekli kılmıştır.

Turizm amaçlı kullanım için geri kazanılan fabrikalar ve maden alanları, yeni kültürel eğilimlerin en görünür ve en yeni yönlerinden biridir. İlgi alanları, bu tür turizmin diğer standartlaştırılmış kitle turizmi biçimlerinden büyük ölçüde farklı olduğu gerçeğinde yatmaktadır. Bir yandan madencilik ve endüstriyel miras turizmi, bazı ilgili, neredeyse kaçınılmaz yönlere vurgu yapılan ilginç projeler uygulayarak, giderek daha karmaşık bir çeşitlilik çerçevesinde yeni ve rekabetçi ürünler üretmiştir. Bölgesel çerçevede; yerel nüfusun katılımı ve mevcut kaynakların yeni kullanımının, rasyonel ve sürdürülebilir ilkelerine dayalı etkin yönetimidir. Bu yaklaşımda, yeni, tutarlı ve kaliteli kültürel ve turistik ürünlere olan bağlılığın başarı ve genel kabul görebileceği, bir sosyal değişim ve yeni bir küresel üretken model bağlamında kurularak kullanımı, yaşamsal zenginliği mekânlara kazandırmaktadır. Diğer bir yandan, turizm yönetiminin zorlukları önemlidir, çünkü çevresel kaygıları, kriz yönetimini (COVID-19 virüs pandemisinden kaynaklanan mevcut durum gibi) ele almak için yeni stratejiler ile bir turizmi teşvik etmeyi amaçlayan kültürel kalkınma planları oluşturmak gereklidir [40].

Karadeniz Havzasındaki ERIH kapsamında, turistik amaçlı rotaların oluşumunda yukarıda sözü edilen, ilkeler ve yaklaşımlar bağlamında, Karadeniz Havzasındaki ülkelerin öncelikle ‘**Uluslararası Endüstriyel Miras**’ anlayışı ile öncelikle ‘Ulusal Endüstriyel Miras Envanterini’ yapması teşvik edilmelidir. Bu çalışmadan sonra Karadeniz Havzasında yer alan tüm ülkeler Türkiye, Gürcistan, Rusya, Ukrayna, Moldavya, Romanya, Bulgaristan başta olmak üzere tüm endüstriyel miras envanterini bir araya getirerek, bu mirasın içerdiği kategorilere göre (ERİH kapsamında; Gıda sektörü, tekstil sektörü, ulaşım araçları sektörü, makine -kimya, maden sektörü, ulaşım binaları, enerji üretim tesisleri, su temin binaları, tren yolları başta olmak üzere gruplanmaktadır) endüstriyel miras ailesi oluşturulmalıdır. Bu mirasa yönelik ‘Karadeniz havzası endüstri mirası’ üst ve alt ölçeklerde kurgulanmalı, turizm ve kültürel miras kapsamında rotalar elde edilerek, turizm aracı ile sürdürülebilir bir koruma gerçekleştirilmelidir. Böylelikle gerek bölge kalkınmasında gerekse yeni tematik endüstriyel miras rotalarının hayata geçirilmesine, finansal kaynak üretilmesi de mümkün olacaktır. Bu çalışmalar adeta bir vakıf içeriğinde hayata



geçtiğinde, hem atıl durumda olan endüstri mirasının kurtarılmasına, hem de bir dönemin anılarını barındıran bu mekânların gelecek kuşakların yeni anılar biriktirmesine ortam hazırlanacaktır.

Bilgi Notu; Terimler

FICCIM, Birinci Uluslararası Endüstri Anıtlarını Koruma Kongresi - 1973 yılında, İngiltere’de; Kanada, Doğu ve Batı Almanya, İrlanda, Hollanda, İsveç ve Amerika Birleşik Devletleri’nin müzelerinden, üniversitelerinden ve devlet kurumlarından ilgilileri ve yetkilileri bir araya getiren kongre düzenlenmiştir.

SICCIM, İkinci Uluslararası Endüstri Anıtlarını Koruma Konferansı –1975 yılında, Almanya’nın Bochum kentinde gerçekleştirilmiştir.

TICCIH, Üçüncü Uluslararası Endüstri Mirasını Koruma Konferansı - 1978 yılında, İsveç’in Stockholm kentinde gerçekleştirilen, üçüncü toplantı ise yeni bir örgütlenmeye sahne olmuştur.

Teşekkür

Makalede Şekil 28 de yer alan Karadeniz Havzası Endüstriyel Miras Rotası (deniz ve karayolu) Potansiyellerini gösteren haritanın hazırlığında yardımcı olan Zeynep DAŞDEMİR’e teşekkürlerimizi sunarız.

7. KAYNAKLAR

- [1] Günaçar, E., Binaların Kullanım Sonrası Değerlendirilmesi Üzerine Bir Meta-Analiz Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 4,40, 2022
- [2] Anon, Zonguldak Endüstri Mirası, TR81 Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Mirası Ögelerinin Araştırılması, TC Sanayii Bakanlığı & Bakka Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, S 12, 23, 80, 2021
- [3] Saner, M., Endüstri Mirası: Kavramlar, Kurumlar ve Türkiye’deki Yaklaşımlar, researchgate.net, S 589, 2012, erişim tarihi 14.01.2022
- [4] Falconer, K., Industrial Archaeology Goes Universal, *Industrial Archaeology Review*, XXVII: 1, S 23-26, 2005
- [5] Köksal, G., İstanbul’daki Endüstri Mirası İçin Koruma ve Yeniden Kullanım Önerileri, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, S 117, 2005
- [6] Bulut, B., Endüstri Mirasının Değerlendirilmesi İçin Bir Model Önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, S 9-11, 2020



- [7] ČopićA*, S., ĐorđevićA, J., LukićA, T., StojanovićA, V., ĐukićinA, S., BesermenjiA. S., Snežana I., TumarićB, A., Transformation of Industrial Heritage - an Example of Tourism Industry Development in the Ruhr Area (Germany), Geographica Pannonica Volume 18, Issue 2, S 46, 2014
- [8] Köksal, G., Endüstri Devrimiyle Strüktürel Yapı Elemanı Olan Metal Malzeme ve Koruma Sorunları, Mimarist Dergisi, 13(1), S 45-52, 2009
- [9] ČopićA*, S., ĐorđevićA, J., LukićA, T., StojanovićA, V., ĐukićinA, S., BesermenjiA. S., Snežana I., TumarićB, A., Transformation of Industrial Heritage - an Example of Tourism Industry Development in the Ruhr Area (Germany), Geographica Pannonica Volume 18, Issue 2, S 45,47, 2014
- [10] ČopićA*, S., ĐorđevićA, J., LukićA, T., StojanovićA, V., ĐukićinA, S., BesermenjiA. S., Snežana I., TumarićB, A., Transformation of Industrial Heritage - an Example of Tourism Industry Development in the Ruhr Area (Germany), Geographica Pannonica Volume 18, Issue 2, S 49, 2014
- [11] Pardo A., Carlos, J., Valuation of Industrial Heritage in Terms of Sustainability: Some Cases of Tourist Reference in Spain, MDPI, Vol. 12, Issue 21, S 4,49, 2020
- [12] Pardo A., Carlos, J., Valuation of Industrial Heritage in Terms of Sustainability: Some Cases of Tourist Reference in Spain, MDPI, Vol. 12, Issue 21, S 6-7, 2020
- [13] Pardo A., Carlos, J., Valuation of Industrial Heritage in Terms of Sustainability: Some Cases of Tourist Reference in Spain, MDPI, Vol. 12, Issue 21, S 11, 2020
- [14] Pardo A., Carlos, J., Valuation of Industrial Heritage in Terms of Sustainability: Some Cases of Tourist Reference in Spain, MDPI, Vol. 12, Issue 21, S 13-14, 2020
- [15] Madrid Resmi Mimarlar Koleji (COAM)
- [16] Thorns, D. C., Kentlerin Dönüşümü, Çev: Esra Nal- Hasan Nal, Soyak Yayınları, İstanbul, S 37, 2004
- [17] Tümertekin, E., ve Özgüç, N., Sanayinin Yer Seçiminde Devletin Tavrı; Ekonomik Coğrafya Küreselleşme ve Kalkınma, 17. Baskı, Anka Matbaa, S 445-446, İstanbul, 2020
- [18] Tümertekin, E., ve Özgüç, N., Sanayinin Yer Seçiminde Devletin Tavrı; Ekonomik Coğrafya Küreselleşme ve Kalkınma, 17. Baskı, Anka Matbaa, S 473, İstanbul, 2020
- [19] Ertin, G.,Türkiye’de Sanayi, <https://docplayer.biz.tr/729992-Turkiye-de-sanayi-unite-amaclar-icindekiler-yazar-yrd-doc-dr-gaye-ertin.html>, S 170-171, erişim tarihi 14.01.2022



- [20] Anon, Zonguldak Endüstri Mirası, TR81 Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Mirası Ögelerinin Araştırılması, TC Sanayii Bakanlığı & Bakka Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, S 89-90, 2021
- [21] Anon, Zonguldak Endüstri Mirası, TR81 Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Mirası Ögelerinin Araştırılması, TC Sanayii Bakanlığı & Bakka Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, S 86, 2021
- [22] Anon, Zonguldak Endüstri Mirası, TR81 Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Mirası Ögelerinin Araştırılması, TC Sanayii Bakanlığı & Bakka Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, S 98, 2021
- [23] Anon, Zonguldak Endüstri Mirası, TR81 Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Mirası Ögelerinin Araştırılması, TC Sanayii Bakanlığı & Bakka Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, S 92-93, 2021
- [24] Anon, Zonguldak Endüstri Mirası, TR81 Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Mirası Ögelerinin Araştırılması, TC Sanayii Bakanlığı & Bakka Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, S 213-217, 2021
- [25] Anon, Zonguldak Endüstri Mirası, TR81 Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Mirası Ögelerinin Araştırılması, TC Sanayii Bakanlığı & Bakka Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, S 12, 23, 80, 2021
- [26] Anon, Zonguldak Endüstri Mirası, TR81 Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Mirası Ögelerinin Araştırılması, TC Sanayii Bakanlığı & Bakka Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, S 118-119, 2021
- [27] Anon, Zonguldak Endüstri Mirası, TR81 Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Mirası Ögelerinin Araştırılması, TC Sanayii Bakanlığı & Bakka Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, S 120-121, 2021
- [28] Anon, Zonguldak Endüstri Mirası, TR81 Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Mirası Ögelerinin Araştırılması, TC Sanayii Bakanlığı & Bakka Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, S 134-136, 2021
- [29] Ertin, G.,Türkiye’de Sanayi, <https://docplayer.biz.tr/729992-Turkiye-de-sanayi-unite-amaclar-icindekiler-yazar-yrd-doc-dr-gaye-ertin.html>, S 4, erişim tarihi 14.01.2022
- [30] Anon, Zonguldak Endüstri Mirası, TR81 Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Mirası Ögelerinin Araştırılması, TC Sanayii Bakanlığı & Bakka Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, S 105, 2021
- [31] Öktem, S., Karabük Demir Çelik Fabrikaları ve Yerleşkesi, Dosya 03 endüstri mirası, TMMOB Mimarlar Odası Ankara Şubesi, S 35, 2006
- [32] Uysal, M., Endüstriyel Miras ve Turizm İlişkisinin Türkiye Turizm Planlaması Kapsamında Değerlendirilmesi, Uluslararası Turizm ve Mimarlık Konferansı Bildiri Kitabı, Safranbolu, S 331-332, 2018
- [33] Ertin, G.,Türkiye’de Sanayi, <https://docplayer.biz.tr/729992-Turkiye-de-sanayi-unite-amaclar-icindekiler-yazar-yrd-doc-dr-gaye-ertin.html>, S 172, erişim tarihi 14.01.2022
- [34] Ertin, G.,Türkiye’de Sanayi, <https://docplayer.biz.tr/729992-Turkiye-de-sanayi-unite-amaclar-icindekiler-yazar-yrd-doc-dr-gaye-ertin.html>, S 175-179, erişim tarihi 14.01.2022



[35] Özen, H., ve Sert, A., Karadeniz’de Unutulan Endüstri Mirası, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt 21, No 3, S 499-508, 2006

[36] Anon, Zonguldak Endüstri Mirası, TR81 Batı Karadeniz Bölgesi Endüstri Mirası Ögelerinin Araştırılması, TC Sanayii Bakanlığı & Bakka Batı Karadeniz Kalkınma Ajansı, S 213, 2021

[37] Sert, A., Endüstri Binalarının Yeniden İşlevlendirilmesi: Karadeniz Bölgesi Tekel Binalarının Analizi ve Yeni İşlev Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004

[38] Topaloğlu, G., Bir Yok Mekân Öyküsü, Trabzon Tekel Binası, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013

[39] Karadeniz Havzası Endüstriyel Miras Rotası (deniz ve karayolu) Potansiyellerine ait çizim, 2022 Eğitim-Öğretim Yılında, makalenin yazarlarından Doç.Dr.Timur KAPROL ve Mimarlık öğrencisi Zeynep DAŞDEMİR tarafından hazırlanmıştır.

[40] Pardo A., Carlos, J., Valuation of Industrial Heritage in Terms of Sustainability: Some Cases of Tourist Reference in Spain, MDPI, Vol. 12, Issue 21, S 49, 2020

(URL1) TICCIH - 2003, The NizhnyTagil Charter for the Industrial Heritage

(URL2) UNESCO-WHC Web Sitesi.

(URL3) https://www-erih-net.translate.google/about-erih/route-system?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=tr&_x_tr_hl=tr&_x_tr_pto=sc erişim tarihi: 14.03.2022 saat 15.20

(URL4)

https://www.google.com/search?q=izmit+seka+ka%C4%9F%C4%B1t+fabrikas%C4%B1&sxsrf=APq=WBucTpvN9o5jHwZWr4034cpMfcKvA:1647262906832&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjK7qbD1MX2AhUHxYUKHZWNA6YQ_AUoAXoECAIQAw&biw=1366&bih=625&dpr=1#imgre=S1cQyvi6eTXbEM erişim 14.03.2022 saat:18.00

(URL5) https://whc.unesco.org/uploads/thumbs/site_0975_0015-500-333-20180808113234.jpg 14.03.2022 saat 18.57

(URL6) https://whc.unesco.org/uploads/thumbs/site_0975_0007-500-333-20180808113225.jpg 14.03.2022 saat 19.00

(URL7) https://whc.unesco.org/uploads/thumbs/site_0975_0014-500-333-20180808113233.jpg erişim tarihi 14.03.2022 saat 18.55

(URL8) <https://www.erih.net/i-want-to-go-there/site/steaua-romana-refinery>

(URL9) Tobacco City-ERIH, <https://www.researchgate.net/profile/Mirela>



(URL10) <https://www.limenproject.net/varna/museums-and-galleries-varna/naval-museum-varna/>.

(URL11) <https://www.erih.net/i-want-to-go-there/site/arcelormittal-kryvyi-rih-coking-plant-and-museum>

(URL12) <https://www.erih.net/i-want-to-go-there/site/inhulets-mining-and-processing-plant-open-cast-mine>

(URL13) <https://www.erih.net/i-want-to-go-there/site/south-mining-and-processing-plant-quarry>

(URL14) https://www.erih.net/i-want-to-go-there/site/pjsc-arcelor-mittal-kryvyi-rih-open-air-museum-of-mining-equipment?tx_erihsites_erihmap%5BgetVars%5D%5Baction%5D=Sites&cHash=9641cb6385607ea801251889e432d862

(URL15) https://www.erih.net/i-want-to-go-there/site/pjsc-north-mining-and-processing-plant-open-air-museum-of-mining-equipment?tx_erihsites_erihmap%5BgetVars%5D%5Baction%5D=getc&tx_erihsites_erihmap%5BgetVars%5D%5Bsites%5D=13&cHash=1d29311321abc6e09f6bde64a033b189

(URL16) www.roshen.com

(URL17) <https://www.erih.de/da-will-ich-hin/site/regionales-geschichtsmuseu>

(URL18) <https://www.orangesmile.com/gezirehberi/donetsk/index.html>

(URL19) <https://www.erih.de/da-will-ich-hin/site/energiemuseum-santralistanbul>

(URL20) <https://www.erih.de/da-will-ich-hin/site/industriemuseum-rahmi-koc>

(URL21) <https://www.erih.de/da-will-ich-hin/site/bergbaumuseum-zonguldak>

(URL22) <https://www.erih.de/da-will-ich-hin/site/hasanpasa-gaswerkpark-und-museumskomplex>

(URL23) <https://www.erih.de/da-will-ich-hin/site/eisenbahnmuseum-istanbul>

(URL24) <https://www.erih.de/da-will-ich-hin/site/papierfabrik-seka>

(URL25) <https://www.erih.de/da-will-ich-hin/site/seilbahnsystem>

(URL26) <https://www.erih.de/da-will-ich-hin/site/staatliches-seidenmuseum>

(URL27) <https://www.erih.de/da-will-ich-hin/site/technikmuseum-gebrueder-nobel>

(URL 28) <https://www.archdaily.com/928510/stamba-hotel-adjara-arch-group>
Erişim tarihi: 01.04.2022, Erişim saati: 03.00



(URL29)

<https://www.google.com/search?q=kuzey+kafkasya+demir+yollar%C4%B1+m%C3%BCzesi&sxsrf> Erişim tarihi: 16.03.2022

(URL30)

https://tr.wikipedia.org/wiki/Kuzey_Kafkasya_Demiryolu#/media/Dosya:Skgd_Rostov_on_Don.jpg Erişim tarihi: 16.03.2022

(URL31) https://tr.wikipedia.org/wiki/Kuzey_Kafkasya_Demiryolu Erişim tarihi: 16.03.2022

(URL32) "Адмиралтейский судостроительный завод",
<https://www.citywalls.ru/house8263.html> Erişim tarihi: 31.03.2022

(URL33) <https://www.citywalls.ru/house8263.html>

(URL34) <https://hraniteli-nasledia.com/articles/nasledie-rossii/promyshlennaya-arkhitektura-v-kulturnom-prostranstve-rossii/>

(UR35) http://kirill-kravchenko.narod.ru/werksdenkmal/gebiet_admiral/01/admiral_01.htm

(URL36) <http://kirill-kravchenko.narod.ru/werksdenkmal/index.html>

(URL37) https://www.wikiwand.com/en/Admiralty_Shipyards

(URL38) <https://archi.ru/russia/92273/promyshlennyi-peterburg>

(URL39) https://en.wikipedia.org/wiki/Admiralty_Shipyards

(URL40)

[Невский район Санкт-Петербурга - презентация онлайн \(ppt-online.org\)](#) erişim 29.03.2022

(URL41)

https://ic.pics.livejournal.com/archmol_mila/83572552/60079/60079_900.jpg Erişim: 29.03.2022

(URL42)

Obukhov tesisi Обуховский завод: Yandex.Görsel'de 984 görsel bulundu
Erişim: 29.03.2022

(URL43)

Obukhov Devlet Tesisi (wblog.wiki) Erişim tarihi: 29.03.2022

(URL44) <https://www.arkitera.com/haber/renzo-piano-moskova-elektrik-santralini-cagdas-sanat-merkezine-donusturuyor/> Erişim tarihi: 27.03.2022



Araştırma

Kaprol&Minez/Kırklareli University Journal of Engineering and Science 8-2 (2022) 376-426



DOI: 10.34186/klujes.1191205

Geliş Tarihi: 18.10.2022

Kabul Tarihi: 30.12.2022

(URL45) <http://arkipedia.com/moskova-elektrik-santrali-sanat-merkezi/amp/> Erişim tarihi: 27.03.2022

(URL46) <http://mimdap.org/2021/12/ges-2-moskova-kultur-evi> Erişim tarihi: 27.03.2022



TIBBİ LABORATUVARLARDA KULLANILAN ELİSA VE LC-MS CİHAZLARININ ANALİZ ÖLÇÜMLERİ ÜZERİNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Sevilay İNAL KABALA¹, Saffet ÇELİK²

¹Tıbbi Laboratuvar Programı, Kırklareli Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Kırklareli, Türkiye

²Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi, Trakya Üniversitesi, Edirne, Türkiye

Öz

Klinik numunelerde yapılan kalitatif ve kantitatif tayinlerin hastaların sağlığı açısından kritik bir öneme sahip olduğu bilinmektedir. Klinik analizlerin gerçekleştirildiği cihazların performans ve kaliteleri, sonuçların doğruluğunu etkilemektedir. Hastalığın tanısının konması ve tedavide doz ayarının yapılabilmesi gibi önemli kararların alınabilmesi, cihazların performansına bağlıdır. Bu çalışmada klinik uygulamalar arasından toksikolojik analiz, steroid hormon ölçümü, tam kanda takrolimus seviyesi ve idrarda bisfenol A analizleri için ELİSA (enzim bağlı immunosorbent analizi) ve LC-MS (sıvı kromatografi-tandem kütle spektrometresi) tekniği karşılaştırılmış ve analiz seçimini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: ELİSA, LC-MS, toksikoloji, steroid hormon, LC-MS/MS, LC-QTOF

COMPARISON OF ELISA AND LC-MS DEVICES USED IN MEDICAL LABORATORIES OVER ANALYSIS MEASUREMENTS

Abstract

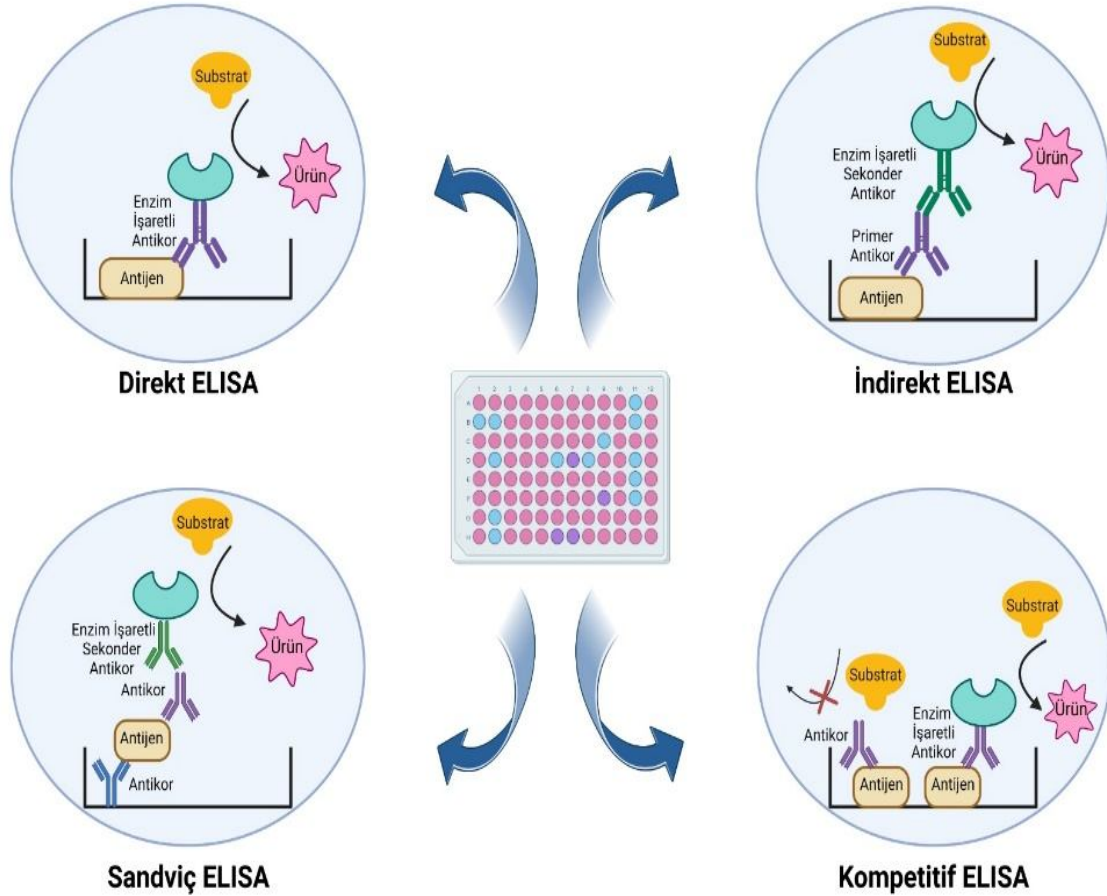
It is known that qualitative and quantitative determinations made in clinical samples have a importance for the health of patients. The performance and quality of the devices on which clinical analyzes are performed affect the accuracy of the results. Making very important decisions, such as diagnosing the disease and adjusting the dose in treatment, depends on the performance of the devices. In this study, ELISA (enzyme-linked immunosorbent analysis) and LC-MS (liquid chromatography-tandem mass spectrometry) techniques for toxicological analysis, steroid hormone measurement, whole blood tacrolimus level and urine bisphenol A analyzes were compared among clinical applications and how they affect the analysis selection was investigated.

Keywords: ELISA, LC-MS, toxicology, steroid hormone, LC-MS/MS, LC-QTOF

Sorumlu Yazar: Sevilay İNAL KABALA, sevilay.inal@klu.edu.tr

1. Giriş

Hastalıkların tanısının konulması, tedavi takip sürecinde alınan numunelerdeki biyobelirteçlerin varlığını-düzeyini ölçmek ve doğrulama ölçümlerini gerçekleştirmek için birtakım teknolojiler kullanılır. Bu teknolojiler aynı zamanda tedavi sırasında verilecek ilaç dozaj tespiti ve ne zaman verileceğini belirlemek amacıyla da kullanılır. İşlem süresi kısa olan, düşük maliyete sahip, yüksek verimde ve daha doğru sonuçlar veren teknolojiler tercih edilmektedir. Günümüzde tıbbi laboratuvarlarda bu amaçlar doğrultusunda sıklıkla tercih edilen cihazlar immünoanaliz türü olan ELİSA (enzim bağlı immunosorbent analizi) cihazlarıdır. ELİSA, antijen ile antikor arasındaki reaksiyondan köken alarak antikora bağlı enzimin aktivitesini araştırmaya dayalı ölçüm tekniğidir [1-2]. ELİSA dört çeşit varyasyona sahip immünolojik testtir (Şekil1).



Şekil 1. ELİSA Yönteminin Çeşitleri

ELİSA'da antikor aranacaksa mikropkaka yüzeylerine antikora spesifik antijen bağlanmalı, antijen aranacaksa mikropkaka yüzeylerine antijene spesifik antikor bağlanmalıdır.

Direkt ELİSA:

- Antijen barındıran numunenin inkübasyonu ile mikropkaka yüzeyine adsorbsiyonu gerçekleşir.
- İkinci basamakta enzim bağlı (işaretli) antikorun antijene tutunması sağlanır ve bir süre inkübe edilir.
- Yıkama işlemi uygulanarak bağlanmayan işaretli antikorların ortamdan uzaklaştırılması sağlanır.
- Son adımda enzimin substratının eklenmesiyle renkli bileşen (ürün) oluşur ve spektrofotometreyle ölçümü gerçekleştirilir.

İndirekt ELİSA:

- Antijen barındıran numunenin inkübasyonu ile mikropkaka yüzeyine adsorbsiyonu gerçekleşir.
- Ortama işaretsiz primer antikorlar eklenerek antijene tutunması sağlanır.
- Yıkama işlemi gerçekleştirilerek bağlanmayan fazlalık antikorlar uzaklaştırılır.
- Primer antikorlara özgü enzim bağlı sekonder antikor ilavesi yapılır ve bir süre inkübe edilir.
- İkinci bir yıkama işlemi yapılarak sekonder antikor fazlalıkları ortamdan uzaklaştırılır.
- Ortama enzim substratının eklenmesiyle oluşan renkli bileşen oluşur ve spektrofotometreyle ölçümü gerçekleştirilir.

Sandviç ELİSA:

- Direkt veya indirekt olarak uygulanabilir.
- Mikropkaka yüzeyine antikorların sabitleştirilmesiyle (immobilizasyon) işlem başlatılır.
- Antijen barındıran numunenin inkübasyonu ile antijen-antikor kompleksi oluşması beklenir.
- Yıkama işlemi gerçekleştirilerek bağlanmayan fazlalık antijenler uzaklaştırılır.
- Enzim işaretli bir diğer antikor ortama tatbik edilerek antijenin farklı bir epitobundan bağlanması beklenir.

- Yıkama işlemi gerçekleştirilerek bağlanmayan işaretli antikorlar ortamdaki uzaklaştırılır.
- Ortama enzim substratının eklenmesiyle oluşan renkli bileşen oluşur ve spektrofotometreyle ölçümü gerçekleştirilir.

Kompetitif ELİSA:

- Mikroplaka yüzeyine antijen veya antikorların bağlanmasıyla işlem başlatılır.
- Mikroplaka üzerine işaretli ve işaretli olmayan ligantlar (antijen/antikor) eklenir ve inkübe edilir.
- İnkübasyon süresi içerisinde işaretli ve işaretli olmayan ligantlar antijen veya antikora bağlanmak için yarışır.
- Yıkama işlemi ile ortamdaki bağlanmamış olan ligantlar uzaklaştırılır.
- Ortama enzim substratının eklenmesiyle oluşan renkli bileşen oluşur ve spektrofotometreyle ölçümü gerçekleştirilir.
- Renkli bileşen oranı işaretli ligant miktarıyla (işaretli ligant ile substrat reaksiyon verip renkli bileşen oluşturacağından) doğru orantılı, işaretli ligant miktarıyla ters orantılıdır.

ELİSA'nın güçlü yönleri:

- Testler için ticari firmalar tarafından tedarik edilen kitler sayesinde kullanım kolaylığı içermektedir. Bu sayede personeli sürekli eğitime zorunluluğu ortadan kalkar.
- Temelde ekipman maliyetleri makul seviyededir. Otomasyonu geliştirmeye yönelik eklemeler yapılması maliyeti arttırır.
- Sinyal güçlendiricilerle birleştirildiği takdirde yüksek seviyede duyarlılığa sahip olurlar.
- Geniş bir uygulama alanına sahip olduğu için ELİSA'da testlerin doğrulanması ve amaca uygun olarak kabul edilmesinde muhtemel sorunları gidermeye yardımcı olacak performansa sahiptir.
- Birden fazla numuneyi aynı anda değerlendirme yeteneğinden dolayı kısmen yüksek verim sağlar [3].

ELİSA'nın sınırlamaları:

- Çok seçici antikorları üretmenin zorluğundan dolayı seçicilikte sınırlamalara neden olabilir. Konfigürasyondaki en ufak bir değişikliğin ligantların bağlanmasında sorun yaratabilir.

- Antikorların izoform yapıları veya post translasyon modifikasyonları söz konusu olduğunda antijenlerde oluşan farklılıklardan dolayı analit tespitini tam olarak yapamayabilir [4].
- Komplike sürece sahip antikorlardan kaynaklı özellikle testler arasında değişkenlik farklı oranlarda sapmalara neden olmaktadır. Bu da tekrarlanabilirliği olumsuz şekilde etkilemektedir.
- ELİSA ölçümlerinde kullanılan reaktif maliyeti ve günlük çalıştırma maliyetleri göz önüne alındığında numune başına maliyeti çok fazla arttırmaktadır.
- Test ölçümlerinde yer alan basamaklardan (inkübasyon, yıkama) kaynaklı test süresinin uzaması ELİSA'nın sınırlamaları arasındadır.

LC-MS (sıvı kromatografi-tandem kütle spektrometresi); HPLC (yüksek performans sıvı kromatografisi) ve MS (kütle spektrometresi) teknolojilerinin birlikte çalıştırılarak kalitatif ve kantitatif tayinlerinde kullanılan cihazlardır [5]. LC-MS'in çalışma prensibi;

- Numunelerdeki biyobileşenlerin fizikokimyasal özelliklerine göre ayrılması (her bir biyobileşenin sabit faza farklı afinitelerde bağlanmasına bağlı olarak ayrıştırılması esasına dayanır),
- İyonizasyon işleminin uygulanması ile moleküllerin iyon haline dönüştürülmesi,
- İyonların kütle/yük oranına göre ayrılması [6],
- Azot gazıyla parçalama işlemi,
- Parçalanma sonucu oluşan iyonların doğrudan kütle ölçümü, TOF (uçuş zamanlı) veya QTOF (kuadrupol uçuş zamanlı) gibi çok hassas ve güçlü araçlar kullanılarak kalitatif ve kantitatif tayinlerinin yapılmasını içermektedir.

LC-MS bu sayede karmaşık numunelerde herhangi bir ön işlem yapılmadan analize izin verir [7]. Eser miktarda bileşenlerin tespiti, hormonların, toksik maddelerin, metabolitlerin, proteinlerin karakterizasyonunda kullanılır.

LC-MS'in güçlü yönleri:

- Hassas numune ekstraksiyonu ve kromatografi uygulama işleminin titizlikle yapılması sağlanırsa çok düşük konsantrasyonlarda (pikomol) analiz yapabilir.

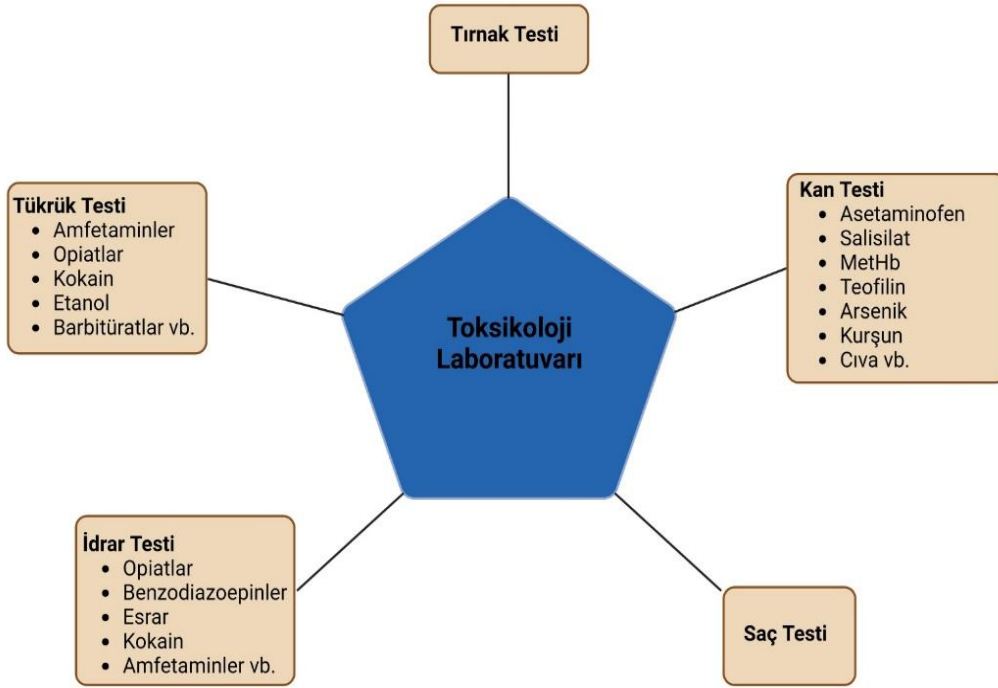
- Yüksek numune hacimlerinin alınması mümkün olmayan durumlarda bile çok düşük numune mikarları analizi gerçekleştirilmeye yeterli olmaktadır.
- Yapı olarak birbirine benzer moleküllerin ayrımını yapan yüksek seçiciliğe sahip cihazlardır.
- Kullanılan kolon ve çözücüler dikkate alındığında numune başına düşen maliyet oldukça düşüktür.
- HPLC'nin tutma süresindeki hassasiyete bağlı olarak testler arasında standart sapmalar çok düşük olmaktadır. Bu da tekrarlanabilirliğin yüksek olduğunu gösterir.
- HPLC'nin yüksek hızda biyomolekülleri ayırması, MS'in de eş zamanlı olarak analiz yapması zamandan tasarruf sağlamasını mümkün hale getirir.
- LC-MS'te iyonize edilebilen bütün bileşenlerin analizi gerçekleştirilebilir.
- Aynı anda birçok analitin analizi gerçekleştirilebilir.

LC-MS'in sınırlamaları:

- MS'in çalışma işlemi ve yorumlama basamağı karmaşık olduğundan eğitimli personel ihtiyacı doğar. Buna bağlı olarak eğitime de yatırım yapılması söz konusu olacaktır.
- Ekipmanın maliyeti ve bakım masrafları oldukça yüksektir.
- Numunelerin karmaşıklığı (özellikle proteinlerde) dikkate alındığında MS öncesinde HPLC'de iyi bir ayırım yapabilmek için enzimatik olarak peptitlere parçalanma işleminin yapılması gerekir. MS peptitlere karşı daha hassastır. Enzimatik süreçte proteinlerin peptitlere dönüşümü MS'in hassasiyetini değiştirebilir.

Kütle spektroskopi sistemleri ve ELISA yöntemi aynı veya benzer analizlere uygulanmakta ve paralel sonuçlar elde edilmektedir. Ancak bu iki analiz sistemin birbirlerine karşı birtakım avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Rutin laboratuvarlarda uygulanan bazı analizlerin bu iki cihaz ile yapılması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi aşağıdaki gibidir.

Metabolizmaya zarar veren her türlü madde (kimyasal, radyoaktif, biyokimyasal) toksikoloji laboratuvarında tayin edilir. Özellikle yasadışı ve kötüye kullanılan ilaç ve madde analizinin gerçekleştirilmesinin yanı sıra madde bağımlılığının tespitinin yapıldığı önemli laboratuvarlardır [8].



Şekil 2. Toksikoloji Laboratuvarında Yapılan Testler

Son yıllarda özellikle uyarıcı madde kullanımının artmasına bağlı olarak, uyarıcı maddelerden türetilen ‘tasarım ilaçları’ gün geçtikçe artmaktadır. Bilinen maddelerde gerçekleştirilen küçük kimyasal modifikasyonlarla yapıları değiştirildiği için tespit edilmesi ve doğrulanmasında zorluklara neden olabilmektedir. Toksikoloji laboratuvarlarında genel olarak toksik maddelerin tespiti için ELİSA gibi immünolojik tarama yöntemleri kullanılır (Şekil 2). Ancak doğrulama için GC-MS, LC-MS/MS gibi tekniklerden yararlanılması gereklidir. Afyon veya türevlerinden izole edilen ve çeşitli kimyasal reaksiyonlar sonucunda türevlendirilen opiatlar biyoaktif moleküllerdir ve farklı etkilere sahiptirler. Geçmiş yıllarda anestezik ve ağrı kesici olarak kullanılmışlardır [9]. Halisünatif ve bağımlılık yapıcı etkilerinden dolayı günümüzde sadece bazı opiatlar tıbbi olarak kullanılmaktadır. Giderek artan uyuşturucu kullanımından dolayı toksikolojik analizlerde özellikle morfin ve türevleri çeşitli yöntemlerle insan kan, idrar ve saç örneklerinde taranmaktadır. Tam kanda opiatların ve böbrekte metabolize olması sonucu üretilen glukoronit türevlerinin (morfin, morfin glukoronit, kodein, kodein glukoronit, hidrokodon, hidromorfin, hidromorfin glukoronit,

oksikodon, oksimorfin ve oksimorfin glukoronit) analizi ELISA ve LC-QTOF sisteminde yapılmıştır [10]. Toplam 968 tam kan örneğinde yapılan analizler ve yapılan istatistiksel veriler kütle sistemlerinin daha düşük limitlerde analiz yapabildiğini ve ELISA sonuçlarında hatalı-pozitif veya hatalı-negatif sonuçlar üretebildiğini göstermiştir. ELISA yöntemi ile numunelerden 5 tanesinde hatalı-pozitif sonuç elde edilirken 2 tanesinde hatalı-negatif sonuç elde edilmiştir [10].

Steroidler kolesterol öncül bileşiklerdir. Steroid hormonlar sentezlendikleri bölgelerden, hedef organlarında yer alan reseptörlerine bağlanarak bir dizi metabolik reaksiyonu başlatırlar. Steroid hormonların sentezlenme veya salınımında yaşanan problemler, bir takım metabolik sorunlara yol açar. Vücudumuzda moleküler yapıdaki başlıca hormonlar steroid türevlidirler. Fizyolojik olayların düzenlenmesinde, metabolizmanın işleyişinde, bağışıklık sisteminde, hücrelerin doğru ve zamanlı çalışmasında önemli rol oynamaktadırlar [11]. Steroid hormonların analizi genelde immünojenik yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Steroid türevli hormonlardan olan androstendione karşılaştırmalı olarak RIA (Radioimmunoassay), ELISA ve kütle kromatografisi sistemi ile serum numunelerinde analiz edilmiştir. Yeni geliştirilen LC-MS/MS metodunun verifikasyonu ve validasyonu yapılmış, diğer metotlara göre üstünlüğü istatistiksel olarak verilmiştir [12]. Yapılan analizler neticesinde en fazla hatalı girişimin ELISA yönteminde olduğu ve bu nedenle LC-MS/MS ve RIA'ya göre androstendione konsantrasyonlarının daha yüksek bulunduğu belirtilmiştir [12].

Organ nakli olan kişilerde, organın vücuda uyum sağlama sürecinde bağışıklık sistemi baskılayıcı ilaçlar verilmektedir ve bu ilaçların en yaygın kullanılanı takrolimustur. Böbrek ve karaciğer nakli olmuş hastalarda takrolimus konsantrasyonunun başlangıçta 12 saatte bir kontrol edilmesi gerekmektedir [13]. İlerleyen süreçte haftada bir ve ayda bir ölçüm yapılmaktadır ve bu periyodik ölçüm 2-3 yıl kadar sürmektedir. Böbrek ve karaciğer nakli olmuş hastalarda takrolimus seviyesi ölçümleri ELISA ve kütle spektroskopisi ile yapılmış, hatalı sonuç aralığı ve girişim kaynaklı konsantrasyon farklılıkları belirlenmiştir [14]. Elde veriler değerlendirildiğinde ELISA sonuçlarında %3-13'lük bir standart sapmaya sebep olduğu görülmüştür. Yine ELISA ile yapılan analizlerde takrolimus konsantrasyonunun %25'e kadar fazla olduğu rapor edilmiştir. Bunun başlıca nedeninin düşük konsantrasyonlarda ELISA sisteminde girişimin olması ve buna bağlı olarak hatalı pozitif ya da negatif sonuç üretme ihtimalinin kütle sistemlerine göre daha yüksek

olmasıdır.

Kas ve iskelet sistemimizin işleyişinde önemli bir yere sahip olan D vitamini üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde bağışıklığın yanı sıra birçok kanser türünün önlenmesindeki etkileri makalelerde sıklıkla yer almaktadır [15]. D vitaminin günlük alım dozu ve insan serumundaki seviyesinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve uygulanmaktadır. Serumda veya tam kanda AOAC (The Association of Official Analytical Chemists)'in tavsiye ettiği referans metot sıvı kromatografisi-kütle spektrometresi ile yapılmaktadır. Cihaz maliyetinin düşük olması nedeniyle günümüzde hastane merkez laboratuvarlarında ve rutin laboratuvarlarda genellikle ELISA, RIA veya CLIA (kemilüminesans immunoassay) kullanılmaktadır. D vitamini (D₃ vitamini) analizlerinde aynı numuneler kullanılarak yapılan karşılaştırmalı analizlerde tüm yöntemlerle elde edilen sonuçların birbirine paralel olduğu belirtilmiştir [16]. Düşük konsantrasyonlarda analiz yapabilme özelliğinde dolayı kütle sistemlerinin üstünlüğü vurgulansa da klinik araştırmalar sonucunda elde edilen sonuçların örtüştüğü belirlenmiştir. Ayrıca kütle sistemlerinin bir yürütmede D₃ vitaminin yanı sıra D₂ vitamini, epi-D₃ ve hidroksi-D₃ vitaminlerini de analiz edebildiği de bahsedilmiştir [16].

Plastik polimerleri yumuşatmak ve istenilen elastikiyeti kazandırmak için kullanılan bisfenol A (BPA) çok iyi bir kanserojen maddedir [17]. İnsanlar, bu tür kimyasallara günlük hayatta kullandıkları plastik materyallerden dolayı maruz kalmakta ve etkilenmektedirler. İnsan serum ve idrarında BPA analizi için LC-MS/MS, ELISA ve LC-ECD (sıvı kromatografisi-elektron capture dedektörü) sistemleri kullanılmış sonuçlar değerlendirilmiştir. ELISA yönteminin insan serum ve idrarında düşük miktarlardaki BPA'yi (0,2 ng/mL) analiz etmede yetersiz kaldığı ve özellikle idrarda girişimlerin çok fazla olduğu belirtilmiştir. LC-MS/MS ve LC-ECD sistemlerindeki sonuçların birbiriyle örtüştüğü ve iyi bir korelasyona sahip oldukları dile getirilmiştir. Ayrıca BPA'nın metaboliti olan ve idrarda düşük limitlerde bulunan BPA-glukoronitin ölçümünün LC-MS/MS ve LC-ECD sisteminde kolaylıkla yapılabildiği vurgulanmıştır [18].

2. Sonuç ve Öneriler

LC-MS yöntemlerinin numune analizleri yüksek doğruluk ve hassasiyete sahip olmasına rağmen pahalı bir teknik ve ölçüm süresi uzundur. ELİSA ölçümleri için özellikle insan numunelerinde ön işlem gerekliliği, çapraz reaksiyona girme eğilimi de mevcuttur. Tıbbi laboratuvarlarda yapılan

analizlerde kullanılan her iki metodun birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları mevcuttur [3, 18]. Bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Tablo 1).

Tablo 1. ELISA ve Kütle sistemlerinin Karşılaştırılması [20, 21, 22]

	ELISA	Kütle Sistemleri (LC-MS ve LC-QTOF)
1	Kullanılan cihaz ucuz ve kolay temin edilebilir	Cihaz pahalı ve temini zor
2	Cihaz kullanımı basit	Cihaz kullanımı zor ve uzmanlık (eğitim) gerektiriyor
3	Numune hazırlığı kolay	Numune hazırlığı zor ve analize göre çeşitli kademelerden oluşabilir
4	Nanogram veya nanomol limitlerinde analiz yapılabilir	Pikogram veya pikomol limitlerinde analiz yapılabilir (ELISA'dan 10-1000 kat daha hassas)
5	Girişim olma ihtimali yüksek	Girişim olma ihtimali çok düşük
6	Bir yürütmede sadece bir analitin konsantrasyonu belirlenir	Bir yürütmede yüzlerce analitin konsantrasyonu belirlenebilir
7	Cihaz bakım ve kalibrasyonu kolay	Cihaz bakım ve kalibrasyonu zor
8	Pozitif sonuçların doğrulanma ihtimali mevcut	Pozitif sonuçların doğrulanmasına gerek yok
9	Farklı matrisler için yeni yöntem şart	Farklı matrisler aynı metotta analiz edilebilir
10	Birim analiz maliyeti yüksek	Birim analiz maliyeti düşük

Tıbbi laboratuvarlarda üretilen sonuçlar direk olarak hasta sağlığını etkilemektedir. Elde edilen sonuçlar ile yanlış tedavi yönteminin uygulanması telafi edilemez sonuçlar doğurabilmektedir. Gelişen teknolojiye ayak uydurmak ve nitelikli elaman yetiştirmek kurumların başlıca görevlerinden biridir. Kütle sistemleri ile yapılan analizler hassas ve yüksek doğrulukta olmaktadır. Günümüzde hastane merkezi laboratuvarlarında bu cihazlar yerini almakta ve gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Tıbbi laboratuvarlarda analiz edilen hormonlar, vitaminler, toksikolojik



maddeler, ilaç düzeyleri, peptitler ve moleküler yapıdaki metabolitlerin kütle sistemine entegrasyonunun yapılması ve sistemlerin optimize edilmesini de öneriyoruz.

Kaynaklar

- [1] Msagati, T.A.M., Food Forensics and Toxicology. Johannesburg. John Wiley & Sons, 2018.
- [2] Crowther, J.R., Basic Immunology. In: ELISA pp:1–34. New Jersey. Humana Press, 1995.
- [3] Cross, T.G., Hornshaw, M.P., Can LC and LC-MS ever replace immunoassays? J Appl Bioanal, 2(4):108–116, 2016.
- [4] Fuchs, S.M., Krajewski, K., Baker, R.W., Miller, V.L., Strahl, B.D., Influence of Combinatorial Histone Modifications on Antibody and Effector Protein Recognition. Current Biology, 21(1):53–58, 2011.
- [5] de Hoffmann, E., Stroobant, V., Mass Spectrometry: Principles and Applications. 3rd ed. England. John Wiley & Sons, 2007.
- [6] Karpievitch, Y.V., Polpitiya, A.D., Anderson, G.A., Smith, R.D., Dabney, A.R., Liquid chromatography mass spectrometry-based proteomics: Biological and technological aspects. Ann Appl Stat, 4(4):1797–1823, 2010.
- [7] Murphy, R.E., Kinkhikar, A.G., Shields, M.J., del Rosario, J., Preston, R., Levin, N., Ward, G., Combined use of immunoassay and two-dimensional liquid chromatography mass spectrometry for the detection and identification of metabolites from biotherapeutic pharmacokinetic samples. J Pharm Biomed Anal, 53(3):221–227, 2010.
- [8] Piekoszewski W, Florek E., The role of laboratory examinations in medical toxicology. Przegl Lek., 62(10):954-9. PMID: 16521926, 2005.
- [9] Hemmings, H.C., Egan, T.D. Pharmacology and physiology for anesthesia: foundations and clinical application. Philadelphia. Elsevier/Saunders, 2013.
- [10] Kennedy, D., Dani, M., Comparative Analysis of ELISA Immunoassay and LC-QTOF for Opiate Screening. J Anal Toxicol, 44(4):410–413, 2020.
- [11] Frye, C.A., Steroids, reproductive endocrine function, and affect. A review. Minerva Ginecol, 61(6):541–562, 2009.
- [12] Yucel, K., Abusoglu, S., Unlu, A., Comparison of Immunoassay and Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry Methods in the Measurement of Serum Androstenedione Levels. Clin Lab, 64(1):69–75, 2018.
- [13] Fernández de Castillo Torras, L., Biterna Tejeiro, A., Pla Farnós, M.J., Ponce Sebastià, J., Treatment with ulipristal acetate (Esmya ®) and plasma levels of tacrolimus: a case report. European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology, 203:337–338, 2016.



- [14] Staatz, C.E., Taylor, P.J., Tett, S.E., Comparison of an ELISA and an LC/MS/MS Method for Measuring Tacrolimus Concentrations and Making Dosage Decisions in Transplant Recipients. *Ther Drug Monit*, 24(5):607–615, 2002.
- [15] Norman, A.W., From vitamin D to hormone D: fundamentals of the vitamin D endocrine system essential for good health. *Am J Clin Nutr*, 88(2):491S-499S, 2008.
- [16] Arneson, W.L., Arneson, D.L., Current Methods for Routine Clinical Laboratory Testing of Vitamin D Levels. *Lab Med*, 44(1): e38–e42, 2013.
- [17] Hengstler, J.G., Foth, H., Gebel, T., Kramer, P-J., Lilienblum, W., Schweinfurth, H., Völkel, W., Wollin, K.-M., Gundert-Remy, U., Critical evaluation of key evidence on the human health hazards of exposure to bisphenol A. *Crit Rev Toxicol*, 41(4):263–291, 2011.
- [18] Fukata, H., Miyagawa, H., Yamazaki, N., Mori, C., Comparison of Elisa- and LC-MS-Based Methodologies for the Exposure Assessment of Bisphenol A. *Toxicol Mech Methods*, 16(8):427–430, 2006.
- [19] Gandhi, A.S., Budac, D., Khayrullina, T., Staal, R., Chandrasena, G., Quantitative analysis of lipids: a higher-throughput LC–MS/MS-based method and its comparison to ELISA. *Future Sci OA*, 3(1): FSO157, 2017.
- [20] Gross, M. S., Woodward, E. E., & Hladik, M. L., Evaluation of ELISA for the analysis of imidacloprid in biological matrices: Cross-reactivities, matrix interferences, and comparison to LC-MS/MS. *Chemosphere*, 286(3): 131746, 2022.
- [21] Tron, C., Lemaitre, F., Bros, P., Goulvestre, C., Franck, B., Mouton, N., & Blanchet, B., Quantification of infliximab and adalimumab in human plasma by a liquid chromatography tandem mass spectrometry kit and comparison with two ELISA methods. *Bioanalysis*, 14(11): 831-844, 2022.
- [22] Foulon, N., Goonatilleke, E., MacCoss, M. J., Emrick, M. A., & Hoofnagle, A. N., Multiplexed Quantification of Insulin and C-peptide by LC-MS/MS without the Use of Antibodies. *Journal of Mass Spectrometry and Advances in the Clinical Lab.*, 25:19-26, 2022.

ÇELİKHANE CÜRUFUNUN TÜRKİYE’DE BALASTALTI MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ULUSAL VE ULUSLARARASI ŞARTNAMESLER KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Fatih YONAR^{1*}, H. Attila DİKBAŞ²

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çanakkale/TÜRKİYE

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Teknokent Genel Müdürlüğü, İstanbul/TÜRKİYE

Öz

Doğal agrega, küresel bazda en çok kullanılan hammadde olarak tanımlanmaktadır. Taş ocaklarının doğal alan tüketimindeki payı ve ekolojik etkileri nedenleriyle geri dönüşüm, yeniden değerlendirme ve yapay agrega kullanımı ile doğal agreganın küresel tüketim payının düşürülmesi hedeflenmektedir. Yapay agrega, ısıtma veya diğer işlemleri barındıran bir endüstriyel proses sonucu ortaya çıkan mineral kökenli malzeme olarak tanımlanmaktadır. İnşaat ve yıkım atıkları, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, çelikhane cürufu, küresel bazda en çok tercih edilen yapay agregalar olarak tanımlanmaktadır. 2020 yılı istatistiklerine göre Türkiye, yıllık 35,8 milyon ton ham çelik üretimi ile dünyanın en büyük yedinci, Avrupa'nın ise en büyük çelik üreticisi konumundadır. Yıllık üretim istatistikleri dikkate alındığında şu ana kadar Türkiye’de 55 ila 65 milyon ton cürufun çelik üretimi sırasında ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Bu malzemenin büyük kısmının bertaraf edildiği ya da tesis içinde depolandığı bilinmektedir. Mevcut çelik üretim miktarı dikkate alındığında ise her yıl yaklaşık 5 milyon ton yeni cürufun ortaya çıkacağı ve bu miktarın artan kapasite ve kapasite kullanım oranı ile her yıl daha da artacağı düşünülmektedir. Bu makale kapsamında; ülkemizde demir-çelik üretiminin gerçekleştirildiği tesislerde ortaya çıkan çelikhane cürufunun, yapay agrega olarak demiryolu hatlarında, balastaltı tabakası imalatında kullanılması yönünde, malzeme özellikleri, mevcut şartnamemiz ve uluslararası şartnameler, literatürden taranarak ülkemizde yapılabilecek düzenlemelere ilişkin öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Balastaltı tabakası, çelikhane cürufu, demiryolu, yapay agrega

Sorumlu Yazar: Fatih YONAR, fatihyonar@comu.edu.tr



EVALUATION OF THE UTILISATION OF STEEL SLAG AS SUBBALLAST MATERIAL IN TURKIYE, IN THE SCOPE OF NATIONAL AND INTERNATIONAL SPECIFICATIONS

Abstract

Due to high consumption rate of natural aggregates worldwide and the possible environmental effects of new quarries, recycling, reuse of materials and artificial aggregates that can be used instead of natural aggregates are evaluated in international examples to reduce resource consumption and environmental impacts. Artificial aggregate is defined as aggregate of mineral origin obtained as a result of an industrial process involving thermal or other applications. The most widely used artificial aggregates in international studies are blast furnace slag, steel slag, fly ash, construction, and demolition waste. According to the statistics of 2020, Türkiye is the seventh largest steel producer in the world and the largest steel producer in Europe with a crude steel production of 35,8 million tons. It is known that 55 to 65 million tons of steel slag has been obtained from iron and steel production in Türkiye. Most of this by-product has been disposed of or kept in storage areas in an inactive state. Approximately 5 million tons of steel slag is obtained each year and this amount is expected to increase by the increasing capacity and the increasing capacity usage ratio. Within the scope of this article, to use steel slag in the construction of subballast layers of railways, the properties of steel slag and international specifications are investigated. Türkiye's current specification and international specifications are compared and suggestions for regulations that can be made in Türkiye have been presented.

Keywords: Subballast layer, steel slag, railway, artificial aggregate

1. Giriş

İktisadi gelişmenin sürdürülebilirlik sınırları içerisinde sağlanması, sürdürülebilir gelişme olarak tanımlanmaktadır. Sürdürülebilir gelişme, iktisadi gelişmeyi ve ekolojiyi birlikte dikkate almakta, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye atmadan mevcut ihtiyaçların karşılanmasını desteklemektedir [1].

“Sürdürülebilir Tüketim”, sürdürülebilir kalkınma fikrinin, tüketim alanındaki karşılığı olarak tanımlanmaktadır. Son dönemde, özellikle gelişmiş ülkelerde tüketim düzeyi artan bir eğilim göstermektedir. Artan tüketim eğilimi, doğal kaynakların tükenme olasılığını net bir şekilde ortaya



koymaktadır. Bu durum da tüketimin ekolojik etkilerinin sorgulanmasına neden olmuş ve mevcut tüketim yaklaşımlarının sürdürülebilir tüketim davranışlarına dönüştürülmesinin gerekliliğini zorunlu bir konu haline getirmiştir [1].

Atıkların depolanmasına dair ağır koşulların bulunduğu, büyük miktarda hammadde tüketen-üreten, yüksek kapasiteli sektörler, sürdürülebilirlik araştırmaları kapsamında en çok dikkat çeken sektörlerdir. Ülkelerin kalkınma stratejilerine göre ana üretim sektörleri farklılık gösterebilmektedir. Fakat küresel bazda, hammadde üretiminde taş ocakları, tüketiminde ise inşaat sektörü ilk sırayı almaktadır. Ortalama agrega tüketimi dikkate alındığında, bir okul inşaatı için 2.800ton, bir otel inşaatı için 1.100ton, 1km otoyol inşaatı için 30.000ton, 1km çift hat demiryolu inşaatı için 16.000ton ve bir nükleer güç santrali için 6 ila 12 milyon ton agregaya ihtiyaç duyulmaktadır [2]. İhtiyaç duyulan agrega genelde civardaki taş ocaklarından getirilmektedir. İhtiyaç duyulan agreganın üretilmesi veya ekonomik gereksinimler kapsamında açılan her yeni taş ocağı, ekoloji üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Yüksek miktarda agregaya duyulan ihtiyaç ve taş ocaklarının ekolojik etkileri, uluslararası çalışmalarda, kaynak tüketiminin ve ekolojik etkilerin indirgenebilmesi için geri kazanım, yeniden değerlendirme ve doğal agrega yerine kullanılabilir yapay agrega gibi alternatiflerim dikkate alınmasına neden olmuştur.

Türkiye’de de doğal kaynakların tüketimini ve ekolojik etkiyi indirgeyebilmek amacıyla uluslararası pek çok örnekte olduğu gibi farklı seçenekler incelenmeye başlamıştır. Sürdürülebilirlik kapsamında agregaların değerlendirilmesine ve alternatif kaynakların kullanımına ilişkin araştırma ve uygulamalar yapılmaktadır. Bununla birlikte ekolojik etki riski nedeniyle bu gibi değerlendirmeler, ülkemizde kısıtlı kalmıştır.

Yapay agrega, ısıl veya diğer işlemleri barındıran bir endüstriyel proses sonucu ortaya çıkan mineral kökenli malzeme olarak tanımlanmaktadır. İnşaat ve yıkım atıkları, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, çelikhane cürufu, küresel bazda en çok tercih edilen yapay agregalar olarak tanımlanmaktadır [3].

Çelikhane cürufu ve yüksek fırın cürufu, demir-çelik endüstrisinde öncü durumdaki ülkelerde, katkı maddesi ya da yapay agrega olarak inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Bununla birlikte çelik üretim yöntemine göre elde edilen bu katkı maddeleri ya da yapay agregalar farklılık

göstermektedir. Çelik üretimi, cevherden ve hurdadan üretim olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Çeliğin ana kaynak olan demir cevherinden üretimi için entegre tesis olarak tanımlanan ve temel olarak yüksek fırın (YF), bazik oksijen fırını (BOF) ve pota fırınından oluşan üç aşamalı bir üretim gerçekleştirilmektedir. Entegre tesislerde ilk aşama olan YF’de demir cevherinin ergitilmesi ile sıvı ham demir ve çimento ile beton endüstrisinde katkı maddesi olarak kullanılan yüksek fırın cürufu ortaya çıkmaktadır. İkinci aşamada ise genellikle çelikhane cürufu olarak isimlendirilen ve uluslararası araştırmalarda yapay agrega olarak kullanılan cüruf ortaya çıkmaktadır. Hurdadan üretimde ana enerji kaynağı elektrik olduğu için bu tesisler elektrik ocakları olarak da isimlendirilmektedirler. Elektrik ocakları da kendi içlerinde elektrik ark ocağı (EAO) ve indüksiyon ocağı (İO) olarak iki alt sınıfa ayrılmaktadır. Ana ocak isimleri ile anılan bu tesislerde ikincil metalürjik işlemler, entegre tesislere benzer şekilde pota fırınlarında gerçekleştirilmektedir. Elektrik ocaklarının ilk aşamasında hurda, sıvı ham çeliğe indirgenmektedir. Bu ilk aşamada ortaya çıkan cüruf da yapay agrega olarak tercih edilen çelikhane cürufudur. Tesislerin üretim aşamalarındaki farklılıklardan dolayı her tesis tipinden ortaya çıkan çelikhane cürufu nispeten farklı özellikler göstermekte ve bu nedenle meydana geldiği ocağın ismi ile anılmaktadır (EAO cürufu, BOF cürufu, İO cürufu) [4].

Çelikhane cürufunun dolgu, temel tabakaları, bitümlü sıcak karışımlar, çimento bileşeni, balast ve balastaltı tabakaları, beton agregası, sıvı suların düzenlenmesi, mineral gübre, drenaj malzemesi ve mineral yün üretimi gibi pek çok alanda kullanılabildiği, uluslararası çalışmalarda ifade edilmektedir [4].

2020 yılı istatistiklerine göre 35,8 milyon ton ham çelik üretimi ile Türkiye, dünyanın en büyük yedinci, Avrupa’nın ise en büyük çelik üreticisi konumundadır [5]. Belirtilen üretimin ¼ kadarı demir cevherinden diğer kısmı ise başlıca bileşeni demir olan, kullanım ömürlerinin sonuna gelmiş hurdadan ve sektörde üretim esnasında oluşan yan ürünlerden elde edilmektedir.

1 ton sıvı ham çelik üretiminde BOF, EAO ya da İO’larda %12 ila %15 arasında çelikhane cürufunun ortaya çıktığı bilinmektedir. Her üç üretim yönteminde de cürufun içine metalik demirin kaçması söz konusu olmaktadır. Bu metalik demir, cürufun inceltilmesi, elenmesi ve manyetik ayırıştırma ile geri kazanılabilmektedir. Arta kalan cüruf ise fabrika depo sahalarında stoklanmakta ya da katı atık sahalarında bertaraf edilmektedir. Çelikhane cürufunun depolanması, fabrika

kullanım alanını daraltmakta, bertaraf edilmesi ise yeni alanların tüketimine neden olmakta ve aynı zamanda üreticinin maliyetlerini arttırmaktadır.

Yıllık üretim istatistikleri dikkate alındığında şu ana kadar Türkiye’de 55 ila 65 milyon ton cürufun çelik üretimi sırasında ortaya çıktığı tahmin edilmektedir. Bu malzemenin büyük kısmının bertaraf edildiği ya da tesis içinde depolandığı bilinmektedir. Mevcut çelik üretim miktarı dikkate alındığında ise her yıl yaklaşık 5 milyon ton yeni cürufun ortaya çıkacağı ve bu miktarın artan kapasite ve kapasite kullanım oranı ile her yıl daha da artacağı düşünülmektedir. 2017 Mayıs ayında tamamlanan düzenlemeler ile çelikhane cürufunun karayolu inşaatında granüler tabakalarda kullanımına imkan tanınmıştır. Fakat granüler tabaka imalatına, çoğunlukla yeni güzergahların inşaatında ihtiyaç duyulduğu için çelikhane cürufunun potansiyeli yüksek, alternatif ve özelliklerine uygun yeni kullanım alanlarının tanımlanması, sürdürülebilirlik kapsamında bir zorunluluktur.

Verilen bilgiler ışığında, bu makale kapsamında; ülkemizde demir-çelik üretiminin gerçekleştirildiği tesislerde ortaya çıkan çelikhane cürufunun, yapay agrega olarak demiryolu hatlarında, balastaltı tabakası imalatında kullanılması yönünde, malzeme özellikleri, mevcut şartnamemiz ve uluslararası şartnameler, literatürden taranarak ülkemizde yapılabilecek düzenlemelere ilişkin öneriler sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çelikhane cürufu, çelik üretimi esnasında ergimiş çelikteki safsızlıkların uzaklaştırılması amacıyla ortaya çıkan bir yan üründür. Çelikhane cürufu, kompleks silikat ve oksit bileşenlerinden oluşan, ilk ortaya çıktığında viskoz bir akışkan olan ve soğuduğunda sertleşen bir eriyektir [6]. Günümüzde çelik, EAO, İO ve entegre tesislerde (YF+BOF) üretilmektedir. Çeliğin pek çok farklı türüne ihtiyaç duyulmakta ve üretilmektedir. Bu nedenle çelik cürufunun özellikleri de üretilen çelik cinsi ile değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca, üretilen çelik tipine göre konvertöre beslenen kireç ya da dolomit miktarı da değişmektedir. Bu sebeplerle de ortaya çıkan cüruf miktarı ve cürufun içeriği farklılık gösterebilmektedir [6].

Demir ve çelik üretimi esnasında farklı türde cüruflar ortaya çıkmaktadır. Bu farklı tür cüruflar, ocak cürufu, YF cürufu ve pota cürufu olarak isimlendirilmektedir [6]. Çelik üretiminin ilk aşamasında ortaya çıkan cüruf, çelikhane cürufu (ocak cürufu) olarak isimlendirilmektedir. Uluslararası çalışmalarda kullanılan ve bu çalışmada ele alınan yapay agregaların temel kaynağı bu cüruftur.

Entegre tesislerde (YF+BOF), YF ergitme işleminin ardından sıvı demir, hurda da eklenerek BOF'da işlenmektedir. Üretilen ham çelik tonu başına %12-15 oranında BOF cürufu ortaya çıkmaktadır [7].

EAO cürufu, hurdadan elektrik ocakları ile gerçekleştirilen çelik üretiminin ilk alt grubu olan elektrik ark ocaklarında yan ürün olarak meydana gelmektedir. Hurda ve cüruf yapıcılar ocağa yüklenmekte ve ergitme işlemi gerçekleştirilmektedir. Kireç ya da dolomitik kirecin etkisi ile hurdadaki safsızlıklar, yoğunluk sebebiyle üst yüzeyde CaO ile bir araya gelerek EAO cürufunu oluşturmaktadır. EAO'da 1 ton çelik üretiminde yaklaşık 120–150 kg (%12–15) EAO çelikhane cürufu oluşmaktadır [7].

Elektrik ocaklarının ikinci alt sınıfı indüksiyon ocaklarıdır. Tesis isminden de öngörülebileceği gibi indüksiyon, karıştırma, ısıtma ve ergitme işlemlerini yerine getirmektedir. Hurda metal, ocağın içinde doğrudan ısıtıcı elemanlar ile temas halinde olmadığından ortam iyi bir şekilde kontrol edilebilmekte ve istenen saflık ve kalitede çelik üretilebilmektedir. İndüksiyon ocaklarında da elektrik ark ocaklarında kullanıldığı gibi hurda demir ve çelik işlenmektedir. İki üretim yaklaşımı arasındaki temel fark; elektrik ark ocaklarında doğrudan elektrodlardaki elektrik akımı ile metal eritilirken, indüksiyon ocağında, bobinde indüklenen akımın eritmeyi sağlamasıdır. Bu doğrultuda indüksiyon ocağı ve elektrik ark ocağı cürufu kimyasal ve fiziksel açıdan benzerlik göstermektedir. Temel olarak çelikhane cürufu, oksit ve silikatların oluşturduğu kompleks bir kimyasal yapıya sahip, metalik olmayan yan üründür. Cüruf, genel olarak tehlikesiz atık konumundadır ve inert atık sınıfına girmektedir. Fiziksel olarak koyu gri ile açık gri renk aralığında, soğutma durumuna göre çok ya da az poroz, köşeli tane şekline ve pürüzlü bir yüzeye sahiptir. Cürufun yaklaşık yarısı kalsiyum oksit (CaO) olup, geri kalanı metal oksitlerden ve hurdadaki diğer elementlerin oksitlerinden meydana gelmektedir [7]. Bu oksitler arasında bulunan CaO ve MgO bileşikleri, su ile temasa geçtiklerinde hidrate olarak hacimlerini arttırmaktadırlar. Bu bakımdan çelikhane

cürufunun kullanımında çok dikkat edilmesi gereken iki bileşen olarak tanımlanmaktadır. Cürufun içinde %12 oranına kadar metalik demir-çelik bulunabilmektedir. Cürufun içindeki demir çeliğin minimum enerji harcanarak kırma, eleme ve manyetik ayırıştırma ile büyük oranda geri kazanılması mümkündür [8].

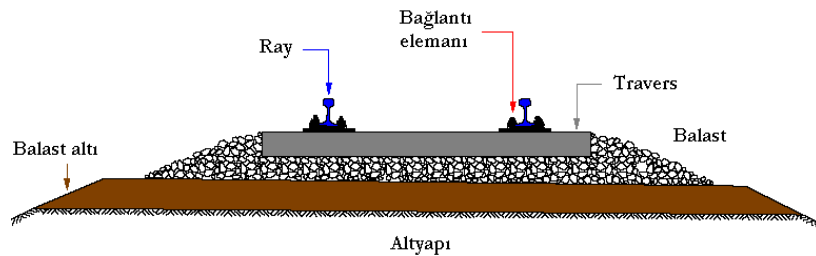
Bu makale kapsamında, entegre tesislerdeki BOF'larında, EAO'larında ve İO'larında, ham çelik üretimi sırasında ortaya çıkan çelikhane cürufunun, yapay agrega olarak demiryolu inşaatlarında balastaltı malzemesi olarak kullanımı irdelenmiştir.

2.2. Metot

Geleneksel bir demiryolu hattı, rayların ve traverslerin meydana getirdikleri “yol çerçevesi” ile, bu çerçevenin altına inşa edilmiş balast, balastaltı adı verilen kırmataş tabakaları ve bunların altındaki “altyapı” adı verilen değişik zemin tabakaları ya da köprü, viyadük, tünel ve benzeri sanat yapılarından oluşmaktadır (Şekil 1). Yol çerçevesi ile balast ve balastaltı tabakaları da “üstyapı” olarak isimlendirilmektedir [9].

“Yol Yatağı Tabakaları”, balast ve balastaltı tabakaları ile bunların altındaki zemin tabakalarından oluşmaktadır. Yol mesnet rijitliği, yol geometrisinin ve drenaj sisteminin korunması açısından yol yatağı tabakaları, özellikleri ve kalınlıkları ile, yol performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [9].

Balast, kırılmış agregadan oluşturulan özel tane dağılımlarında hazırlanan tabaka olarak tanımlanmaktadır. Balast ve altyapı arasında inşa edilen balastaltı tabakası ise temel olarak; rijitliği ayarlayarak yolun taşıma kapasitesini arttırmakta ve yukarıdan iletilen yüklerin altyapıya daha iyi dağılımını sağlamaktadır [9].



Şekil 1. Demiryolu üstyapısı [9].

Yolu ve altyapıyı, trafikten kaynaklanan yüklere karşı korumak, demiryolu taşıtlarının işletme giderlerini, yolcuların güvenliğini ve konforunu kabul edilebilir sınırlarda tutmak için demiryolu yapısal sistemi; trafik ve iklim etkilerine dayanacak şekilde, tasarlanmaktadır [9].

Günden güne artan hareketlilik ile daha hızlı trenlere ve daha yüksek dingil yüklerine talep artarken maliyetlerin de düşürülmesi bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu doğrultuda modern demiryollarının tasarımında, iyi geoteknik ve ekonomik ilkeleri birleştiren akılcı yaklaşımlara ve ayrıca çağımızın zorunluluklarından sürdürülebilirlik ilkesine gerek duyulmaktadır [9].

Bu doğrultuda yakın dönemde demiryolu balastaltı malzemesine ilişkin şartname, 2020 yılında hazırlanmış olan “TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”dir.

Fakat belirtildiği üzere sürdürülebilir yaklaşımların dikkate alınabilmesi için doğal agregaya bir alternatif sunulması çağımızın gereklilikleri arasında yer almaktadır. Bu kapsamda, durabil ve mukavim olan çelikhane cürufunun, gerek yıllık 5 milyon tonluk kapasitesi gerekse çelik üreticilerinin olası demiryolu güzergâhları kabul edilen denize kıyı organize sanayi bölgelerinde bulunması nedeniyle çelikhane cürufunun, demiryolu inşaatında balastaltı malzemesi olarak kullanım olanaklarına ilişkin araştırma ve incelemelerin yapılması, sürdürülebilirlik, ekonomi ve sınırlı doğal kaynakların korunumu açısından büyük öneme sahiptir.

Bu bölüm, üç alt başlık altında ele alınmıştır. Birinci alt başlık, “Kısıtlar” olarak isimlendirilmiş, halihazırda balastaltı malzemesi için aktif olan 2020 “TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nin içerikleri sunulmuş ve bu şartnamede, çelikhane cürufunun kullanımına engel teşkil eden maddeler ele alınmıştır. İkinci alt başlık, “Uluslararası Şartnameler” olarak isimlendirilmiş, çelikhane cürufunun balastaltı malzemesi olarak kullanıldığı ülkelerdeki şartnameler bu bölümde sunulmuştur. Üçüncü alt başlık, “Karşılaştırma” olarak isimlendirilmiş, ulusal şartnamemiz ile uluslararası şartnameler arasındaki farklar, bu bölümde irdelenmiştir.

2.2.1. Kısıtlar

Ülkemizde balastaltı malzemesi için halihazırda aktif olan şartname; 2020 “TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”dir. Bu şartname, TCDD Teşekkülünün Hızlı Tren (HT) / Yüksek Hızlı Tren (YHT) ve Konvansiyonel Hatları için; yeterli taşıma gücüne sahip demiryolu altyapısı (dolgu, yarma tabanı veya alt temel üzeri) üzerinde ve balast tabakası altında kullanılacak olan balastaltı

tabakasının özelliklerini ve uygulama şartlarını belirlemektedir. Şartnamede, balastaltı tabakasının hat cinsine göre iki farklı uygulama koşulu bulunmaktadır (Tablo 1). Tablo 1’de görüldüğü üzere; konvansiyonel hatlarda granüler balastaltı tabakasının (GBT) ve plent-miks balastaltı tabakasının (PMBT), yüksek hızlı ve hızlı hatlarda ise yalnızca PMBT’nin kullanımı uygun görülmektedir [10].

Tablo 1. Hatlara göre balastaltı tabakası uygulama kriterleri.

Balastaltı Tabakası Tipi	YHT / HT	Konvansiyonel Hatlar (KH)
Granüler Balastaltı Tabakası (GBT)	-	+
Plent Miks Balastaltı Tabakası (PMBT)	+	+

Balastaltı tabakası, “balast tabakasından gelen yüklere dayanabilen ve bu yükleri alttemel ve/veya tabana aktarabilen, ana kayadan koparılmış kırmataş olarak üretilen malzemeden oluşan tabaka” şeklinde tanımlanmaktadır. Balastaltı agregası olarak kullanılacak malzemelerin, TS EN 13242+A1, TS EN 13285 standartlarına uygun olması ve ocaktan elde edilen agregaların aşağıda maddeler halinde verilen genel şartları sağlaması gerekliliği belirtilmiştir [10].

- Yuvarlak, pürüzsüz dere çakılı kullanılmamalıdır.
- Agregası, pürüzlü yüzeyler verecek şekilde keskin kenarlı ve kübik parçalanmalıdır.
- Agregasının atmosfer şartlarına karşı direnci yüksek olmalıdır.
- Agregası, aşınmaya karşı yüksek sertlik ve mukavemete sahip olmalıdır.
- Agregası, noktasal dinamik ve statik basınçlara karşı yüksek dirençli olmalıdır.
- Agregası karışımının, sürtünme direnci ve içsel sürtünme açısı yüksek olmalıdır.
- Agregası, masif yapıda ve homojen olmalıdır.
- Agregası, zararlı bileşen, kil ya da toprak içeriği bulundurmamalıdır.

TS EN 13242 standardının adı; “İnşaat mühendisliği işleri ve yol yapımında kullanılan bağlayıcısız ve hidrolik bağlayıcılı malzemeler için agregalar”dır. Bu standart, inşaat mühendisliği işleri ve yol yapımında kullanılan hidrolik bağlayıcılı ve bağlayıcısız malzemeler için doğal, yapay veya geri kazanılmış malzemelerin işlenmesiyle elde edilen agregaların özelliklerini kapsamaktadır [11]. TS EN 13285 standardının adı; “Bağlayıcısız karışım-Özellikler”dir. Bu standart, yolların, hava alanlarının ve trafiğin hâkim olduğu diğer alanların inşası ve bakımı için kullanılan, doğal ve geri

dönüştürülmüş agregalarla imal edilmiş bağlayıcısız karışımlar için gereksinimleri tanımlamaktadır [12].

“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde; iri agrega 4 ila 31,5mm aralığında kalan taneler, ince agrega, 4mm'den küçük taneler ve çok ince malzeme, 0,063mm'den küçük olan taneler olarak tanımlanmıştır.

Şartnamede, balastaltı malzemesinin yapımında kullanılacak agreganın, kırmataş olarak elde edilen çakıl, kum ve ince malzeme karışımlarından oluşması gerektiği belirtilmiştir. Agregalarda, donmuş malzeme ve herhangi bir nedenle karışmış yabancı malzemenin bulunmaması gerekmektedir [10].

TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi'nde; balastaltı malzemesine uygulanacak deneyler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmış, deney standartları ve şartname limitleri tablolarda sunulmuştur.

- İri agrega fiziksel özellikleri (Tablo 2),
- İnce agrega fiziksel özellikleri (Tablo 3),
- Agrega geometrik özellikleri (Tablo 4),
- Çok ince agrega kimyasal özellikleri (Tablo 5),
- Balastaltı malzemesi laboratuvar performans özellikleri (Tablo 6),

Mikro-Deval Aşınma Direnci Tayini ve Sonnenbrand deneyleri, TCDD'nin, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yapılmasına karar vereceği deneyler olarak tanımlanmaktadır.

Mikro-Deval Aşınma Direnci Tayini deneyi, iri taneli agregaların ve ihtilaf durumunda demiryolu balastı olarak kullanılan agregaların aşınma direncinin tayinine yönelik referans yöntem olarak tanımlanmaktadır [13]. TS EN 1367-3 standardı, bazalttaki "Sonnenbrand" beneklerinin varlığının ve bu tür beneklere sahip bazalttan üretilen agregaların parçalanmasının tayini için metotları kapsamaktadır [14].

Tablo 2. İri agrega fiziksel özellikleri.

Deney Adı	Standart	Şartname Limitleri	
		YHT / HT	Konvansiyonel
Su Emme (WA ₂₄)	TS EN 1097-6	≤ %2	≤ %2
Termal ve Bozunma Özelliği İçin MgSO ₄ Deneyi	TS EN 1367-2	≤ %18	≤ %18
Parçalanma Direnci (Los Angeles) (LA)	TS EN 1097-2	≤ %25	≤ %30
Kil Topakları ve Dağılabilen Malzeme Oranı	ASTM C-142	≤ %1,0	≤ %1,0
Aşınma Direnci Tayini (Mikro-Deval) (MD)	TS EN 1097-1	≤ %20	≤ %25
Sonnenbrand	Kaynatma Kaybı (SB)	≤ %1	≤ %1
	Mukavemet Kaybı SBLA	TS EN 1367-3	≤ %8

Tablo 3. İnce agrega fiziksel özellikleri.

Deney Adı	Standart	Şartname Limitleri
Likit Limit (LL)	TS EN 17892-12	NP
Plastisite İndeksi (PI)	TS EN 17892-12	NP
Organik Madde, (%3 NaOH ile)	TS EN 1744-1	Negatif
Kum Eşdeğer Tayini	TS EN 933-8	≥ %70
Metilen Mavisi, (MB), g/kg	İnce agreganın 0,02 mm'lik kısmına	≤ 3,0 (MB _{3,0})
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0,02 mm kısmına	TS EN 933-9 ≤ 4,5 (MB _{4,5})

Kum Eşdeğer Tayini deneyi, TCDD'nin, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yapılmasına karar vereceği deney olarak tanımlanmaktadır. Metilen Mavisi deneyinde, magmatik kökenli kayalar için şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin ($\leq 3,0$ g/kg) sağlanamaması durumunda $\leq 4,5$ g/kg şartının aranması gerektiği belirtilmiştir [10].

“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde; balastaltı malzemesi olarak kullanılacak agregaların, TS EN 933-3 standardı uyarınca belirlenen yassılık indeksinin en fazla % 25 olması öngörülmektedir [10].

Uniformluluk katsayısı (C_U), tanelerin %60'ının geçtiği elek açıklığı (D_{60}) ile tanelerin %10'unun geçtiği tane açıklığının (D_{10}) oranı olarak tanımlanmakta ve şartname kapsamında en küçük değerinin 15 olması istenmektedir. İyi derecelendirilmiş agrega karışımlarının, uniformluluk

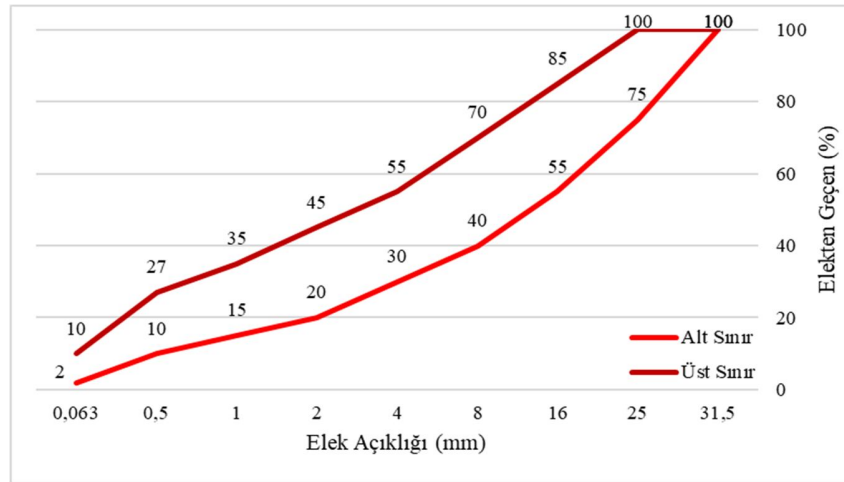
katsayısı 4'ten büyük olarak tanımlanmıştır [15]. Uniformluluk katsayısının formülü Eşitlik 1'de sunulmuştur.

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

Süreklilik katsayısı (C_r) ise tanelerin %30'unun geçtiği elek açıklığının (D_{30}) karesinin, tanelerin %10'unun geçtiği tane açıklığı (D_{10}) ile tanelerin %60'ının geçtiği elek açıklığı (D_{60}) çarpımına oranı olarak tanımlanmakta ve şartname kapsamında 1 ila 3 aralığında olması istenmektedir. İyi derecelendirilmiş agrega karışımlarının, süreklilik katsayısı 1 ila 3 arasında olarak tanımlanmıştır [15]. Süreklilik katsayısının formülü Eşitlik 2'de sunulmuştur.

$$C_r = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (2)$$

GBT ve PMBT için şartnamede bir tane dağılımı belirlenmiştir. Söz konusu tane dağılımı Şekil 2'de sunulmuştur. PMBT'nin sadece hızlı ve yüksek hızlı hatlar için tanımlanmış olmasının nedeni bu karışımın plentte hazırlanması sonucu daha uniform bir yapı göstermesidir.



Şekil 2. Balastaltı tabakası tane dağılımı.

Çok ince agregaların kimyasal özellikleri için gerekli kriterler Tablo 4'te sunulmuştur. Fakat TS EN 1744-1 kapsamında tanımlanan üç deney de TCDD'nin, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yapılmasına karar vereceği deneyler olarak tanımlanmaktadır. Buna ek olarak şartname kapsamında; ince agregaların fiziksel özelliklerinin, aşağıdaki maddelerden birini karşılaması durumunda, çok ince agregalar zararsız kabul edilmiş ve çok ince agrega kimyasal özellikleri (Tablo 4) için deneylerin yapılmasının zorunlu olmadığı ifade edilmiştir [10].

- Çok ince ($\leq 0,063$ mm) malzeme oranının % 3' e eşit veya az olması,
- Metilen Mavi değerinin 0-2 mm agregada sınır değerlerinden küçük olması,
- Kum eşdeğer tayini değerinin 0-4 mm agregada sınır değerlerinden az olması.

Tablo 4. Çok ince agrega kimyasal özellikleri.

Deney Adı	Standart	Şartname Limitleri	
		YHT / HT	Konvansiyonel
Toplam Kükürt İçeriği * (NOT: Pirotin minerali mevcut ise ilave önlemler alınacaktır)	TS EN 1744-1	$\leq \%1$	$\leq \%1$
Kızdırma Kaybının Tayini, % *	TS EN 1744-1	$\leq \%2$	$\leq \%2,5$
Asitte ve/veya Suda Çözülebilir Sülfat İçeriği*	SS	$\leq \%0,2$	$\leq \%0,7$
	AS	$\leq \%0,2$	$\leq \%0,8$

Tablo 4'te dikkat çekilen pirotin; inşaat endüstrisi için endişe oluşturan bir mineral olarak tanımlanmaktadır. Demir ve kükürten oluşmakta ve su ve havaya maruz kaldığında, genişler ve parçalanarak ikincil mineraller oluşturmaktadır. Her türlü yapının stabilitesini bozma ihtimali mevcuttur [16].

Balastaltı tabakasının laboratuvar performans özellikleri, Tablo 5'te sunulmuştur. Şartnamede, maksimum kuru birim hacim ağırlığın ($\gamma_{d,maks}$) modifiye Proctor, CBR ve şişme değerlerinin de modifiye yaş CBR deneyi ile belirlenmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Tablo 5. Laboratuvar performans özellikleri.

Deney Adı	Standart	PMBT	GBT
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlığı $\gamma_{d,maks}$	TS EN 13286	$\geq 19 \text{ kN/m}^3$	$\geq 19 \text{ kN/m}^3$
CBR	TS EN 13286-47	$\geq \% 100$	$\geq \% 80$
% Şişme Oranı	TS EN 13286-47	$\leq \% 0,5$	$\leq \% 0,5$
Geçirgenlik (Permeabilite)*	TS EN 17892-12	$\leq 5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	$\leq 5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

2.2.2. Uluslararası Şartnameler

Çelikhane cürufunun, demiryolu uygulamalarında kullanımı, karayolu inşaatındaki kadar yaygın değildir. Belirli uygulamalara ABD, Avustralya Brezilya, Kanada ve Hindistan'da rastlanmaktadır [17]. Uygulamaların gerçekleştirildiği bu ülkeler arasında ABD ve Avustralya'nın şartnamelerinde çelikhane cürufu doğrudan geçmektedir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında ABD ve Avustralya şartnameleri incelenmiştir.

American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA)

AREMA şartnamesinde, 10 numaralı eleğin (2mm) üzerinde kalan malzemenin, sert ve dayanıklı, agrega, çakıl, kum veya cüruftan oluşması gerektiği belirtilmektedir. Buna ek olarak, %100'ü kırılmış olmak şartı ile ocak artığı ve betonun kullanılabilceği ifade edilmektedir [18, 19]. Şartnamedeki diğer koşullar aşağıda sunulmuştur:

- Donma-çözülme veya ıslanıp-kuruma etkileri ile değişime uğrayan agregalar kabul edilmemektedir [18], Na_2SO_4 çözültisi ile gerçekleştirilecek donma-çözülme deneyinde maksimum kaybın %10 olması istenmektedir [19].
- Los Angeles parçalanma direnci %50'den fazla olan agregalar kabul edilememektedir [18, 19].

Balastaltı malzemesine ilişkin tane dağılımı Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. AREMA balastaltı malzemesi tane dağılımı [18, 19].

Elek Açıklığı (mm)	Alt Sınır Geçen (%)	Üst Sınır Geçen (%)
50	100	100
25	90	100
9,5	50	84
2	26	50
0,425	12	30
0,075	0	5

Yukarıda tanımlanan kısıtlara ek olarak, kullanılacak malzemenin minimum özgül ağırlığının 2,400 t/m³ olması istenmektedir. Bunun yanı sıra kullanılacak malzemenin Atterberg Limitleri ile ilgili zorunlu iki değerlendirme söz konusudur. İlk değerlendirmede; kullanılacak olan malzemenin doğrudan elenerek elde edilen 0,425mm'den küçük tanelerin likit limit değerinin maksimum % 25, plastisite indeksi değerinin ise maksimum % 6 olması istenmektedir. İkinci değerlendirmede ise Los Angeles deneyi sonucunda oluşan 0,425mm'den küçük tanelerin non-plastik özelliğe sahip olması istenmektedir [18].

Australian Rail Track Corporation Limited (ARTC)

Avustralya'da balastaltı tabakası “capping layer” olarak tanımlanmaktadır [20]. ARTC şartnamesinde; balastaltı tabakası için iyi derecelenmiş doğal veya yapay olarak karıştırılmış çakıl/toprak önerilmektedir. Statik veya titreşimli silindirler ile yüksek yoğunluklarda sıkıştırılmasına izin verecek yeterli ince malzemeye sahip olması gerektiği ifade edilmektedir. Bitkisel madde içermeyen doğal malzemelerin, çakıl, düşük kil içerikli kumtaşlarının ve kırılmış, sert ve dayanıklı agrega veya cüruf karışımlarının bu özellikleri karşıladığı belirtilmektedir [21]. Balastaltı tabakasında kullanılacak malzemelerin özellikleri, Tablo 7’de sunulmuştur.

Tablo 7. ARTC balastaltı malzemesi özellikleri [21].

Deney Adı	Şartname Limitleri
Kil Topakları Oranı	< %5
Yumuşak ve Dağılabilen Malzeme Oranı	< %0,5
Parçalanma Direnci (Los Angeles) (LA)	< % 30
Likit Limit (LL)	< % 30
Plastik Limit (PL)	< % 20
Plastisite İndeksi (PI)	% 2-10
Doğrusal Büzülme	< %3

Tablo 7’de görüldüğü üzere kullanılacak malzeme için likit limit değerinin maksimum %30, plastik limit değerinin ise maksimum %20 olması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca kullanılacak malzeme tanımında “bitkisel madde içermeyen doğal malzemelerin” ve “düşük kil içerikli kumtaşlarının” kullanımının mümkün olduğu ifade edilmiştir [21]. Kil içeriği bulunan zeminlerde, şişme-büzülme

durumu söz konusudur. Su ile karşılaşan kil ilk olarak şişmekte suyun bünyeden uzaklaşması ile büzülme meydana gelmektedir. Büzülme ile kuruma çatlakları meydana gelmekte ve bu çatlaklar üstyapının stabilitesini bozabilmektedir [22]. Bu bağlamda ARTC şartnamesinde, büzülme ile ilgili maksimum limit %3 olarak tanımlanmaktadır.

ARTC’de balastaltı malzemesi için tanımlanan tane dağılımı Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. ARTC balastaltı malzemesi tane dağılımı [21].

Elek Açıklığı (mm)	Alt Sınır Geçen (%)	Üst Sınır Geçen (%)
26,5	100	100
19	95	100
2,36	30	80
0,075	6	10

Tablo 7’de tanımlanan malzeme fiziksel özelliklerine ek olarak ARTC’de, $\gamma_{d,max}$ ’ın en az 19,62kN/m³ olması ve %95’e kadar sıkıştırılmış karışıma uygulanacak modifiye yaş CBR deneyinde, CBR değerinin en az %50 olması istenmektedir [21].

3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölüm kapsamında; ulusal ve uluslararası şartnamelerin karşılaştırılması yapılmış, çelikhane cürufunun, ülkemizde balastaltı malzemesi olarak kullanımını destekleyen ve engelleyen koşullar değerlendirilmiştir. İrdeleme, 2020 yılı “TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde yer verilen sıralamaya göre yapılmıştır.

Ülkemizde balastaltı malzemesi için halihazırda aktif olan 2020 “TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde balastaltı tabakasının hat cinsine göre iki farklı uygulama koşulu bulunmaktadır (Tablo 1). AREMA ve ARTC şartnamelerinde bu tip bir ayrıma gidilmediği görülmektedir.

“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde, balastaltı malzemesinin yapımında kullanılacak agreganın, kırmataş olarak elde edilen çakıl, kum ve ince malzeme karışımlarından oluşması gerektiği belirtilmiştir. Agregalarda, donmuş malzeme ve herhangi bir nedenle karışmış yabancı malzemenin bulunmaması gerekmektedir. Bunun yanı sıra balastaltı tabakasında kullanılacak malzemelerin, TS EN 13242+A1, TS EN 13285 standartlarına uygun olması gerekliliği



belirtilmiştir. TS EN 13242 standardı, inşaat mühendisliği işleri ve yol yapımında kullanılan hidrolik bağlayıcılı ve bağlayıcısız malzemeler için doğal, yapay veya geri kazanılmış malzemelerin işlenmesiyle elde edilen agregaların özelliklerini kapsamaktadır [11]. TS EN 13285 standardı, yolların, hava alanlarının ve trafiğin hâkim olduğu diğer alanların inşası ve bakımı için kullanılan, doğal ve geri dönüştürülmüş agregalarla imal edilmiş bağlayıcısız karışımlar için gereksinimleri tanımlamaktadır [12]. Balastaltı şartnamesinde geri dönüştürülmüş agregaya yer verilmemiş olup bu şartnameye göre agreganın uyması gereken TS EN 13242 ve TS EN 13285 standartlarında geri dönüştürülmüş agreganın kullanımı desteklenmektedir. AREMA şartnamesinde, malzemenin, sert ve dayanıklı, agrega, çakıl, kum veya *cüruf*tan oluşması gerektiği belirtilmiştir. Buna ek olarak, %100'ü kırılmış olmak şartı ile ocak artığı ve geri dönüştürülmüş betonun kullanılabilmesi ifade edilmiştir [18, 19]. ARTC şartnamesinde ise bitkisel madde içermeyen doğal malzemelerin, çakıl, düşük kil içerikli kumtaşlarının ve kırılmış, sert ve dayanıklı agrega veya *cüruf*karışımlarının balastaltı malzemesi olarak kullanılabilmesi ifade edilmiştir [21]. TCDD şartnamesinde, *cüruf*un kullanılacak malzemeler arasında tanımlanmamasına karşın şartnamenin atıfta bulunduğu TS EN 13242+A1 ve TS EN 13285 standartları, geri dönüştürülmüş agregaların kullanımını desteklemektedir.

TCDD, AREMA ve ARTC şartname limitleri, karşılaştırmalı olarak Tablo 9'da sunulmuştur. Şartnamelere ilişkin detaylar, literatürde elde edilmiş sonuçlar ve özel hususlar ayrıca açıklanmıştır.

“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde, balastaltı malzemesi olarak kullanılacak agregaların su absorpsiyonu değerinin tüm hatlar için maksimum %2 olması istenmektedir. AREMA ve ARTC şartnamelerinde su absorpsiyonuna ilişkin bir kısıt bulunmamaktadır. Çelikhane *cüruf*una ilişkin yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalarda; su absorpsiyonu değerinin %0,9 ila %3,7 arasında olduğu [23-31] belirtilmiştir. Çelikhane *cüruf*unun, su absorpsiyonu değerleri geniş bir aralık göstermektedir. Bu aralık mevcut şartname limiti olan % 2'den küçük ve büyük değerleri kapsamaktadır. Ayrıca AREMA ve ARTC şartnamelerinde su absorpsiyonuna ilişkin bir kısıt bulunmamaktadır. Bununla birlikte çelikhane *cüruf*unun, çelik üretim tesisindeki üretim uygulamaları ve sonrasında *cüruf*un işlenmesine yönelik uygulamalar ile su absorpsiyonu değerlerinin düşürülmesi olasıdır.

Tablo 9. Şartname Limitlerinin Karşılaştırılması.

Parametreler	Şartnameler								
	TCDD			AREMA			ARTC		
	YHT / HT	KH		AREMA			ARTC		
PMBT	GBT	PMBT	LL	PI	Parçalanmış Taneler	LL	PL	PI	
Su Absorpsiyonu (%)		< 2			-			-	
MgSO ₄ veya Na ₂ SO ₄ Deneysel Sonucu (%)		< 18			< 10			-	
Los Angeles Parçalanma Direnci (%)	< 25		< 30		< 50			< 30	
Kil Topağı ve Dağılabilen Tane Oranı (%)		< 1			-		Kil Topakları Oranı < 5	Dağılabilen Tane Oranı < 0,5	
Mikro-Deval Aşınma Direnci (%)	< 20		< 25						
Atterberg Limitleri		Non-plastik		Tabii Hal LL < 25	PI < 6	Parçalanmış Taneler Non-plastik	LL < 30	PL < 20	PI 2-10
Organik Madde İçeriği (%)		0			-			-	
Kum Eşdeğerliliği (%)		> 70			-			-	
Metilen Mavisi (g/kg)		< 3 / < 4,5 (Magmatik)			-			-	
Yassılık İndeksi (%)		< 25			-			-	
C _u		> 15			-			-	
C _r		1-3			-			-	
γ _{d,max} (kN/m ³)		> 19,000			-		> 19,620		
CBR (%)	> 100	> 80	> 100		-		> 50		
Şişme (%)		0,5			-			-	
Permeabilite (m/s)		5x10 ⁻⁵			-			-	
Özgül Ağırlık (t/m ³)		-			> 2,400			-	
Doğrusal Büzülme (%)		-			-			< 3	

“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde, balastaltı malzemesi olarak kullanılacak agregaların MgSO₄ çözeltisinin kullanıldığı donma-çözülme deneyinde parçalanma oranının tüm hatlar için maksimum %18 olması istenmektedir. AREMA şartnamesinde, Na₂SO₄ çözeltisi ile gerçekleştirilecek donma-çözülme deneyinde maksimum kaybın %10 olması istenmektedir. ARTC şartnamesinde ise donma-çözülme deneyine ilişkin bir limit bulunmamaktadır. “TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde maksimum parçalanma oranının AREMA şartnamesine oranla yüksek kabul edilmesinin nedeni MgSO₄’ın Na₂SO₄’e oranla daha aşındırıcı olmasıdır [32]. Çelikhane

cürufuna ilişkin yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalarda; donma-çözülme deneyinde parçalanmış tane oranının %0,5 ila %2,5 arasında olduğu [24-27, 31, 33-36] belirtilmiştir. Ayrıca bu çalışmalar kapsamında, çelikhane cürufunun doğal agregaya oranla daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Gözlemlenen sonuçlar, mevcut şartnamedeki limit değeri karşılamaktadır. Buna ek olarak çelik tesisindeki üretim uygulamaları ve sonrasında cürufun işlenmesine yönelik uygulamalar ile su absorpsiyonunun düşürülmesi, çelikhane cürufunun halihazırda düşük olan donma-çözülme hassasiyetini daha da artırması olasıdır.

“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde, balastaltı malzemesi olarak kullanılacak agregaların Los Angeles parçalanma direnci deneyinde parçalanmış tane oranının YHT/HT hatlarında maksimum %25, konvansiyonel hatlarda ise maksimum %30 olması istenmektedir. AREMA şartnamesinde bu değer %50, ARTC şartnamesinde ise %30 olarak tanımlanmıştır. Çelikhane cürufuna ilişkin yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalarda; parçalanmış tane oranının %12 ila %25 arasında olduğu [23-28, 30, 33-35, 37, 38] belirtilmiştir. Bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar, şartnamedeki limitlere uymaktadır. Ayrıca çelikhane cürufu için Los Angeles deneylerinden elde edilen sonuçların, doğal agregaya benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çelikhane cürufu, su absorpsiyonu nispeten yüksek poroz tanelerden oluşmakta ve bu poroz yapısı nedeniyle kırılabilir davranabilmektedir. Bu doğrultuda ek kırma-eleme işlemleri ile çelikhane cürufunun Los Angeles deneyi parçalanmış tane oranının ihtiyaçlar doğrultusunda düşürülmesi olasıdır.

“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde, balastaltı malzemesi olarak kullanılacak agregaların, kil topağı ve dağılabilen tane oranının tüm hatlar için maksimum %1 olması istenmektedir. AREMA şartnamesinde, bu hususa ilişkin bir kısıt bulunmamaktadır. ARTC şartnamesinde ise kil içerikli malzemenin kullanımına müsaade edildiğinden kil topakları limiti %5 ve dağılabilen tane oranı %0,5 olmak üzere iki kısıt tanımlanmıştır. Çelikhane cürufunda stok alanında kontaminasyon olmadığı sürece kil-silt gibi bileşenlerin bulunması beklenmemektedir. Bununla birlikte özellikle taze çelikhane cürufu içeriğindeki CaO ve MgO bileşenlerinin hidrasyon ile bünyeden uzaklaşması olasıdır. Dolayısıyla dağılabilen tane oranı, çelikhane cürufu için bir kısıt olarak öngörülebilir. Çelikhane cürufuna ilişkin yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalarda; dağılabilen tane oranının %0 ila %0,7 arasında olduğu [39-40] belirtilmiştir. Bu değerler, mevcut şartnamede tanımlanmış olan %1 limitinin altındadır. Buna ek olarak yeterli yaşlandırma ile çelikhane

cürufunun dağılılabilen tane oranının, ihtiyaçlar doğrultusunda düşürülmesi olasıdır.

Mikro-Deval Aşınma Direnci Tayini, TCDD'nin, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yapılmasına karar vereceği deney olarak tanımlanmakla birlikte TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi'nde, balastaltı malzemesi olarak kullanılacak agregaların Mikro-Deval aşınma direnci deneyinde kayıp tane oranının YHT/HT hatlarında maksimum %20, konvansiyonel hatlarda ise maksimum %25 olması istenmektedir. AREMA ve ARTC şartnamesinde, bu deneye ilişkin herhangi bir limit bulunmamaktadır. Çelikhane cürufuna ilişkin yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalarda; kayıp tane oranının %6 ila %12 arasında olduğu [37, 42, 43] belirtilmiştir. Bu değerler, mevcut şartnamede tanımlanmış olan %20 ve %25 limitlerinin altındadır. Bununla birlikte Micro-Deval deneyi çelikhane cürufunun parçalanma eğilimine ve su etkisi ile bünyeden uzaklaşması olası bileşen miktarına ışık tutmaktadır. Bu bakımdan mevcut şartnamede TCDD'nin, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yapılmasına karar vereceği deney olarak tanımlanan Micro-Deval deneyinin, çelikhane cürufu için zorunlu hale getirilmesi önerilebilir. İhtiyaç duyulması halinde çelikhane cürufunun Micro-Deval deney sonucunun, yaşlandırma ve ek kırma-eleme gibi işlemlerle azaltılması da olasıdır.

Sonnenbrand deneyi, TCDD'nin, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yapılmasına karar vereceği deney olarak tanımlanmakla birlikte bazalttaki "Sonnenbrand" beneklerinin varlığının ve bu tür beneklere sahip bazalttan üretilen agregaların parçalanmasının tayini için metotları kapsamaktadır [14]. Dolayısıyla bu kısıt çelikhane cürufu için geçerli değildir.

Balastaltı tabakasının teşkil edileceği ince malzeme özellikleri arasında "TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi"nde ilk olarak Atterberg limitleri tanımlanmıştır. Şartnameye göre ince malzemenin non-plastik olması istenmektedir. AREMA şartnamesine göre Atterberg Limitleri ile ilgili zorunlu iki değerlendirme söz konusudur. İlk değerlendirmede; kullanılacak olan malzemedan doğrudan elenerek elde edilen 0,425mm'den küçük tanelerin likit limit değerinin maksimum %25, plastisite indeksi değerinin ise maksimum %6 olması istenmektedir. İkinci değerlendirmede ise Los Angeles deneyi sonucunda oluşan 0,425mm'den küçük tanelerin non-plastik özelliğe sahip olması istenmektedir. ARTC şartnamesinde ise Likit Limit LL'nin %30'dan, PL'nin %20'den küçük olması, PI değerinin ise %2 ila %10 arasında olması istenmektedir. Çelik üretimi sırasında ek kirleticilerin işlemlere dahil olmaması için gerekli önlemler alınmaktadır. Kil ve silt gibi

malzemelerin üretime bir şekilde girmesi durumunda dahi ısırl üretim işlemleri sonucunda doğal davranışlarını koruyacak şekilde kirletici olma olasılıkları bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra cürufun, stok sahasında hafriyat ya da diğer kirleticilere maruz kalmayacak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir [41].

“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde, balastaltı malzemesi olarak kullanılacak agregaların ince kısmının, %3 NaOH çözeltisi ile gerçekleştirilecek deney doğrultusunda organik madde içeriğine sahip olmaması istenmektedir. ARTC şartnamesinde, agreganın bitkisel madde içermemesi gerektiği ifade edilmiştir. AREMA şartnamesinde, agreganın 2mm’den büyük kısmının “agrega, çakıl, kum veya cürufan” oluşması gerektiği belirtilmiş fakat 2mm’den küçük ince agreganın organik madde içeriğine ilişkin bir kısıt tanımlanmamıştır. Özel durumlar haricinde çelikhane cürufu içeriğinde, üretim sıcaklıkları nedeniyle organik madde bulunma olasılığı yoktur. Fakat dikkat edilmediği durumlarda, stok sahasında cürufun kontamine olma olasılığı mevcuttur [41].

Kum Eşdeğerlilik Tayini deneyi, TCDD’nin, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yapılmasına karar vereceği deney olarak tanımlanmakla birlikte “TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde, balastaltı malzemesi olarak kullanılacak agregaların ince kısmının, kum eşdeğerliliğinin %70’ten büyük olması istenmektedir. AREMA ve ARTC şartnamesinde ince agrega kum eşdeğerliliğine ilişkin bir kısıt bulunmamaktadır. Kum eşdeğerliği deneyi, ince agregadaki kil, silt oranının hızlı bir şekilde belirlenmesi için yapılmaktadır. Temel olarak formaldehit, kalsiyum klorür ve gliserinden oluşan yıkama solüsyonu ilavesi ile kilin askıda kalması sağlanarak yapılan yükseklik ölçümlerinde kum yüksekliğinin kum ve askıda kalan ince malzeme yüksekliğine oranı, kum eşdeğerliği sonucunu vermektedir [44]. Çelikhane cürufuna ilişkin yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalarda; kum eşdeğerlilik oranının %53 ila %92 arasında olduğu [45, 46, 47] belirtilmiştir.

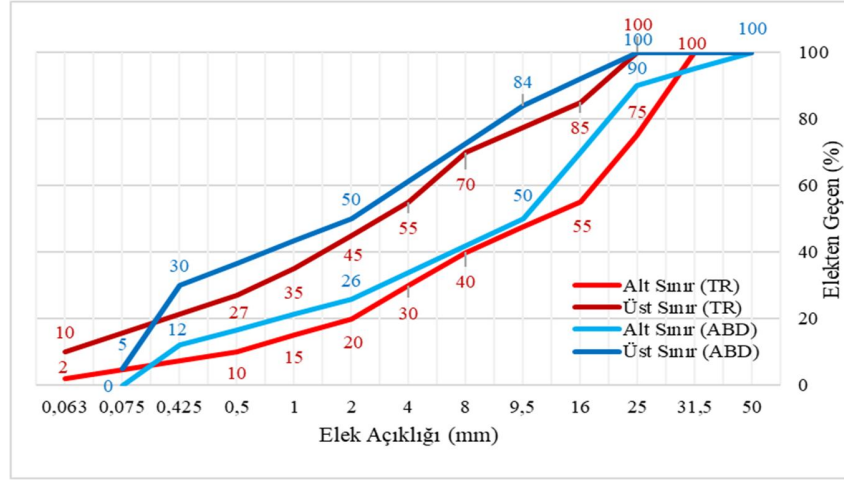
“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde, balastaltı malzemesi olarak kullanılacak agregaların, 0,02mm’lik elekten geçen kısmının, metilen mavisi deney sonucunun 3g/kg’dan küçük olması istenmektedir. Magmatik kökenli kayaçlar için şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin ($\leq 3,0$ g/kg) sağlanamaması durumunda $\leq 4,5$ g/kg şartının aranması gerektiği belirtilmiştir. AREMA ve ARTC şartnamesinde ince agrega için metilen mavisi deneyine

ilişkin bir kısıt bulunmamaktadır. Çelikhane cürufuna ilişkin yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalarda; metilen mavisi değerinin 0,1 ila 0,67 g/kg arasında olduğu [45, 48, 49] belirtilmiştir. Önceki paragraflarda da belirtildiği üzere; kontaminasyon olmadığı takdirde çelikhane cürufunda kil, silt ve organik kirleticilerin bulunma olasılığı yoktur. Uygulamaya engel teşkil etmesi olası bu üç içerik, malzemenin Atterberg limitlerini, organik madde içeriğini, kum eşdeğerlilik değerini ve metilen mavisi deney sonucunu etkilemektedir. Çelikhane cürufunun balastaltı malzemesi olarak kullanımı durumunda stok sahasında gerekli düzenlemenin yapılarak kontaminasyona mahal verilmemesi bir zorunluluk olmaktadır. Bununla birlikte kum eşdeğerlilik ve metilen mavisi deneylerinde $Ca(OH)_2$ ve $Mg(OH)_2$ sebebiyle farklı değerlerin gözlemlendiği ulusal ve uluslararası çalışmalarda belirtilmiştir. Bu bakımdan çelikhane cürufu için metilen mavisi deneyinin zorunlu olarak tanımlanması ve Atterberg limitleri, kum eşdeğerlilik ve metilen mavisi deneylerinden elde edilecek sonuçların ortak değerlendirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

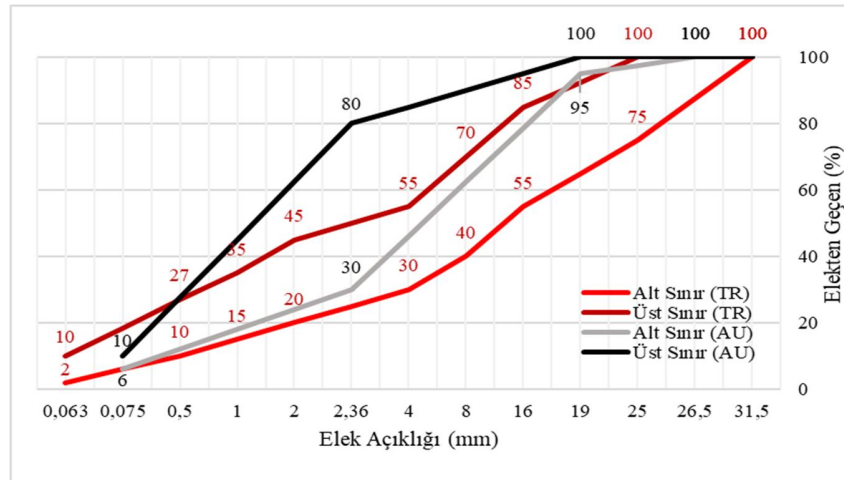
“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde; balastaltı malzemesi olarak kullanılacak agregaların, yassılık indeksinin en fazla %25 olması istenmektedir. AREMA ve ARTC şartnamesinde yassılık indeksine ilişkin bir kısıt bulunmamaktadır. Çelikhane cürufuna ilişkin yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalarda; yassı tane oranının %5 ila %18 arasında olduğu [25, 38, 50, 51] belirtilmiştir. Bu sonuçlar, yassılık indeksi değerinin mevcut şartnamede tanımlanmış olan %25 limitinin altında olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak çelikhane cürufunun yassılık indeksinin doğal agregaya nazaran düşük olduğu yine bu çalışmalarda ifade edilmiştir.

“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde; balastaltı malzemesi olarak kullanılacak agregaların tane dağılımlarının uniformluk değerinin 15’ten büyük olması, süreklilik değerinin ise 1 ila 3 arasında olması istenmektedir. AREMA ve ARTC şartnamesinde tane dağılımının uniformluk ve süreklilik değerlerine ilişkin bir kısıt bulunmamaktadır.

TCDD, AREMA ve ARTC şartnamelerinde balastaltı malzemesine ilişkin tane dağılımları belirtilmiş olup Şekil 3’te TCDD (TR) ve AREMA (ABD) tane dağılımları, Şekil 4’te ise TCDD (TR) ve ARTC (AU) tane dağılımları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 3. TCDD ve AREMA şartnameleri tane dağılımı karşılaştırması.



Şekil 4. TCDD ve ARTC şartnameleri tane dağılımı karşılaştırması.

Şekil 3 incelendiğinde, TCDD ve AREMA şartnamelerinde sunulan tane dağılımlarının büyük oranda örtüştüğü görülmektedir. Bununla birlikte TCDD şartnamesinde EN elekleri esas alınmışken AREMA şartnamesinde ASTM elekleri esas alınmıştır. Şekil 4 incelendiğinde ise TCDD ve ARTC şartnamelerindeki tane dağılımlarının oldukça farklı olduğu görülmektedir. Çelikhane cürufunun tane dağılımı, konkasör ve elek marifetiyle istenilen şekilde ayarlanabilmektedir. Bunun yanı sıra uniformluk ve süreklilik koşulları da dikkate alındığında,

mevcut şartnamenin AREMA ve ARTC şartnamelerine oranla daha yoğun bir gradasyon sergileyeceği açıktır.

“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde; balastaltı malzemesi olarak kullanılacak agregaların çok ince kısmının kimyasal özellikleri için kriterler tanımlanmıştır. Bu kriterler, TCDD'nin, malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre yapılmasına karar vereceği deneyler olarak belirtilmektedir. Buna ek olarak şartname kapsamında; ince agregaların fiziksel özelliklerinden, çok ince ($\leq 0,063$ mm) malzeme oranının %3'e eşit veya az olması, metilen mavisi değerinin 0-2 mm agregada sınır değerlerinden küçük olması veya kum eşdeğerinin 0-4 mm agregada sınır değerlerden az olması durumunda çok ince agregalar zararsız kabul edilmiş ve çok ince agrega kimyasal özellikleri için deneylerin yapılmasının zorunlu olmadığı ifade edilmiştir. Aksi durumlarda, çok ince agreganın toplam kükürt içeriğinin tüm hatlarda %1'den küçük olması, kızdırma kaybının YHT/HT hatlarda %2'den, konvansiyonel hatlarda %2,5'ten küçük olması, suda çözünebilen sülfat içeriğinin YHT/HT hatlarda %0,2'den, konvansiyonel hatlarda %0,7'den küçük olması veya asitte çözünebilen sülfat içeriğinin YHT/HT hatlarda %0,2'den, konvansiyonel hatlarda %0,8'den küçük olması istenmektedir. AREMA ve ARTC şartnamelerinde çok ince malzemenin kimyasal özelliklerine ilişkin bir kısıt bulunmamaktadır. Çelikhane cürufu, endüstriyel işlemler sonucu ortaya çıkan bir yan ürün olduğu için her durumda bu parametrelerin kontrol edilmesi ve çevresel analiz değerlendirilmesi yapıldıktan sonra uygulamada kullanılması öngörülmektedir.

“TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde; balastaltı malzemesi olarak teşkil edilecek karışımın laboratuvar performans özellikleri tanımlanmıştır. Modifiye Proctor deneyi ile belirlenecek $\gamma_{d,max}$ değerinin, PMBT ve GBT için 19kN/m^3 'ten büyük olması istenmektedir. Modifiye yaş CBR deneyi ile ölçülen CBR değerinin PMBT'de %100'den, GBT'de ise %80'den büyük olması istenmektedir. Modifiye yaş CBR deneyinde, 96 saat sonundaki şişme oranının her iki karışım için %0,5'ten küçük olması istenmektedir. Bu hususlara ek olarak her iki karışımın permeabilite değerlerinin 5×10^{-5} m/s'den küçük olması istenmektedir. AREMA şartnamesinde karışımın laboratuvar performans özelliklerine ilişkin bir kısıt bulunmamaktadır. ARTC şartnamesinde, modifiye Proctor deneyi ile belirlenecek $\gamma_{d,max}$ değerinin en az $19,62\text{kN/m}^3$ olması ve karışıma uygulanacak modifiye yaş CBR deneyinde, CBR değerinin en az %50 olması istenmektedir.

Çelikhane cürufuna ilişkin yapılan uluslararası çalışmalarda; tamamen çelikhane cürufundan oluşan karışımların CBR değerlerinin %40 ila %300 arasında olduğu [52, 53, 54] belirtilmiştir. Buna ek olarak Sas tarafından 2015 yılında gerçekleştirilen çalışmada, çelikhane cürufu karışımlarının zayıf gradasyon ve satürasyon koşullarından doğal agregaya nazaran daha fazla etkilendiği ifade edilmiştir [54]. Çelikhane cürufu ile üretilen karışımlara uygulanan CBR deneylerinde geniş bir sonuç aralığı belirlenmiştir. Sonuçların bir kısmı, çalışmalarda kontrol amacıyla üretilmiş doğal agrega karışımlarından elde edilen değerlere çok yakınken yoğun granülometri ile üretilmiş karışımlarda çok yüksek CBR değerleri de gözlemlenmiştir. Çelikhane cürufunun pürüzlü ve poroz yapısı, içsel sürtünme açısını arttırmakta özellikle mevcut şartnamede de tanımlanmış olan yoğun granülometrilik karışımlarda yüksek CBR sonuçlarının elde edildiği belirtilmiştir.

Belirtilen bu hususların yanı sıra TCDD şartnamesinde bulunmayan fakat AREMA ve ARTC şartnamelerinde bulunan iki kısıt mevcuttur. Bunlardan ilki; AREMA şartnamesinde tanımlanan minimum özgül ağırlığının $2,400 \text{ t/m}^3$ olması koşuldur. Çelikhane cürufuna ilişkin yapılan ulusal ve uluslararası çalışmalarda; özgül ağırlığın 3,016 ila 4,007 arasında olduğu [23-31, 33, 34, 37, 38] belirtilmiştir.

ARTC şartnamesinde kil ve silt içeren malzemenin balastaltı tabakasının teşkilinde kullanımına izin verildiği için doğrusal büzülme bir kısıt olarak tanımlanmıştır. Yaşlandırılmamış çelikhane cürufu bünyesindeki serbest MgO ve CaO, su ile hidrate olarak genişleme reaksiyonunu başlatmaktadır. Çelikhane cürufunun yapay agrega olarak herhangi bir uygulamada kullanılmasından sonra meydana gelecek genişleme istenmeyen iç gerilmelere ve hatta yapının bozulmasına neden olabilmektedir [55]. AREMA ve ARTC şartnamelerinde yoğun bir gradasyon tanımlanmaması nedeniyle bu bileşenlerin genişlemesinin kontrolüne ilişkin herhangi bir kısıt bulunmadığı düşünülmektedir. Fakat çelikhane cürufunun, ülkemizde balastaltı malzemesi kullanılması durumunda, genişleme miktarının belirlenmesi ve tanımlanacak bir limit ile kontrol altına alınması zorunludur. Halihazırda dünya genelinde genişleme potansiyelinin belirlenmesine ilişkin EN 1744 ve ASTM D4792 olmak üzere iki standart mevcuttur. Bu deneylerden ülkemizde uygulanabilir olanının seçilmesi ve bir limitle genişleme potansiyeli olan agregalar için koşul kabul edilmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Sürdürülebilirlik kapsamında, ülkemizde lokomotif sektör konumunda olan inşaat sektörünün çevresel etkilerinin bir nebze olsun indirgenebilmesi için geri dönüştürülmüş ya da yapay agregaların uluslararası örneklerde olduğu gibi Türkiye için de bir alternatif olması önem taşımaktadır.

Bu bağlamda çelikhane cürufunun balastaltı malzemesi olarak kullanımı için bu malzemenin hali hazırda kullanıldığı ülkelerin şartnameleri, mevcut ulusal şartnamemiz ile karşılaştırılmıştır.

Mevcut ulusal şartnamede, atıfta bulunulan standartlarda “geri dönüştürülmüş agregalar” ifadesinin yer almasına karşın şartnamede, bu malzemeye ilişkin herhangi bir değerlendirme yoktur. Standartlarda yer alan bu tanımın mevcut şartnameye taşınması, çelikhane cürufunun kullanılabilirliğinin hukuki altlığını oluşturabilir.

Mevcut kısıtlar kapsamında ise çelikhane cürufunun kullanımı durumunda; Micro-Deval deneyinin zorunlu deneyler kapsamına alınmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Ayrıca metilen mavisi deneyinin de çelikhane cürufu için zorunlu olarak tanımlanması ve Atterberg limitleri, kum eşdeğerlilik ve metilen mavisi deneylerinden elde edilecek sonuçların ortak değerlendirilmesinin uygun olacağı öngörülmektedir. Bunlara ek olarak çelikhane cürufunun balastaltı malzemesi olarak kullanımı durumunda stok sahasında gerekli düzenlemenin yapılarak kontaminasyona mahal verilmemesi bir zorunluluk olmaktadır.

Çelikhane cürufuna yapılan deneylerde yetersiz sonuçların elde edilmesi durumunda, çelikhane cürufunun fiziksel özelliklerinin ve bir takım kimyasal özelliklerinin, uygulamanın gerektirdiği şekilde düzenlenme imkânı mevcuttur.

Çelikhane cürufu, endüstriyel işlemler sonucu ortaya çıkan bir yan ürün olduğu için her durumda mevcut şartnamede çok ince agrega için tanımlanmış olan kimyasal parametrelerin kontrol edilmesi ve çevresel analiz değerlendirilmesinin yapılmasının zorunlu olması gerektiği öngörülmektedir.

Yaşlandırılmamış çelikhane cürufu bünyesindeki serbest MgO ve CaO, su ile hidrate olarak genleşme reaksiyonunu başlatmaktadır. Çelikhane cürufunun, ülkemizde balastaltı malzemesi kullanılması durumunda, genleşme miktarının belirlenmesi ve tanımlanacak bir limit ile kontrol altına alınması zorunludur. Halihazırda dünya genelinde genleşme potansiyelinin belirlenmesine

ilişkin EN 1744 ve ASTM D4792 olmak üzere iki standart mevcuttur. Bu deneylerden ülkemizde uygulanabilir olanının seçilmesi ve bir limitle genişleme potansiyeli olan agregalar için koşul kabul edilmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

Yapılan bu değerlendirmeler kapsamında; çelikhane cürufunun balastaltı malzemesi olarak kullanımının desteklendiği AREMA ve ARTC şartnameleri, “TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi” ile karşılaştırılmıştır. AREMA ve ARTC şartnamelerine kıyasla “TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nin daha fazla parametreyi dikkate aldığı ve daha rijit bir şartname olduğu açıktır. Bununla birlikte gerekli laboratuvar çalışmalarının ve deneme uygulamalarının yapılması ile elde edilecek sonuçlar ışığında, “TCDD Sub-Balast Teknik Şartnamesi”nde yapılacak basit düzenlemeler ile çelikhane cürufunun balastaltı malzemesi olarak kullanımının yolunu açmak mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Karalar, R., Çevresel Sorunlara Karşı bir Çözüm Önerisi Olarak Sürdürülebilir Tüketim Düşüncesi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 30, 63-76, 2011.
- [2] Sönmez, İ., Asfaltta geri dönüşüm ve geri dönüşüm sistemleri, Yol Teknolojileri, 21, 94-96, 2013.
- [3] Yılmaz, A., Ferrookrom ve Silikoferrookrom Cürufları ile Silis Dumanının Yol Üstyapısında Kullanımının İncelenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Türkiye, 2008.
- [4] NSA, Steelmaking Slag: A Safe and Valuable Product, The Steel Slag Coalition-National Slag Association, Washington, 1998.
- [5] T. C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Demir Çelik Sektör Raporu, Sektörel Raporlar, Ankara, 2021.
- [6] FHWA, User guidelines for waste and byproduct materials in pavement construction, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Publication Number: FHWA-RD-97-148, 2017.
- [7] TechnoBee Ltd. Şti., EAF ile Çelik Üretiminde Oluşan Cürufların Değerlendirilme Olanakları, Ülkemizde ve Dünyada Mevcut Durumun Analizi, İstanbul, 2012.
- [8] MÇT Ltd. Şti., İskenderun Cüruf Geri Kazanım Tesisi Nihai ÇED Raporu, MGS Proje Müş. Müh. Ltd. Şti., Ankara, 2009.
- [9] Yalçın, N. S., Erel, A., Yüksek hızlı demiryollarında altyapının önemi ve tasarım ilkeleri, 7.



Ulaştırma Kongresi, İstanbul, 323-344, 2007.

[10] TCDD, Sub-Balast Teknik Şartnamesi, Teknik Şartnameler, Ankara, 2020.

[11] TSE, İnşaat mühendisliği işleri ve yol yapımında kullanılan bağlayıcısız ve hidrolik bağlayıcı malzemeler için agregalar, TS EN 13242+A1, Ankara, 2009.

[12] TSE, Bağlayıcısız karışım-Özellikler, TS EN 13285, Ankara, 2018.

[13] TSE, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Aşınmaya karşı direncin tayini (mikro- Deval), TS EN 1097-1, Ankara, 2011.

[14] TSE, Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler - Bölüm 3: "sonnenbrand bazalt" için kaynatma deneyi, TS EN 1367-3, Ankara, 2003.

[15] Oritola, S., Saleh, A. L., Sam, A. R. M., Comparison of different forms of gravel as aggregate in concrete. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 6(2), 135-144, 2014.

[16] USGS, USGS Publishes Map of Potential Pyrrhotite Occurences, <https://www.usgs.gov>, 2020, Erişim tarihi: 22.06.2022.

[17] Morata, M., Saborido, C., Fontserè, V., Slag aggregates for railway track bed layers: Monitoring and maintenance. Computers in Railways XV Railway Engineering Design and Operation, 283-294, 2016.

[18] Texas DOT, Ballasted Track Construction, Special Specification 2350, CSJ 0054-07-069, 2004.

[19] Union Pacific, Railroad Track Construction, General Conditions and Specifications, Section 34 11 10, 2019.

[20] Elkhoury, N., Hitihamillage, L., Moridpour, S., & Robert, D., Degradation prediction of rail tracks: A review of the existing literature. The Open Transportation Journal, 12(1), 2018.

[21] ARTC, Earthworks, Formation and Capping Material, Engineering (Track & Civil), Standard, ETM-08-01, 2010.

[22] Türköz, M., Sıkıştırılmış Şişen Killerin Mikroyapısal Değişiminde Şişme-Büzülme Çevrimin Etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(1), 77-91, 2009.

[23] Kaya, A. O., Esnek üstyapıların aşınma tabakasında elektrik ark fırını cürufunun agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2014.

[24] Ali, N. A., Chan, J. S., Papagiannakis, T., Theriault, E. G., Bergan, A. T., The use of steel slag in asphaltic concrete. In Effects of aggregates and mineral fillers on asphalt mixture performance. ASTM International, 1992.

- [25] Abut, Y., Elektrikli Ark Ocağı Cürufu'nun Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılabilirliği, 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 230-240, 2013.
- [26] Özüğurlu, B., Karayolu esnek üstyapı binder tabakasında elektrik ark ocağı cürufunun yapay agregaya kullanımının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2015.
- [27] Mutlugeldi, C., Elektrik ark fırını cürufunun karayolu esnek üstyapı bitümlü temel tabakasında agregaya değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, 2015.
- [28] Liapis, I., Likoydis, S., Use of electric arc furnace slag in thin skid-resistant surfacing. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 48, 907-918, 2012.
- [29] Yılmaz, M., Kök, B. V., . Effects of ferrochromium slag with neat and polymer modified binders in hot bituminous mix, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 16-5, 310-318, 2009.
- [30] Xue, Y., Wu, S., Hou, H., Zha, J., Experimental investigation of basic oxygen furnace slag used as aggregate in asphalt mixture. *Journal of hazardous materials*, 138(2), 261-268, 2006.
- [31] Rastovčan-Mioč, A., Sofilić, T., Mioč, B., Application of electric arc furnace slag. *Proceedings matrib Vela luka, island Korčula, Hrvatska*, 24-26, 2009.
- [32] Li, Y., Wang, R., Li, S., Zhao, Y., Qin, Y., Resistance of recycled aggregate concrete containing low-and high-volume fly ash against the combined action of freeze-thaw cycles and sulfate attack. *Construction and Building Materials*, 166, 23-34, 2018.
- [33] Aiban, S. A., Utilization of Steel Slag Aggregate for Road Bases, *Journal of Testing and Evaluation*, Mar. 2006, Vol. 34, No. 2, Paper ID JTE12683, 2006.
- [34] Sofilić, T., Merle, V., Rastovčan-Mioč, A., Čosić, M., Sofilić, U., Steel slag instead natural aggregate in asphalt mixture. *Archives of metallurgy and materials*, 55(3), 657-668, 2010.
- [35] Kehagia, F., Skid resistance performance of asphalt wearing courses with electric arc furnace slag aggregates. *Waste Management & Research*, 27(3), 288-294, 2009.
- [36] Sorlini, S., Sanzeni, A., Rondi, L., Reuse of steel slag in bituminous paving mixtures. *Journal of hazardous materials*, 209, 84-91, 2012.
- [37] Sorlini, S., Sanzeni, A., Rondi, L., Reuse of steel slag in bituminous paving mixtures. *Journal of hazardous materials*, 209, 84-91, 2012.
- [38] Pasetto, M., Baldo, N., Mix design and performance analysis of asphalt concretes with electric arc furnace slag. *Construction and Building Materials*, 25(8), 3458-3468, 2011.
- [39] Maslehuddin, M., Sharif, A. M., Shameem, M., Ibrahim, M., Barry, M. S., Comparison of properties of steel slag and crushed limestone aggregate concretes. *Construction and building*



materials, 17(2), 105-112, 2003.

[40] Shiha, M., El-Badawy, S., Gabr, A., Modeling and performance evaluation of asphalt mixtures and aggregate bases containing steel slag. *Construction and Building Materials*, 248, 118710, 2020.

[41] Yonar, F., Elektrik ark ocağı çelikhane cürufunun karayolu esnek üstyapı tabakalarında kullanımının ve karışım performansının araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye, (2017).

[42] Gökalp, İ., Uz, V. E., Pürüzlendirme Uygulamasının Kaplama Yüzeyi Makro Dokusu Üzerine Olan Etkisinin Araştırılması. *Celal Bayar University Journal of Science*, 13(2), 545-554, 2017.

[43] Pan, D. A., Li, L., Tian, X., Wu, Y., Cheng, N., Yu, H. , A review on lead slag generation, characteristics, and utilization. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 140-155, 2019.

[44] Özbebek, H., Açık, H., İnce agregalarda yapılan metilen mavisi ve kum eşdeğerliği deney sonuçlarının beton özelliklerine ve maliyetine etkisi. *THBB Beton*, 2011.

[45] Rondi, L., Bregoli, G., Sorlini, S., Cominoli, L., Collivignarelli, C., Plizzari, G., Concrete with EAF steel slag as aggregate: A comprehensive technical and environmental characterisation. *Composites Part B: Engineering*, 90, 195-202, 2016.

[46] Chen, Z., Wu, S., Wen, J., Zhao, M., Yi, M., Wan, J., Utilization of gneiss coarse aggregate and steel slag fine aggregate in asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 93, 911-918, 2015.

[47] Khan, M. I., Wahhab, H. A. A., Improving slurry seal performance in Eastern Saudi Arabia using steel slag. *Construction and Building Materials*, 12(4), 195-201, 1998.

[48] Haritonovs, V., Zaumanis, M., Brencis, G., Smirnovs, J., Performance of asphalt concrete with dolomite sand waste and bof steel slag aggregate. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 8(2), 91-97, 2013.

[49] Liapis, I., & Papayianni, I., Advances in chemical and physical properties of electric arc furnace carbon steel slag by hot stage processing and mineral mixing. *Journal of hazardous materials*, 283, 89-97, 2015.

[50] Papachristoforou, M., Anastasiou, E. K., Papayianni, I., Durability of steel fiber reinforced concrete with coarse steel slag aggregates including performance at elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 262, 120569, 2020.

[51] Maghool, F., Arulrajah, A., Suksiripattanapong, C., Horpibulsuk, S., Mohajerani, A., Geotechnical properties of steel slag aggregates: Shear strength and stiffness. *Soils and Foundations*, 59(5), 1591-1601, 2019.

[52] Aziz, M. M. A., Shokri, M., Ahsan, A., Liu, H. Y., Tay, L., Muslim, N. H., An overview on performance of steel slag in highway industry. *Journal of Advanced Research in Materials Science*,



67(1), 1-10, 2020.

[53] Maghool, F., Arulrajah, A., Du, Y. J., Horpibulsuk, S., Chinkulkijniwat, A., Environmental impacts of utilizing waste steel slag aggregates as recycled road construction materials. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(4), 949-958, 2017.

[54] Sas, W., Głuchowski, A., Radziemska, M., Dziecioł, J., Szymański, A., Environmental and geotechnical assessment of the steel slags as a material for road structure. *Materials*, 8(8), 4857-4875, 2015.

[55] Fronek, B. A., Feasibility of expanding the use of steel slag as a concrete pavement aggregate, M. Sc. Thesis, Cleveland State University, USA, 2012.

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

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

Yazım Kuralları / Instructions

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

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

13. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır.

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

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

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

Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Instructions / Yazım Kuralları

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

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

References should be provided with the following information:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

TELİF HAKLARI DEVİR FORMU

Makale Adı:

Yazarların Ad/ları:

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

Makalenin telif haklarından feragat etmeyi kabul ederek sorumluluğu üstlenir ve imza ederiz.

Bu vesileyle makalenin telif hakkı Kırklareli Üniversitesi'ne devredilmiştir. Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayınlanabilmesi konusunda yetkili kılınmıştır. Bununla birlikte yazar/ların aşağıdaki hakları saklıdır:

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

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

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

Makaleyi Gönderen Sorumlu Yazar:

Adı -Soyadı:

Yazışma Adresi:

Telefon: ()

Fax: ()

E-posta:

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



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

COPYRIGHT TRANSFER FORM

Manuscript Title:

Full names of all authors:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Corresponding Author's:

Name-Surname:

Address:

Phone: ()

Fax: ()

E-mail:

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