



ISSN: 1012 - 0726 (Baskı)

ISSN: 1308 - 2477 (Online)

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ Technical Bulletin

SAYI: 145

YIL : OCAK 2025



Yusufeli Barajı - ARTVİN

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

YIL:2025

SAYI: 145

ISSN: 1012-0726

E-ISSN: 1308-2477

İçindekiler

Araştırma Makalesi

Barajlar, Göletler, Sulama ve Su İletim Kanallarında Kullanılan HDPE Geomembran Malzemelerin Doğal Koşullarda Malzeme Ömrünün Tespiti.....1
Buğra SİNMEZ

Araştırma Makalesi

Isparta, Türkiye'de Uzun Vadeli Meteorolojik Kuraklık Değerlendirmesi: SPI Tahmini için Monte Carlo Yaklaşımı.....13
Emine Dilek TAYLAN, Tahsin BAYKAL, Özlem TERZİ, Ekinhan ERİSKİN

Araştırma Makalesi

Bir Hammadde Ocağında Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin İncelenmesi.....22
Şahin YUVKA, Önder UYSAL, Mehmet Fırat TULMAÇ, Kemal KALE, Sezer DURMAZ

DSI TECHNICAL BULLETIN

YEAR: 2025

ISSUE :145

ISSN: 1012-0726
E-ISSN: 1308-2477

Contents

Research Article

Determination of Material Life of HDPE Geomembrane Materials Used In Dams, Ponds, Irrigation and Water Transmission Channels Under Natural Conditions.....1
Buğra SİNMEZ

Research Article

Assessing Long-Term Meteorological Drought in Isparta, Turkey: A Monte Carlo Approach to SPI Forecasting.....13
Emine Dilek TAYLAN, Tahsin BAYKAL, Özlem TERZİ, Ekinhan ERİSKİN

Research Article

Investigation of Blasting Induced Vibrations In A Quarry.....22
Şahin YUVKA, Önder UYSAL, Mehmet Fırat TULMAÇ, Kemal KALE, Sezer DURMAZ

DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ Adına Yayın Sahibi

Genel Müdür
Mehmet Akif BALTA

Yayın Kurulu

Aydın SAĞLIK (Sorumlu Müdür, DSİ-Ankara)
Bülent Çağlar ÖZCAN (DSİ-Ankara)
Yasemin ELDAYIH (DSİ-Ankara)
Hakan İbrahim SOYSAL (DSİ-Ankara)
Buğra SİNMEZ (DSİ-Ankara)
Özgür KÜÇÜKALİ (DSİ-Ankara)
Nermin ARSLAN (DSİ-Ankara)
Figen ÖZYURT KUŞ (DSİ-Ankara)
Ayhan YENİ (DSİ-Ankara)

Yayın Faaliyetlerinden Sorumlu Editörler

Hüseyin DEMİR (Baő Editör, DSİ-Ankara)
Mehmet YAKUT (Baő Editör, DSİ-Ankara)

Editörler

Mustafa Şahmaran (Hacettepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği)
Özgür Yaman (ODTÜ, İnşaat Mühendisliği)
Serhat Küçükali (Hacettepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği)
Şerife Yurdadığ Kumcu (Necmettin Erbakan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği)
Halim Mutlu (Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği)
Murat Yurdakul (Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Maden Mühendisliği)
Bülent Yeşilata (Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği)
Mahmut Mutlutürk (Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği)
Şebnem Arslan (Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği)
Kıymet Deniz Yağcıoğlu (Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği)
Enes Zengin (Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama)
Ömer Kamacı (İTÜ, Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü)
Yasin Engin (Türkiye Hazır Beton Birliği)
IŞık Su Yazıcı (German Aerospace Center) (Yabancı Dil Editörü)

Teknik Editörler

Emre Altıntaş (DSİ-Ankara)
Nermin Doğan (DSİ-Ankara)
Tuba Öcal (DSİ-Ankara)

Yönetim Yeri Adresi

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı
Saray Osmangazi Mah. Alparslan Türkeş Cad. No:6 Pursaklar/Ankara Türkiye
Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 454 38 05
bulten@dsi.gov.tr

Basıldığı Yer

Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı
Basım ve Foto-Film Şube Müdürlüğü
Etlik- Ankara

Yayın Türü

Yaygın süreli yayın
Altı ayda bir yayınlanır (Ocak, Temmuz)

SAYI : 145
YIL : OCAK 2025

ISSN
1012 - 0726 (Baskı)
1308 - 2477 (Online)

© Tüm hakları saklıdır. Bu dergi ve sayıda yer alan bireysel katkılar, Devlet Su İŞleri (DSİ) tarafından telif hakkına sahiptir ve bültene atıfta bulunmaksızın ve izin alınmaksızın çoğaltılamaz, yeniden satılamaz ve kullanılamaz.
DSİ Teknik Bülteni uluslararası veritabanı EBSCO (Elton B. Stephens Company) tarafından taranmaktadır.

On behalf of GENERAL DIRECTORATE OF STATE HYDRAULIC WORKS

General Director
Mehmet Akif BALTA

Executive Publication Editorial

Aydın SAĞLIK (Chairman, DSİ-Ankara)
Bülent Çağlar ÖZCAN (DSİ-Ankara)
Yasemin ELDAYIH (DSİ-Ankara)
Hakan İbrahim SOYSAL (DSİ-Ankara)
Buğra SİNMEZ (DSİ-Ankara)
Özgür KÜÇÜKALİ (DSİ-Ankara)
Nermin ARSLAN (DSİ-Ankara)
Figen ÖZYURT KUŞ (DSİ-Ankara)
Ayhan YENİ (DSİ-Ankara)

Managing Editors

Hüseyin DEMİR (Editor in chief, DSİ-Ankara)
Mehmet YAKUT (Editor in chief, DSİ-Ankara)

Editorial Board

Mustafa Şahmaran (Hacettepe University, Civil Engineering)
Özgür Yaman (METU, Civil Engineering)
Serhat Küçükali (Hacettepe University, Civil Engineering)
Şerife Yurdagül Kumcu (Necmettin Erbakan University, Civil Engineering)
Halim Mutlu (Ankara University, Geological Engineering)
Murat Yurdakul (Bilecik Şeyh Edebali University, Mining Engineering)
Bülent Yeşilata (Ankara Yıldırım Beyazıt University, Energy Systems Engineering)
Mahmut Mutlutürk (Süleyman Demirel University, Geological Engineering)
Şebnem Arslan (Ankara University, Geological Engineering)
Kıymet Deniz Yağcıoğlu (Ankara University, Geological Engineering)
Enes Zengin (Kütahya Dumlupınar University, Department of City and Regional Planning)
Ömer Kamacı (İTÜ, Eurasia Institute of Earth Sciences)
Yasin Engin (Turkish Ready Mixed Concrete Association)
Işık Su Yazıcı (German Aerospace Center) (Language Editing)

Technical Editors

Emre Altıntaş (DSİ-Ankara)
Nermin Doğan (DSİ-Ankara)
Tuba Öcal (DSİ-Ankara)

Management Address

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı
Saray Osmangazi Mah. Alparslan Türkeş Cad. No:6 Pursaklar/Ankara TURKEY
Tel (312) 454 38 00
Fax (312) 454 38 05
bulten@dsi.gov.tr

Place of Publication

Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı
Basım ve Foto Film Şube Müdürlüğü
Etlik- Ankara

Publication Type

Periodical
Published semi-annual (January, July)

ISSUE: 145

YEAR : JANUARY 2025

ISSN

1012- 0726 (Press)
1308- 2477 (Online)

© All rights reserved. This journal and the individual contributions including in the issue are under copyright by the The State Hydraulic Works (DSİ), and may not be reproduced, resold, and used without permission and addressing the bulletin. DSİ Technical Bulletin is indexed by international database EBSCO (Elton B. Stephens Company).

DSİ Teknik Bülten Amaç ve Kapsam

Amaç: Su kaynaklarının korunması, geliştirilmesi ve yönetilmesi ile ilgili konulardaki araştırmaları, uygulamaları ve bilimsel gelişmeleri; DSİ'nin tüm birimlerine, ilgili kamu kurum ve kuruluşlarına ve ilgili kişilere duyurmak ve tanıtmaktır. Bu amaç doğrultusunda DSİ Teknik Bülteni:

- Baraj, gölet, sulama projeleri, su kanalları ve diğer su yapılarının planlama, tasarım, inşaat ve işletme aşamaları ile ilişkili teorik ve uygulamalı araştırmaları, vaka çalışmalarını ve teknik bilgi ve deneyimleri paylaşmayı,
- Su kaynaklarının yönetimi, taşkın kontrolü, çevre koruma, su kirliliği ile mücadele ve kuraklık gibi konularda, Birleşmiş Milletler tarafından belirlenen Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarını gözeterek bilimsel ve teknik gelişmeleri aktarmayı,
- Su mühendisliği ve sulama alanındaki ulusal ve uluslararası yenilikleri ve uygulamaları tanıtmayı,
- Alanında uzman akademisyenler, araştırmacılar ve teknik personelin çalışmalarını teşvik ederek bilgi alışverişini ve iş birliğini geliştirmeyi amaçlamaktadır.

Kapsam: DSİ Teknik Bülteni, inşaat, malzeme, çevre, doğa ve yer bilimleri gibi farklı fen ve mühendislik dallarının çalışma alanlarının ilgili konularındaki geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Daha önce başka bir yerde yayınlanmamış olmak koşulu ile DSİ Teknik Bülten'inde yer alabilecek başlıca yayın konuları şunlardır:

- **Barajlar ve göletler:** Barajların ve göletlerin tasarımı, inşaatı, işletilmesi, güvenliği ve kalite kontrol faaliyetleri ile ilgili teknik makaleler,
- **Su yönetimi, sulama projeleri ve sulama alanındaki yenilikler:** Su mühendisliği ve sulama alanındaki yeni teknolojiler, ürünler ve uygulamalar ile birlikte sulama projelerinin planlanması, tasarımı, inşaatı ve işletmesi ile ilgili makaleler,
- **Taşkın kontrolü:** Taşkınların önlenmesi ve yönetimi ile ilgili teknik makaleler,
- **Su yapıları:** Su kanalları, regülatörler, kapalı ve açık sistem akımları, atık su ve arıtma sistemleri, pompa istasyonları ve diğer su yapılarının tasarımı, inşaatı ve işletmesi ile ilgili teknik makaleler,
- **Kıyı yapıları:** Deniz, göl veya nehir kıyılarında inşa edilen ve su kütlesi ile kara arasındaki etkileşimi yöneten yapıların tasarımı, inşaatı ile ilgili makaleler,
- **Sediment hareketi:** Nehirlerde ve göllerde doğal malzeme hareketleri, erozyon ve oyulma, rezervuarlarda sediment birikmesinin önlenmesi ile ilgili makaleler,
- **Doğal ve yapay yapı malzemeleri:** Beton, agrega, çimento, kaya, zemin, termoplastik, kompozit ve çelik borular, metalik malzemeler, polimer ve kompozit malzemeler ve geosentetik malzemelerle ilgili deneysel, teorik veya uygulamaya yönelik çalışmalarını içeren makaleler,
- **Zemin ve kaya mekaniği:** Zeminlerin ve kayaların mühendislik özellikleri ve davranışları, bu özelliklerde zamana bağlı olarak meydana gelen değişikliklerin incelenmesi ve gelişen sorunların çözümü ile ilgili makalelerle birlikte, DSİ tarafından yürütülen hizmetlerde zemin ve kaya mekaniği alanında karşılaşılan sorunlara ait çözüm ve araştırmaları içeren teknik makaleler,
- **Su kaynakları yönetimi:** Su kaynaklarının planlanması, tahsisi, kullanımı ve korunması ile ilgili makaleler,
- **Hidrolojik ve hidrojeolojik etüt ve araştırmalar:** Su kaynakları ile ilgili hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan izotop teknikleri ile ilgili makaleler,
- **Kuraklık:** Kuraklığın etkileri ve su kaynaklarının kuraklığa karşı korunması ile ilgili makaleler,
- **Su kalitesi:** Su kaynaklarının kalitesinin belirlenmesi, izlenmesi, yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının kalite ve miktar durumlarının korunması ve iyileştirilmesi ve su analiz yöntemleri ile ilgili deney metodları geliştirme konularında makaleler,
- **Su kalitesi modelleri ve tahminleri:** Su kalitesinin belirlenmesi ve iyileştirilmesi amacıyla yapılan modellemeler, iklim değişikliğinin su kalitesi ve miktarı üzerindeki etkileri ile ilgili makaleler,
- **Su kirliliği:** Su kirliliğinin önlenmesi ve kontrolü ile ilgili makaleler,
- **Su güvenliği:** Sınır aşan sular konusunda çevresel etkiler ve sürdürülebilirlik, teknik ve mühendislik çözümleri ile ilgili makaleler,
- **Kalite-kontrol mühendisliği ve kalite yönetimi:** Organizasyonlarda kalite yönetim sistemi ile ilgili makaleler ve sürdürülebilir inşaat teknolojileri ve yapı malzemeleri, yenilenebilir inşaat malzemeleri, inşaat malzemelerinin kullanım ömrü sonunda geri dönüştürülmesi, yapıların zaman içerisindeki değişimlerinin malzeme kalitesi açısından incelenmesi, yapıların davranışlarının ve yapısal bütünlüklerinin depreme ya da diğer yıkıcı etkilere karşı izlenmesi ile ilgili makaleler.

DSİ Teknik Bülteni'nde aşağıdaki türlerde yayın yapılmaktadır:

- **Araştırma Makalesi (Research Article):** Belirli bir konu veya alanda yapılmış, bilimsel bilginin ilerlemesine katkıda bulunan, özgün, objektif ve tekrarlanabilir bir çalışmanın sunulduğu yazılardır. Bu yazılarda; çalışmanın teorik çerçevesi, literatürdeki çalışmalarla bağlantısı ve literatüre katkısı, araştırma yöntemleri, bilimsel yöntemlerle elde edilmiş yeterli nitelik ve nicelikteki verileri ve bu verilerin analizleri, çalışmanın bulguları ve sonuçları ayrıntılı bir şekilde sunulmalıdır. Araştırma makaleleri, makale konusunda yeterli bilgi ve deneyime sahip en az 2 hakem tarafından değerlendirildikten sonra dergide yayınlanmaktadır.
- **Derleme (Review):** Belirli bir konu veya alandaki literatürde hali hazırda bulunan çalışmaları kapsamlı bir şekilde analiz eden ve özetleyen yazılardır. Bu tür makaleler, genellikle özgün araştırma yapmadan, mevcut araştırma sonuçlarını ve teorik gelişmeleri bir araya getirir ve yorumlar. Derleme makaleleri, literatürün kapsamlı ve doğru bir şekilde tarandığını, analiz edildiğini ve yorumlandığını tespit etmek ve makaleyi daha güvenilir kılmak için, makale konusunda yeterli bilgi ve deneyime sahip en az 2 hakem tarafından değerlendirildikten sonra dergide yayınlanmaktadır.
- **Teknik Not (Technical Note):** Önceki çalışmalara kıyasla büyük oranda yeni bir yöntem, teknik geliştirme veya ekipman hakkında kısa, öz ve spesifik teknik bilgileri veya bulguları hızlı ve etkili bir şekilde sunan yazılardır. Teknik not makaleleri, sunulan teknik

bilgilerin, yöntemlerin veya bulguların bilimsel olarak doğru, geçerli ve gerçekten yeni olduğunun tespitinin sağlanabilmesi için, makale konusunda yeterli bilgi ve deneyime sahip en az 2 hakem tarafından değerlendirildikten sonra dergide yayınlanmaktadır.

- **Düzeltilme (Erratum):** Daha önce yayınlanmış bir makalede bulunan hataları düzeltmek amacıyla yayınlanan hata bildirim yazılarıdır. Düzeltilme makaleleri, hatanın önem derecesine de bağlı olarak, orijinal makaleyi inceleyen hakemlerce tekrar değerlendirildikten sonra yayınlanmaktadır. Eğer orijinal hakemlerle iletişim kurulamazsa veya farklı bir uzmanlık gerekiyorsa yeni hakemler belirlenebilir. Ancak, küçük ve açıkça tanımlanmış hataların söz konusu olduğu durumlarda (yazım hataları veya basit hesaplama hataları gibi) düzeltilme makaleleri hızlı bir editöryal inceleme sürecinden geçirilerek dergide yayınlanabilmektedir.

DSI Technical Bulletin: Aim and Scope

Purposes: The aim of the DSI Technical Bulletin is to disseminate and promote research, practices, and scientific advancements related to the protection, development, and management of water resources to all units of DSI, relevant public institutions, organizations, and interested individuals. In alignment with this objective, the DSI Technical Bulletin aims to:

- Disseminate theoretical and applied research, case studies, and technical knowledge and expertise related to the planning, design, construction, and operation stages of dams, reservoirs, irrigation projects, water channels, and other hydraulic structures.
- Communicate scientific and technical advancements concerning water resource management, flood control, environmental protection, combating water pollution, and drought, with a focus on the United Nations Sustainable Development Goals.
- Introduce national and international innovations and practices in the fields of water engineering and irrigation.
- Foster the exchange of knowledge and collaboration by encouraging the work of expert academicians, researchers, and technical personnel.

Scope: The DSI Technical Bulletin encompasses a broad range of topics related to various branches of science and engineering, such as construction, materials, environment, nature, and earth sciences. The primary topics eligible for publication in the DSI Technical Bulletin, provided they have not been published elsewhere, include:

- **Dams and Reservoirs:** Technical articles on the design, construction, operation, safety, and quality control activities of dams and reservoirs.
- **Water Management, Irrigation Projects, and Innovations in Irrigation:** Articles on new technologies, products, and practices in water engineering and irrigation, as well as the planning, design, construction, and operation of irrigation projects.
- **Flood Control:** Technical articles on the prevention and management of floods.
- **Water Structures:** Technical articles on the design, construction, and operation of water channels, regulators, closed and open system flows, wastewater and treatment systems, pump stations, and other hydraulic structures.
- **Coastal Structures:** Articles on the design and construction of structures built on coasts of seas, lakes, or rivers, managing the interaction between the water body and the land.
- **Sediment Movement:** Articles on natural material movements in rivers and lakes, erosion and scouring, and preventing sediment accumulation in reservoirs.
- **Natural and Artificial Construction Materials:** Articles involving experimental, theoretical, or practical studies on materials such as concrete, aggregate, cement, rock, soil, thermoplastics, composites and steel pipes, metallic materials, polymers, and geosynthetic materials.
- **Soil and Rock Mechanics:** Articles on the engineering properties and behaviors of soils and rocks, the investigation of changes in these properties over time, solutions to arising problems, and case studies from DSI's work in soil and rock mechanics.
- **Water Resources Management:** Articles on the planning, allocation, use, and protection of water resources.
- **Hydrological and Hydrogeological Studies:** Articles on hydrological and hydrogeological studies related to water resources, including the use of isotope techniques.
- **Drought:** Articles on the impacts of drought and protecting water resources against drought.
- **Water Quality:** Articles on determining, monitoring, and improving the quality of water resources, including the development of water analysis methods.
- **Water Quality Models and Predictions:** Articles on modeling for determining and improving water quality, and the effects of climate change on water quality and quantity.
- **Water Pollution:** Articles on preventing and controlling water pollution.
- **Water Security:** Articles on environmental impacts and sustainability, technical and engineering solutions related to transboundary waters.
- **Quality-Control Engineering and Quality Management:** Articles on quality management systems in organizations, sustainable construction technologies and materials, renewable construction materials, recycling of construction materials at the end of their lifespan, the examination of material quality changes over time, and the monitoring of structural behaviors and integrity against earthquakes or other destructive impacts.

Types of Publications in the DSI Technical Bulletin:

- **Research Article:** Papers presenting original, objective, and replicable work that contributes to the advancement of scientific knowledge on a specific topic or field. These articles should detail the theoretical framework, connection to existing literature, research methods, sufficient qualitative and quantitative data obtained through scientific methods, and analysis of these data, findings, and conclusions. Research articles are published after evaluation by at least two referees with sufficient knowledge and experience in the article's subject matter.
- **Review Article:** Papers comprehensively analyzing and summarizing existing studies in a particular field or topic. These articles typically compile and interpret existing research results and theoretical developments without conducting original research. Review articles are published after evaluation by at least two referees to ensure comprehensive and accurate literature review, analysis, and interpretation.

- **Technical Note:** Papers presenting brief, specific technical information or findings on new methods, techniques, or equipment compared to previous studies. Technical notes are published after evaluation by at least two referees to ensure the scientific accuracy, validity, and novelty of the presented technical information or findings.
- **Erratum:** Papers published to correct errors in previously published articles. Erratum articles are reviewed by the original referees or new referees, depending on the error's significance and the need for specialized knowledge. Small, clearly defined errors (such as typographical or simple calculation errors) undergo a rapid editorial review process before publication.

Araştırma Makalesi / Research Article

Barajlar, Göletler, Sulama ve Su İletim Kanallarında Kullanılan HDPE Geomembran Malzemelerin Doğal Koşullarda Malzeme Ömrünün Tespiti

Buğra SİNMEZ* 

DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı 06100 Saray Osmangazi Mah. Alpaslan TÜRKEŞ cad. No:6/5 Pursaklar/
ANKARA
bugrasinmez@dsi.gov.tr

Geliş (Received): 26.01.2022, Düzeltme (Revised): 19.07.2024, Kabul (Accepted): 09.12.2024

ÖZ

Sızdırmazlık, filtreleme, ayırma, koruma gibi özellikleri olan Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) geomembranlar Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü projelerinde sıkça kullanılmaktadır. Ülkemizde baraj, gölet ve rezervuarlarda kullanılan geomembran türlerinin dağılımına bakıldığında HDPE geomembranlar, toplam kullanılan geomembranların %63'ü gibi önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu sebeple kalite kontrol çok önemlidir. Proje başlamadan önce, Geomembranlar sahaya geldiğinde, bir takım laboratuvar deneylerine tabi tutulur. Laboratuvar deneylerine uygun sonuç sağlayan malzemeler sahada uygulanmaktadır fakat bu malzemelerin sahada nasıl bir davranış sergileyeceği konusunda geniş kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma geomembran malzemelerin doğal koşullarda nasıl davranış sergilediğini göstermektedir. İç Anadolu iklimi olan Ankara'da yapılan çalışmalar, doğal koşullara bırakılmadan önce yapılan deney sonuçları ve bir yıllık sürede doğal koşullar altında şartlanan 2.0 mm kalınlığında dört farklı (HDPE, Pürüzlü HDPE1, Pürüzlü HDPE2 VE Pürüzlü HDPE3) özellikteki geomembran malzemelerin deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan deney sonuçlarına göre; Çekme dayanımlarında en fazla azalma PRZ HDPE1 %12,07 numunesinde, statik delinme kuvveti (CBR) deneyi sonuçlarına göre en fazla azalma %4,27 ve %2,68 ile PRZ HDPE1 ve PRZ HDPE2 numunelerinde ve yırtılma dayanımında en yüksek miktarda azalma PRZ HDPE1 %8,25 numunelerinde görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: HDPE Geomembran, Geosentetik bariyerler, barajlar, laboratuvar deneyleri

*Corresponding Author: Buğra SİNMEZ e-posta: bugrasinmez@dsi.gov.tr

Atıf bilgisi: SİNMEZ, B. (2025). Barajlar, Göletler, Sulama ve Su İletim Kanallarında Kullanılan HDPE Geomembran Malzemelerin Doğal Koşullarda Malzeme Ömrünün Tespiti. DSI Technical Bulletin/DSI Teknik Bülteni, 145, p1-12.

Determination of Material Life of HDPE Geomembrane Materials Used in Dams, Ponds, Irrigation and Water Transmission Channels Under Natural Conditions

ABSTRACT

HDPE (High Density Polyethylene) geomembranes, which have properties such as sealing, filtering, separation and protection, are frequently used in General Directorate of State Hydraulic Works (DSI) projects. Considering the distribution of geomembrane types used in dams, ponds and reservoirs in our country, HDPE geomembranes constitute an important part of 63% of the total geomembranes used. Geomembranes are subjected to a number of laboratory tests before being applied. Materials that meet criteria suitable for laboratory experiments are applied in the field, but there is no comprehensive study on how these materials will react in the field. This study shows how geomembrane materials behave in natural conditions. The studies carried out in Ankara, which has a Central Anatolian climate, the test results made before being left to natural conditions and the test results of 2.0 mm thick geomembrane materials with four different (HDPE, Rough HDPE1, Rough HDPE2 AND Rough HDPE3) properties conditioned under natural conditions for a period of one year were compared. According to the compared test results; The highest decrease in tensile strength is in the PRZ HDPE1 sample with 12.07%, according to the static puncture force (CBR) test results, the highest decrease is in the PRZ HDPE1 and PRZ HDPE2 samples with 4.27% and 2.68%, and the highest decrease in tear strength is in the PRZ HDPE1 It is seen in 8.25% samples.

Keywords: HDPE Geomembrane, Geosynthetic barrier, dams, laboratory experiments

1 GİRİŞ

Geomembranlar; barajlar, göletler ve rezervuarlar gibi hidrolik yapıların uzun dönem sızdırmazlıklarını sağlamak amacıyla kullanılan sentetik malzemelerdir. Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) geomembranlar %96-97,5 polietilen, %2-3 UV koruması, genellikle karbon siyahı ve %0,5-1,0 antioksidanlar ve termostabilizatörlerle formüle edilir (Hsuan & Koerner).

Dünyadaki ilk örnekleri 1950'lerin sonlarına dayanan barajlarda geomembran uygulamaları Türkiye'de rezervuar kaplaması olarak ilk kez 2009 yılında; diğer yandan bir barajın ön yüzünde geçirimsiz elamanı olarak da ilk olarak Yedikapı Barajı'nda 2014 yılında uygulanmıştır. DSİ bünyesinde şu anda tamamlanmış ve 2022 yılına kadar tamamlanacak geomembran kaplı baraj, gölet ve rezervuar sayısı 100'e yakındır. Türkiye'de baraj, gölet ve rezervuarlarda kullanılan geomembran türlerinin dağılımına bakıldığında HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) geomembranlar, toplam kullanılan geomembranların %63'ü (4428371.3 m²) gibi önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Sinmez ve Demirdöğen 2021).

HDPE geomembranlar, düzenli depolama alanları, rezervuarlar, barajlar ve kanallar gibi çok sayıda kaplama uygulamasında başarıyla

kullanılmıştır (Koerner vd. 2008). Zemin güçlendirilmesinde kullanılması ve başarılı bir performans sergilemesi geosentetik malzemelerin özelliklerindedir (Sinmez 2019). Genel olarak, HDPE geomembranlar, bu uygulamaları kolaylaştıran iyi mukavemet sergilerler (Hillman ve Stark 2001).

Dayanıklılık ve kimyasal dirençleri sayesinde HDPE geomembranlar dünyada atık depolama sahalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca HDPE geomembranlar rezervuar kaplamalarında da: (1) diğer geomembran türlerine göre daha ekonomik olmasından ve tedarikinin kolay olmasından ve (2) malzemenin çok kararlı polyoletin; yani kimyasal olarak inert ve uzun ömürlü olmasından dolayı tercih edilmektedir (Blanco vd. 2012).

Geomembranların kullanımı yaygın ve etkili (zemin problemlerine çözüm vb.) olsa dahi, bazı bozulmalara uğrayabilir. oksidatif bozunma, Solar Işıma/UV Bozunması, termal bozunma, kimyasal bozunma vb. olmak üzere farklı yaşlanma mekanizmalarına maruz kalır. Bu mekanizmalar malzeme özelliklerini etkileyebilir ve hatta dayanıklılıklarını azaltabilir. Uygulamalarda HDPE geomembranların uzun süreli dayanıklılığı ile ilgili endişeler vardır (Stark ve diğerleri 2008). Yaşlanmaya maruz kalan ürün, moleküler zincir kesilmesi, çapraz

bağlanma ve bağ kopması nedeniyle özellik değişiklikleri yaşayabilir.

Tüm bunları göz önünde bulundurarak, bu çalışmanın amacı, HDPE geomembran yaşlanmasında yer alan mekanizmaları ve kavramları sunmak ve dünya çapında yıllar boyunca kullanılan malzemelerin saha çalışmalarına önemli katkılar sunmaktadır. Bu çalışma, HDPE geomembranların uzun vadeli dayanıklılığını araştırmak için yapılan bir çalışmadır. Geomembranların doğal koşullara maruz bırakılmadan önce ve sonraki durumları deneye tabi tutularak, öngörülen hizmet ömürlerini yıllara sari olarak tespit etmek temel amaçtır.

2 BOZUNMA TÜRLERİ

HDPE geomembran bozunmasının ana mekanizmaları oksidatif bozunma, Solar Işıma/UV Bozunması, termal bozunma, kimyasal bozunma ve bu mekanizmaların aynı anda meydana geldiği sinerjik etkileridir (Greenwood ve ark. 1996).

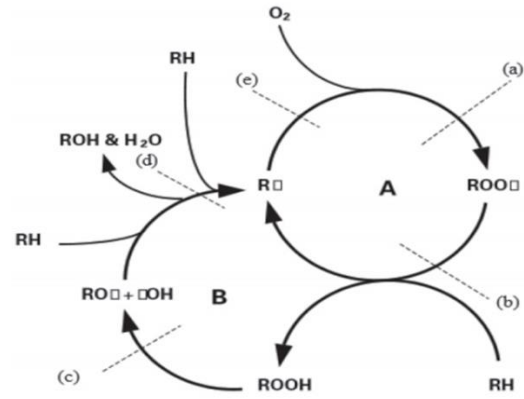
Lodi ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada PVC (poli vinil klorür) ve HDPE geomembran numuneler üzerinde yaşlandırma testleri yapmışlardır. 6, 12, 18, 84 aylık süreçlerde hava koşullarında özelleşmiş şartlar altında 1mm'lik ve 2 mm'lik iki tip PVC, 0,8 mm ve 2,5 mm'lik HDPE numuneler teste tabi tutulmuştur. İki ayrı grubun elastiklik modülü, deformasyon, zımbalama, yırtılma ve kopma testleri yaşlandırmadan önce ve sonra yapılmıştır. Genel anlamda numunelerin doğal koşullara bırakılanların daha katı ve sert oldukları gözlenmiştir. Kopma mukavemetinde %50'lere yakın net düşüşler 84 ay sonunda gözlenmiştir.

2-1 Oksidatif Bozunma

Polietilen (PE) dahil olmak üzere poliolefinler, polimer ile oksijen molekülü arasında bir reaksiyonun olduğu oksidasyonla bozunur. Katı hal polimerlerindeki tüm oksidasyon süreci o kadar karmaşık ve heterojendir ki, doğası ve kinetiği hala birçok açık soruyu gündeme getirmektedir.

HDPE oksidasyonu için ana süreç, bir serbest radikal zincir mekanizmasıdır. Şekil 1, iki döngülü işlemleri içeren oksidasyon mekanizmasını göstermektedir. Döngü (A), alkil / alkilperoksilin bir zincir reaksiyonudur ve ikincisi (B), zincir reaksiyonu ile yeni radikallerin oluşumudur (hidroperoksitlerin homolizidir). Bu durumda çözüm olarak tüm bağlantılar kapatılırsa oksidasyon durdurulabilir.

Polimerlerin oksidasyonunu önlemek için antioksidanlar, HDPE reçinesine dahil edilir. İki farklı antioksidan türü kullanılır: birincil ve ikincil. Antioksidanların iyi etkinliği, miktarına, türüne ve alan sıcaklığına bağlıdır. Birincil antioksidanlar, serbest radikal oluşumunu önlemek için çalışırken, ikincil antioksidanlar, inaktif alkollerde aktif hidroperoksit oluşumunu azaltmak için çalışır.



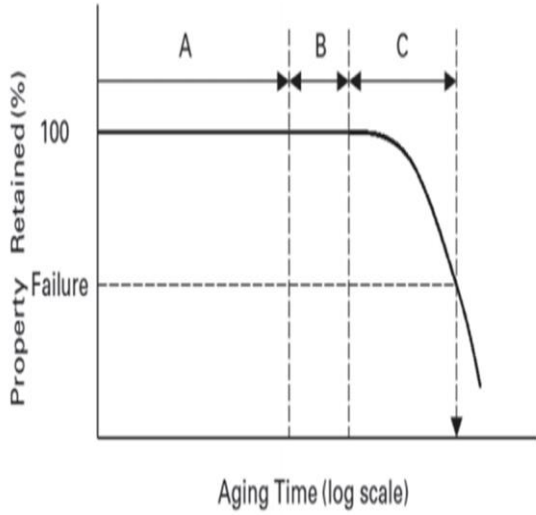
RH: Polyethylene polymer chain
R•: Reactive free radical
ROO•: Hydroperoxy radical
ROOH: Hydroperoxid
(a) (b) (e) : Primary antioxidants
(c) (d) : Secondary antioxidants

Şekil-1 İki Döngülü İşlemleri İçeren Oksidasyon Mekanizması

HDPE geomembranlarının oksidasyonu, Şekil 2'de gösterilen üç farklı aşamada değerlendirilebilir. İlk aşama (A), antioksidan tükenmesine bağlıdır. Antioksidanların miktarı oksidatif indüksiyon süresi (OIT) testi ile ölçülür. OIT testi, geomembran numunelerini saf oksijen içinde yüksek bir sıcaklık ve basınca maruz bırakır ve reçine antioksidanlarının oksidasyonu ve tükenmesi tamamlanana kadar sabit tutulur. Oksijenin diferansiyel taramalı kalorimetre test hücresine girdiği andan, oksidasyonun başlangıcına kadar geçen süre, belirli bir dizi koşul için geomembranın yaşam beklentisini belirlemek için kullanılabilen oksidasyon indüksiyon süresi olarak adlandırılır (Erickson ve ark. 2008). HDPE geomembranlarının antioksidanın tükenmesi yoluyla hizmet ömrünü tahmin etmek için oksidatif indüksiyon süresi (OIT) kullanmıştır. OIT değeri, numunedeki antioksidan miktarıyla ilgili bir indeks parametresidir ve HDPE geomembranlarındaki antioksidan tükenmesinin izlenmesi için çok faydalıdır (Rimal ve Rowe 2009). İkinci aşamada (B), zincirleme reaksiyon ve moleküler bileşimde değişiklikler başlar. Üçüncü aşama (C), serbest

radikallerin oluşumu ile moleküler bileşimde önemli değişiklikleri temsil eder ve serbest radikallerde çapraz bağlanma meydana gelir.

Bu değişikliklerin sonucu, tamamen değişmiş bir moleküler yapı, mukavemet özelliklerinde azalma, çatlakların ortaya çıkması ve hizmet ömrünün sonunda doruğa ulaşan gerilim çatlama duyarlılığında bir artış olmasıdır.



Şekil-2 Yaşlanmaya Bağlı Değişim

2-2 Solar Işıma/UV Bozunması

Geomembranların ömrü, ultraviyole radyasyon (UV) veya termal ve UV maruziyetinin bir kombinasyonu ile belirlenir. Bu iki temel etkene ilave olarak ışınma yoğunluğu (intensity), nem ve diğer bir takım etkenler de polimerin bozunmasında etkili olabilmektedir. Bu nedenle, HDPE'yi korumak için karışıma normalde % 2 ila % 3 oranında karbon siyahı eklenir. Açığa çıkan geomembran uygulamalarında, polietilen (PE) UV radyasyonu ile temas halindedir ve bozunma, birkaç serbest radikal reaksiyonu ile fotooksidasyon tarafından yönlendirilir.

Rowe ve Sangam (2001) yaptıkları çalışmada, HDPE'nin dayanıklılığını, kullanım ömrünü, malzeme kalınlığı ve maruz kalma şartlarına bağlı olarak incelemiştir. Karbon siyahı miktarının artırılması UV ışığının polimere penetrasyonunu engellediği görülmüştür.

Bozunma termal ve UV radyasyonunun kombine etkisi olan serbest radikalleri ortaya çıkarır. Bu serbest radikaller hızlıca oksijen ile reaksiyona girer ve polimerin oksidatif bozunmasına neden olur. Antioksidanlar, stabilizatörler ve karbon siyahı serbest radikalleri nötralize eder ve bu da oksidatif bozunmayı geciktirir. Geomembranın

uzun dönem performansı öncelikle antioksidanın azalma hızı ile kontrol edilebilir (Park vd. 2012).

2-3 Termal Bozunma

Geomembran, uygulanmadan önce, uygulama sırasında ve servis sırasında normalden daha yüksek sıcaklıklara maruz kalabilir. Güneşte kalan Geomembranlar, uygulamadan önce haddelenmiş veya katlanmış paneller gibi ısıya maruz kalırsa, birbirine yapışabilir; daha sonra, açıldığında, ayrılabilir, yırtılabilir ve kullanılamaz hale gelebilir.

Yüksek sıcaklıklar, UV ve oksidatif bozunmaları hızlandırarak fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerde değişikliklere neden olabilir. HDPE geomembranlarda maksimum 80 ila 90 °C aralığında sıcaklıklar önerilmektedir. Polietilenin erime noktası 125 °C olduğu için 105 °C veya daha yüksek sıcaklıklardan kaçınılmalıdır (Lavoie ve ark. 2020, Sarsby 2007).

Termal bozunmayı, DSC (diferansiyel tarama kalorimetrisi) analizi ile tespit edebiliriz. DSC analizi polimer morfolojisindeki değişiklikleri ve kimyasal bozunma gibi yüksek sıcaklıklar yoluyla belirler. Ortam sıcaklığına soğutulduktan sonra erimiş malzemenin yeniden kristalleşmesi ile ilişkili tepe noktası, erimiş malzemenin yeniden kristalleşmesi ile ilişkili tepe noktası ve erimeyi temsil eden endotermik tepe DSC termogramı ile görülebilir.

2-4 Kimyasal Bozunma

Bir tasarımda, geomembran ile ne tür kimyasal maddelerin doğrudan temas halinde olduğunu gözlemlemek önemlidir. Üreticilerin geomembranların kimyasal direncini değerlendirmesi gerekir çünkü geomembranların iyi davranışı en azından kullanım ömrü boyunca garanti edilmelidir.

Kimyasal yaşlanmanın neden olduğu yüksek yoğunluklu polietilenin bir yapı değişikliği, zincir kesilmesi veya çapraz bağlanma ile sonuçlanabilir. Zincir kesilmesi, mekanik özellikleri etkileyerek polimerin moleküler ağırlığını azaltır ve malzeme kırılma haline gelir. Çapraz bağlanma, mekanik davranışı değiştirerek sertliği artırır.

3 MATELYAL VE METOD

HDPE geomembranların uzun vadeli performansı; saha sıcaklığı, maruz kalma koşulları, saha gerilimleri, örtülü veya korumalı koşullar, astar katmanlarının türü ve reçine ve

katkı formülasyonları gibi çeşitli hususlara bağlıdır.

Hizmet ömrünü belirlemek için yapılan en iyi yöntem doğal koşullarda sergilenir. Bu çalışma doğal koşullarda yapılan bir çalışmadır. Yapılan saha çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları sırayla ele alınmış ve gerçekleştirilmiştir.

HDPE Geomembranların Dayanıklılığının Saha Çalışmaları

DSİ projelerinde kullanılan geomembranlar kalınlık açısından değerlendirildiğinde en çok kullanılan HDPE geomembranlar genelde 2.0 mm seçilmiştir (Sinmez ve Demirdöğen 2021).

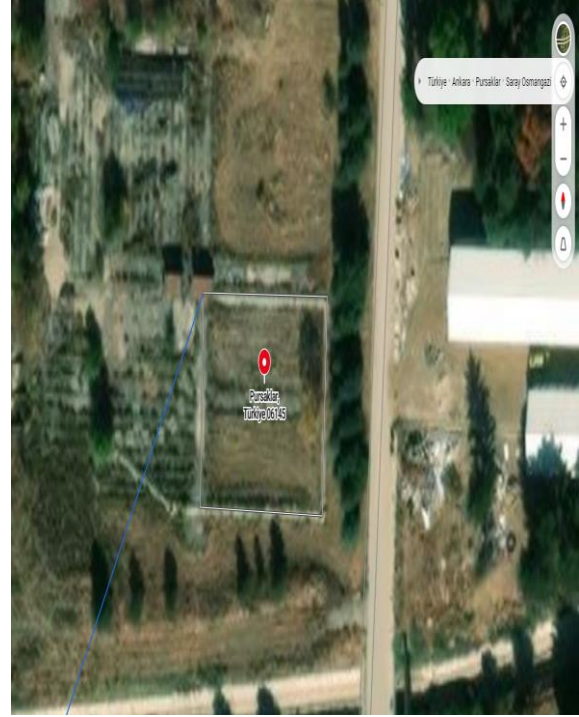
Bu çalışmanın kullanılan malzeme özellikleri göz önünde bulundurulduğu düşünülerek, numuneler 2.0 mm seçilmiş ve Tablo 1'de gösterilen geomembranların türü ve özellikleri belirtilmiştir.

Tablo-1 HDPE Geomembran malzemelerin özellikleri

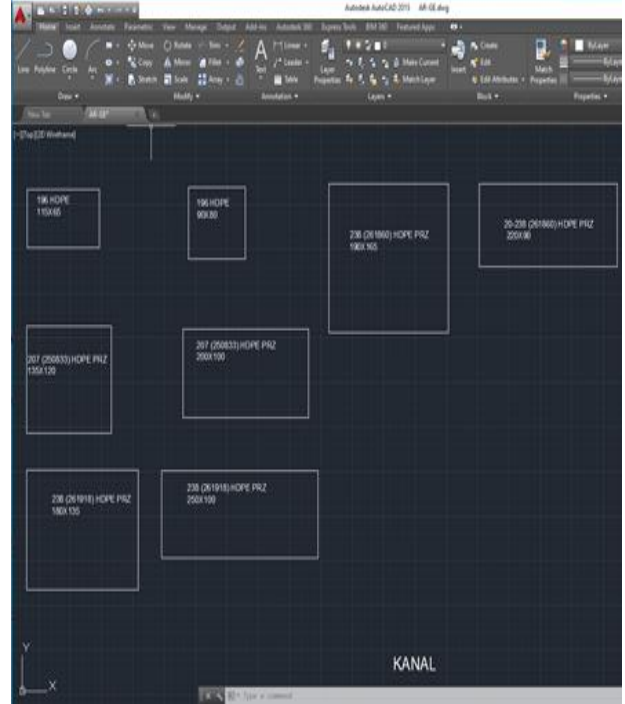
| Numune | Türü | Kalınlık | Boyut |
|-----------|---------------------|----------|---------|
| HDPE | HDPE GEOMEMBRAN | 2.0 mm | 115x65 |
| HDPE | HDPE GEOMEMBRAN | 2.0 mm | 90x85 |
| PRZ HDPE1 | HDPE PRZ GEOMEMBRAN | 2.0 mm | 135x120 |
| PRZ HDPE1 | HDPE PRZ GEOMEMBRAN | 2.0 mm | 200x100 |
| PRZ HDPE2 | HDPE PRZ GEOMEMBRAN | 2.0 mm | 200x95 |
| PRZ HDPE2 | HDPE PRZ GEOMEMBRAN | 2.0 mm | 190x170 |
| PRZ HDPE3 | HDPE PRZ GEOMEMBRAN | 2.0 mm | 180x135 |
| PRZ HDPE3 | HDPE PRZ GEOMEMBRAN | 2.0 mm | 250x100 |

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Daire Başkanlığı yerleşkesi içerisinde doğal koşullarda bir yıl şartlanan numuneler ile üretildiği zamanki durumunun nasıl tepkiye (deformasyon) uğrayacağı tespit edilecektir. Malzemelerin uygulama alanlarında projeye uygun davranışı, hizmet ömrü gibi birtakım kriterlere ulaşacağız. Doğal koşullarda şartlanacak olan HDPE geomembran malzemelerin uygulama sahasının Uydu fotoğrafı, uygulama planı ve uygulama

görüntüleri, Şekil 3, Şekil 4 ve Resim 1'de gösterilmiştir.



Şekil-3 Uygulama Alanının Uydu Fotoğrafı



Şekil-4 Uygulama Alanı Krokisi



Resim-1 Uygulama Alanı

4 YAPILAN DENEYLER VE SONUÇLARI

Yaklaşık bir yılın sonunda doğal koşullarda şartlanan malzemeler Resim 2'de gösterilmiştir. Bu çalışma, Ekim 2020 yılından Ekim 2021 yılına kadar doğal koşullara maruz kalan malzemeler İç Anadolu ikliminde; kar, yağmur, soğuk-sıcak ve güneş altında kalıp, malzemenin büzülme ve genişmesi incelenmiştir. Bunlara ek olarak karasal iklimde etkili olan gece-gündüz sıcaklık farkları da bu çalışmanın önemli tarafları arasında yer almaktadır. En yüksek ve en düşük hava sıcaklıkları; 19.07.2021 tarihinde $39.3^{\circ}C$ ve 19.01.2021 tarihinde $-13,2^{\circ}C$ görülmüştür. Buda gösteriyor ki malzemeler çok farklı derece sıcaklıklara maruz kalmıştır. (<https://www.mgm.gov.tr>).



Resim-2 Doğal Ortamda Bırakılan HDPE Geomembran

Doğal koşulda bırakılan malzemelerin, deneyleri yapılmak üzere, numuneler tablo 2'de verilen standartlara uygun bir şekilde hazırlanmaktadır (Resim 3-4).



Resim-3 Numune Hazırlama



Resim-4 Hazırlanan Numuneler

Tablo 2 Deney Standartları

| | |
|--------------------------------|---|
| TS EN 1849-2 | Kalınlık |
| TS EN 1849-2 | Birim alan |
| TS ISO 34-1 Metot B | Yırtılma Mukavemeti |
| TS EN 12236 | Statik Delinme Kuvveti |
| TS EN ISO 527-3 | Çekme Dayanımı |
| TS EN ISO 527-3 | Akma Dayanımı |
| TS EN ISO 527-3 | Akma Uzama oranı |
| TS EN ISO 527-3 | Kopma uzama oranı |
| TS EN ISO 11357-6 | Oksidasyon İndüksiyon Süresi (OIT) |
| TS ISO 6964 | Karbon siyahı miktarı |
| TS EN ISO 1133-1 Prosedür A | Kütlesel Eriyik Akış Hızı (MFR) deneyi |

Hazırlanan numuneler deneyleri yapılmak üzere şartlanma odasına bırakılmıştır. Numuneler deneye başlamadan önce standartların vermiş olduğu değerler neticesinde örneğin, (23 ± 2) °C sıcaklık ve % (50 ± 5) bağıl nemli ortamda gibi bekletilmelidir.

HDPE Geomembranlarda birim alan kütlesi; TS EN 1849-2 Standardına göre, yüzey alanı bilinen deney numunelerinin tartılmasıyla bulunur. Numuneler ölçme işleminden önce en az 20 saat süreyle, (23 ± 2) °C sıcaklık ve % (50 ± 5) bağıl nemli ortamda bekletilmelidir.

Yırtılma Mukavemeti Tayini (Açılı Deney Parçaları İle); TS ISO 34-1 Metot B Standardına göre, deney parçasında kopma meydana gelinceye kadar sürekli ve sabit bir çene ayrılma hızı ile çalışılan bir çekme deney cihazı vasıtası ile tatbik edilerek, ulaşılan maksimum veya orta kuvvet değeri şeklinde tayin edilir (Resim 5). Levhalar, üzerinden deney numuneleri kesilmeden önce en az 3 saat standart laboratuvar ortamında şartlandırılmalıdır.

Her bir deney parçası, yırtılma mukavemetinin birbiri ile 90° açı oluşturan iki farklı yönde ölçülmesine imkân verecek şekilde en az 5 deney parçası kesilmelidir. Deney, (23 ± 2) °C'de yapılmıştır

Yırtılma mukavemeti T_s "kilonewton/metre kalınlık" cinsinden aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır.

$$T_s = \frac{F}{d}$$

Burada;

F: TS ISO 34-1 Metot B kullanıldığında tatbik edilen maksimum kuvvet,
d: Deney parçasının ölçülen kalınlıklarının orta değeri, mm dir.



Resim-5 Çekme Cihazı

Statik Delinme Kuvveti Tayini; TS EN 12236 Standardına göre, iki çelik halka arasına sıkıştırılmış malzemenin, sabit ilerleme hızına sahip bir piston ile numunenin merkezine ve numuneye dik uygulanan maksimum kuvvete dayanma sınırı olarak ifade edilir (Resim 6).

ISO 9862'ye göre 5 adet deney numunesi hazırlanır. Deney numunelerinin her iki yüzü de farklı karakteristik özellik gösteriyorsa her iki yüzü için de deney yapılmalıdır.

Deney numuneleri (20 ± 2) °C ve % (65 ± 5) bağıl rutubete sahip ortamda deney yapılana kadar muhafaza edilmelidir.

Çekme Dayanımı ve Uzama Oranı Tayini; TS EN ISO 527-3 standartlarına göre, çekme dayanımı ve uzama oranı tayini, deney numunesi kopuncaya kadar veya önceden tayin edilmiş olan bir yük veya çekme uzaması değerine kadar ana uzunluk eksenini boyunca sabit bir hızla çekilmesiyle elde edilen yük ve esnemenin kaydedilmesiyle belirlenir (Resim 5).

Çekme hızı:
HDPE, LLDPE 100 mm/dk. ± 10 mm/ dk.

Deney numuneleri, nem kontrolünün gerekmediği ve malzemenin neme karşı duyarlı olmadığı durumlar dışında, tercih edilen atmosfer şartları 23 ± 2 °C sıcaklık ve %50 ± 5 bağıl nemdir. HDPE ve PVC geomembranlarda en az 16 saat süreyle şartlandırma işlemi uygulanmalıdır.



Resim-6 Statik Delme (Zımbalama) (CBR) Cihazı

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \sigma : \text{Söz konusu gerilme değeri, megapascal (MPa) cinsinden;}$$

F: Ölçülen kuvvet, Newton (N) cinsinden,
A: Numunenin başlangıç kesit alanı, milimetre kare (mm²) cinsindedir.

Çekme uzamalarının hesaplanmasında,

$$\epsilon = \frac{\Delta L_0}{L_0}$$

E Söz konusu çekme uzaması değeri, boyutsuz bir oran olarak veya yüzde olarak;
L₀ Deney numunesinin ölçme uzunluğu, milimetre (mm) olarak;
ΔL₀ İşaretler arasında numunenin uzunluğundaki artış, milimetre (mm) olarak

Çekme (elastik) modülünün hesaplanmasında,

Oksidasyon İndüksiyon Süresi (OIT); Plastik malzemedeki antioksidan katkının, yüksek sıcaklık şartlarında oksijen ortamında malzemenin oksidasyona uğramasını önlediği süredir. OIT değeri, numunedeki antioksidan miktarı ile ilgili bir indeks parametresidir ve HDPE geomembranlarındaki antioksidan tükenmesini izlemek için çok kullanışlıdır.

- Cihaz fırını 5 dakika süre ile azot gazı (50 mL/dakika) ile süpürülerek ortamdaki oksijen uzaklaştırılır.
- Cihaz 50 ° C den 200 ° C ye kadar 20 ° C/dakika hızla ısıtılır.
- Bu sıcaklıkta 3 dakika beklendikten sonra oksijen (50 mL/dakika) gazına geçilir. Bu gaz değişim noktası deneyin başlangıç zamanı olarak belirlenir.
- Numune 200 ° C de Oksijen ortamında,

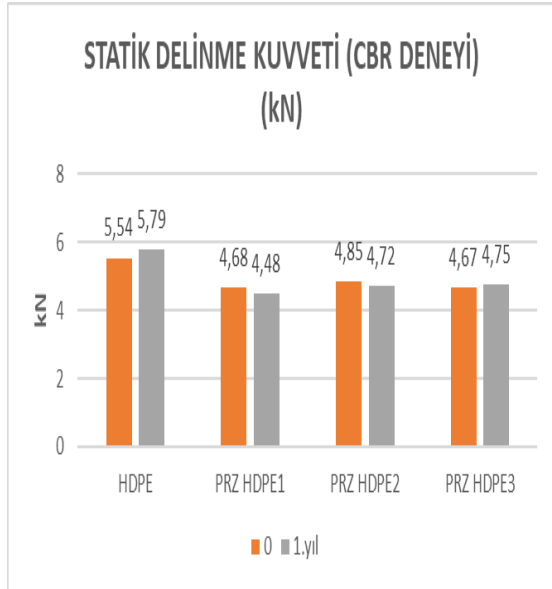
OIT Deneyi, deney numunesi ile referans numune arasındaki ısı akışı değişimini sıcaklığın ve/veya zamanın bir fonksiyonu olarak ölçüp kaydetme esasına göre yapıldığı için, referans kroze kullanılır. Deneyde kapaksız kroze kullanıldığı için referans da kapaksız olmalıdır.

- Hazırlanan numuneler, cihaza yerleştirilir.
- İlgili cihaz kullanma talimatına göre deney başlatılır.
- DSİ teknik şartnamelerinde bu deney için belirtilen minimum sürelerin üzerinden 10 dakika geçtiğinde hala bozulma olmamışsa, deney durdurulabilir.

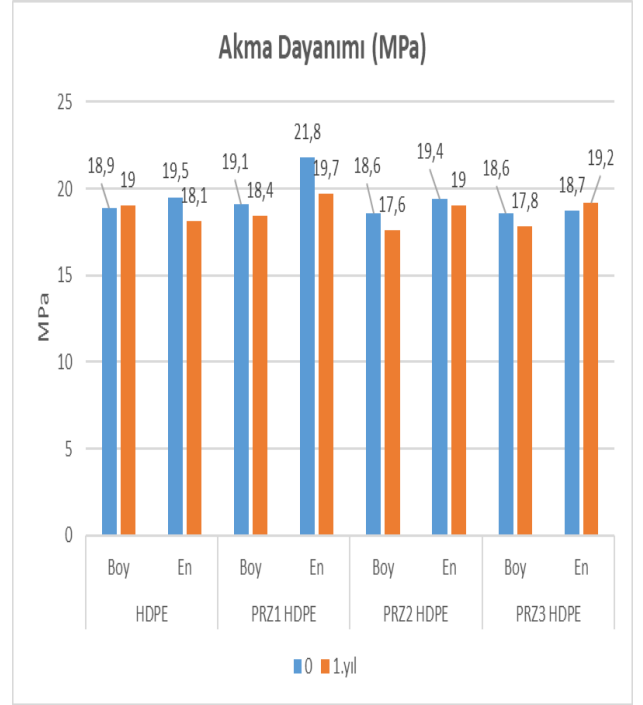
Uluslararası standartlara uygun olarak yapılan deneyler, DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesinde yapılmıştır.

DENEY SONUÇLARI

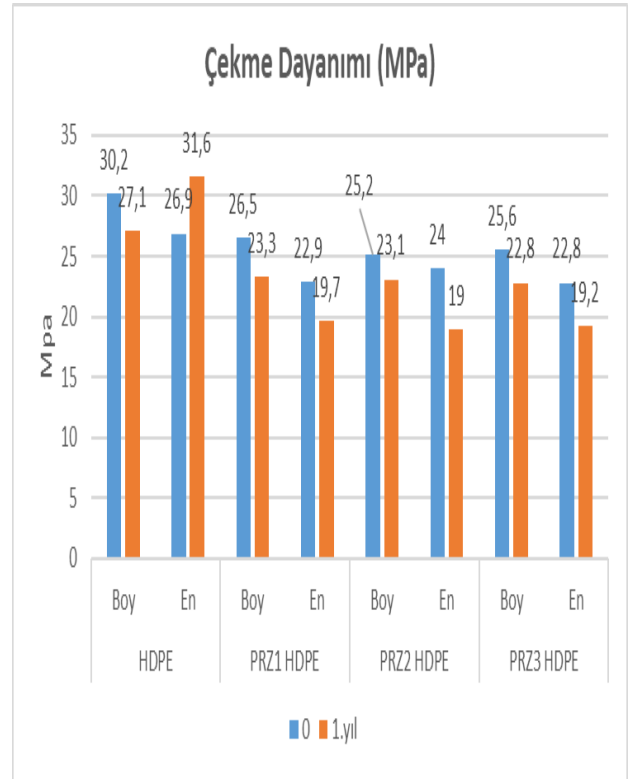
Karşılaştırılan dört farklı geomembran malzeme deneylerinin sonuçları karşılaştırılmalı olarak tablolar şeklinde sunulmuştur.



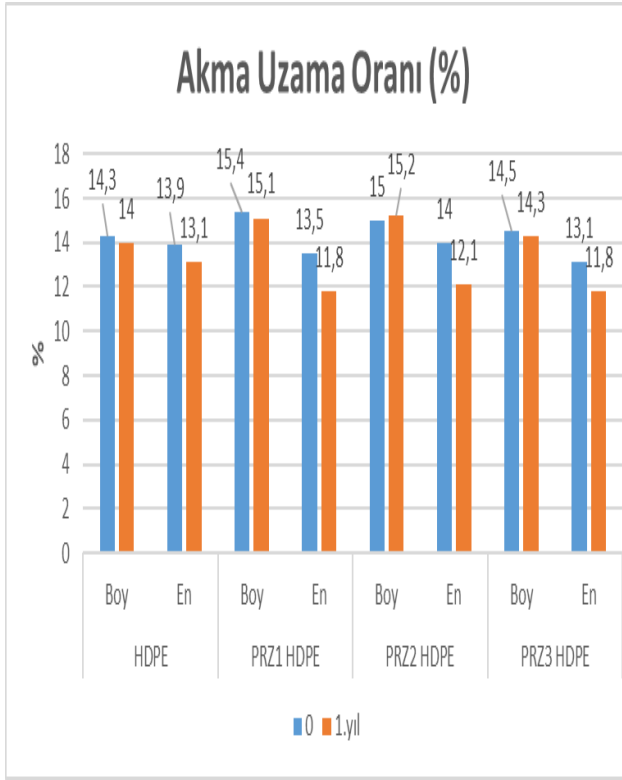
Şekil-5 Malzemelerin Statik Delinme Kuvveti Deney Sonuçları Karşılaştırılması



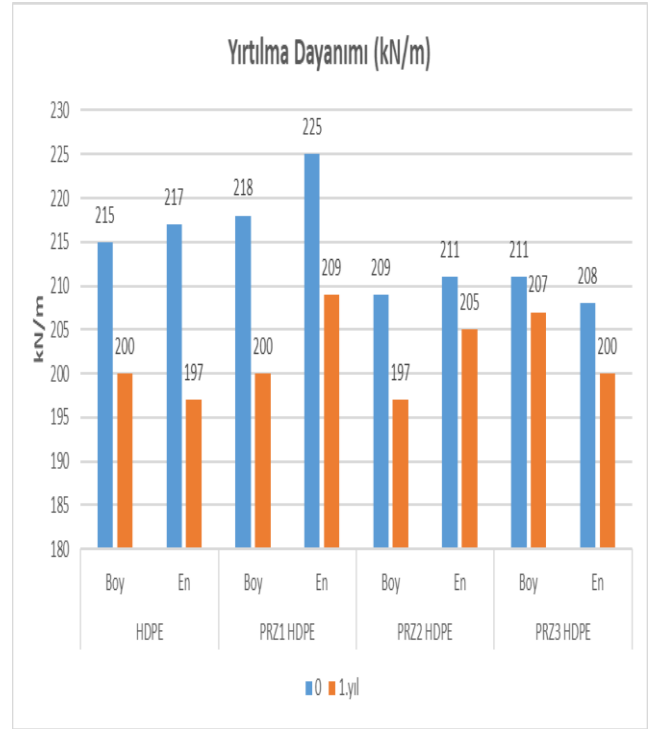
Şekil-6 Malzemelerin Akma Dayanımı Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması



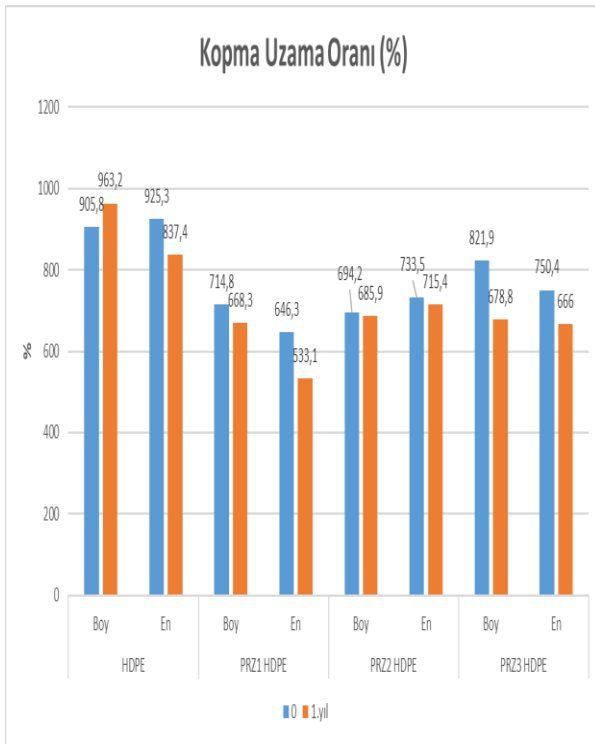
Şekil-7 Malzemelerin Çekme Dayanımı Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması



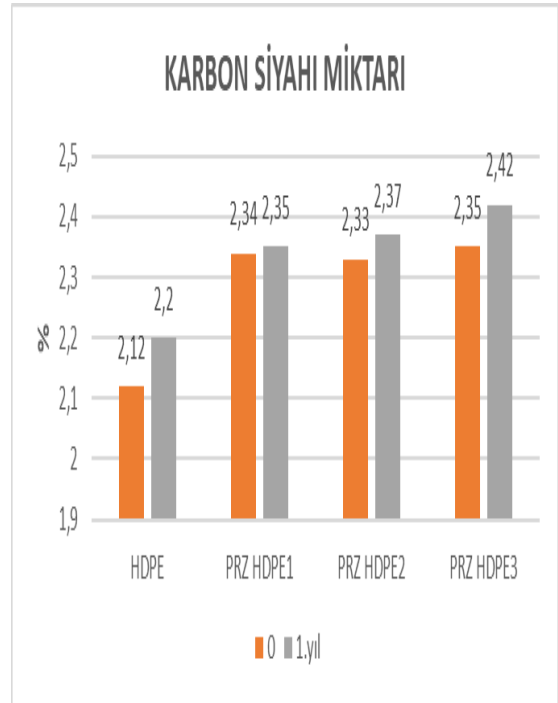
Şekil-8 Malzemelerin Akma Uzama Oranı DeneY Sonuçlarının Karşılaştırılması



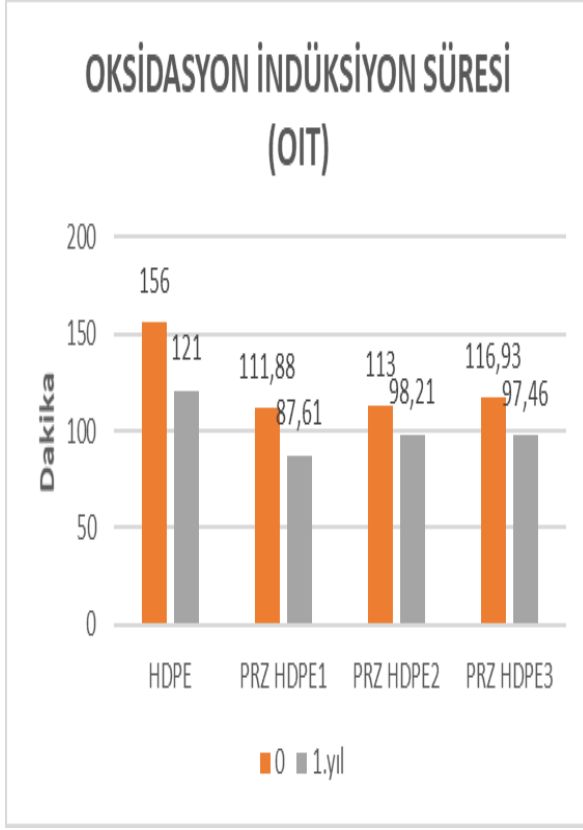
Şekil-10 Malzemelerin Yırtılma Dayanımı DeneY Sonuçlarının Karşılaştırılması



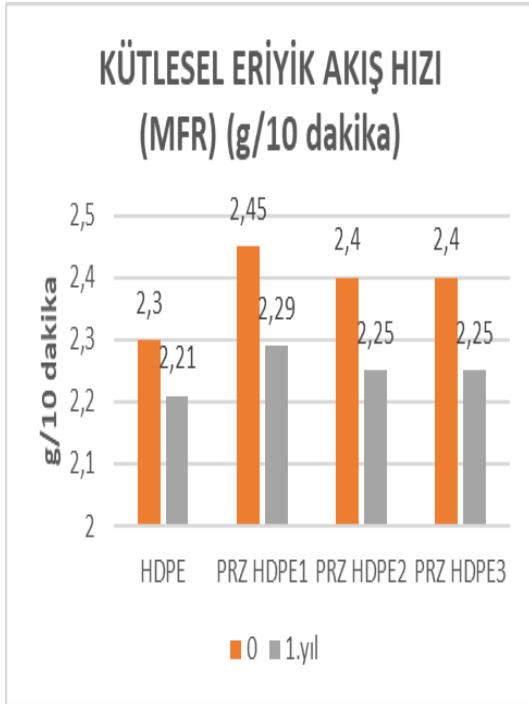
Şekil-9 Malzemelerin Kopma Uzama Oranı DeneY Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil-11 Malzemelerin Karbon Siyahı Dağılımı DeneY Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil-12 Malzemelerin OIT Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil-13 Malzemelerin MFR Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yapılarda, barajlarda, göletlerde, rezervuarlar vb. yerlerde kullanılan dört (4) farklı 2.0mm kalınlıklarında geomembranın (HDPE, PRZ HDPE1, PRZ HDPE2, PRZ HDPE3) güneş UV ışınımı (340 nm) altında doğal koşullarda davranışı ve bu dört tip geomembranın mekanik (CBR, akma-çekme dayanımı, akma uzama-çekme uzama oranları, yırtılma dayanımı) ve termal (karbon siyahı miktarı tayini, OIT, MFR) deneyleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonuçları aşağıdadır;

- Yapılan kalınlık deneyleri sonucunda önemli bir değişiklik görülmemiştir. Fakat malzemeler daha sertleşmiştir.

- Statik delinme kuvveti (CBR) deneyi sonuçlarına göre en fazla azalış %4,27 ve %2,68 ile PRZ HDPE1 VE PRZ HDPE2 numuneleridir.

- Numunelerin akma dayanımı oranlarında en ve boy yönünde açıkça bir azalma görülmektedir. Boy yönlerinde PRZ HDPE1 %3,66, PRZ HDPE2 %5,37, PRZ HDPE3 %4,3 oranlarında azalma görülmüştür.

- Çekme dayanımlarında da en ve boy yönünde ciddi bir azalış deney sonuçlarında görülmektedir. HDPE %10,2, PRZ HDPE1 %12,07, PRZ HDPE2 %8,33 ve PRZ HDPE3 %10,93 oranında azalma göstermiştir.

- Akma uzama oranları bütün malzemelerde en ve boy oranlarında azalma göstermiştir. En bariz azalma oranı PRZ HDPE1 %1,94 VE %12,59 boy ve en yönünde gerçekleşmiştir.

- Kopma oranı bütün malzemelerde azalış göstermiştir. En fazla azalış gösteren PRZ HDPE3 Malzemesi boy yönünde %17,41 ve en yönünde % 11,24 oranında azalış göstermektedir.

- Yırtılma dayanımı çok açık bir şekilde azalma göstermektedir. En yüksek miktarda PRZ HDPE1 boy yönünde %8,25 ve en yönünde %7,11 azalmıştır.

- Karbon siyahı miktarında önemli bir değişiklik görülmemiştir.

- Malzemelerin yoğunluk deneyleri karşılaştırıldığında önemli bir değişikliğin görülmediği ortaya çıkmıştır.

- Oksidasyon İndüksiyon Süresi (OIT) Tayini her numunede azalma görülmektedir.
- Kütleli eriyik akış hızı (MFR) deney sonuçlarına göre bütün numunelerde bir azalma görülmektedir.

6. ÖNERİLER

Saha sıcaklığı koşulları ve farklı türdeki kimyasal maddelerle temas, bitkisel temas da dahil olmak üzere, HDPE geomembranların davranışını farklı koşullar ve maruz kalma türleri yönlendirir. Hem sahadaki numunelerin hem de laboratuvar numunelerinin incelenmesi, HDPE geomembran dayanıklılığına ilişkin farklı davranış ve tepkileri gösterebilir. Bu sebeple farklı türdeki geomembranlar üzerinde de çalışılması ve daha uzun süreli çalışmalar yapılması önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Blanco, M., Castillo, F., Soriano, J., Noval, A.M., Touze-Foltz, Nathalie, et al. (2012). Comparative study of three different kinds of geomembranes (PVC-P, HDPE, EPDM) used in the waterproofing of reservoirs. Eurogeo 5, Sep 2012, Valencia, Spain. 2, p. 46 - p. 54.
- Erickson, R. B., R. S. Thiel, and J. Peters. "The ongoing quality issues regarding polyethylene geomembrane material manufacturing and installation." Proceedings of the First Pan American Geosynthetics Conference and Exhibition, Cancun, Mexico. 2008.
- Hsuan, Y. G., & Koerner, R. M. (1995). The Single Point-Notched Constant Load Test: A Quality Control Test for Assessing Stress Crack Resistance. Geosynthetics International, 2(5), 831-843.
- Hillman, R. P., and T. D. Stark. "Shear strength characteristics of PVC geomembrane-geosynthetic interfaces." Geosynthetics International 8.2 (2001): 135-162.
- <https://www.mgm.gov.tr/>
- Greenwood, J. H., Trubiroha, P., Schröder, H. F., Franke, P., & Hufenus, R. (1996). Durability standards for geosynthetics:, Balkema, Rotterdam, Netherlands, 637-642
- Jafari, Navid H., Timothy D. Stark, and R. Kerry Rowe. "Service life of HDPE geomembranes subjected to elevated temperatures." Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste 18.1 (2014): 16-26.

Koerner, Robert M. Designing with geosynthetics-Vol. 1. Vol. 1. Xlibris Corporation, 2012.

Lavoie, F. L., Kobelnik, M., Valentin, C. A., & Silva, J. L. D. (2020). Durability of HDPE geomembranes: An overview. *Química Nova*, 43(5), 656-667.

Lodi, P.C., Bueno, B.S., Zornberg, J.G "UV degradation of hdpe and pvc geomembranes in laboratory exposure" 9th International Conference on Geosynthetics, Vol 2, pp 821-824; Brazil, 2010

Park Y. M., Khan B.A., Jeon Y.H., 2012. "Analysis of degradation behaviors of geomembrane by accelerated test under uv exposure conditions" Polymer Korea Vol 37, No.1 pp.5-14.

Rimal, S., & Rowe, R. K. (2009). Diffusion modelling of OIT depletion from HDPE geomembrane in landfill applications. Geosynthetics International, 16(3), 183-196

Rowe, R.K. ve Sangam, H.P. 2001. Durability of HDPE geomembranes. Geotextiles and Geomembranes 20, 77-95

Sarsby, R. W. (2007). Limited-life geosynthetics. Geosynthetics in civil engineering, 244-286.

Sinmez, Bugra, "Characterization of Geogrid Reinforced Ballast Behavior Through Finite Element Modeling" (2019). Graduate Theses and Dissertations.

<https://digitalcommons.usf.edu/etd/7946>

Sinmez, B., Demirdogen, S. Geosynthetic barrier systems used in dams, ponds, and reservoirs of Turkey. Innov. Infrastruct. Solut. 7, 27 (2022). <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00632-8>

Araştırma Makalesi / Research Article

Isparta, Türkiye'de Uzun Vadeli Meteorolojik Kuraklık Değerlendirmesi: SPI Tahmini için Monte Carlo Yaklaşımı

Emine Dilek TAYLAN 

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Isparta

dilektaylan@sdu.edu.tr

Tahsin BAYKAL 


Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale

tahsinbaykal@kku.edu.tr

Özlem TERZİ* 

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta

ozlemterzi@isparta.edu.tr

Ekinhan ERİSKİN 

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, Isparta

ekinhaneriskin@sdu.edu.tr

Geliş (Received): 21.09.2023, Düzeltme (Revised): 24.09.2024, Kabul (Accepted): 24.09.2024

ÖZ

Kuraklıklar, iklim değişkenliği ortasında büyüyen bir tehdit oluşturmakta ve güçlü tahmin yöntemlerinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu çalışma, Isparta, Türkiye'de gelecek 25 yıl boyunca Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) değerlerini tahmin etmek için Monte Carlo (MC) simülasyon yaklaşımını kullanmaktadır. MC yöntemi, gelecekteki SPI değerlerini tarihsel eğilimlerle uyumlu hale getirerek güvenilir uzun vadeli kuraklık değerlendirmeleri sunma açısından benzersiz bir avantaj sunar. Sonuçlar, 3-, 6-, 9- ve 12-aylık dönemler için SPI değerlerinde tutarlı azalış eğilimlerini göstermektedir, bu da tarihsel verilerle uyumlu bir şekilde gerçekleşmektedir. Önceki LSTM tabanlı tahminlerle karşılaştırıldığında, MC yaklaşımının özellikle tarihsel desenleri yansıtan SPI değeri eğilimlerini yakalama konusundaki üstün gerçekçiliği vurgulanmaktadır. Bu araştırma, iklim tahmin tekniklerine katkı sağlayarak iklim değişikliği bağlamında kuraklık değerlendirmesi ve su kaynakları yönetimi konusunda değerli içgörüler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Meteorolojik kuraklık, Monte Carlo simülasyonu, standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI), gelecek tahmini

*Coressponding Author: Özlem TERZİ e-posta: ozlemterzi@isparta.edu.tr

Atıf bilgisi: TAYLAN, E. D., BAYKAL, T., TERZİ, Ö. and ERİSKİN, E. (2025). Assessing Long-Term Meteorological Drought in Isparta, Turkey: A Monte Carlo Approach to SPI Forecasting. DSI Technical Bulletin/DSI Teknik Bülteni, 145, p13-21.

Assessing Long-Term Meteorological Drought in Isparta, Turkey: A Monte Carlo Approach to SPI Forecasting

ABSTRACT

Droughts pose a growing threat amidst climate variability, underscoring the need for robust forecasting methods. This study applies a Monte Carlo (MC) simulation approach to predict Standardized Precipitation Index (SPI) values in Isparta, Turkey, over the next 25 years. The MC method offers a unique advantage, aligning future SPI values with historical trends, providing reliable long-term drought assessments. The results reveal consistent decreasing trends in SPI values for 3-, 6-, 9-, and 12-month periods, in agreement with historical data. Comparisons with previous LSTM-based forecasts highlight the MC approach's superior realism, especially in capturing SPI value trends mirroring historical patterns. This research contributes to climate forecasting techniques, offering valuable insights into drought assessment and water resource management in the context of climate change.

Keywords: Meteorological drought, Monte Carlo simulation, standardized precipitation index (SPI), future forecasting

INTRODUCTION

Drought, a climatic threat increasingly prevalent in recent years, distinguishes itself from other natural disasters due to its unpredictable onset and conclusion. Its adverse impacts manifest gradually, persisting for extended periods in water-dependent sectors long after its cessation. Droughts are categorized into four classes based on their occurrence: meteorological, hydrological, agricultural, and socio-economic. The Standardized Precipitation Index (SPI) is often employed to monitor meteorological drought, as proposed by McKee et al. [1993]. It calculates the expected drought value at any given time by dividing the difference between precipitation and the mean by the standard deviation. SPI is favored for its reliance solely on rainfall data, leading to numerous studies [Menteşe and Akbulut, 2023; İrcan and Duman, 2021; Şener, 2021; Aksever, 2019; İrvem and Özbülü, 2019].

Recent research has harnessed the Monte Carlo approach to evaluate current and future meteorological drought impacts [Roushangar et al., 2022; Chen et al., 2017]. Montaseri et al. [2019] utilized this approach to ascertain the long-term likelihood of diverse drought characteristics across ten different regions worldwide, each characterized by distinct climatic conditions. Synthetic data was generated for precipitation stations chosen from these regions, and the Standardized Precipitation Index (SPI) was computed based on this synthetic data. Furthermore, Montaseri et al. [2017] employed the Monte Carlo approach to compare SPI, the rainfall anomaly index (RAI),

and the Percent of Normal Precipitation Index (PNPI). To this end, they produced 1000 synthetic series using 50 years of precipitation data from 11 stations in Northwestern Iran. Additionally, Montaseri and Amirataee [2016] used the Monte Carlo approach and seven meteorological drought indices to monitor drought characteristics in 12 different regions worldwide, each marked by diverse climatic conditions.

Considering the literature mentioned above, the assessment of future droughts primarily focuses on the Monte Carlo approach. These studies simulate future precipitation series using historical records to analyze drought indices [Roushangar et al., 2022; Chen et al., 2017]. In contrast, this study uniquely obtains future SPI series by employing historical SPI values.

STUDY REGION AND DATA

The Isparta province is situated between 37° 18' and 38° 30' north latitudes and 30° 20' and 31° 33' east longitudes in the Lakes Region, to the north of the Mediterranean Region. Isparta covers an area of 8933 km² and boasts an average altitude of 1050 m. The region experiences an average annual total precipitation of 568.4 mm, with the majority (69%) occurring during winter and spring, while summer and autumn months are significantly drier [URL-1, 2022]. The study region is depicted in Figure 1. Precipitation data for the years 1929–2021, totalling 1116 monthly observations, were sourced from the Turkish State

Meteorological Service. Table 1 provides statistical summaries of the precipitation data recorded at the Isparta meteorological station, accompanied by a box and whisker plot depicted in Figure 2.

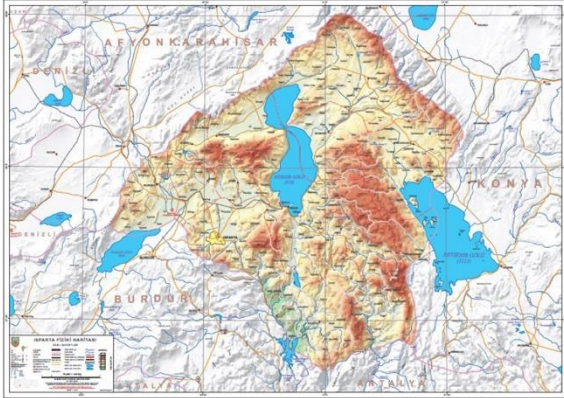


Figure 1. Study region (Map data: General Directorate Mapping, 2023)

Table 1. The statistical values of precipitation data

| Statistical Definitions | SPI-3 | SPI-6 | SPI-9 | SPI-12 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
| N | 1102 | 1099 | 1096 | 1093 |
| Mean | 0.014 | 0.019 | 0.024 | 0.029 |
| Standard deviation | 0.968 | 0.989 | 1.015 | 1.027 |
| Minimum | -2.810 | -2.713 | -2.840 | -2.900 |
| 25% | -0.620 | -0.708 | -0.681 | -0.697 |
| 50% | -0.007 | -0.008 | -0.012 | -0.057 |
| 75% | 0.674 | 0.760 | 0.709 | 0.753 |
| Maximum | 3.363 | 2.976 | 2.952 | 2.888 |

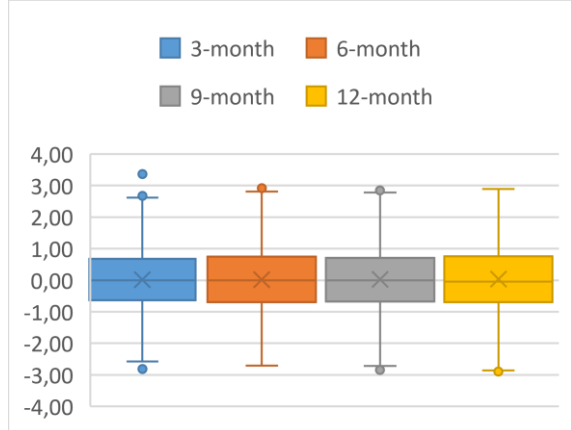


Figure 2. Box and whisker graph of SPI values

MONTE CARLO SIMULATION

To forecast future 3-, 6-, 9-, and 12-month SPI values, a Monte Carlo (MC) approach is employed. Initially, the statistical distributions of SPI values are determined. Subsequently, 3-, 6-, 9-, and 12-month SPI datasets conforming to these distributions are generated, with the one

exhibiting the highest frequency value selected as the most probable series for the future.

Distribution Function Fitting

The SPI values, derived from monthly precipitation data collected at the Isparta station, undergo statistical analysis. Table 2 presents several widely-used distribution functions. Parameters such as mean, standard deviation, shape, scale, and location are calculated for these functions. The best-fitting function is selected using the Residual Sum of Squares (RSS) values, as denoted in Equation 1.

Table 2. The distribution functions

| Distributions | normal (norm) |
|---------------|---|
| | exponential (expon) |
| | Weibull (dweibull) |
| | t (t) |
| | generalized extreme values (genextreme) |
| | gamma (gamma) |
| | lognormal (lognorm) |
| | beta (beta) |
| | uniform (uniform) |
| | log gamma (loggamma) |

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2 \quad (1)$$

where y_i represents the i^{th} value of the variable to be forecasted, x_i is the i^{th} value of the explanatory variable, and $f(x_i)$ denotes the forecasted value of y_i (also termed \hat{y}_i).

MC Application

Obtaining a low RSS value and a high level of significance is insufficient for prediction based solely on statistical distribution. A successful Monte Carlo (MC) model necessitates alignment between the trends in historical data and forecasted data. Given the distinct nature of each output from the statistical distribution, the MC approach iteratively generates data, calculating possible outcomes (each generated data point) and their corresponding probabilities (frequency). Consequently, SPI data for the next 25 years is obtainable. The MC approach analysis yields a solution set for each 3-, 6-, 9-, and 12-month SPI value, selected based on the most probable range of results, distribution parameters, mean and standard deviation, and the trend. SPI values projected for the next 25

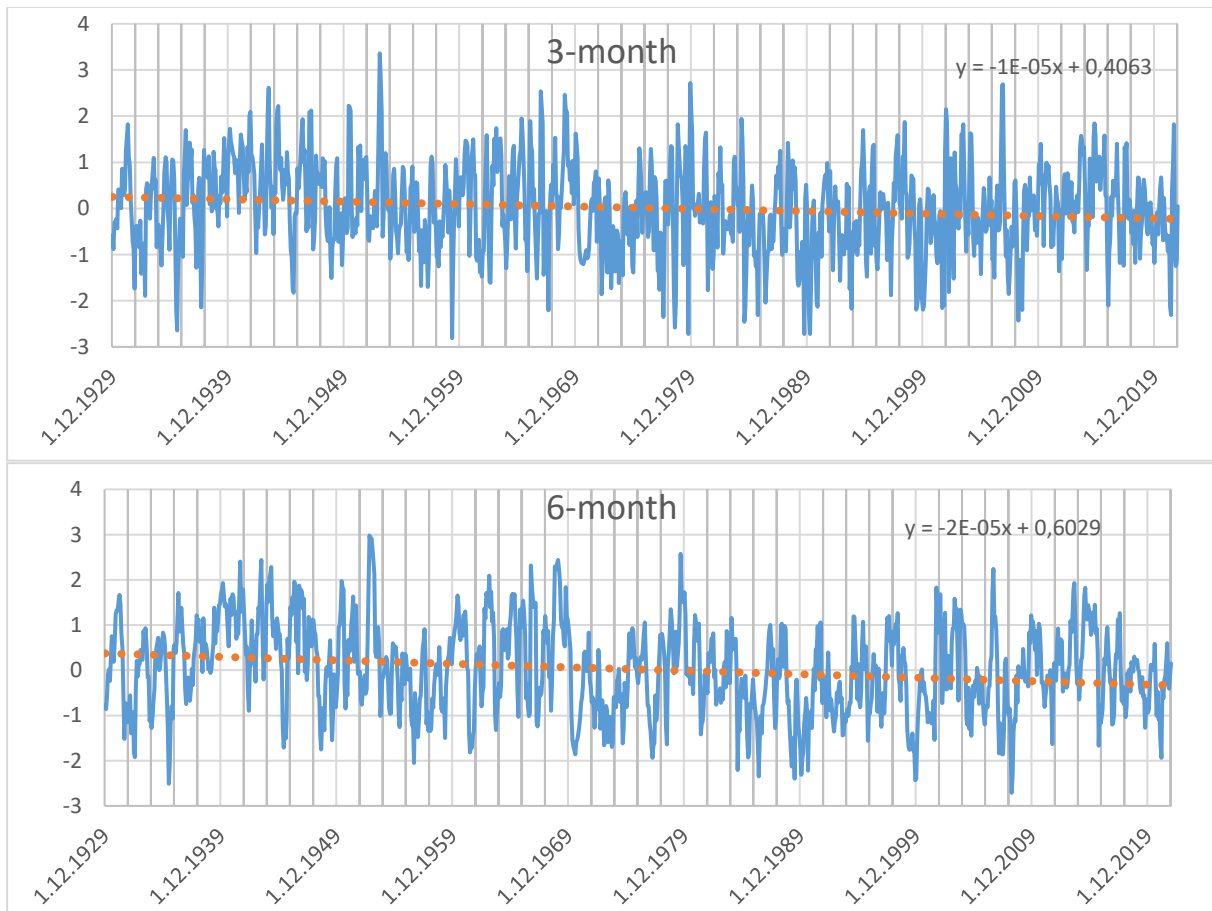
years are analyzed via histograms to ascertain the probabilities of outcomes.

RESULTS

This study utilizes the 3-, 6-, 9-, and 12-month SPI values calculated by Baykal et al. [2023] based on monthly precipitation data from 1929 to 2021 at the Isparta meteorological station to forecast the next 25 years using the MC approach (Figure 3). Figure 3 also provides time series and linear regression equations, revealing decreasing trends for the 3-, 6-, 9-, and 12-month SPI values, quantified at -0.00001, -0.00002, -0.00003, and -0.00003, respectively,

indicating decreasing patterns across all periods. Histogram graphs for the 3-, 6-, 9-, and 12-month SPI values are depicted in Figure 4.

Future SPI values are generated using the MC approach. The RSS is employed to identify the probability distribution function best suited to the SPI values. Table 3 provides details on the most appropriate distributions. Multiple SPI series are generated for each drought period using these distributions. Successful MC-generated SPI values are expected to exhibit trends akin to historical values. Hence, frequency analyses of future 25-year SPI values, mirroring historical trends, are conducted for the 3-, 6-, 9-, and 12-month durations, with the resulting histograms presented in Figure 5.



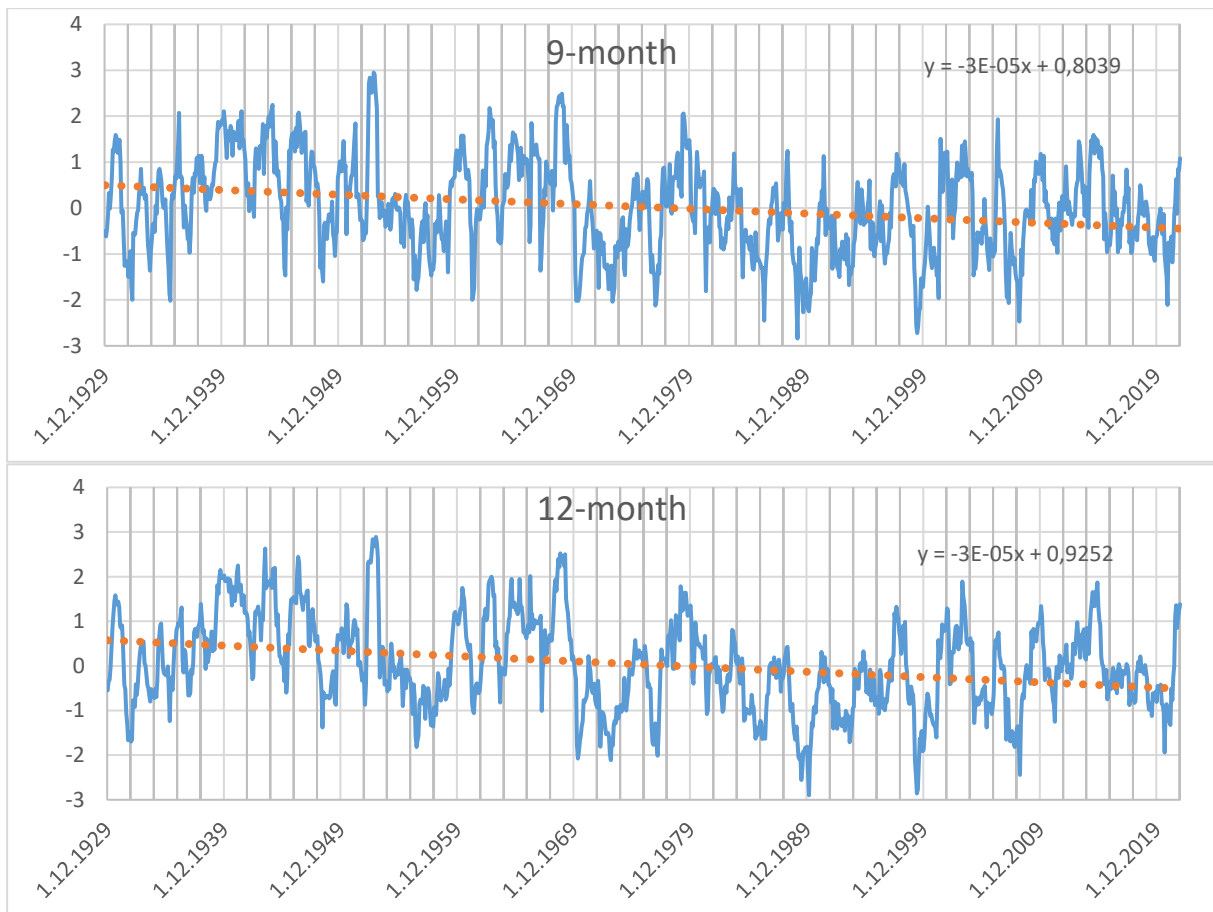


Figure 3. The trends of the SPI values

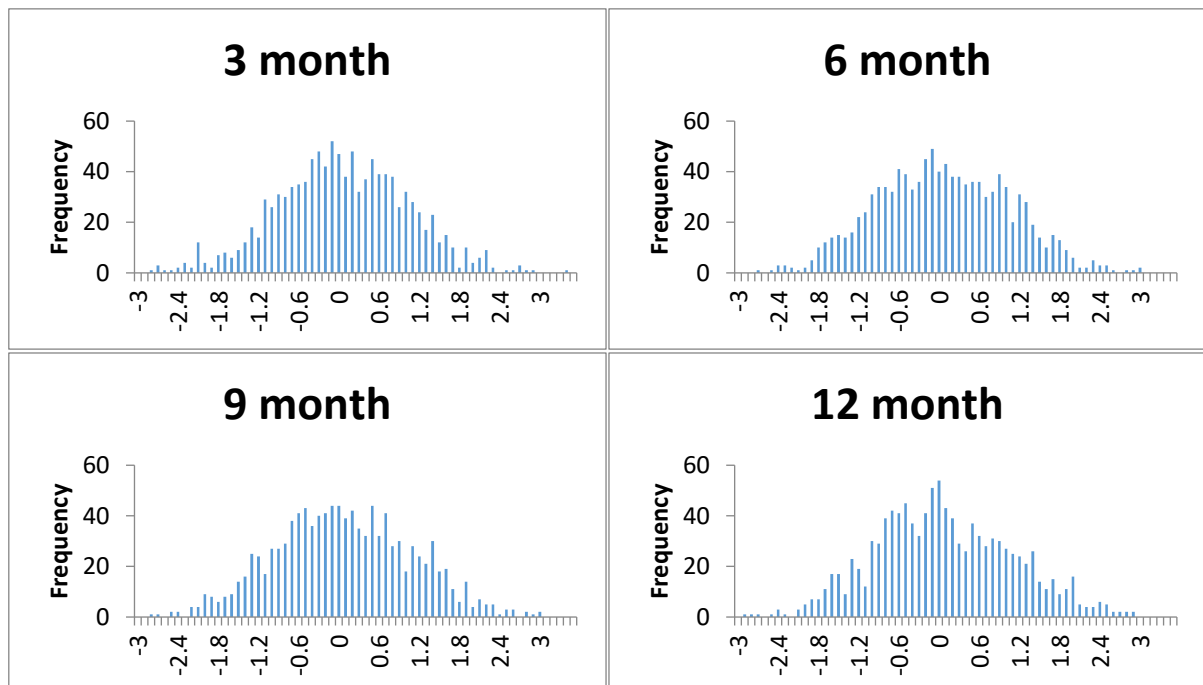


Figure 4. Histogram analysis of the SPI values

Table 3. Best fitting distributions parameters

| Data | Distribution | RSS | c Parameter | Location Parameter | Scale Parameter |
|----------|---|----------|-------------|--------------------|-----------------|
| 3 month | Log-normal (lognorm) | 0.011634 | 0.012719 | -75.976550 | 75.982558 |
| 6 month | Generalized Normal (gennorm) | 0.009666 | 2.528081 | 0.027852 | 1.537887 |
| 9 month | Generalized Extreme Values (genextrem) | 0.007098 | 0.252725 | -0.346585 | 0.995787 |
| 12 month | Generalized Inverse Gaussian (invgauss) | 0.01497 | 0.016373 | -8.130381 | 497.88839 |

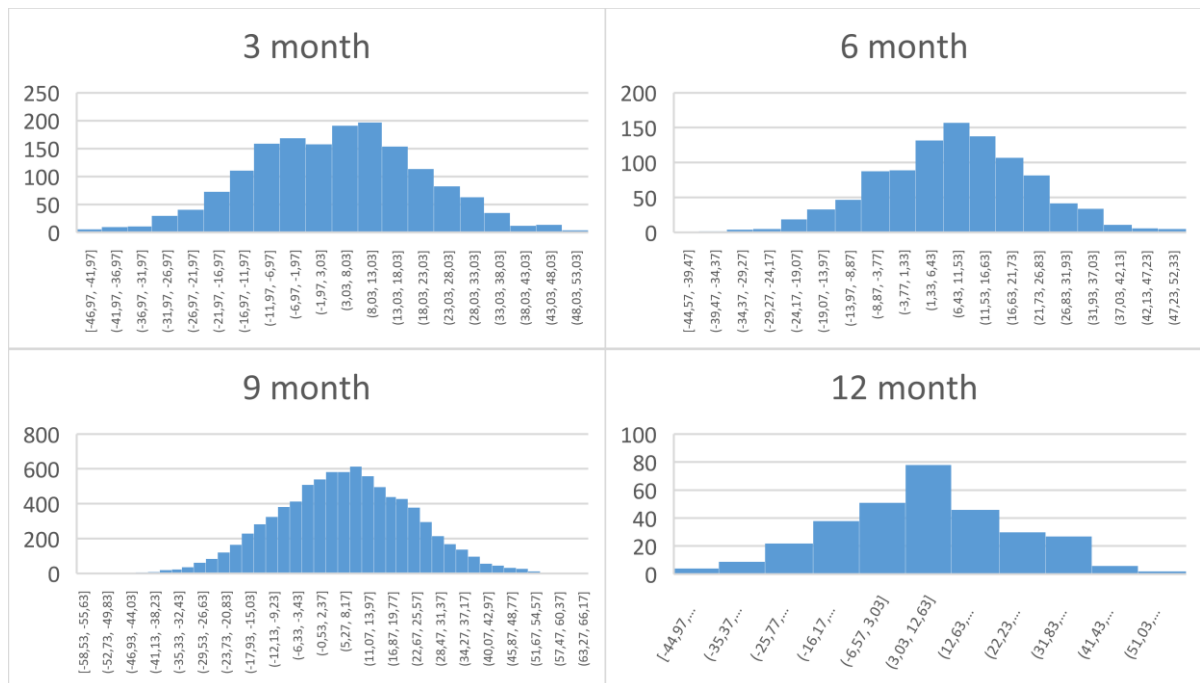


Figure 5. Frequency analysis of the cumulative

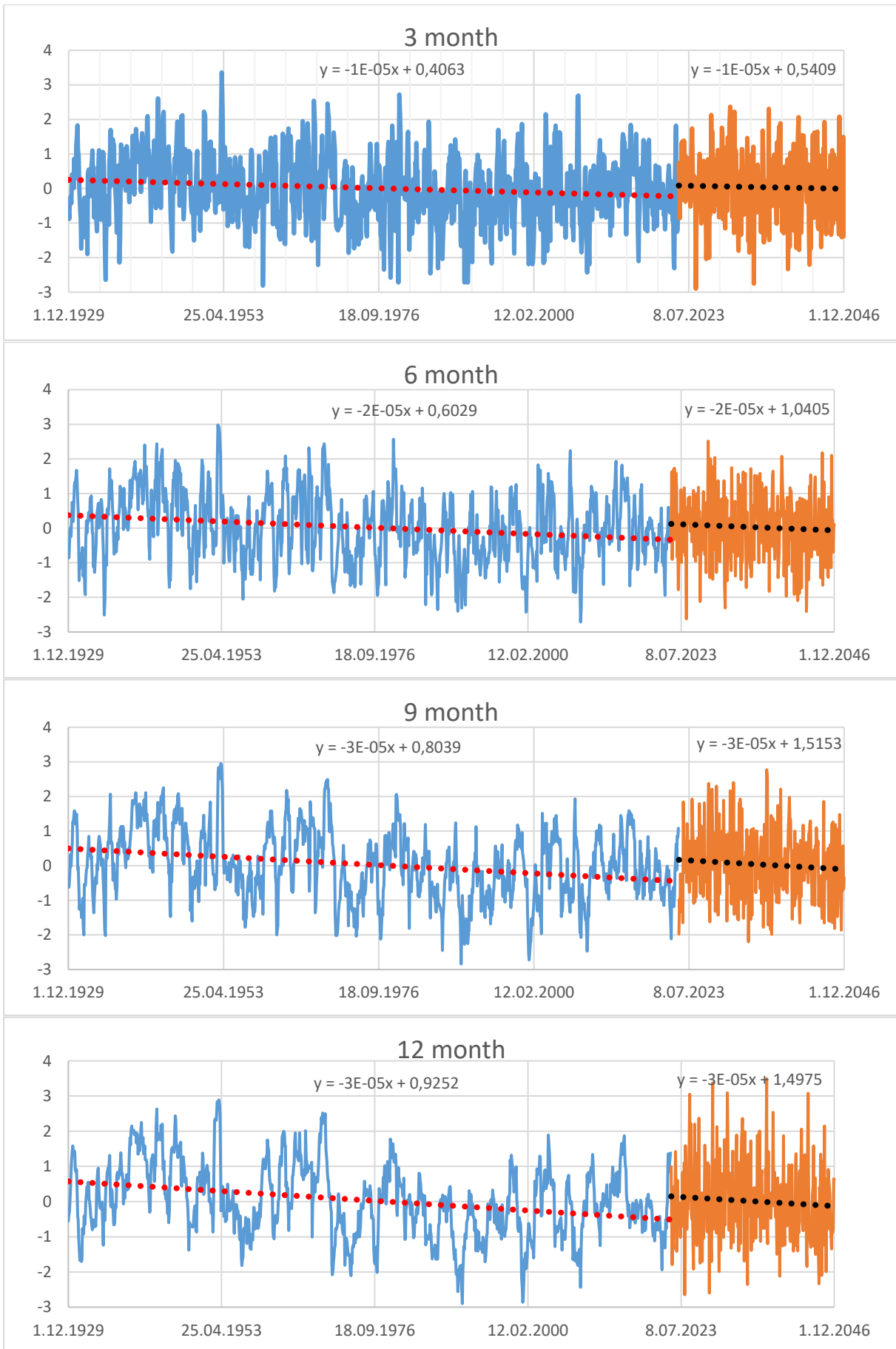


Figure 6. Trend analysis of the simulated data

Based on the histograms depicted in Figure 5, the anticipated 3-, 6-, 9-, and 12-month SPI values over the next 25 years were selected from the most frequently occurring series, characterized by average, standard deviation, and trend values closely aligning with historical series. Time series and linear regression equations for historical and projected SPI values are furnished in Figure 6.

As illustrated in Figure 6, the trends for future 3-, 6-, 9-, and 12-month SPI values are estimated at -0.00001, -0.00002, -0.00003, and -0.00003, respectively. These trends mirror those observed in historical values. In contrast, Baykal et al. [2023] utilized the same SPI values as this study but applied a Long-Short Time Memory (LSTM) approach to forecast the next 10 years. A comparison with their results reveals disparities in trends between forecasted and historical values, particularly when considering 3-, 6-, and 9-month SPI values. Conversely, a positive trend is noted for 12-month SPI values. The MC approach in this study offers more realistic outcomes than LSTM, extending future estimations by an additional 15 years.

CONCLUSIONS

This study employs statistical analysis and the Monte Carlo (MC) simulation approach to forecast future SPI values for the Isparta province over the next 25 years. The results consistently indicate a declining trend in SPI values for 3-, 6-, 9-, and 12-month periods. This downward trajectory aligns with historical data, underscoring the reliability and robustness of the MC approach in predicting future SPI values.

Comparing our findings with a previous study (Baykal et al., 2023) that demonstrated discrepancies in trends between forecasted and historical values using an LSTM approach, it becomes evident that the MC method yields more realistic outcomes, especially in capturing SPI value trends that closely mirror historical patterns. Based on the RSS values, 3-, 6-, 9-, and 12-month SPI series were found to fit Log-normal, Generalized Normal, Generalized Extreme Values, and Generalized Inverse Gaussian distributions, respectively.


This manuscript contributes valuable insights into climate forecasting techniques and their applications, laying a foundation for further research and policy considerations in the context of climate change and regional water resource management.

REFERENCES

- [1] Aksever, F. 2019. "Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) Yöntemi İle Kuraklık Analizi Ve Kaklık (Honaz-Denizli) Ovasındaki Yeraltısuyu Değişimi". *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(1), 152-160. <https://doi.org/10.21923/jesd.500002>
- [2] Baykal, T., Taylan, D., Terzi, Ö. 2023. "Isparta İli için Gelecekteki Olası Meteorolojik Kuraklık Değerlendirmesi". *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(1), 90-100.
- [3] Chen, S., Shin, J. Y., Kim, T. W. 2017. "Probabilistic forecasting of drought: a hidden Markov model aggregated with the RCP 8.5 precipitation projection". *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 31, 1061–1076 (2017). <https://doi.org/10.1007/s00477-016-1279-6>
- [4] Ircan, M. R. Duman, N. 2021. "Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) Yöntemi ile Şanlıurfa İli Kuraklık Analizi." *Coğrafya Dergisi* 42, 1-18.
- [5] İrvem, A. Özbülde, M. 2019. "Türkiye'nin Muğla İli İçin SYİ Yöntemi ile Kurak Dönem Analizi". *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 24, 142-148.
- [6] McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J. 1993. "The relationship of drought frequency and duration to time scales". In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* 17(22), 179-183.
- [7] Menteşe, S., Akbulut, S. 2023. "Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) ile Bilecik Merkez İlçe ve Bozüyük İlçesinin Kuraklık Durumunun Belirlenmesi". *Doğu Coğrafya Dergisi*, 28(49), 40-51. <https://doi.org/10.5152/EGJ.2023.22028>
- [8] Montaseri, M., Amirataee, B. 2016. "Comprehensive stochastic assessment of meteorological drought indices". *International Journal of Climatology*, 37(2), 998-1013. <https://doi.org/10.1002/joc.4755>
- [9] Montaseri, M., Amirataee, B., Nawaz, R. 2017. "A Monte Carlo simulation-based approach to evaluate the performance of three meteorological drought indices in northwest of Iran". *Water resources management*, 31, 1323-1342. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1580-2>
- [10] Montaseri, M., Amirataee, B., Yasi, M. 2019. "Long-term probability of drought characteristics based on Monte Carlo simulation approach". *International Journal of Climatology*, 39(1), 544-557. <https://doi.org/10.1002/joc.5827>

- [11] Roushangar, K., Ghasempour, R., Alizadeh, F. 2022. "Uncertainty Assessment of the Integrated Hybrid Data Processing Techniques for Short to Long Term Drought Forecasting in Different Climate Regions". *Water Resources Management* 36, 273–296. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-03027-7>
- [12] Şener, E. 2021. "Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) Yöntemi ile Kızılırmak Deltası (Samsun) Kuraklık Analizi". *Academic Perspective Procedia*, 4(2), 99-105.
- [13] URL (2022), İklim, <https://isparta.ktb.gov.tr/TR-71025/iklim.html>, [Erişim 22 Haziran 2022].

Bir Hammadde Ocağında Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin İncelenmesi

Şahin YUVKA* 

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya
sahin.yuvka@dpu.edu.tr

Önder UYSAL 

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Kütahya
onder.uysal@dpu.edu.tr

Mehmet Fırat TULMAÇ

DSİ 11. Bölge Müdürlüğü, İstasyon Mahallesi Fatih Sultan Mehmet Sokak No:1 Merkez/EDİRNE
mfirattulmac@dsi.gov.tr

Kemal KALE

DSİ 11. Bölge Müdürlüğü, İstasyon Mahallesi Fatih Sultan Mehmet Sokak No:1 Merkez/EDİRNE
kemalkale@dsi.gov.tr

Sezer DURMAZ

DSİ 11. Bölge Müdürlüğü, İstasyon Mahallesi Fatih Sultan Mehmet Sokak No:1 Merkez/EDİRNE
sezerdurmaz@dsi.gov.tr

Geliş (Received): 14.05.2024, Düzeltme (Revised): 19.09.2024, Kabul (Accepted): 17.12.2024

ÖZ

Patlatma kaynaklı olarak ortaya çıkan titreşimler, günümüz madencilik çalışmalarının en önemli sorunlarından biridir. Konuyla iliği pek çok bilimsel çalışma yapılmış olmasına rağmen, konu halen güncelliğini korumakta ve çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışma da Kırıkkale İli Pınarhisar İlçesi Yenice Köyü mevkiinde bulunan 39/2005-02 ruhsat ve 3069118 erişim numaralı II-A grubu hammadde ocağında yapılan patlatmalara ait titreşim ve hava şoku gibi çevresel etkiler ölçülmüştür. Elde edilen veriler istatistiksel değerlendirmeye tabi tutulmuş ve sahaya ait titreşim parametreleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Patlatma, Titreşim, Maksimum Parçacık Hızı

Investigation of Blasting Induced Vibrations in A Quarry

ABSTRACT

Blast induced vibration are one of the most important problems in today's mining activities. Although many scientific studies have been conducted on the subject, the issue still remains relevant and studies are ongoing. In this study, environmental effects such as vibrations and air shock caused by blasting in the II-A group raw material quarry with license number 39/2005-02 and access number 3069118 located in Yenice Village of Pınarhisar District of Kırıkkale Province were measured. The obtained data were subjected to statistical analysis and vibration parameters specific to the field were determined.

Keywords: Blasting, Vibration, Peak Particle Velocity

*Corresponding Author: Şahin YUVKA e-posta: sahin.yuvka@dpu.edu.tr

Atıf bilgisi: YUVKA, Ş., UYSAL, Ö., T., TULMAÇ, M. F., KALE, K., ve SEZER, D. (2025). Bir Hammadde Ocağında Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin İncelenmesi. DSI Technical Bulletin/DSI Teknik Bülteni, 145, p22-28.

1. GİRİŞ

Patlatma işlemi, kayaçların gevşetilmesi veya parçalanması için madencilik, taş ocağı, bina temel kazıları, yol ve baraj inşaatları gibi faaliyetlerinin en önemli ve vazgeçilmez adımlarından birisidir. Patlatma kayaçların parçalanması için en kolay ve ekonomik metot olma özelliğini korumaktadır. Ancak bu avantajının yanında patlatma faaliyetlerinde çeşitli çevresel etkiler ortaya çıkmaktadır. Özellikle yerleşim bölgelerine yakın olan çalışmalarda bu sıkıntılar daha da artmaktadır. Patlatma faaliyetlerinin çevresel etkileri; yersarsıntısı, hava şoku, taş fırlaması ve toz olarak sayılabilir. Bu etkilerinin birinin veya birkaçının aynı anda ortaya çıkması, çevrede yaşayan insanların şikayetlerini gündeme getirmektedir (Fellice 1993, Chen ve Huang 2001, Erçikdi vd 2004, Kahrıman 2001, Karadoğan vd. 2012, Karakuş vd. 2010, Özdemir vd. 2004, Özer, 2008, Tuncer vd 2003., Uysal vd. 2004, Singh vd. 2005, Staphis 2006, Uyar, 2022). Bu olumsuz durumlar zaman zaman üretim faaliyetlerine durmasına kadar varan problemlere neden olmaktadır.

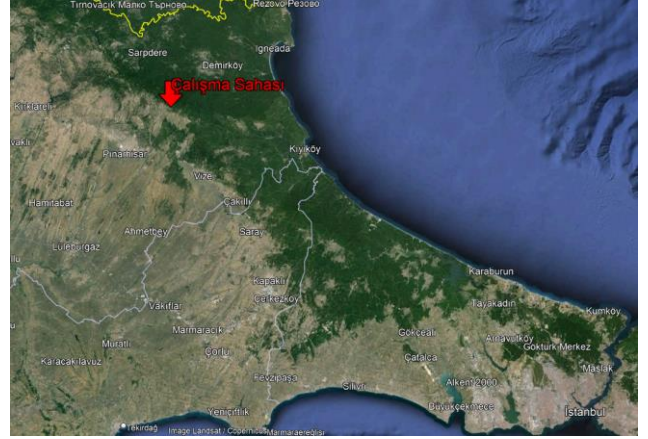
Patlatma kaynaklı olumsuz etkilerin azaltılmasına yönelik çalışmalar dünya ölçeğinde uzun süredir devam etmektedir. Ülkemizde de bu çalışmalar gecikmeli de olsa başlamış, konu ile ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmıştır ve halen çalışmalar devam etmektedir (Uyar ve diğ, 2015, Özaçar, 2020). Bu kapsamda Ülkemiz de yasal düzenlemeler yapılmış ve çeşitli bina türleri için hasar kriterleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada, II-A grubu bir hammadde ocağında yapılan patlatmalar sonucu ortaya çıkan titreşimler ölçülerek değerlendirilmiş ve söz konusu sahaya ait saha sabitleri belirlenerek titreşim tahmin denklemi elde edilmiştir. Ayrıca patlatma kaynaklı titreşimlerin, hammadde ocağı civarında bulunan yerleşim yerlerine olan etkisi de değerlendirilmiştir.

Çalışmadan elde edilen veriler ile bu sahada yada yakın ve benzer özellikteki sahalarda yapılacak patlatmalar için titreşim tahminleri yapılabilecektir.

1. ÇALIŞMA SAHASI

Çalışmaya konu olan 39/2005-02 ruhsat ve 3069118 erişim numaralı Kalkışist Ocağı, Kırıkkale İli Pınarhisar İlçesi Yenice Köyü mevkiinde 1/25000 E19a3 paftasında yer almaktadır (Şekil 1). Ocağın Yenice Köyü'ne kuş uçuşu 2500 m mesafededir.



Şekil 1. Çalışma konusu hammadde ocağı yer bulduru haritası

1.1. Sahanın Jeolojisi

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yaşlıdan gence doğru Paleozoyik, Triyas, Kretase ve Kuvaterner yaşlı birimler görülür. İnceleme alanında Mesozoik Triyas yaşlı Mahya şistleri görülmektedir (Çağlayan ve Yurtssever, 1998).

Tekedere Grubu (Pzt)

Tekedere grubu, Istranca Masifi metamorfik kayalarının temelini ve en yaşlı birimini oluşturur. Çeşitli mineral parajenezlerindeki, biyotitli şist, granatlı şist ve bunlarla geçişli kalkışist mercerleriyle kuvarsofeldspatik şistler, amfibolit, amfibollü şist, biyotitli gnays ve yer yer görülen migmatitler ile bu kayaçları kesen alkali granitik kayaçlar ve apilit, pegmatitler Tekedere grubu adı altında toparlanmıştır. Bu kayaçların dışında Kırıkkaleli grubu kayalarına (metagranit) geçiş gösteren ince taneli granitik gnayslar ile 2-3 mm boyutunda porfiroblastik dokulu, pembe aşınma renkli granitik kayaçlardan Çatmaköy karmaşığı (geçiş zonu) olarak, ayrılanmayanlar Tekedere grubu kapsamında ele alınmıştır (Çağlayan ve Yurtssever, 1998).

Mahya Şistleri (Trm)

Yer yer ince karbonat seviyeli şist ve fillat birliğine Mahya şistleri adı verilmiştir. Mahya şistleri tipik yüzeylemelerini, Yenice-Demirköy yol boyu, bu yoldan Mahya Dağına gidilen yol üzerinde ve Mahya Dağı'nda verir. Birime, Yıldız Dağları'nın en yüksek tepesi olan, Mahya adı fillat ve killi şistlere özgü olarak ilk kez kullanılmıştır.

Kalınlığı, batıdan doğuya artan ve doğuda geniş alanlar kaplayan Mahya şistleri kayaç özellikleri gözönüne alınarak, batı ve orta bölümde yerel olarak, Terzidere killişist üyesi, Taştepe fillatlı kalkışist üyesi ve Balaban grafitli kayrak üyesi ile Yenice granatlışist üyesi adları altında 4 üyeye ayrılmıştır. Yenice granatlışist üyesi, yalnızca

Yenice Köyü yöresinde ve birimin tabanında gözlenmiştir. Çatalca güneydoğusunda ise ayrıca, yerel gelişmiş olan Manastır çört üyesi tanımlanmış ve ayırtlanmıştır. Üyelerin ayırtlanmadığı kesimler haritalarda Mahya şistleri adı altında bırakılmıştır.

Mahya şistleri, üzerine geldiği Kocabayır metakirintilileri ve/veya bu birimin doğuya devamı olan Şermat kuvarsiti, Çiftlik kuvarssisti, Rampana kuvarssisti ile dereceli geçişlidir. Taştepe, Kocayazı, Dereköy, Armağan, Çukurpınar ve Balaban köyleri dolaylarında, üzerine Dolapdere formasyonuna ait birimler geçişli olarak gelmektedir. Birim, Taştepe ve Kofçaz yöresinde Dolapdere formasyonunun tabanında çok ince bir düzey olarak gözlenir. Mahya şistlerinin çökmediği Taştepe, Kofçaz, Kapaklı, Armağan ve Çukurpınar uzanımında, Dolapdere formasyonunun Çukurpınar kalkıştı üyesi, Kocabayır metakirintilileri üzerine açısız uyumsuzlukla, transgressif aşma ile gelmektedir (Çağlayan ve Yurtsssever, 1998).

2.PATLATMA KAYNAKLI TİTREŞİM İLE İLGİLİ ULUSAL MEVZUAT

Gelişmiş ülkeler, patlatma kaynaklı yersarsıntılarının yapılara verdiği hasarları önlemek için, yıllar önce gerekli önlemleri almışlar ve bu konularla ilgili olarak sınır değerleri içeren belgeler yayınlamışlardır. Ülkemizde ise bu konuların gündeme gelmesi henüz çok yenidir. Ülkemizdeki bu konu ile ilgili ilk yönetmelik (2002/49/EC) 01.08.2005 tarihinde yürürlüğe girmiş ve 30.11.2022 tarihinde "Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği" olarak başlığı değiştirilerek son halini almıştır. Bu yönetmeliğin "Çevresel Gürültü ve Titreşimin Yönetimi" konulu Dördüncü Bölüm 15. Maddesi aşağıda verilmiştir.

Çevresel titreşim değerlendirme yöntemleri

MADDE 15- (1) Maden ve taş ocakları ile benzeri faaliyette bulunan alanlardaki patlatmalarda; oluşacak hava şoku, taş savrulması, titreşim gibi çevresel etkilerin asgari düzeyde tutulacağı bir patlatma paterni uygulanır. Ek-2'deki Tablo 3'te yer alan usul ve esaslara göre, patlatma yapılan alanın yakınındaki bina ve yapıların korunması için alınan tedbirler hazırlanan akustik raporlar içerisinde detaylı olarak açıklanır.

Yönetmeliğin Ek-2'de yer alan çizelge aşağıda verilmiştir (Çizelge 1). Yönetmelikte yer alan değerlerin grafiğe aktarılmış şekli de Şekil 2'de görülmektedir

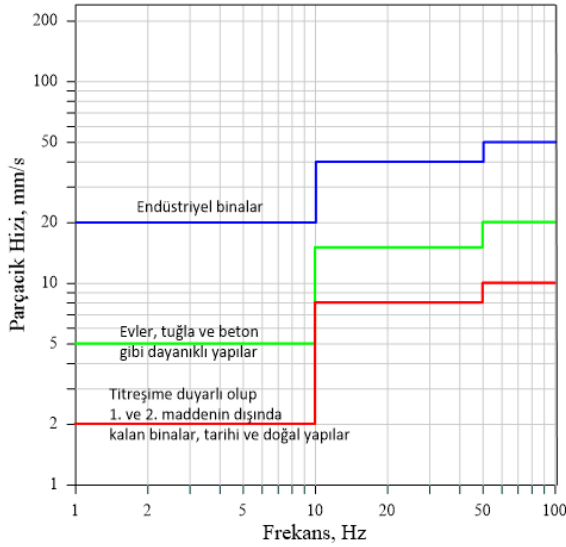
Çizelge 1. Maden ve Taş Ocakları ile Benzeri Alanlarda Patlama Nedeniyle Oluşacak Titreşimlerin En Yakın Yapıda Yaratacağı Zemin Titreşimlerinin İzin Verilen En Yüksek Değerleri

| Yapı Tipi | Binaların Temelinde En Yüksek Titreşim Hızı, (mm/s) (frekansa göre, f=Hz) | | | Tüm frekanslar için en üst katın döşemesinde (tabanında) ⁽²⁾ |
|--|---|---------|-------------------------|---|
| | F= 1-10 | F=10-50 | F=50-100 ⁽¹⁾ | |
| 1 Endüstriyel binalar | 20 | 40 | 50 | 40 |
| 2 Evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar | 5 | 15 | 20 | 15 |
| 3 Titreşime duyarlı olup 1. ve 2. maddenin dışında kalan binalar, tarihi ve doğal yapılar ⁽³⁾ | 2 | 8 | 10 | 8 |

(1) 100 devir/s büyük frekanslar için, büyük titreşim düzeyine izin verilebilir.

(2) Birden fazla katlı binalar için, ölçümlerin hem binanın temelinde hem de üst katın döşemesinde alınması gerekir.

(3) Tarihi ve doğal yapılar için belirlenen bu sınır değerler, yerinde yapılan hassas, kapsamlı titreşim ölçümleri ve bilimsel çalışmalar ile kısıtlanabilir.



Şekil 2. Türkiye'de geçerli yönetmelikteki sınır değerlere göre çizilmiş grafik

2. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Herhangi bir sahada, patlatma yapıp ortaya çıkan yersarsıntısı ölçüldükten sonra, yersarsıntısının ölçekli mesafe ile olan ilişkisinin belirlenmesi gerekir. Ölçekli mesafe, patlatma ve ölçüm noktası arasındaki mesafeyi ve gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarını göz önüne alan bir değerdir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır (Eşitlik 1) (Dowding, 1985).

$$SD = R / W^{0.5} \quad (1)$$

Burada;

SD : Ölçekli mesafe

R : Patlatma ve ölçüm noktası arasındaki mesafe (m)

W : Gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarı (kg)

Maksimum parçacık hızı (PPV) tahmininde USBM tarafından geliştirilen ve en yaygın kullanılan eşitlik olan aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Eşitlik 2) (Dowding, 1985).

$$PPV = k * SD^\beta \quad (2)$$

Burada;

PPV : Maksimum parçacık hızı (mm/s)

K ve β : Patlatma dizaynı ve saha jeolojisi ile ilgili katsayı.

Yapılan patlatma ölçüm verilerinin değerlendirilmesiyle elde edilen yukarıdaki katsayılar ve yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak, bundan sonra yapılacak patlatmalarda patlatma bölgesi ve en yakın bina arasındaki mesafeye göre kullanılacak maksimum patlayıcı madde miktarı belirlenebilmektedir.

3. ÖLÇÜM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

Çalışma konusu hammadde ocağında, saha sabitlerinin bulunması için ocağa yapılan rutin patlatmalara ait titreşim ölçümleri yapılmıştır. Bu kapsamda 4 adet patlatma gerçekleştirilmiş ve her patlatma 5 adet titreşim ölçer cihaz ile değişik mesafelerden ölçülmüştür. Patlatma çalışmalarında; patlatma delikleri 9 m boyunda ve 89 mm çapında delinmiştir. Bir deliğe konulan maksimum patlayıcı miktarı 25-35 kg arasında değişmektedir. Patlatmalar elektriksiz kapsüller (nonel) ile gerçekleştirilmiş olup her patlatmada 75'er adet delik ateşlenmiştir. Delik düzeni; delikler arası 2 m ve dilim kalınlığı 2 m olarak uygulanmıştır.

Ölçümlerde toplam 5 adet titreşim ölçüm cihaz kullanılmış olup, bu cihazlar yakından geçen karayolu boyunca değişik mesafelerde yerleştirilmiştir. Patlatma bölgesi ile titreşim ölçer cihazlar arasındaki mesafeler 90 m ile 345 m arasında değişmektedir. Şekil 3'te patlatma ve ölçüm noktaları görülmektedir. Bu patlatmalar sonucu oluşan yersarsıntılarının ölçülmesi ile elde verilen veriler Çizelge 2'de verilmiştir. Çalışma kapsamında 20 adet titreşim ölçümü elde edilmiştir. Literatürde bu sayı 30 olarak önerilmekle birlikte, saha için bir fikir vermesi açısından yeterli görülmüştür. Ölçüm istasyonlarında patlatma bölgesine olan mesafeye bağlı olarak 0,51 mm/s ile 47,62 mm/s arasında titreşim değerleri kaydedilmiştir.

Çizelge 2'deki veriler istatistiksel değerlendirmeye tabi tutulmuş ve ölçekli mesafe ile maksimum parçacık hızı (PPV) değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik çizilerek (Şekil 4), ilişkiye ait denklem elde edilmiştir. Buna göre K ve β katsayıları sırasıyla 402346,02 ve 3,21 olarak belirlenmiştir. Şekilde ayrıca %95 tahmin hattı grafiği ve denklemini görülmektedir. Bu denklem, bundan sonraki patlatmalarda, patlatma noktası ile hedef nokta arasındaki mesafe ve gecikme başına kullanılacak maksimum patlayıcı madde miktarının göz önüne alınarak, hedef noktada oluşacak titreşimin tahmin edilmesinde kullanılabilir. Diğer taraftan, titreşim hasar kriterlerinin göz önüne alınması durumunda, mesafeye bağlı olarak kullanılacak gecikme başına maksimum patlayıcı madde miktarının belirlenmesi de söz konusudur.

Çalışma kapsamında; hasar kriteri olarak, Ülkemizde yürürlükte olan "Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği"nde yer alan değerler kullanılacaktır. Yönetmelikte evler, tuğla ve beton yapılar için en düşük frekans aralığında geçerli sınır değer 5 mm/s'dir. Çalışma konusu

Kalkışist ocağında basamak yüksekliği 10 m olarak uygulanmaktadır. Dolayısıyla en fazla 11 m boyunda ve 89 mm çapında deliklerde patlatma yapılacaktır. Bu durumda bir deliğe şarj edilecek patlayıcı madde miktarı 40 kg civarındadır. Hesaplanan patlayıcı madde miktarlarında dikkat edilmesi gereken husus, *verilen değerlerin toplam patlayıcı madde miktarı değil, gecikme başına maksimum*

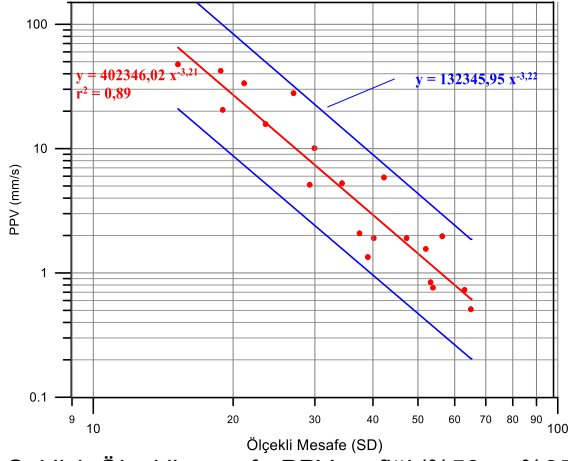
patlayıcı madde miktarı olduğudur. Elektriksiz gecikmeli kapsül kullanılması durumunda, her delik kendi başına bir gecikme içermektedir (sıralar arasında gecikme olması şartı ile). Dolayısıyla, yersarsıntısı açısından patlatmalarda toplam patlayıcı miktarı ve delik sayısı değil gecikme başına maksimum patlayıcı miktarı önem taşımaktadır.



Şekil 3. Patlatma bölgesi ve ölçüm istasyonları

Çizelge 2. Patlatmalar ve ölçüm sonuçlarına ait bilgiler

| Atım No | Ölçüm No | Gecikme Başına Maksimum P.M. Miktarı | Ölçüm Mesafesi | Ölçekli Mesafe | TİTREŞİM HIZI VE FREKANSI | |
|---------|----------|--------------------------------------|----------------|----------------|---------------------------|----|
| | | | | | PPV | |
| | | | | | mm/s | Hz |
| 1 | 1 | 29 | 127 | 23,49 | 15,75 | 57 |
| | 2 | 29 | 185 | 34,32 | 5,26 | 28 |
| | 3 | 29 | 255 | 47,27 | 1,91 | 19 |
| | 4 | 29 | 216 | 40,17 | 1,91 | 22 |
| | 5 | 29 | 280 | 51,99 | 1,56 | 25 |
| 2 | 6 | 35 | 90 | 15,21 | 47,62 | 17 |
| | 7 | 35 | 125 | 21,13 | 33,52 | 33 |
| | 8 | 35 | 173 | 29,24 | 5,12 | 12 |
| | 9 | 35 | 250 | 42,26 | 5,85 | 23 |
| | 10 | 35 | 315 | 53,24 | 0,84 | 28 |
| 3 | 11 | 30 | 103 | 18,81 | 42,18 | 32 |
| | 12 | 30 | 164 | 29,94 | 10,08 | 19 |
| | 13 | 30 | 205 | 37,43 | 2,08 | 22 |
| | 14 | 30 | 295 | 53,86 | 0,76 | 28 |
| | 15 | 30 | 345 | 62,99 | 0,73 | 31 |
| 4 | 16 | 25 | 95 | 19,00 | 20,50 | 28 |
| | 17 | 25 | 135 | 27,00 | 27,89 | 21 |
| | 18 | 25 | 195 | 39,00 | 1,34 | 17 |
| | 19 | 25 | 282 | 56,40 | 1,97 | 16 |
| | 20 | 25 | 325 | 65,00 | 0,51 | 35 |



Şekil 4. Ölçekli mesafe-PPV grafiği (%50 ve %95 tahmin hattı)

Bu saptamalara göre; çalışmaya konu olan kalkışt sahasında yapılacak patlatma işlemlerinde; mesafeye göre ortaya çıkabilecek titreşim değerleri %95 tahmin hattı denklemi ile hesaplanarak Çizelge 3'te verilmiştir. Yapılan ölçümlerde frekans değerleri 10 Hz'in üzerinde kaydedilmiştir. Bu nedenle sınır değer 15 mm/s'de alınabilir. Ancak daha muhafazakar tahminlerde bulunabilmek için en düşük frekans değerindeki değer olan 5 mm/s sınır değer olarak kabul edilmiştir. Çizelgeden görüldüğü sınır değer olan 5 mm/s değeri yaklaşık 305 m'de oluşmaktadır. 2500 m mesafede bulunan Yenice Köyünde ise bu miktarda patlayıcı ile yapılan patlatmalar sonucu herhangi bir titreşim oluşması söz konusu değildir.

Çizelge 3. Mesafeye bağlı oluşabilecek PPV değerleri (Gecikme başına 40 kg patlayıcı şarjı için)

| Mesafe (m) | Oluşabilecek PPV değeri (mm/s) |
|------------|--------------------------------|
| 100 | 182,40 |
| 150 | 49,43 |
| 250 | 9,54 |
| 305 | 5,00 |
| 350 | 3,23 |
| 400 | 2,10 |
| 450 | 1,44 |
| 500 | 1,02 |
| 600 | 0,57 |
| 700 | 0,35 |
| 800 | 0,23 |
| 900 | 0,15 |
| 1000 | 0,11 |

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Kırklareli İli Pınarhisar İlçesi Yenice Köyü mevkinde bulunan 39/2005-02 ruhsat ve 309118 erişim numaralı II-A grubu hammadde ocağında yapılan patlatmalar incelenmiş ve titreşim ölçümleri yapılarak, titreşim tahmin denklemleri elde edilmiştir. Buradan hareketle en yakın yerleşim yerinin patlatma kaynaklı titreşimlerden etkilenip etkilenmeyeceği değerlendirilmiştir.

Çalışmaya konu olan kalkışt ocağında, yapılan rutin patlatmalardan 4 adedine ait titreşim ölçümleri alınmıştır. 5 adet titreşim ölçer cihaz, değişik mesafelerde yerleştirilmiş ve toplamda 20 adet titreşim kaydı alınmıştır. Alınan ölçüm verileri istatistiksel değerlendirmeye tabi tutulmuş ve veriler arasındaki ilişkiyi gösteren denklem elde edilmiştir. Denklemde regresyon katsayısı (r^2) yüksek bir değer olarak kabul edilebilecek 0,88 olarak hesaplanmıştır. Bu değer yüksek olması, sonraki patlatmalarda ortaya çıkacak titreşimin tahmin doğruluğunu artırmaktadır. Şekil 4'da görüldüğü gibi %50 tahmin hattı denklemi yanında %95 tahmin hattı denklemi de türetilmiştir. Bunun anlamı, bundan sonra yapılacak patlatmalarda ortaya çıkabilecek titreşim değerlerinin, %95 ihtimalle tahmin edilen değer altında gerçekleşeceğidir.

Çalışmada sınır titreşim değeri olarak Ülkemizde yürürlükte olan "Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği"nde *Evler, tuğla ve beton gibi dayanıklı yapılar* için en düşük frekansta geçerli olan 5 mm/s değeri esas alınmıştır. %95 tahmin hattı denklemi, patlatma parametreleri ve sınır PPV değeri göz önüne alınarak yapılan hesaplamalarda patlatma bölgesine 305 m'den daha uzak mesafelerde titreşim değerlerinin sınır değerinin altında gerçekleşeceği hesaplanmıştır. Hammadde ocağı ruhsat sınırına en yakın yerleşim yerinin 2500 m mesafede olduğu düşünüldüğünde, patlatmalarda gecikmeli elektriksiz kapsüllerin kullanılması ve uygun tasarım ile yapılacak patlatmaların yerleşim yerleri için titreşim anlamında bir soruna yol açmayacağı değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Chen G., Huang SL., (2001), "Analysis of ground vibrations caused by open pit production blasts- a case study", *Fragblast* Vol. 5, 1-2:91-107.
- [2] Dowding CH., (1985), "Blast Vibration Monitoring and Control", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, p 297.
- [3] Erçıktı B., Kesimal A., Yılmaz F., Cihangir F., (2004), "Patlatma Kaynaklı yersarsıntısı Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi", *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Sayı: 7, s.195-214.
- [4] Felice, J.J.,(1993), "Applications of modeling to reduce vibration and air-blast levels", *Fourth International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*, Vienna, 5-8 July 1993.
- [5] Kahrıman A., (2001), "Evaluation of ground vibration due to surface blasting at a celestite open-pit mine", *Fragblast* 5, 1-2:21-34.
- [6] Karadoğan, A., Özer, Ü., Kahrıman, A., "Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Tahmini İçin Farklı Kayaların Saha Sabitlerinin Belirlenmesi", *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, C.25,S.1 SS.9-23.
- [7] Karakuş D., Pamukçu C., Onur A.H., Konak G., Şafak S., (2010)," Investigation of the effect of ground vibration on buildings due to blasting", *Arch. Min. Sci.*, Vol. 55, No 1, p. 123–140.
- [8] Özaçar, V., (2020), "Patlatma Kaynaklı Titreşimlerin Çevreye Etkilerinin En Aza İndirilmesi Üzerine Bir Saha Çalışması", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22 (66), 759-768.
- [9] Özdemir, K., Kahrıman, A., Tuncer, G., Akgündoğdu, A, Elver, E., Ucan, O.N.,(2004), "Fragmentation assessment using a new image processing technique based on adaptive neuro-fuzzy inference systems", *Thirteenth Annual Conference on Explosives and Blasting Technique*, 1-4 February 2004, Louisiana, NO, USA, 2004, Vol. II, pp 181-187.
- [10] Özer, Ü., Kahrıman, A., Aksoy M., Adıgüzel, D., Karadoğan, A., (2008), "The analysis of ground vibrations induced by bench blasting at Akyol quarry and practical blasting charts" *Environmental Geology*, cilt 54, S.4, SS. 737-743.
- [11] Staphis AT (2006) A scaled charge weight superposition model for rapid vibration estimation. *Fragblast*, 10, 1-2:9-31.
- [12] Singh TN, Singh V (2005) An intelligent approach to prediction and control ground vibration in mines. *Geotechnical and Geological Engineering*, 23:249-262.
- [13] Tuncer, G., Kahrıman, A., Ozdemir, K., Guven S., Ferhatoglu, A., Gezbul, T., (2003), "The damage risk evaluation of ground vibration induced by blasting in Naipli Quarry", *Third international conference: modern management of mine producing, geology and environmental protection*, SGEM-2003, Varna, Bulgaria, 9-13 June 2003, pp 67-75.
- [14] UYAR G.G, AKSOY C.O., (2015), "Patlatma kaynaklı titreşim analizlerinde en yüksek parçacık hızı-ölçekli mesafe ilişkisini esas alan yaklaşımının olumsuzlukları" VIII. Delme-Patlatma Sempozyumu.
- [15] Uyar, A.G.G. Aksoy, C.O., Yaman, H.E., (2022) "Estimation of blast vibrations by numerical modelling and signal analysis", *Bulletin Of The Mineral Research And Exploration*, cilt.169, ss.39-48.
- [16] Uysal, O., Elevli, B., Akcakoca, H.,(2004), "Environmentally sensitive drilling and blasting design for a surface mining", *13th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection*, 1-3 September 2004, Wroclaw, Polan

DSİ Destek Hizmetleri Dairesi Bşk.
Basın ve Foto-Film Servisi
Ankara-2025