

ISSN: 2146 - 4693
e-ISSN: 2458 - 9330

DÜFED

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/dufed>

Cilt	[Volume]	14
Sayı	[Issue]	1
Haziran	[June]	2025

Dicle University Journal of the Institute of Natural and Applied Sciences



DÜFED

DİCLE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

DICLE UNIVERSITY JOURNAL OF THE INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

CİLT / VOLUME 14 SAYI / ISSUE 1 10 HAZİRAN / JUNE 2025

ISSN: 2146 - 4693

e-ISSN: 2458 - 9330

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/dufed>

DİZİNLER / INDEXING, ABSTRACTING AND ENLISTING

Google Scholar, CABI: CAB Abstracts and Global Health, CAS: Chemical Abstracts Service, ROAD: Directory of Open Access Scholarly Resources, Index Copernicus International, Citefactor: Academic Scientific Journals, BASE: Bielefeld Academic Search Engine, OpenAIRE, IJIFACTOR, ASOS, Paperity: Open Science Aggregated, I2OR: International Institute of Organized Research, SJIF: Scientific Journal Impact Factor, ASI: Advanced Sciences Index, DRJI: Directory of Research Journal Indexing, SOBIAD, ACARINDEX: Akademik Araştırmalar Index, SIS: Scientific Indexing Services, Crossref, Harman Türkiye Akademik Arşivi, AccessOn, Dimensions, Wizdom, OUCI: The Open Ukrainian Citation Index, WorldCat, Scilit, ASCI: Asian Science Citation Index

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ceylan Enstitüler Binası

21280 - DİYARBAKIR

Tel: +90 412 241 10 00 Dahili: 8450

e-postalar: dufed@dicle.edu.tr

DİCLE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

DİCLE UNIVERSITY JOURNAL OF THE INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

CİLT / VOLUME 14 SAYI / ISSUE 1 10 HAZİRAN / JUNE 2025

ISSN: 2146 - 4693
e-ISSN: 2458 - 9330

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/dufed>

Sahibi / Owner

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü V.
Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye
nesdalkilic@gmail.com / neslidal@dicle.edu.tr

Baş Editör / Editor-in-Chief

Prof. Dr. Ayhan BEKLEYEN
Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye
ayhan.bekleyen@gmail.com / bekleyen@dicle.edu.tr

Baş Editör Yardımcıları / Co-Editors-in-Chief

Dr. Öğr. Üyesi Mesut HÜSEYİNOĞLU
Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye
mesuth@dicle.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin ACAR
Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye
hacar@dicle.edu.tr

Basım Yeri / Printing
Dicle Üniversitesi Basımevi, Diyarbakır

İngilizce Dil Editörü / English Language Editor

Doç. Dr. Murat BİNGÜL

Dicle Üniversitesi, Temel Eczacılık Bilimleri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, muratbingul1983@gmail.com

Türkçe Dil Editörü / Turkish Language Editor

Dr. Feyza BULUT

Dicle Üniversitesi, Türk Dili ve Edebiyatı Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, feyzaislamoglu@gmail.com

Mizanpaj Editörleri / Page-Setting Editors

Araş. Gör. Sevcan ASLAN KILIÇ

Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, Türkiye, sevcan.aslan@dicle.edu.tr

Araş. Gör. Ruşen ERGÜN

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, rusen.ergun@dicle.edu.tr

Yayın Sekreterliği / Secretary

Araş. Gör. Sevcan ASLAN KILIÇ

Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, Türkiye, arcsevcan@gmail.com

Yayın Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Jamal M. KHATIB

Beyrut Arap Üniversitesi, İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümü, Beyrut, Lübnan, j.khatib@bau.edu.lb

Prof. Dr. Nicoleta GILLICH

Babeş-Bolyai Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, Resita, Romanya, nicoleta.gillich@ubbcluj.ro

Prof. Dr. Akın BAYSAL

Dicle Üniversitesi, Kimya Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, akinb@dicle.edu.tr

Dr. Sevinj N. OSMANOVA

Khazar Üniversitesi, Kimya ve Kimya Mühendisliği Bölümü, Bakü, Azerbaycan, sevinj.osmanova@khazar.org

Prof. Dr. Yeliz PEKBAY

Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, yeliz.pekbay@ege.edu.tr

Prof. Dr. Özlem TONÇER

Dicle Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, toncer@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Muzaffer DENLİ

Dicle Üniversitesi, Zootekni Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, denlim@dicle.edu.tr

Prof. Dr. İsmail Naci CANGÜL

Uludağ Üniversitesi, Matematik Bölümü, Bursa, Türkiye, cangul@uludag.edu.tr

Doç. Dr. Gülnare KANBAROVA

Nahçıvan Devlet Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Nahçıvan, Azerbaycan, gulnare_qenberova65@yahoo.com

Prof. Dr. Mehmet Rifat ULUSOY

Çukurova Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana, Türkiye, mrulusoy@cu.edu.tr

Prof. Dr. Zeynel Fuat TOPRAK

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, toprakzf@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Kadir TURAN

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, kturan@dicle.edu.tr

Danışma Kurulu /Advisory Board

Prof. Dr. İsmail Naci CANGÜL

Uludağ Üniversitesi, Matematik Bölümü, Bursa, Türkiye, cangul@uludag.edu.tr

Prof. Dr. Aysu AKTAŞ

Gazi Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Ankara, Türkiye, aysuakalin@gazi.edu.tr

Prof. Dr. Ufuk Teoman AKSOY

Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, taksoy@firat.edu.tr

Prof. Dr. Abbas GÜNGÖRDÜ

İnönü Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Malatya, Türkiye, abbas.gungordu@inonu.edu.tr

Prof. Dr. Yeliz PEKBEY

Ege Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, yeliz.pekbey@ege.edu.tr

Prof. Dr. Naki ÇOLAK

Hitit Üniversitesi, Kimya Bölümü, Çorum, Türkiye, nakicolak@hitit.edu.tr

Prof. Dr. Hikmet GEÇKİL

İnönü Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Malatya, Türkiye, hikmet.geckil@inonu.edu.tr

Prof. Dr. Kamil KARUT

Çukurova Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana, Türkiye, karuti@cu.edu.tr

Prof. Dr. Şengül KARAMAN

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye, sengulk@ksu.edu.tr

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, neslidal@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Erol KILIÇKAP

Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, ekilickap@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Sadık Özgür DEĞERTEKİN

Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, sozgur@dicle.edu.tr

Alan Editörleri / Field Editors

Prof. Dr. Süreyya NAMLI

Dicle Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, snamli@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Hülya KARADEDE AKIN

Dicle Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, hkdede@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Nurettin PİRİNÇÇİOĞLU

Dicle Üniversitesi, Fizik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, npirinc@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Akın BAYSAL

Dicle Üniversitesi, Kimya Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, akinb@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Fırat AYDIN

Dicle Üniversitesi, Kimya Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, faydin@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Ersin KILINÇ

Dicle Üniversitesi, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, kilincersin@gmail.com

Prof. Dr. Bilal ŞEKER

Batman Üniversitesi, Matematik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, bilal.seker@batman.edu.tr

Doç. Dr. Saadet Öykü YURTTAŞ

Dicle Üniversitesi, Matematik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, oykuyurttas@gmail.com

Doç. Dr. Seçil YALAZ

Dicle Üniversitesi, İstatistik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, syalaz@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Bilal GÜMÜŞ

Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, bilgumus@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Fevzi ÖNEN

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, fonen@dicle.edu.tr

Doç. Dr. Mehmet Emin ÖNCÜ

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, oncume@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Mustafa AYHAN

Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, mayhan@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Özgür AKKOYUN

Dicle Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, oakkoyun@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Figen BALO

Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, figenbalo@gmail.com

Prof. Dr. Atilla Gencer DEVECİOĞLU

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, atillad@dicle.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Gurbet ÖRÇEN

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, gurbetorcen@dicle.edu.tr

Doç. Dr. Mehmet NERGİZ

Dicle Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, mnergiz@dicle.edu.tr

Doç. Dr. Abdülkadir ALBAYRAK

Dicle Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, kadir.albayrak@dicle.edu.tr

Doç. Dr. C. Tuncay AKIN

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, ctakin@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Onur ERMAN

Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Adana, Türkiye, oerman@cu.edu.tr

Doç. Dr. Şefika ERGİN

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, sefika@dicle.edu.tr

Doç. Dr. Canan KOÇ

Dicle Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, canan.koca@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR

Dicle Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, gozdemir@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Mehmet Rifat ULUSOY

Çukurova Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana, Türkiye, mrulusoy@cu.edu.tr

Prof. Dr. Selime ÖLMEZ BAYHAN

Dicle Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, solmezbayhan@gmail.com

Prof. Dr. Kamil KARUT

Çukurova Üniversitesi, Bitki Koruma Bölümü, Adana, Türkiye, karuti@cu.edu.tr

Prof. Dr. Behiye Tuba BİÇER

Dicle Üniversitesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, tbicer@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Özlem TONÇER

Dicle Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, toncer@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Muzaffer DENLİ

Dicle Üniversitesi, Zootekni Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, mdenli@dicle.edu.tr

Doç. Dr. Abdurrahman KARA

Dicle Üniversitesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, abdurrahman.kara@dicle.edu.tr

Sayı Editör Kurulu / Issue Editorial Board

Prof. Dr. Fevzi ÖNEN

Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, fonen@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Figen BALO

Fırat Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, figenbalo@gmail.com

Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR

Dicle Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, gozdemir@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Süreyya NAMLI

Dicle Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, snamli@dicle.edu.tr

Prof. Dr. Özlem TONÇER

Dicle Üniversitesi, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, toncer@dicle.edu.tr

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Araştırma Makaleleri / Research Articles

- Bazı Limon Çeşitlerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi**
Determination of Physical Properties of Some Lemon Varieties
Hamide ERSOY, Ebubekir ALTUNTAŞ 1
- The Effect of Different Phosphorus Doses on Forage Yield and Related Traits in Some Hungarian Vetch Cultivars**
Bazı Macar Fiğ Çeşitlerinde Farklı Fosfor Dozlarının Ot Verimi ve İlgili Özellikler Üzerindeki Etkisi
Berat ŞENYİĞİT, Mehmet Salih SAYAR 13
- Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi Yeraltı Sularının Kirlilik Riskinin Araştırılması**
Investigation of Groundwater Pollution Risk in Diyarbakır Organized Industrial Zone
Merve ŞAKİ KOCAMAN, Recep ÇELİK 27
- Şeyhandede Şelalesi'nin (Çermik/Diyarbakır) Bitki Örtüsü Üzerinde Bir Değerlendirme**
An Evaluation on the Vegetation of Şeyhandede Waterfall (Çermik/Diyarbakır)
İbrahim Halil YILDIRIM, Ömer Faruk KAYA 45
- Investigation of Pump Selection and Energy Efficiency in Agricultural Irrigation Systems**
Tarımsal Sulama Sistemlerinde Pompa Seçimi ve Enerji Verimliliğinin İncelenmesi
Reşit AZİZOĞLU, Fatih KOÇYİĞİT 57
- Diyarbakır Ovasında Çok Kriterli Karar Verme Modeli ve CBS Entegrasyonu ile Yeraltı Barajı Yer Seçimi**
Subsurface Dam Site Selection in the Diyarbakır Plain Using Multi-Criteria Decision-Making Model and GIS Integration
Melis ARCA, Recep ÇELİK 77



Araştırma Makalesi / Research Article

Bazı Limon Çeşitlerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Determination of Physical Properties of Some Lemon Varieties

Hamide ERSOY¹ , Ebubekir ALTUNTAŞ^{2,*}

¹ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı, 60250, Tokat, Türkiye

² Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 60250, Tokat, Türkiye

<https://doi.org/10.55007/dufed.1566233>

ÖZ

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 13 Ekim 2024

Revize, 28 Kasım 2024

Kabul, 23 Aralık 2024

Online Yayınlama, 01 Nisan 2025

AnahtarKelimeler

Limon, Geometrik, Hacimsel
özellik, Sürtünme, Renk

ARTICLE INFO

Article History

Received, 13 October 2024

Revised, 28 November 2024

Accepted, 23 December 2024

Available Online, 01 April 2025

Keywords

Lemon, Geometric, Volumetric
properties, Friction, Colour

Bu çalışmada, Aydın, Kütdiken ve Interdonato limon çeşitlerinin bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda, limon meyvelerinin geometrik, hacimsel, sürtünme ve renk özellikleri incelenmiştir. Kütdiken limon çeşidi, geometrik özellikler ait değerler daha düşük değerde bulunmuştur. İstatistiki olarak, geometrik özelliklere ait değerler açısından çeşitler arasında $p < 0.01$ düzeyinde anlamlı farklılıklar görülmüştür. Hacim ağırlığı ve gerçek hacim ağırlığı değerlerinin sırasıyla Aydın ve Interdonato çeşitlerinde çeşitler arasında en yüksek değerler vermiştir. Çalışmada sürtünme katsayıları Interdonato meyveleri daha yüksek değerler vermiş, istatistiki olarak lastik, kontrplak ve PVC sürtünme yüzeylerinde çeşitler bazında sürtünme katsayısı değerleri $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Interdonato çeşidinde L, a ve b renk değerleri daha yüksek değerde iken, Aydın çeşidinde daha düşük değerler gözlenmiştir. Limon meyvelerinin geometrik, hacimsel, sürtünme ve renk özellikleri hem ticari açıdan kalite göstergesi olmakla beraber ürünün hasat sonrası teknolojilerinde ayırma, sınıflandırma, taşıma, pazarlama, koruma (depolama, işleme, vb.) proseslerde yer alan makine ve sistemlerin dizaynı, geliştirilmesi ve kullanımlarında önemli mühendislik verileri oluşturmaktadır.

ABSTRACT

In this study, some physical properties of Aydın, Kütdiken and Interdonato lemon varieties were investigated. In this context, geometric, volumetric, friction and color properties were examined. The values of geometrical properties of Kütdiken lemon variety gave lower values. Statistically, there were significant differences between the varieties at $p < 0.01$ level in terms of geometric properties. Volume weight and actual volume weight values gave the highest values among the varieties in Aydın and Interdonato

*Sorumlu Yazar

E-posta Adresleri: ersoyshamide@gmail.com (Hamide ERSOY), ebubekir.altuntas@gop.edu.tr (Ebubekir

ALTUNTAŞ)

varieties, respectively. In the study, friction coefficients of Interdonato fruits gave higher values, and statistically, friction coefficient values of rubber, plywood and PVC friction surfaces were found to be statistically significant at $p<0.01$ level. While the color values of L, a and b were higher in Interdonato variety, lower values were observed in Aydın variety. Geometric, volumetric, friction and color characteristics of lemon fruits are both commercial quality indicators and important engineering data in the design, development and use of machinery and systems involved in the processes of separation, classification, transportation, marketing, protection (storage, processing, etc.) in post-harvest technologies.

1. GİRİŞ

Limonun anavatanının Hindistan'a ait Doğu Himalaya Bölgesinin olduğu açıklanmaktadır [1]. Daha çok Akdeniz Bölgesi'nde büyük oranda yetiştirilen limonun yabani formunun bölgede bulunamaması nedeniyle limonun kökeninin tam olarak ortaya konulamamış olduğu söylenebilir. Limonun Akdeniz Havzası'yla Ortadoğu'da gelişimini tamamladığı düşünülmektedir [2].

Dünyada ve Türkiye'de yoğun talep gören turuncgiller, toplumda önemli ekonomik, sosyal ve kültürel etkilere sahip bir meyve grubudur. Turuncgil yetiştiriciliği dünyada olduğu gibi Türkiye'de son yıllarda hızlı bir gelişme göstermiştir. Dünyada 2020/21 pazarlama yılında 97 milyon ton olan turuncgil üretiminin %9'unu limon oluşturmaktadır. 2021/22 pazarlama yılında ise dünya limon üretimi 9.5 milyon tona ulaşmıştır. TÜİK verilerine göre, 2021 yılında Türkiye turuncgil üretimi yaklaşık 5.5 milyon ton iken, bu üretimin 1.5 milyon tonunu limon oluşturmaktadır. Türkiye'de limon üretiminin %93'ü Akdeniz ve %7'si ise Ege Bölgesi'nden sağlanmaktadır. İller bazında ise Mersin, Adana ve Hatay illeri üretimin %90'ını karşılamaktadır [3]. Türkiye'de yetiştirilen limonların oranlarına bakıldığında %50'sinin Kütdiken ve %20'sinin ise Interdonato çeşidi olduğu, üçüncü sırada %20 oranında bulunan Mayer çeşidinin yüksek verim, *Uçkurutan (Phomatracheiphila)* ve soğuk koşullara dayanıklı olması sebebiyle yetiştirilme oranı artan bir çeşit olduğu görülmektedir. Kalan önemli limon çeşitleri "Aydın" (%10), "İtalyan Memeli", "Lamas", "Molla Mehmet", "Kıbrıs" ve "Eureka" dır [4].

Türkiye'de üretilen limonun yarısından daha fazlası ihraç edilmektedir. Dünya standartlarında üretimi yapılan limon çeşitleri hem aranan bir ürün olması, hem de nitelikli, ambalajlı, nakliye ve depolama koşullarına sahip olması nedeniyle dünya piyasasında önemli bir yer tutmaktadır [5]. Hasat edilme zamanı ve hasat edilme şekli de ürünün depolanma süresine ve bu süre sonundaki kalite üzerine önemli ölçüde etkili olmaktadır. Limon ekonomik öneme haiz bir meyve olması yanında besin içeriği açısından da oldukça (C vitamini, karotenoidler, sitrik asit, mineraller vb.) zengindir. Ayrıca yüksek antioksidan özelliğine sahip olup flavon ve flavonoidler açısından da oldukça zengin olup gıda endüstrisi işlemleri açısından da büyük öneme sahiptir [6,7].

Tarımsal materyallerin korunmasında nitelik ve niceliğini arttırmaya yönelik uygulamalar içerisinde, hasat sonrası teknolojiler ile hasat edilen ürünlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi vb. çalışmaları büyük önem taşımaktadır. Tarımsal materyallere ait fiziksel özelliklerin belirlenmesi; hasat ve hasat sonrası teknolojilerde kullanılacak sistem ve makinaların iş kapasitelerinin belirlenmesi, ürün kalite-kontrol işlemleri ile hasat ve hasat sonrası teknolojilerinde yer alan proseslerdeki makine ve sistemlerin dizaynına, geliştirilmesine ve kullanımlarına yönelik önemli mühendislik verilerinin oluşmasına katkı sunmaktadır [8].

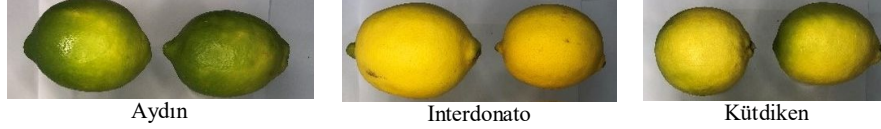
Tarımsal materyallerin fiziksel özellikleri olarak; materyalin boyut, şekil özellikleri, projeksiyon/yüzey alanı, küresel olma durumu, geometrik ortalama çap ve yüzey alanı vb. geometrik özellikleri; birim ağırlık, gerçek hacim ağırlığı, porozite, hacim ağırlıkları vb. hacimsel özellikleri, farklı sürtünme yüzeylerindeki sürtünme katsayıları, Kroma, Hue açısı, L, a, bvb. renk karakteristikleri sayılabilir [8].

Limon meyvelerinin fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik yerli ve yabancı literatür çalışmalarına bakıldığında bazı çalışmalar yapılmıştır. Bunlar arasında Kabaş [9], Interdonate limon çeşidinde, boyut, ağırlık, kalınlık, 100 meyve ağırlığı vb. gibi fiziksel özelliklerini; Baradaran-Motie ve ark.[10], çekirdeksiz Lizbon ve FrostEureka limon çeşitlerinin fiziksel özellikleri dikkate alarak ayırma ve sınıflandırılması için modellenmesinde bazı fiziksel özelliklerini; Dağdelen [11], 5, 10 ve 15 Hz taşıma frekanslarının Interdonate limon çeşidinde fiziko-mekanik ve fizikokimyasal özelliklere etkilerini araştırmıştır. Karadeniz [12], gıda ürünü olarak limon ekşisi veya limon suyu eldesine yönelik olarak da Kütdiken, Karalimon, Lamas ve Interdonato limon çeşitlerinden elde edilen limon sularında pH, titrasyon asitliği vb. gibi kimyasal özelliklerini incelemiştir.

Uçan ve ark. [13], Mayer limon çeşidini kullanarak, limon ekşilerinin bazı fiziksel, renk ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Saraçoğlu [14], çalışmasında narenciye türleri içinde, limon meyvesinin de bazı fiziksel ve hidrodinamik özelliklerini incelemiştir. Interdonato limon meyvelerinin boyut özellikleri ve projeksiyon alanlarını görüntü işleme yöntemiyle belirlemiştir. Özden ve Kılıç [15], limon meyvelerinin dilimlerinin kurutma sürecindeki renk ve boyut analizini incelemiştir. Kurutma fırınında 50°C sıcaklıkta kurutma işlemi yapılan limon dilimleri için zamana bağlı olarak görüntüleri kaydedilmiş, kinematik özellikleri dikkate alınarak ağırlıkları yük hücresi ile gerçekleştirilmiş, %10 nem kalana kadar kurutma işlemi yapılmıştır. Limon meyvesine ait olarak çeşitler bazında sınırlı düzeyde çalışma yapıldığı için bu çalışma çerçevesinde deneme materyali olarak farklı limon çeşitleri olarak Aydın, Interdonato ve Kütdiken limon çeşitlerinin fiziksel özellikleri incelenmiş ve bu kapsamda geometrik, hacimsel, renk ve sürtünme özellikleri beraber değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma için Aydın, Interdonato ve Kütdiken olmak üzere üç limon çeşidi kullanılmıştır. Limonlar, Adana-Ceyhan ilçesindeki bir çiftçi bahçesinden temin edilmiştir. Limon hasat dönemi 21 Kasım 2022 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Uygun paketlenme sağlanarak Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyolojik Malzeme Laboratuvarına getirilip fiziksel özellikler incelenmiştir.



Şekil 1.Çalışmada kullanılan Aydın, Interdonato ve Kütdiken limon meyvelerine ait örnekler

Aydın çeşidi limon meyvelerinin verimi iyi, meyveleri ise büyüktür. Meyve güzel kokuya sahiptir. Interdonato limon çeşidi meyvesi büyük, uzun-silindirik şekle sahiptir. Aynı zamanda, meyve kabuğunun ince, yana doğru yatık meme başına sahip, açık yeşil renkli, düzgün ve parlak yüzeylidir. Kütdiken çeşidinin meyve şekli elips, hafif memeli olup, kabuk rengi açık yeşil, sarı olup, parlak yüzeyli, meyve eti ise sarı renklidir [16, 17, 18].

Hasat edilen limon meyvelerinin fiziksel özellikleri içerisinde geometrik, hacimsel, sürtünme ve renk karakteristikleri için; geometrik özelliğinden boyut, yüzey alanı, geometrik ortalama çap ve küresellik; hacim özelliği için meyve ağırlığı, 100 meyve ağırlığı, hacim, yığın ve gerçek hacim ağırlıkları; sürtünme özellikleri için farklı sürtünme yüzeylerindeki statik sürtünme katsayıları ile renk ölçümleri için meyve kabuğu üzerinden renk karakteristikleri belirlenmiştir.

Meyvelerin nem içeriğinin belirlenmesi için 3 tekrarlamalı olarak meyve örneklerinin kuru etüvde $70 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ürün nemi sabitlenen kadar kurutulmuş ve nem içeriği yaş baza (%y.b) göre belirlenmiştir [19].

Meyve geometrik ve hacimsel ölçümleri 100 meyve üzerinden belirlenmiş, ortalamaları ve standart sapmaları alınmıştır. Limon meyveleri geometrik ağırlık ve hacim ölçümleri için sırasıyla dijital kumpas, dijital terazi ve hektolitre kabı ve/veya ölçülü cam beher kaplar kullanılmıştır.

Meyvelerin sürtünme özellikleri için eğimli masa sürtünme ölçüm düzeneği kullanılmış, farklı sürtünme yüzeyleri üzerinde meyvenin ilk hareketini sağladığı eğim açısı belirlenmiştir. Meyve örneklerinin hareketine izin verecek şekilde eğimli masa bir kol ile hareketlendirilerek, ilk hareketin

sağlandığı durumda eğimli masanın tanjantı (eğim açısı), statik sürtünme katsayısı olarak kullanılmıştır [8].

Meyve renk ölçümleri için limon meyvelerinin kabuk rengine ait L, a, b renk skalaları yanında Kroma ve hue açısı da belirlenmiş, ortalamaları ve standart sapmaları alınmıştır. Renk özellikleri için Minolta marka renk-ölçer kullanılmıştır. L(parlaklık) değeri, (0 karanlık, 100 aydınlık); a(kırmızılık) değeri (+kırmızılığı, -yeşilliği), b (sarılık) değeri (+sarılığı, -maviliği) göstermekte olup, denemelerde her bir renk skalası için 15'er adet meyve örneği kullanılmıştır. Hue açısı, tohumların renk tonunu göstermekte olup, sırasıyla aç değelerine göre renk tonları 0° kırmızı-mor, 90° sarı, 180° mavimsi-yeşil ve 270° ise mavi olarak açıklanmaktadır. Kroma; tane renkliliğin bir ölçüsü olarak, renk doyumluğu veya renk saflığını ifade etmektedir [20]. Limon meyvelerinin geometrik özelliklerinden geometrik ortalama çap (G_m), küresellik (S_p) yüzey alanı (S_u) değerleri aşağıdaki eşitliklerden belirlenmiştir [21].

$$G_m = (L_e \cdot W_i \cdot T_h)^{0.33} \quad (1)$$

$$S_p = [(G_m/L_e)]100 \quad (2)$$

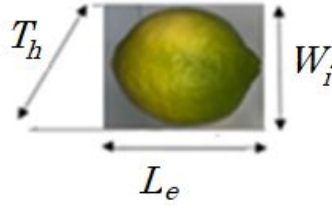
$$S_u = \pi(G_m)^2 \quad (3)$$

Burada; L_e : uzunluk, W_i : genişlik, T_h : kalınlık, G_m : geometrik ortalama çap, S_p : küresellik, S_u : yüzey alanıdır.

100 meyve ağırlıklarının (M_h) ölçümü için 4 tekrarlı alınan 100 adet meyve ağırlığı ortalaması kullanılmıştır. Meyvelerin gerçek hacim ağırlığını (ρ_{mt} , kg m⁻³) belirlenmek için sıvı yer değiştirme yöntemi ve akışkan olarak da saf su kullanılmıştır [19]. Yığın hacim ağırlığının (ρ_{mb} , kg m⁻³) belirlenmesinde hektolitre yöntemi uygulanmıştır. Boşluk oranı (porozite) değeri için (P_{or}), hacim ağırlıkları göz önüne alınmış ve aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır. Limon meyve hacmi (V_{of}) için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır [22].

$$V_{of} = \frac{\pi}{6} (L_e \cdot W_i \cdot T_h) \quad (4)$$

Limon meyvelerine ait sürtünme katsayıları ölçümünde PVC, laminant, galvanizli sac, lastik ve kontrplak yüzeyleri ile sürtünme ölçüm düzeni kullanılarak [20] belirlenmiş, meyvelerin hareketine ilk başladığı esnadaki meyil (eğim) açısı $\tan \alpha$ baz dikkate alınmıştır.



Şekil 2.Limon örneğinde boyutlara ait eksenlerinin görünümü

Limon meyvelerine ait renk özelliklerinin belirlenmesinde L, a ve b değerleri dikkate alınmış, ayrıca Hue açısı (H_{ue}°) ile Kroma (C_h) değeri aşağıdaki eşitlikler ile belirlenmiştir [20].

$$C_h = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (5)$$

$$Hue^{\circ} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (6)$$

Limon çeşitlerine ait meyvelere ait fiziksel özellikler olarak geometrik, hacimsel, sürtünme ve renk özelliklerine ait verilerin istatistiksel değerlendirmelerinde SPSS-17 paket programı kullanılmış olup, genel istatistiksel hesaplamalar yanında tek yönlü varyans analizi ve çeşitler arası çoklu karşılaştırmalar için Duncan testi de kullanılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Limon çeşitlerinden Aydın, Interdonato ve Kütdiken meyvelerinin nem içerikleri yaş baza (%y.b) göre sırasıyla; %84.37 y.b., %87.02 ve %81.97 y.b. olarak belirlenmiştir. Limon çeşitlerine ait meyvelerde bazı fiziksel özellikler olarak geometrik, hacimsel özellikler yanında sürtünme ve renk özelliklerine ait sonuçlar maddelenmiştir.

3.1 Geometrik Özellikler

Tablo 1’de limon çeşitleri olarak Aydın, Interdonato ve Kütdiken meyvelerinin geometrik özelliklere ait ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir. Limon çeşitlerinde Kütdiken limon çeşidi, geometrik özelliklere ait en düşük değerler bulunurken, Interdonato limon çeşidine ait meyveler yüzey alanı ve geometrik ortalama çap değerleri de çeşitler açısından en yüksek değerlere sahiptir. Çeşitler açısından dikkat çeken özellik küresellik değerlerinde Kütdiken meyveleri en yüksek değere yani daha diğer çeşitlere göre daha küresel özelliğe sahipken, en düşük küresel özelliğe sahip çeşit Interdonato çeşidine ait meyvelerdir. İstatistiksel açıdan bakıldığında, geometrik özellikler açısından çeşitler arasında $p < 0.01$ düzeyinde çeşitler arasında anlamlı farklıklar görülürken, çeşit

karşılaştırmalarında Aydın ve Interdonato çeşitleri aynı grupta yer alırken, Kütdiken limon çeşidine ait meyveler ise farklı grupta yer almıştır.

Tablo 1. Limon Çeşitlerine ait Geometrik Özellikleri

Çeşit	Uzunluk (L _e ,mm)	Genişlik (W _i ,mm)	Kalınlık (T _h ,mm)	Geometrik ortalama çap (G _m ,mm)	Küresellik (S _p ,%)	Yüzey alanı (S _u ,cm ²)
Aydın	85.97±2.89 a**	62.40±1.39 a**	60.48±1.38 a**	68.41±1.70 a**	79.69±0.95 b**	147.29±7.69a*
Interdonato	87.76±4.89 a**	63.36±2.69 a**	60.03±2.44 a**	68.93±3.11 a**	79.32±1.70 b**	150.45±14.43 a**
Kütdiken	74.75±2.36 b**	57.44±2.01 b**	54.69±1.15 b**	61.42±1.42 b**	82.25±1.60a **	118.85±5.56 b**
F değeri	39.52	22.96	33.89	39.16	12.01	30.45

±:standart sapma; p<0.01

Saraçoğlu [14], Interdonato limon çeşidi için boyutlar içerisinde uzunluk değerini 95.78±7.88 mm, genişlik değerini 60.81±3.21 ve kalınlık değerini 59.79±3.10 mm olduğunu, küresellik değerini %74.00±5.00, geometrik ortalama çap değerinin 70.27±2.80 mm ve yüzey alanı değerini 155.28±12.24 cm² olarak bulmuştur. Yapılan çalışmalarla kıyaslandığında Interdonato çeşidine ait meyvelerin küresellik, yüzey alanı ve geometrik ortalama çap değerleri benzer ve yakın değerlerdedir.

3.2 Hacimsel Özellikler

Limon çeşitlerine ait hacimsel özelliklere ait ortalama değerler Tablo 2’de verilmiştir. Meyve ağırlığı ve 100 meyve ağırlığı açısından çeşitler arasında en yüksek değerler Interdonato çeşidinde gözlenirken, en düşük değerler ise Kütdiken çeşidinde görülmüştür.

Geometrik olarak boyutsal özellikler açısından da ağırlık değerleri benzer ilişki gösterirken, meyve hacmi değerleri de çeşitler bazında en düşük ağırlığa sahip olan Kütdiken meyveleri porozite açısından en orana sahiptir. Hacim ağırlıkları incelendiğinde, sırasıyla Aydın ve Interdonato çeşitlerinde çeşitler arasında en yüksek değerler vermiştir. Porozite değerleri en yüksek Aydın çeşidinde elde edilmiştir. İstatistiksel açıdan incelendiğinde hacimsel özellikler açısından hacim ağırlıkları hariç diğer hacimsel özellikler açısından çeşitler arasında anlamsal farklılıklar gözlenirken, p<0.01 düzeyinde Aydın ve Interdonato aynı grupta yer alırken, Kütdiken ise farklılık göstermiştir. Gerçek hacim ağırlığı açısından çeşitler arasında istatistiksel olarak farklılıklar görülmeyip, p>0.05 düzeyinde çeşitler arasında farklılık önemsiz bulunmuştur. Çalışmada istatistiki açıdan hacimsel özellikler açısından farklılıkların limon çeşitleri arasındaki genetiksel ve yetiştirilme ortamından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 2. Limon Çeşitlerine ait Hacimsel Özellikleri

Çeşit	Meyve ağırlığı (M_u , g)	100 meyve ağırlığı (M_h , g)	Hacim (mm^3) (V_{of,cm^3})	Hacim ağırlığı ρ_{mb} ($kg\ m^{-3}$)	Gerçek hacim ağırlığı ($\rho_{mt,kg\ m^{-3}}$)	Porozite ($P_{or,\%}$)
Aydın	149.36±0.12 a**	1492.61±37.78 a**	171.62±12.97 a**	493.62±14.52 b*	975.45±98.49 ^{ns}	48.97±5.41 a*
Interdonato	151.52±0.25 a**	1492.88±76.48 a**	179.19±26.21 a**	511.73±13.53 a*	925.13±72.02 ^{ns}	44.28±4.17 b*
Kütdiken	115.02±6.42 b**	1146.01±11.25 b**	124.09±8.95 b**	498.52±23.04 b*	947.70±26.28 ^{ns}	47.35±3.06 ab*
F değeri	37.82	33.03	28.61	4.27	1.84	2.57

±:standart sapma; ns: önemsiz, *: $p<0.05$, $p<0.01$

Saraçoğlu [14], yaptığı çalışmada Interdonato limon çeşidi için meyve ağırlığı 162.46±17.91 g, hacim değerleri 172.80±18.36 cm^3 ve yığın hacim ağırlığı değerleri ise 940.19±28.56 $kg\ m^{-3}$ olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, Interdonato limon çeşidinde, hacimsel özelliklerin literatürle benzer ve yakın değerde olduğu söylenebilir.

3.3 Sürtünme Katsayısı

Limon çeşitlerine ait meyvelerin statik sürtünme katsayıları için farklı sürtünme yüzeyleri kullanılmış, bu yüzeyler lastik, galvaniz sac, kontrplak, PVC ve laminant yüzeyler olup, en yüksek sürtünme katsayıları lastik yüzeyde, en düşük sürtünme katsayı değerleri ise galvaniz sac sürtünme yüzeyinde belirlenmiştir. Sürtünme katsayılarının yüzeylere göre sıralaması, en düşük değerden en yüksek yüzeye göre galvaniz sac, laminant, PVC, kontrplak ve lastik şeklindedir. Çalışmada istatistiki olarak sürtünme katsayıları sürtünme yüzeyleri bazında Interdonato meyveleri daha yüksek değerler ve daha fazla sürtünme değerleri vermiş, buna karşın Kütdiken çeşidi limon meyvelerinin galvaniz sac yüzey harici en düşük değerler verdiği gözlenmiştir. İstatistiksel olarak lastik, kontrplak ve PVC sürtünme yüzeylerinde çeşitler bazında $p<0.01$ düzeyinde her bir çeşit farklı grup oluşturmuş, yine galvaniz sac ve laminant yüzeyde ise $p<0.01$ düzeyinde Aydın ve Kütdiken limon çeşitleri aynı grupta yer alırken, Interdonato farklı grup oluşturmuştur (Tablo 3).

Tablo 3. Limon Çeşitlerinde Farklı Yüzeylerde Sürtünme Katsayıları

Çeşit	Lastik	Galvaniz sac	Kontrplak	PVC	Laminant
Aydın	0.369±0.063 b**	0.265±0.047 b**	0.334±0.042 b**	0.316±0.039 b**	0.321±0.044 b**
Interdonato	0.407±0.048 a**	0.303±0.055 a**	0.378±0.055 a**	0.362±0.050 a**	0.397±0.047 a**
Kütdiken	0.305±0.036 c**	0.266±0.026 b**	0.291±0.022 c**	0.284±0.022 c**	0.298±0.029 b**
F değeri	15.66	15.28	16.40	3.61	24.55

±:standart sapma; ns: önemsiz, *: $p<0.05$, $p<0.01$, PVC: Polivinil Klorür

Altuntas ve ark. [23], Trabzon hurması meyvesinin statik sürtünme katsayıları içerisinde en yüksek değeri sunta ve kontrplak yüzeyde bulurken, en düşük değeri galvaniz sac malzemede elde

etmişlerdir. Cangi ve ark. [24], kivi meyvelerinin statik sürtünme katsayılarının kivi'nin fizyolojik olgunluğu ve olgunlaşma süresine değişiklik gösterdiğini, lastik malzemede diğer sürtünme yüzeylerine göre sürtünme katsayısının daha yüksek değer verdiğini açıklamıştır. Yapılan bu çalışmada da lastik yüzeyde en yüksek sürtünme katsayısı değerleri bulunurken, galvaniz sac malzemede en düşük değerler gözlenmiştir. Bu açıdan sonuçların literatür ile benzerlik gösterdiği söylenebilir.

3.4 Renk Karakteristikleri

Farklı limon çeşitlerine ait meyvelerin renk özellikleri Tablo 4 incelendiğinde, L, a ve b renk skalalarında en yüksek değerler Interdonato çeşidinde; Aydın çeşidinde ise en düşük değerler gözlenmiştir. Kroma ve Hue açısı değerleri açısından da benzer şekilde Interdonato çeşidi limon meyvelerinin daha yüksek değerler verdiği, buna karşın Kroma için Aydın çeşidi, Hue açısı için de Kütdiken daha düşük değer vermiştir. İstatistiksel olarak L ve a renk skalaları açısından $p < 0.01$ düzeyinde Aydın ve Interdonato çeşitleri aynı grupta yer alırken, b renk skalasında Aydın ve Kütdiken aynı grupta yer almıştır. İstatistiksel olarak çeşitler arasında Kroma renk özellikleri açısından farklılıklar gözlenmemiştir ($p > 0.05$) (Tablo 4).

Tablo 4. Limon Çeşitlerine ait Renk Karakteristikleri

Çeşit	L	a	b	Kroma	Hue açısı
Aydın	63.17±3.62 a**	-13.35±0.674 a**	30.86±1.87 b*	33.64±1.62 ns	-66.53±2.02 a*
Interdonato	79.99±1.88 a**	0.073±1.54 a**	43.86±0.90 a*	43.89±0.91 ns	5.93±91.37 b*
Kütdiken	71.48±4.57 b**	-12.30±2.39 b**	35.80±2.17 b*	37.96±1.48 ns	-70.93±4.38 ab*
F değeri	84.80	294.48	215.69	210.94	10.01

±: standart sapma; ns: önemsiz, *: $p < 0.05$, $p < 0.01$

Kivi meyvesinin kabuk renginin L ve b değerlerinin fizyolojik olgunluktan kivi'nin yeme olgunlaşma dönemine kadar değerlerinin sırasıyla 47.41'den 46.88'e (%1,12 düşüş) ve 27.63'ten 22.08'e (%20.09 azalma) düştüğü açıklanmıştır [24]. Altuntaş ve ark. [23], Trabzon hurmasının renk skalaları açısından L, a, b değerlerinin sırasıyla 89.3 ila 103.2; 7.67 ila 16.1 ve 60.5 ila 79.2 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Bu açıdan bakıldığında, limon meyvelerinin L, a ve b değerlerinin literatür değerlerine göre çok farklı değerlerde olduğu, benzerlik göstermediği görülmüştür.

4. SONUÇ

Limon meyvelerinin çeşit bazında bazı fiziksel özelliklerinin incelendiği bu çalışmada, elde edilen araştırma sonuçlarının limon meyvelerin boyutlandırılması, sınıflandırılması, taşınması ve depolanmasına yönelik makine ve sistemler için önemli mühendislik verilerinin oluşumuna önemli

katkısı bulunmaktadır. Çalışmada Aydın, Interdonato ve Kütdiken çeşitlerine ait meyveler ile ilgili bazı önemli sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Limon çeşitlerinden Kütdiken çeşidi, yüzey alanı, geometrik ortalama çap ve boyutları değerlerinde en düşük değerlere vermiştir.
- Sürtünme katsayılarının yüzeylere göre sıralamasına bakıldığında en düşük değerden en yüksek değerlerin sıralaması; galvaniz sac, laminant, PVC, kontrplak ve lastik şeklindedir. Sürtünme yüzeyleri bazında Interdonato meyvelerinde sürtünme katsayıları daha yüksek değerler verirken, Kütdiken çeşidinde galvaniz sac yüzey haricinde en düşük değerler gözlenmiştir.
- Interdonato çeşidi; L, a ve b renk skalalarında en yüksek değerler verirken, en düşük değerler Aydın çeşidinde gözlenmiştir. Kroma ve Hue açısı değerleri açısından da bakıldığında benzer şekilde Interdonato çeşidi limon meyvelerinde diğer çeşitlere göre daha yüksek değerler bulunmuştur.

Limon çeşitleri arasındaki fiziksel özelliklerdeki farklılıkların genetik faktörlerden ve yetiştirilme ortamından kaynaklandığı söylenebilir. Limon çeşidi meyvelerinin geometrik, hacimsel, sürtünme ve renk özellikleri hem ticari açıdan kalite göstergesi olduğu, hem de ürünün hasat sonrası teknolojilerinde ayırma, sınıflandırma, taşıma, pazarlama, koruma, depolama ve işleme teknolojilerinde yer alacak sistem ve makinaların dizayn, geliştirilmesi ve kullanımlarında önemli mühendislik verileri oluşturması nedeniyle, bu tür teknolojik uygulamalarda limon çeşidi meyvelerinin fiziksel özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan ederler.

ETİK BEYANI

Yazarlar, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında bütün maddelere uyduklarını, bahsi geçen yönergede yer alan “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZAR KATKILARI

Hamide ERSOY: Araştırma faaliyetinin planlanması ve yürütülmesi, makalenin yazımı-orijinal taslağın

hazırlanması, verilerin toplanması, verilerin düzenlenmesi ve görselleştirilmesi, makalenin yazımı-gözden geçirilmesi ve düzenlenmesi. Ebubekir ALTUNTAŞ: Verilerin düzenlenmesi, inceleme, inceleme sürecini yürütme, metodolojinin geliştirilmesi ya da tasarımı, yazma-gözden geçirme ve düzenleme.

KAYNAKLAR

- [1] F. Davies, L.G. Albrigo, *Citrus (Crop protection science in horticulture)*. Trowbridge, Wiltshire, UK: CABI Publishing, 2nd ed., 1994.
- [2] J. Saunt, *Citrus Varieties of the World*. Hungerford, UK: Sinclair Intl Business Resources, 2nd ed., 2000.
- [3] TÜİK, *Türkiye İstatistik Kurumu*. (2022). Erişim Tarihi: 08.08.2022.[Online]. <http://www.tuik.gov.tr>.
- [4] T. Yeşiloğlu, B. Yılmaz, M. İncesu, B. Çimen, "The Turkish citrus industry," *Chronica Horticulturae*, vol. 57, no. 4, pp. 17-22, 2017.
- [5] TMMOB, *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği*. (2022). Erişim Tarihi: 08.08.2022. [Online]. <http://www.tmmob.org.tr/>
- [6] M.J. Dhanavade, C.B. Jalkute, J.S. Ghosh, K.D. Sonawane, "Study antimicrobial activity of lemon peel extract," *British Journal of Pharmacology and Toxicology*, vol. 2, no. 3, pp. 119-122, 2011.
- [7] P. Güler, İ. Doğan, "Konvektif limon kurutmada ohmik ve geleneksel haşlama ön işlem tekniklerinin karşılaştırılması," *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 25, sayı. 1, ss.17-26, 2022.
- [8] G. Şahin, E. Altuntaş, H. Polatçı, "Mersin (*Myrtus communis* L.) meyvesinin fiziksel, mekanik, renk ve kimyasal özellikleri," *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, c.23, sayı.1, ss.59-68, 2020.
- [9] Ö. Kabaş, "Bazı turuncgil meyvelerinin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi," *Horticultural Studies*, c. 27, sayı. 1, ss. 33-42, 2010.
- [10] J. Baradaran-Motie, S.H. Miraei-Ashtiani, M.H. Abbaspour-Fard, B. Emadi, "Modeling physical properties of lemon fruits for separation and classification," *International Food Research Journal*, vol. 21, no.5, pp. 1901-1909, 2014.
- [11] Ç. Dağdelen, "Farklı taşıma frekanslarının limon ve şeftalideki fiziko-mekaniksel özelliklere etkisi," Yüksek Lisans Tezi, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye, 2019.
- [12] F. Karadeniz, "Main Organic Acid Distribution of Authentic Citrus Juices in Turkey," *Turkish Journal Agriculture and Forestry*, c. 28, ss. 267-271, 2004.
- [13] F. Uçan, A. Akyıldız, E. Ağçam ve S. Polat, "Limon ekşisi üretimi üzerine bir araştırma," *Gıda*, c. 39, sayı. 5, ss. 283-290, 2014.
- [14] T. Saraçoğlu, "Bazı narenciye türlerinin seçilmiş fiziksel ve hidrodinamik özellikleri," *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, c. 32, ss. 206-215, 2017. doi: 10.7161/omuanajas.30388121.
- [15] S. Özden ve F. Kılıç, "Limon (*Citrus limon* L.) diliminin kurutma sürecindeki renk ve boyut analizi," *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c.8, sayı. 2, ss. 1227-1235, 2020.

- [16] E.C. Açıklan, T. Yeşiloğlu, Ç. Hacıoğlu, M. Pekmezci ve B. Gözen, “Bazı limon çeşitlerinin 1997-2000 yılları arasında Antalya ekolojik koşullarında gösterdikleri verim ve pomolojik özellikler, ”*Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 17, sayı. 2, ss. 115-119, 2004.
- [17] Anonim, *Tüplü Aydın limon fidanı*. (2024a). Erişim Tarihi: 10.09.2024. [Online]. <https://www.e-fidancim.com/Tuplu-Aydin-Limon-Fidani,PR-1865>.
- [18] Anonim, *Turunçgil tür ve çeşitleri*. (2024b). Erişim Tarihi: 10.09.2024. [Online]. <https://subtropik.cu.edu.tr/cu/turunçgil-tur-ve-cesitleri/limon/kutdiken>.
- [19] B. Aksüt, H. Polatçı, M. Taşova, “The effect of pre-treatment and drying temperatures on energy consumption and quality characteristics in drying of lemon (*Citrus limon* L.) slices,” *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 148, pp. 10415–10427, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12362-3>
- [20] R.G. McGuire, “Reporting of objective colour measurements,” *Hortscience*, vol. 27, pp.1254–1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- [21] N.N. Mohsenin, *Physical properties of plants and animal materials*. North Western, New York:Gordon and Breach Science publishers, 1980.
- [22] G. Yılmaz, E. Altuntas, “Some bio-technical properties of flax seeds, fennel seeds and harmal seed capsules,” *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 1, no. 2, pp. 222–232, 2020. <https://doi.org/10.46592/turkager.2020.v01i02.001>
- [23] E. Altuntaş, R. Cangı, C. Kaya, “Physical and chemical properties of persimmon fruit,” *International Agrophysics*, vol. 25, pp. 89-92, 2011.
- [24] R. Cangı, E. Altuntas, C. Kaya, O. Saracoglu, “Some chemical and physical properties at physiological maturity and ripening period of kiwifruit (‘Hayward’),” *African Journal of Biotechnology*, vol. 10, no. 27, pp. 5304-5310, 2011.



Araştırma Makalesi / Research Article

The Effect of Different Phosphorus Doses on Forage Yield and Related Traits in Some Hungarian Vetch Cultivars

Bazı Macar Fiğ Çeşitlerinde Farklı Fosfor Dozlarının Ot Verimi ve İlgili Özellikler Üzerindeki Etkisi

Berat ŞENYİĞİT ¹, Mehmet Salih SAYAR ^{2,*}

¹ Dicle University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Field Crops, 21280, Diyarbakır, Türkiye

² Dicle University, Bismil Vocational School, Department of Crop and Animal Production, 21500, Bismil, Diyarbakır, Türkiye

<https://doi.org/10.55007/dufed.1603389>

ARTICLE INFO

Article History

Received, 17 December 2024

Revised, 06 February 2025

Accepted, 12 February 2025

Available Online, 01 April 2025

Keywords

Plant height, Phosphorus doses, Forage yield, Yield components, *Vicia pannonica* Crantz

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 17 Aralık 2024

Revize, 06 Şubat 2025

Kabul, 12 Şubat 2025

Online Yayınlama, 01 Nisan 2025

Anahtar Kelimeler

Bitki boyu, Fosfor dozları, Ot verimi, Verim unsurları, *Vicia pannonica* Crantz

ABSTRACT

The study was conducted to determine the effect of different levels of phosphorus on the forage yield and yield traits of some Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) cultivars. The experiment was set up using a Split Plot Experimental Design in Randomized Blocks with three replications in the Research Area of Dicle University Bismil Vocational School. The analysis indicated that phosphorus doses had a statistically significant impact ($P<0.05$) on some important traits. Due to the effect of the phosphorus doses, the examined traits displayed values within the following ranges: days to flowering (153.3-169.3 days), natural plant height (45.67-67.00 cm), main stem length (75.33-131.33 cm), main stems per plant (2.67-4.33), main stem thickness (1.77-2.17 mm), fresh forage yield (21.29-39.34 t ha⁻¹), and dry forage yield (5.86-10.39 t ha⁻¹). The research results revealed that the Kansur cultivar was more productive in terms of forage yield in Diyarbakır conditions. Additionally, there was no statistical significant difference in forage yield traits among the 30 kg ha⁻¹, 60 kg ha⁻¹, and 90 kg ha⁻¹ phosphorus dose treatments. Additionally, forage yield obtained from these phosphorus dose treatments was higher than that of the control (0 dose) treatment, which recieved no phosphorus application.

ÖZET

Bu çalışma bazı Macar fiğ çeşitlerinde (*Vicia pannonica* Crantz.) farklı fosfor dozlarının ot verimi ve ilgili özellikler üzerindeki etkisini

***Corresponding Author**

E-mail Addresses: beratsenyigit@gmail.com (Berat ŞENYİĞİT), msalih.sayar@dicle.edu.tr (Mehmet Salih SAYAR)

belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Bu amaçla Dicle Üniversitesi Bismil Meslek Yüksekokulu Araştırma Arazisinde tarla denemesi, Tesadüf Bloklarında Bölünmüş Parseller Deneme Deseni kullanılarak düzenlenmiş ve üç tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Araştırma bulguları göre, istatistiksel olarak incelenen önemli bazı özellikler yönünden önemli farklılıkların ($P<0.05$) olduğu saptanmıştır. Araştırmada kullanılan fosfor dozlarının etkisiyle Macar fiğ çeşitlerinde incelenen özelliklerin aşağıdaki şekilde değişim gösterdiği gözlemlenmiştir, %50 çiçeklenme gün sayısı 153.3-169.3 gün, doğal bitki boyu 45.67-67.00 cm, ana sap uzunluğu 75.33-131.33 cm, ana sap sayısı 2.67-4.33 sap bitki⁻¹, ana sap kalınlığı 1.77-2.17 mm, yeşil ot verimi 21.29-39.34 t ha⁻¹ ve kuru ot verimi 5.86-10.39 t ha⁻¹. Araştırma sonuçlarına göre; Diyarbakır ekolojik koşullarında ot verimi bakımından Kansur çeşidinin daha verimli olduğu tespit edilirken, fosfor dozları bakımından ise 30 kg ha⁻¹, 60 kg ha⁻¹ ve 90 kg ha⁻¹ fosfor dozu uygulamaları arasında yeşil ot verimi ve kuru ot verimi özellikleri bakımından istatistiksel olarak fark olmadığı bu uygulamaların fosfor uygulanmamış kontrol dozu (0 doz) uygulamasına göre daha yüksek miktarlarda yeşil ot ve kuru ot verimi verdiği belirlenmiştir.

1. INTRODUCTION

A major challenge facing Türkiye's animal husbandry sector is the inadequate production of high-quality roughage for livestock existence of the country [1]. Annual forage legume species with shorter growing seasons are crucial for addressing this deficiency in quality roughage [2]. Incorporating these annual forage legumes in crop rotation systems not only supplies quality roughage but also contributes significantly to the sustainable management of agricultural lands. This practice enriches the soil with organic matter and nitrogen, enhancing soil fertility and promoting a healthier ecosystem [3]. Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) is annual plant species from legume family and recognized for its broad adaptability and widespread distribution globally [4]. It is particularly valued for its cold resistance, making it suitable for planting as a winter crop in regions with severe winter conditions. This characteristic allows it to supply high-quality forage in the colder ecological conditions [5,6]. As a result, Hungarian vetch has become one of the most widely cultivated annual forage plant species in Türkiye. In recent years, numerous new cultivars have been developed and recommended to farmers, further enhancing its popularity and utility in agricultural practices.

Nutrient availability for plants is a fundamental and extensive topic within the realm of soil chemistry. Similar to all living beings, plants require a diverse array of nutrients in varying amounts to thrive and survive effectively. A significant portion of the dry matter produced by plants through the process of photosynthesis consists of elements such as carbon, oxygen, and hydrogen, which are sourced from air and water. Since these elements are generally abundant under normal conditions, there are no negative situations in plants caused by their deficiency [7, 8]. However, most of the nutrients essential for plant growth are derived from the soil, and are categorized into two main groups: macronutrients and micronutrients, based on the amounts that plants absorb [9, 10].

Phosphorus, a crucial macronutrient for plant growth, constitutes approximately 0.01% to 0.05% of the plant dry matter weight [8, 11, 12]. Phosphorus plays vital functions in plants, including its presence in the structure of DNA, which is essential for determining the genetic make up of plants. It is also crucial for the formation of ATP (adenosine triphosphate), sugars, and nucleic acids, all of which are integral to energy transfer and metabolic processes. Furthermore, phosphorus plays a significant role in cell division, contributing to overall plant growth and development [13, 14]. Phosphorus is a key element in the generative development of plants, significantly influencing the formation of flowers, fruits, and seeds. In addition, phosphorus accelerates ripening, promotes early maturity and enhances the plant's ability to absorb potassium element. Phosphorus element also regulates water intake of plant roots, improves water use efficiency and increasing plant resistance against plant diseases and pests [8, 15].

Despite the mentioned important properties, mostly the amount of plant-available phosphorus (P_2O_5) in the soil is often insufficient to meet the plant needs [16]. Accordingly, It is important to apply phosphorus fertilization to avoid the negative effects caused by phosphorus deficiency in plants. Many researchers have reported that legume plants have a greater demand for phosphorus compared to other nutrients and respond positively to phosphorus fertilization [17, 18, 19, 20, 21]. The objective of this research is to examine the impact of varying phosphorus doses on forage production and yield traits in different cultivars of Hungarian vetch. In order to identify the cultivars with high forage yield and the optimal phosphorus dose for Diyarbakır and similar ecological conditions.

2. MATERIAL AND METHOD

The plant material of in this study consisted of four Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) cultivars Kansur, Akçalar, Anadolu Pembesi, and Sarı Efe. These cultivars have been registered and commercially utilized in Türkiye in recent years. On the other hand, in total of five different treatments were tested, including a control treatment with no phosphorus application (0 dose) and four varying phosphorus doses, 30 kg ha⁻¹, 60 kg ha⁻¹, 90 kg ha⁻¹ and 120 kg ha⁻¹. The required phosphorus doses were supplied by using Triple Super Phosphate (TSP- 44% P₂O₅) fertilizer at the time of sowing. Additionally, all plots in the research trial received 30 kg ha⁻¹ of pure nitrogen at sowing, applied through Urea (46% N) fertilizer.

Table 1. Climatic Characteristics of the Resaerch Area

	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	
Years	Total Precipitation (mm) (Monthly)										Total
2022-23	0.7	25.2	97.8	4.7	17.9	57.6	131.0	79.4	16.0	0.0	430.3
Long years	5.4	33.0	55.2	72.4	70.7	67.6	66.7	70.0	44.4	8.7	494.1
	Mean air temperature (°C) (Monthly)										Mean
2022-23	27.0	19.7	11.0	7.3	3.9	4.0	12.0	14.7	20.1	27.6	14.7
Long years	25.1	17.5	9.7	4.0	1.7	3.7	8.3	13.8	19.3	26.0	12.9
	Mean relative humidity (%) (Monthly)										Mean
2022-23	27.6	46.1	77.9	82.1	75.9	62.9	67.4	65.8	49.6	34.3	59.0
Long years	30.8	48.1	66.6	76.3	77.0	72.8	66.5	64.0	56.7	36.4	59.5

The field trial for this research was conducted during the 2022-2023 growing season at the Research Area of Dicle University Bismil Vocational School. The site is located at an altitude of 541 meters, with geographic coordinates of 37°50'16"N and 40°38'52"E. The climatic characteristic of the resaerch place are detailed in Table 2. Upon examining Table 2, it was noted that the total precipitation during the 2022-23 growing season, , was lower than the long-term average. However, the amount of precipitation in March of the 2022 was approximately twice that of the same month in previous years. When the monthly average temperature and relative humidity values were analysed ; it was observed that the monthly average temperatures during the 2022-23 growing season were higher than the long-term average in all months, while relative humidity averages remained similar to the long-term average. Additionally, the climatic characteristics of the resaerch area was presented in the Table 2. Upon reviewing Table 2, it was observed that the soils of the research area were free of salt, had a loamy texture, and were neutral in pH. They exhibited low levels of organic matter and phosphorus but had adequate amounts of potassium and lime.

Table 2. Soil Analysis Results of the Research Area

Debth (cm)	Texture	pH	Total Salt (%)	Lime (%)	Organic Matter (%)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	K ₂ O (kg ha ⁻¹)
0-30	Loamy	6,9	0,01	18,72	1,27	30,61	330,73

The research trial was conducted using a Split Plot in Randomized Blocks Design, with three replications. In this design, Hungarian vetch cultivars were assigned to the main plots, while varying doses of phosphorus were designated for the subplots. Each experimental plot consisted of four rows, each measuring 6 meters in length. The spacing between rows within the experimental plots was set at 25 cm. Furthermore, a 60 cm gap was maintained between individual experimental plots, and different

experimental blocks were separated a distance of 2.5 meters. This layout aimed to ensure optimal growth conditions and minimize interference among treatments during the trial period. The sowing rate for the research was taken as 230 seeds per square meter. The research trial was sown on November 24, 2022, by placing seeds into furrows opened with a hand sowing tool in the tempered soil and covering them. During the trial period, the necessary maintenance was carried out completely and weed control was done manually. Forage harvesting of the plots were made at the full flowering period to the plants.

The traits investigated in this study were measured in accordance with the Official Technical Instructions [22] provided by the Seed Registration and Certification Centre of Türkiye. The data collected throughout the research were analyzed utilizing the JMP statistical software package. [23]. To assess significant differences among treatments, an F test was employed. Additionally, mean comparisons were conducted using LSD test at a 5% significance level. This statistical approach ensured reliable interpretation of the results and allowed for a thorough evaluation of the impact of various treatments on the investigated traits.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Days to 50% flowering (DTF): The data regarding the DTF trait for various cultivars of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz) subjected to different phosphorus dose treatments are summarized in Table 3. Statistical analysis revealed that the differences among the cultivars and various phosphorus doses were significant ($P < 0.01$). However, no statistically significant interaction was found between the cultivars and phosphorus doses applied. Notably, the control treatment, which received no phosphorus (0 dose), recorded the highest number of days to reach 50% flowering. It was determined that increasing phosphorus doses reduced the time required to reach 50% flowering, thereby promoting early flowering. Consistent with our findings, Oncan Sumer and Erten [24] reported that phosphorus significantly accelerated the timing of the transition to the generative phase in plants, hastening their maturation. In the study, when examining the DTF trait across different Hungarian vetch cultivars, the earliest flowering was observed in the Anadolu Pembesi cultivar (154.8 days). The means of DTF trait detected in the other Hungarian vetch cultivars were found to be in the same statistical group (Table 3). The findings regarding DTF trait in Hungarian vetch were consistent with the results of Sayar [25], whereas the findings of Taş et al. [26], Hashalıcı et al. [27] and Koç [28] were found to be higher than findings of the study. Contrastly, findings of Sayar et al. [29] were lower than the study findings. A possible reason for the differences among the findings could be the varying climatic conditions of the locations where the studies were conducted.

Table 3. The Means of Days to 50% Flowering Trait in Hungarian Vetch Cultivars under the Effect of Different Phosphorus Doses Treatments

Phosphorus Doses Treatments									
Days to 50% flowering (days)									
Phosphorus doses (kg ha ⁻¹)	Cultivars								
	Kansur	Akçalar	Anadolu Pembesi		Sarı Efe		Mean		
0	169.3	167.7	156.3		167.0		165.1		A
30	168.0	167.3	155.3		166.0		164.2		B
60	167.7	167.3	154.7		165.3		163.8		B
90	166.7	166.0	154.3		165.0		163.0		C
120	165.0	165.0	153.3		164.7		162.0		D
Mean	167.3	A	166.7	A	154.8	B	165.6	A	163.6
CV (%)	0.49								
LSD (0.05) Cultivars	4.64**								
LSD (0.05) P doses	0.67**								
LSD (0.05) C*P	ns								

** : Significant at the 0.01 level; ns: Statistically non-significant

Table 4. The Means of Natural Plant Height Trait in Hungarian Vetch Cultivars under the Effect of Different Phosphorus Doses Treatments

Phosphorus Doses Treatments									
Phosphorus doses (kg ha ⁻¹)		Natural plant height (cm)							
		Cultivars							
		Kansur	Akçalar	Anadolu Pembesi		Sarı Efe		Mean	
0		61.33	48.25	59.83		54.00		55.85	
30		67.00	51.33	55.33		51.33		56.25	
60		65.67	48.67	51.67		49.00		53.75	
90		62.00	46.67	49.00		45.67		50.83	
120		65.67	49.33	47.33		47.33		52.42	
Mean		64.33	A	48.85	B	52.63	B	49.47	53.82
CV (%)		9.79							
LSD (0.05) Cultivars		4.58**							
LSD (0.05) P Doses		ns							
LSD (0.05) C*P		ns							

** : Significant at the 0.01 level; ns: Statistically non-significant

Natural plant height (NPH): Significant differences ($P < 0.01$) for NPH trait were observed among the Hungarian vetch cultivars, with plants heights ranging from 48.85 cm to 64.33 cm. However, phosphorus doses and the interaction between cultivar and phosphorus had no significant effect ($P > 0.05$). This aligns with Cebeci [30], who found no significant phosphorus effect on plant height. Kansur exhibited the tallest natural height. The observed plant heights are consistent with previous research on Hungarian vetch [29, 31, 32].

Main stem length (MSL): No significant differences ($P > 0.05$) were found among Hungarian vetch cultivars, phosphorus doses, or their interaction regarding main stem length. However, observed main stem lengths varied from 81.54 cm to 131.33 cm across cultivars and phosphorus treatments (Table 5). The findings related to the MSL trait in Hungarian vetch cultivars in the study were fully

compatible with the MSL values reported by Taş et al. [26] for Hungarian vetch. However, the MSL values of the study were found to be partially compatible with those of cited by Sayar [29], and higher than the those of reported by Bağcı [31] and Koç [32] in Hungarian vetch species. The differences among the findings can be attributed to differences in the genotypes used and the ecological conditions of the studies.

Table 5. The Means of Main Stem Length Trait in Hungarian Vetch Cultivars under the Effect of Different Phosphorus Doses Treatments

Phosphorus doses (kg ha ⁻¹)	Main stem length (cm)				
	Cultivars				
	Kansur	Akçalar	Anadolu Pembesi	Sarı Efe	Mean
0	99.33	90.25	81.54	120.33	97.86
30	121.00	110.00	83.00	113.33	106.83
60	119.33	104.33	75.33	126.67	106.42
90	101.67	106.00	83.33	111.67	100.67
120	131.33	110.67	84.00	119.00	111.25
Mean	114.53	104.25	81.44	118.20	104.61
CV (%)	13.64				
LSD (0.05) Cultivars	ns				
LSD (0.05) P Doses	ns				
LSD (0.05) C*P	ns				

ns: Statistically non-significant

Main stem numbers (MSN): Phosphorus doses and Hungarian vetch cultivars weren't significantly affected by the applied phosphorus doses for MSN trait. Similarly, cultivar*phosphorus dose interaction was found to be statistically insignificant in terms of MSN trait (Table 6). Consistent with our research findings, Cebeci [30] reported that phosphorus doses and cultivar*phosphorus dose interactions were insignificant for MSN trait in Hungarian vetch. On the other hand, Fayetörbay et al. [6] reported that phosphorus doses provided higher main stems in Hungarian vetch compared to the control application with no phosphorus application, but there was no statistically significant difference between 55 kg ha⁻¹ phosphorus application and 100 kg ha⁻¹ phosphorus application for MSN trait. In addition, a statistically significant difference ($P < 0.01$) was determined among the Hungarian vetch cultivars in terms of the number of main stems. The lowest number of main stems was found in the Sarı Efe cultivar, while the highest number was observed in the Anadolu Pembesi cultivar. Moreover, MSN means determined in Kansur and Akçalar cultivars were found to be statistically indistinguishable (Table 6). The means of main stem numbers for Hungarian vetch ranged from 2.67 to 4.33 among cultivars and phosphorus doses in the research. It was determined that the findings regarding the number of main stems determined in our study were found to be similar to those of the following researchers' findings determined in Hungarian vetch in various ecologies, Orak and Nizam [33] in Tekirdağ conditions, Bağcı [31] in Ankara conditions and Sayar [29] in Diyarbakır conditions.

Table 6. The Means of Main Stem Numbers per Plant Trait in Hungarian Vetch Cultivars under the Effect of Different Phosphorus Doses Treatments

Phosphorus doses (kg ha ⁻¹)	Main stem numbers per plant (stems plant ⁻¹)				
	Cultivars				
	Kansur	Akçalar	Anadolu Pembesi	Sarı Efe	Mean
0	3.00	4.33	4.33	3.00	3.67
30	3.33	3.00	4.00	3.67	3.50
60	3.67	4.00	4.33	2.67	3.67
90	3.00	3.67	4.00	3.00	3.42
120	3.33	2.67	4.00	3.00	3.25
Mean	3.27 BC	3.53 B	4.13 A	3.07 C	3.50
CV (%)	10.28				
LSD (0.05) Cultivars	0.41**				
LSD (0.05) P Doses	ns				
LSD (0.05) C*P	ns				

** : Significant at the 0.01 level; ns: Statistically non-significant

The main stem thickness (MST): For MST trait statistically significant differences were observed at the 0.05 level for both Hungarian vetch cultivars and the phosphorus doses used, while the interaction between cultivars and phosphorus doses was found to be insignificant. Additionally, the study results showed that compared to the control treatment (0 dose), the applied phosphorus doses treatments statistically significantly increased the MST of Hungarian vetch. However, no differences were found among the phosphorus doses (30 kg ha⁻¹, 60 kg ha⁻¹, 90 kg ha⁻¹ and 120 kg ha⁻¹), as they all belonged to the same statistical group in terms of MST trait (Table 7). Consistent with our research findings; Temel and Şahin [34] reported that phosphorus doses provided a significant increase in MST trait compared to the control dose, with no phosphorus (0 dose). When the MST means of Hungarian vetch cultivars examined from Table 7; the lowest MST was determined in Anadolu Pembesi cultivar, while the other Hungarian vetch cultivars fell into the same statistical group in terms of MST trait. The research MST trait means (1.77-2.20 mm), determined in Hungarian vetch cultivars and phosphorus doses, were fully compatible with the findings of Bağcı [31] and Sayar et al. [29] and partially compatible with the findings of Cebeci [30].

Fresh forage yield (FFY): analysis of the FFY trait revealed that significant differences (P<0.01) among Hungarian vetch cultivars and significant differences (P<0.05) among phosphorus doses. However, no significant interaction was observed between cultivar and phosphorus treatment (P>0.05). Phosphorus applications of 30, 60, and 90 kg ha⁻¹ resulted in the highest yields, exceeding the control (0 kg/ha). Unexpectedly, the highest phosphorus application rate (120 kg/ha) produced lower yields than these intermediate rates. Accordingly, in previous studies, many researchers studying on different forage plant species have reported that applying phosphorus doses at certain rates positively affects photosynthesis in plants and helping vegetative parts develop better, thus increasing

FFY trait [34, 35, 36, 37]. Among the Hungarian vetch cultivars, Kansur exhibited the highest FFY, while Anadolu Pembesi showed the lowest (Table 8). FFY trait means determined in the study for Hungarian vetch cultivars under the different phosphorus doses were found to be similar to the FFY trait values reported by many researchers in Hungarian vetch species [25, 26, 38, 39].

Table 7. The Means of Main Stem Thickness Trait in Hungarian Vetch Cultivars under the Effect of Different Phosphorus Doses Treatments

Phosphorus doses (kg ha ⁻¹)	Main stem thickness (mm)							
	Cultivars							
	Kansur	Akçalar	Anadolu Pembesi		Sarı Efe		Mean	
0	1.93	2.07	1.77		1.87		1.91	B
30	2.13	2.17	1.90		2.13		2.08	A
60	2.07	1.93	1.93		2.23		2.04	A
90	2.10	1.97	1.93		2.17		2.04	A
120	2.07	2.20	1.93		2.17		2.09	A
Mean	2.06	AB	2.07	A	1.89	B	2.11	A
CV (%)	6.89							
LSD (0.05) Cultivars	0.14*							
LSD (0.05) P Doses	0.10*							
LSD (0.05) C*P	ns							

**: Significant at the 0.01 level; ns: Statistically non-significant

Dry forage yield (DFY): Highly significant differences ($P < 0.01$) were found among the Hungarian vetch cultivars for the DFY trait. Additionally, significant differences ($P < 0.05$) were observed among the various phosphorus doses applied. In contrast, the interaction between cultivars and phosphorus doses was found to be insignificant ($P > 0.05$). According to the research results, it was determined that the treatment phosphorus doses significantly increased dry forage yield in Hungarian vetch, compared to the control treatment, which received no no phosphorus application (0 dose). However, no statistical difference was found between phosphorus doses in terms of DFY trait. Consistent with our research findings, researchers working on different forage crops speices reported that phosphorus dose applications provided higher rates of DFY compared to the control (0 dose) treatment [34, 35, 36,]. Hungarian vetch dry forage yields, as shown in Table 9, ranged from 5.86 to 10.39 t ha⁻¹. Kansur yielded the most, while Anadolu Pembesi produced the least dry forage. Our research findings were consistent with the DFY trait findings of the following researchers in different ecological conditions determined in Hungarian vetch species, Mihailovic et al. [38] in Serbia ecological conditions, Sayar et al. [40] in Diyarbakir ecological conditions and Siverek and Cacan [39] (2023) in Bingöl ecological conditions.

Table 8. The Means of Fresh Forage Yield Trait in Hungarian Vetch Cultivars under the Effect of Different Phosphorus Doses Treatments

Fresh forage yield (t ha ⁻¹)							
Phosphorus doses (kg ha ⁻¹)	Cultivars						
	Kansur	Akçalar	Anadolu Pembesi		Sarı Efe		Mean
0	32.78	28.43	21.32		26.30		27.21 C
30	34.77	27.65	23.17		30.38		28.99 A-C
60	37.47	28.80	22.75		29.83		29.71 A-B
90	39.34	29.77	21.29		32.73		30.78 A
120	35.03	25.45	21.32		29.92		27.93 BC
Mean	35.88 A	28.02 B	21.97 C		29.83 B		
CV (%)	13.04						
LSD (0.05) Cultivars	0.58**						
LSD (0.05) P Doses	0.27*						
LSD (0.05) C*P	ns						

** : Significant at the 0.01 level; ns: Statistically non-significant

Table 9. The Means of Dry Forage Yield Trait in Hungarian Vetch Cultivars under the Effect of Different Phosphorus Doses Treatments

Dry forage yield (t ha ⁻¹)							
Phosphorus doses (kg ha ⁻¹)	Cultivars						
	Kansur	Akçalar	Anadolu Pembesi		Sarı Efe		Mean
0	8.48	7.43	5.86		7.23		7.25 B
30	9.16	7.55	6.76		8.56		8.01 A
60	10.11	7.69	6.41		8.45		8.17 A
90	10.39	7.85	6.20		9.32		8.44 A
120	10.06	7.24	6.18		8.99		8.12 A
Mean	9.64	A	7.55	BC	6.28	C	8.51 AB
CV (%)	11.02						
LSD (0.05) Cultivars	0.165**						
LSD (0.05) P Doses	0.059*						
LSD (0.05) C*P	ns						

** : Significant at the 0.01 level; ns: Statistically non-significant

4. CONCLUSION

High forage yield is a primary aim in forage crop production. Achieving this requires the optimal application of phosphorus, which plays a critical role. Phosphorus is an essential element in vital plant processes such as energy transfer, photosynthesis, and root development. Insufficient phosphorus slows plant growth, hinders root development, and consequently reduces forage yield. However, excessive phosphorus application can lead to economic losses and environmental problems (e.g., water pollution). Therefore, research to determine the optimal phosphorus dose for high forage yield is crucial. This research examined the impact of varying phosphorus levels on the forage yield and related traits of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.). The results indicated a statistically significant positive response ($P < 0.05$) to phosphorus application across several key parameters,

including flowering time, stem thickness, fresh forage yield, and dry forage yield. The application of phosphorus not only accelerated flowering but also significantly enhanced both fresh and dry forage yields as well as stem thickness in Hungarian vetch cultivars. The research results indicated that the Kansur cultivar was more productive in terms of forage yield under the ecological conditions of Diyarbakır. Moreover, the forage yield obtained from phosphorus dose treatments was higher than that of the control (0 dose) treatment, which had no phosphorus application. However, no statistically significant difference was found among the 30 kg ha⁻¹, 60 kg ha⁻¹, and 90 kg ha⁻¹ phosphorus dose treatments in terms of fresh forage yield and dry forage yield traits.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study received support from the Dicle University Scientific Research Projects Coordination Unit under the Master Thesis Projects program (Project Number: FBE.23.002). The authors express their gratitude for this assistance.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare that they have no competing interests or conflicts of interest to report.

DECLARATION OF ETHICAL CODE

In this research, the authors confirm their compliance with the principles established in the “Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive”. They also state that they have not participated in any actions classified as "Contrary to Scientific Research and Publication Ethics" as defined in the aforementioned directive.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Berat ŞENYİĞİT: Responsible for collecting plant production materials, establishing the field experiment, maintaining experiments, conducting observations, reviewing literature, and organizing data. Mehmet Salih SAYAR: In charge of planning the study, conducting observations, performing statistical analysis of data, and writing the article.

REFERENCES

- [1] M. S. Sayar, A. E. Anlarsal and M. Başbağ, “Current situation, problems and solutions for cultivation of forage crops in the Southeastern Anatolian Region,” *Journal of the Faculty of Agriculture of Harran University*, vol. 14, no. 2, pp. 59–67, 2010.
- [2] C. Yucel, M. S. Sayar and H. Yucel, “Determination of the some properties related to forage quality of common vetch (*Vicia sativa* L.) genotypes under the Diyarbakir condition,” *Journal of the Faculty of Agriculture of Harran University*, vol. 16, no. 2, pp. 45–54, 2012.
- [3] H. K. Firincioglu, S. Unal, Z. Pank and S. P. S. Beniwal, “Growth and development of narbon vetch (*Vicia narbonensis* L.) genotypes in the semi-arid central Türkiye,” *Spanish Journal of Agricultural Research*, vol. 10, no. 2, pp. 430–442, 2012.
- [4] J. R. Magness, G. M. Markle and C. C. Compton, *Food and Feed Crops of the United States*. NJ, USA: New Jersey Agric. Exp. Stn., IR Bul. 1 Bul. 828, 1971.
- [5] M. S. Sayar, A. E. Anlarsal and M. Basbağ, “Genotype–environment interactions and stability analysis for dry-matter yield and seed yield in Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.),” *Turkish Journal of Field Crops*, vol. 18, no. 2, pp. 238–246, 2013
- [6] D. Fayetorbay, B. Çomaklı and M. Daşcı, “Effects of phosphorus solubilizing bacteria, phosphorus fertilizer and poultry manure treatments on the seed yield and yield components of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Roth),” *Journal of Agricultural Sciences - Tarım Bilimleri Dergisi*, vol. 20, no. 4, pp. 345–357, 2014, doi: 10.1501/Tarimbil_0000001293.
- [7] D. T. Gardiner and R. W. Miller, *Soils in Our Environment*. 11th ed., Upper Saddle Hill, NJ: Pearson/Prentice Hall, 2008.
- [8] İ. Bolat and O. Kara, “Plant nutrients: sources, functions, deficiencies and redundancy,” *Journal of Bartın Faculty of Forestry*, vol. 19, no. 1, pp. 218–228, 2017, doi: 10.24011/barofd.251313.
- [9] W. Bergmann, *Nutritional Disorders of Plants: Development, Visual and Analytical Diagnosis*. Jena, Stuttgart, New York: Gustav Fischer Verlag, 1992.
- [10] B. Kacar and V. Katkat, *Plant Nutrition*. 5th ed., Kızılay, Ankara: Nobel Publications Distribution Trade Ltd. Co., 2010.
- [11] C. Jones and J. Jacobsen, “Plant Nutrition and Soil Fertility,” *Nutrient Management Module 2*. Montana, ABD: Montana State University Extension Service Publication, Sept. 2016, 4449–2, pp. 1–12. [Online]. Available: <https://124.im/dif21Xz>
- [12] E. Epstein and A. Bloom, *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspective*. 2nd ed., Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2005.
- [13] H. D. Foth, *Fundamentals of Soil Science*. 7th ed., New York: John Wiley & Sons, 1984.
- [14] E. J. Plaster, *Soil Science and Management*. 2nd ed., Albany, NY: Delmar Publishers Inc., 1992.
- [15] A. McCauley, C. Jones and J. Jacobsen, “Nutrient Management,” *Nutrient Management Module 9*. Montana, ABD: Montana State University Extension Service Publication, June 2011, 4449–9, pp. 1–16. [Online]. Available: <https://124.im/eu6BqLR>
- [16] P. S. Bindraban, C. O. Dimkpa and R. Pandey, “Exploring phosphorus fertilizers and fertilization strategies for improved human and environmental health,” *Biology and Fertility of Soils*, vol. 56, no. 3, pp. 299–317, 2020.

- [17] A. Ghizaw, T. Mamo, Z. Yilma, A. Molla and Y. Ashagre, “Nitrogen and phosphorus effects on faba bean yield and soma yield components,” *Journal of Agronomy and Crop Science*, vol. 182, pp. 167–174, 1999.
- [18] M. A. Turk and A. M. Tawaha, “Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L. minor) in the absence of moisture stress,” *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, vol. 6, pp. 171–178, 2002.
- [19] A. Yemane and A. O. Skjelvag, “Effects of fertilizer phosphorus on yield traits of Dekoko (*Pisum sativum* var. *abyssinicum*) under field conditions,” *Journal of Agronomy and Crop Science*, vol. 189, pp. 14–20, 2003.
- [20] S. Yilmaz, “Effects of increased phosphorus rates and plant densities on yield and yield-related traits of narbon vetch lines,” *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, vol. 32, no. 1, pp. 49–56, 2008.
- [21] F. Yildiz and M. Turk, “Effects of phosphorus fertilization on forage yield and quality of common vetch (*Vicia sativa* Roth.),” *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, vol. 25, no. 2, pp. 134–139, 2015.
- [22] TIRTAFLS, *Technical Instruction for Registration Trials in Forage Legumes Species*. Ankara, Türkiye: Seed Registration and Certification Centre, 2019.
- [23] SAS Institute, *JMP Statistics*. Cary, NC, USA: SAS Institute, Inc., 2002.
- [24] F. Oncan Sümer and H. Erten, “The effect of different phosphorus doses on yield and yield components and protein ratio of broad bean (*Vicia faba* L.),” *Adnan Menderes University Faculty of Agriculture Journal*, vol. 19, no. 1, pp. 103–109, 2022, doi: 10.25308/aduziraat.1054859.
- [25] M. S. Sayar, “Studies on determining genotype-environment interactions and stabilities of some line and cultivars of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) for important agronomic traits in Diyarbakır ecological conditions,” PhD dissertation, Çukurova University, Institute of Science, Department of Field Crops, Adana, Türkiye, 2011.
- [26] N. Tas, L. Tahtacıoglu and C. Aygün, “Vetch Breeding Studies in Eastern Anatolia Region,” in *Türkiye 7th Field Crops Congress*, Erzurum, Türkiye, 25–27 June 2007, pp. 102–105.
- [27] S. Hashalıcı, S. Uzun, H. Özaktan and M. Kaplan, “Determination of forage yield and quality of some Hungarian Vetch cultivars at Kayseri arid conditions,” *Erciyes University Journal of Faculty of Veterinary Medicine*, vol. 14, no. 2, pp. 113–123, 2017.
- [28] Y. E. Koc, “Determination of genotype-environmental interaction of Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.),” Master’s Thesis, Eskisehir Osmangazi University, Institute of Science, Department of Field Crops, Eskişehir, Türkiye, 2020.
- [29] M. S. Sayar, H. Karahan, Y. Han, S. Tekdal and M. Başbağ, “Determination of forage yield, its affecting components and relationships among traits of some Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) genotypes in Kızıltepe ecological conditions,” *Journal of Agricultural Sciences Research*, vol. 5, no. 2, pp. 126–130, 2012.
- [30] H. Cebeci, “Effects of different phosphorus fertilizer doses on seed yield and yield components in some Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) cultivars,” PhD Dissertation, Ankara University, Institute of Science, Department of Field Crops, Ankara, Türkiye, 2017.
- [31] M. Bağcı, “Orta Anadolu koşullarında Macar fiğinde (*Vicia Pannonica* Crantz. Cv. Tarm Beyazı-98) sıra arası ve tohum miktarının ot verimine etkileri,” Master’s Thesis, Çukurova University, Institute of Science, Adana, Türkiye, 2010.

- [32] S. Şimsek, “Kırşehir koşullarında farklı Macar fiği (*Vicia pannonica* Crantz) + İtalyan çimi (*Lolium multiflorum* Lam.) karışım oranlarının verim ve kalite üzerine etkilerinin belirlenmesi,” Master’s Thesis, Ahi Evran University, Institute of Science, Department of Field Crops, Kırşehir, Türkiye, 2015.
- [33] A. Orak and İ. Nizam, “Trakya Bölgesinde Macar Fiği (*Vicia pannonica* Crantz.) Hatlarının Önemli Bazı Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesine İlişkin Bir Araştırma,” in *Türkiye 5th Field Crops Congress*, Diyarbakır, Türkiye, 13–17 October 2003, vol. 1, pp. 331–335.
- [34] S. Temel and C. Şahin, “The effect of different nitrogen and phosphorus fertilizer doses on the herbage yield and quality properties of atriplex nitens Schkuhr,” *International Journal of Agriculture and Wildlife Science*, vol. 8, no. 3, pp. 491–501, 2022, doi: 10.24180/ijaws.1174766.
- [35] M. A. Özyazıcı and S. Açıkbaş, “Effect of Phosphorus Fertilizer Doses on Herbage and Seed Yield in Narbon Vetch (*Vicia narbonensis* L.),” *European Journal of Science and Technology*, vol. 17, pp. 1031–1036, 2019, doi: 10.31590/ejosat.655253.
- [36] S. Temel and N. Şurgun, “The Effect of Different Nitrogen and Phosphorus Doses on Hay Yield and Quality of Quinoa,” *Journal of the Institute of Science and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 1785–1796, 2019, doi: 10.21597/jist.581836.
- [37] T. Polat, B. Bukun and M. Okant, “Dose response effect of nitrogen and phosphorus on forage quality, yield and economic return of rangelands,” *Pakistan Journal of Botany*, vol. 39, no. 1, pp. 151–160, 2007.
- [38] V. Mihailovic, A. Mikic, B. Cupina, S. Katic, D. Karagic, I. Pataki, and P. Eric, “Yield and forage yield components in winter vetch cultivars,” *Grassland Science in Europe*, vol. 11, pp. 255–257, 2006.
- [39] E. Siverek and E. Çağan, “Determination of yield and quality potentials of some Hungarian vetch varieties in Bingöl province ecological conditions,” *International Journal of Agriculture and Wildlife Science*, vol. 9, no. 1, pp. 91–97, 2023, doi: 10.24180/ijaws.1170031.
- [40] M. S. Sayar, S. Tekdal, Y. Han, M. Ş. Yasak, A. E. Anlarsal, M. Başbağ and İ. Gül, “Determination of yield and yield components of some Hungarian vetch (*Vicia pannonica* Crantz.) genotypes in Diyarbakir conditions,” in *International Participation Public University-Industry Cooperation Symposium and Marble Council*, Dicle University, Diyarbakir, Türkiye, 24–26 May 2010, pp. 351–356.



Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi
Dicle University Journal of the Institute of Natural and Applied Sciences

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/dufed>

Araştırma Makalesi / Research Article

Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi Yeraltı Sularının Kirlilik Riskinin Araştırılması

Investigation of Groundwater Pollution Risk in Diyarbakır Organized Industrial Zone

Merve ŞAKİ KOCAMAN^{1,*}, Recep ÇELİK²

¹ Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 21280, Diyarbakır, Türkiye

² Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

<https://doi.org/10.55007/dufed.1672179>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 08 Nisan 2025

Revize, 05 Mayıs 2025

Kabul, 07 Mayıs 2025

Online Yayınlama, 27 Mayıs 2025

Anahtar Kelimeler

*Yeraltı suyu, Sanayi kirliliği,
Su kalitesi, Diyarbakır OSB*

ÖZ

Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi (DOSB) çevresinde son yıllarda artış gösteren sanayi faaliyetleri, bölgedeki yeraltı suyu kaynaklarının kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratmakta ve bu durum, halk sağlığı açısından önemli bir risk unsuru teşkil etmektedir. Çalışma, Organize Sanayi Bölgesi'nin çevresindeki yeraltı su kaynaklarının kirlilik riskini değerlendirerek, içme ve sulama suyu olarak kullanım açısından uygunluğunu belirlemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında, belirlenen beş farklı noktadan alınan yeraltı suyu numuneleri fizikokimyasal ve biyolojik analizlere tabi tutulmuştur. Numuneler; pH, elektriksel iletkenlik, nitrat, nitrit, sodyum ve ağır metaller gibi çevresel açıdan önemli parametreler incelenmiş; elde edilen veriler, ulusal ve uluslararası içme ve sulama suyu kalitesi standartları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, sanayi faaliyetlerinin yeraltı suyu kalitesi üzerinde önemli etkiler yarattığını ve bazı bölgelerde suyun doğrudan kullanımının sağlık açısından risk oluşturabileceğini göstermektedir. Çalışmanın sonuçları, sanayi bölgelerinde etkin atık yönetimi stratejileri geliştirilmesi ve yeraltı suyu kirliliğinin izlenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Sanayi kaynaklı su kirliliğinin önlenmesine yönelik sürdürülebilir su yönetimi politikalarının uygulanması önerilmektedir. Ayrıca, ilgili kurum ve kuruluşların denetim mekanizmalarını güçlendirmesi ve çevresel farkındalık düzeyini artırmaya yönelik eğitim faaliyetlerinin yaygınlaştırılması da bu sürecin etkinliği açısından büyük önem arz etmektedir.

***Sorumlu Yazar**

E-posta Adresleri: mervesakikocaman@gmail.com.tr (Merve ŞAKİ KOCAMAN), recep.celik@dicle.edu.tr

(Recep ÇELİK)

ARTICLE INFO

Article History

Received, 08 April 2025

Revised, 05 May 2025

Accepted, 07 May 2025

Available Online, 27 May 2025

Keywords

Groundwater, Industrial
pollution, Water quality,
Diyarbakır OIZ

ABSTRACT

The increasing industrial activities around the Diyarbakır Organized Industrial Zone (OIZ) have negatively impacted the quality of local groundwater resources, posing potential risks to public health. This study aims to assess the pollution risk in groundwater near the OIZ and evaluate its suitability for drinking and irrigation purposes. Groundwater samples were collected from five selected locations and analyzed through physicochemical and biological tests. Parameters such as pH, electrical conductivity, nitrate, nitrite, sodium, and heavy metals were measured and compared with national and international water quality standards. The results indicate that industrial activities significantly affect groundwater quality, and in some locations, water use without treatment may pose health hazards. The findings underline the need for effective waste management strategies and regular monitoring of groundwater in industrial regions. It is recommended that sustainable water management policies be implemented to mitigate pollution risks. Additionally, strengthening institutional inspection mechanisms and promoting environmental awareness through educational programs are considered essential steps toward ensuring the long-term protection of water resources.

1. GİRİŞ

Yeraltı suyu, dünyadaki tatlı su kaynaklarının yaklaşık %30'unu oluşturarak insan yaşamı ve ekosistemlerin devamlılığı açısından vazgeçilmez bir kaynaktır. Yeraltı suları, içme suyu ihtiyacından tarımsal sulamaya, sanayi süreçlerinden enerji üretimine kadar birçok alanda kritik bir rol oynar. Ancak, dünya genelinde artan sanayi faaliyetleri, bu değerli kaynağın kalitesini ve sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Sanayi bölgeleri, özellikle yoğun kimyasal üretim, ağır metal kullanımı ve atık yönetimindeki eksiklikler nedeniyle yeraltı sularını kirletebilme potansiyeline sahiptir. Genellikle çevresel tahribatın yanı sıra, toplum sağlığı üzerinde de ciddi olumsuz etkiler görülmektedir [1].

Yeraltı sularının kirlilik riskine dair yapılan uluslararası ve ulusal çalışmalar, sanayi bölgelerinin yeraltı sularının kirlenmesinde etkilidir. Özellikle hızlı kentleşme ve sanayileşmenin bir sonucu olarak yeraltı sularına karışan kimyasal maddelerin ve organik kirleticilerin giderek artması, bu konuda kapsamlı çalışmaların yapılmasını gerekli kılmıştır. Sanayi bölgelerinde yapılan bir çalışmada, nitrat ve nitrit tespit edilmiştir. Bu durum, yalnızca su kalitesini değil, aynı zamanda tarımsal üretim ve gıda güvenliğini de tehdit etmektedir [2].

Özyonar, Karagözoğlu ve Atmaca (2024) tarafından yapılan çalışmada, elektrokoagülasyonun içme suyundaki doğal organik madde giderimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. İçme sularından doğal organik maddelerin (DOM) elektrokoagülasyon (EC) prosesiyle giderilme potansiyelini araştırmaktadır. Sivas 4 Eylül Barajı'ndan alınan su numuneleri üzerinde yapılan deneylerde, çözünen organik karbon (ÇOK) ve UV254 absorbans parametreleri kullanılarak arıtma verimliliği değerlendirilmiştir. Alüminyum ve demir elektrotlarla yapılan EC sürecinde, başlangıç pH değeri, akım yoğunluğu ve

elektroliz süresinin giderim verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, alüminyum elektrotları ile %78 ÇOK ve %94,5 UV254 giderme verimi sağlanırken, demir elektrotları ile bu oranların sırasıyla %65,4 ve %80,3 olduğunu göstermiştir. Ayrıca, enerji ve elektrot tüketimi açısından EC prosesinin ekonomik değerlendirmesi yapılmış ve içme suyu arıtımında etkili bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur [3].

Endüstriyel faaliyetlerde su tüketiminin azaltılması ve suyun verimli kullanımının sağlanması amacıyla atık suların proseste tekrar kullanımına yönelik metodolojik bir değerlendirme sunmaktadır. Çalışmada, ulusal çevre mevzuatına uygun olarak hazırlanması gereken teknik raporların içeriği ve hazırlanma süreci incelenmiştir. Sektörel raporlar ve profesyonel deneyimler ışığında oluşturulan bu çalışma, idari süreçleri kolaylaştıracak ve sürdürülebilir su kullanımı açısından uygulanabilir öneriler sunmaktadır [4].

ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA), yeraltı sularını kirleten başlıca 10 kaynağı; derin kuyular, pestisitler, ticari gübreler, fosseptik çukurlar, içme suyu kuyuları, atıksu lagünleri, arıtma tesisleri, sulama amaçlı pompaj kuyuları, yeraltı suyunu besleyen yüzeysel sulara atık deşarj eden sanayi tesisleri ve katı atık depolama alanları olarak sıralamaktadır. Kirletici kaynaklar, yeraltı sularının kalitesini tehlikeye atmakta ve ekosistem sağlığını tehdit etmektedir [5].

Evsel ve sanayi atıklarının belirli alanlarda birikmesi, atık sularının fosseptik çukurlarında toplanması ve tarımda yüksek verim elde etmek amacıyla gübre ile pestisit kullanımının artırılması, yeraltı suyu kirliliğine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Genelde, yeraltı su kaynaklarının kimyasal kirlenmesini hızlandıran başlıca etmenlerdir [6].

Organize Sanayi Bölgesi'nin büyük bir kısmını oluşturan tekstil endüstrisi, sanayi atıklarının önemli bir kaynağını teşkil etmektedir. Bu bağlamda, Organize Sanayi Bölgesi'nin ortak kanalında deşarj edilen atıksuların %90'ından fazlasını tekstil sanayi atıksuları oluşturmaktadır. Tekstil sanayi atıksularında bulunan boya, yüzey aktif maddeler ve diğer kimyasal bileşikler, aerobik mikroorganizmaların enzimatik aktivitelerini engelleyerek biyolojik arıtma verimliliğini önemli ölçüde azaltmakta, hatta bazı durumlarda bu süreçlerin tamamen işlevsiz hale gelmesine neden olmaktadır. Bu tür kirleticilerin biyolojik arıtma ünitelerine aşırı miktarlarda ulaşmasını önlemek için, biyolojik arıtma öncesinde toksik bileşiklerin büyük ölçüde uzaklaştırılmasını sağlayacak bir ön arıtma sürecinin uygulanması büyük önem taşımaktadır. Bu yaklaşım, arıtma tesisinin etkinliğini artırarak çevresel kirlenmenin önlenmesine katkı sağlamaktadır [7].

Organize Sanayi Bölgesi'nde, metal işleme, tekstil, gıda ve inşaat malzemeleri üretimi gibi çok çeşitli sanayi faaliyetleri yürütülmektedir. Bu çeşitlilik, potansiyel kirleticilerin farklı türlerini de beraberinde getirmektedir. Örneğin, metal işleme sektöründe kullanılan ağır metallerin yeraltı sularına

sızma riski oldukça yüksektir. Tekstil sektörü ise genellikle boyar maddeler, ağır metaller ve çeşitli organik kirleticilerle ilişkilidir. Gıda sektöründen kaynaklanan organik kirlilikler ise yeraltı suyunda oksijen seviyesinin azalmasına ve dolayısıyla ekolojik dengenin bozulmasına neden olabilmektedir [8].

Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi, coğrafi konumu ve stratejik önemi nedeniyle Türkiye'nin doğusunda önemli bir ekonomik faaliyet merkezidir. Bölge, farklı sektörlerde faaliyet gösteren birçok sanayi kuruluşunu barındırmaktadır. Ancak, bu durum aynı zamanda yeraltı su kaynaklarının korunması açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Diyarbakır, özellikle tarım ve hayvancılıkla geçinen geniş bir nüfusa sahip olduğu için, yeraltı sularının kalitesi yalnızca sanayi sektörü için değil, aynı zamanda kırsal kesimde yaşayan halk için de hayati öneme sahiptir [9].

Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi'nde yeraltı sularının mevcut kirlilik düzeyleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma, sanayi faaliyetlerinin yeraltı sularına olan etkilerini belirlemek ve potansiyel kirleticilerin yayılma riskini değerlendirmek için kapsamlı bir yaklaşım sunmayı amaçlamaktadır. Araştırma, alan çalışması, laboratuvar analizleri ve istatistiksel modelleme gibi çok yönlü bir yöntemle gerçekleştirilmiştir. Çalışma Diyarbakır ili özelinde olmasına rağmen bu konuda yapılan çalışmaların azlığı, bu araştırmayı yalnızca yerel düzeyde değil, ulusal düzeyde de önemli hale getirmektedir. Ayrıca sonuçlar, yeraltı su kaynaklarının korunması için hem bölgesel hem de ulusal düzeyde politika önerileri geliştirilmesine katkı sağlayacak ve sanayi bölgelerinin çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik yeni stratejiler geliştirmek için bir rehber niteliği taşıyacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Çalışma Alanı ve Örneklem Tasarımı

Bu araştırma, Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi (DOSB) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi, tekstil, gıda, metal işleme, inşaat malzemeleri ve plastik sektörlerini barındıran önemli bir sanayi merkezidir. Bölgenin yarı kurak iklimi, yeraltı su kaynaklarının sanayi ve tarımsal kullanımlar açısından büyük önem taşımasına yol açmaktadır. Sanayileşmenin yeraltı su kaynakları üzerindeki etkilerini anlamak amacıyla yapılan bu çalışmada, toplamda 921 hektarlık bir alana yayılan ve beş etapta gelişen sanayi bölgesinde, sanayi tesisleri, atık bertaraf sahaları ve yerleşim alanlarının konumları dikkate alınarak, stratejik bir şekilde belirlenen beş örneklem noktası kullanılmıştır. Bu noktalar, sondaj kuyuları ve doğal kaynaklardan seçilmiş olup, potansiyel kirletici kaynakların akış yönleri ve çevresel etkileri göz önünde bulundurularak yerleştirilmiştir.

Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi beş etap olarak gösterilmektedir (Şekil 1).

Tablo 1. Su Kalite Parametreleri Standart Limitleri

Parametre	TS 266 (İçme Suyu Standardı)	APHA Sınırı	ISO Sınırı	Birim
pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	-
İletkenlik	2500	1500	2500	µS/cm
Bulanıklık	5	5	5	NTU
Nitrat (NO ₃ ⁻)	50	45	50	mg/L
Nitrit (NO ₂ ⁻)	0.5	1	0.5	mg/L
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	250	250	250	mg/L
Kalsiyum (Ca ²⁺)	200	75	100	mg/L
Magnezyum (Mg ²⁺)	50	30	30	mg/L
Sodyum (Na ⁺)	200	200	200	mg/L
Potasyum (K ⁺)	-	-	-	mg/L
Çözünmüş Oksijen (DO)	-	>5	>5	mg/L
Kurşun (Pb)	0.01	0.01	0.01	mg/L
Kadmiyum (Cd)	0.003	0.003	0.003	mg/L
Demir (Fe)	0.3	0.3	0.3	mg/L
Çinko (Zn)	5	5	5	mg/L

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi'nden temin edilen yeraltı suyu örnekleri üzerinde gerçekleştirilen fizikokimyasal ve biyolojik analizler kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen bulgular, sanayi faaliyetlerinin yeraltı suyu kalitesi üzerindeki etkilerini ortaya koyarak potansiyel kirletici kaynakların belirlenmesine ve bu kirlilik seviyelerinin çevresel ile halk sağlığı açısından taşıdığı risklerin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Analiz sonuçları, bölgede yeraltı su kaynaklarının çeşitli parametreler açısından önemli ölçü de etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca, mevsimsel farklılıkların su kalitesi üzerindeki etkileri belirlenmiş ve kimyasal kirleticilerin yeraltı suyu içindeki dağılımı haritalandırılarak bölgedeki kirlilik yoğunluğu değerlendirilmiştir. Bu bulgular, hem bölgesel hem de ulusal düzeyde sürdürülebilir su yönetimi politikalarının geliştirilmesine temel oluşturabilecek önemli bir veri tabanı sağlamaktadır.

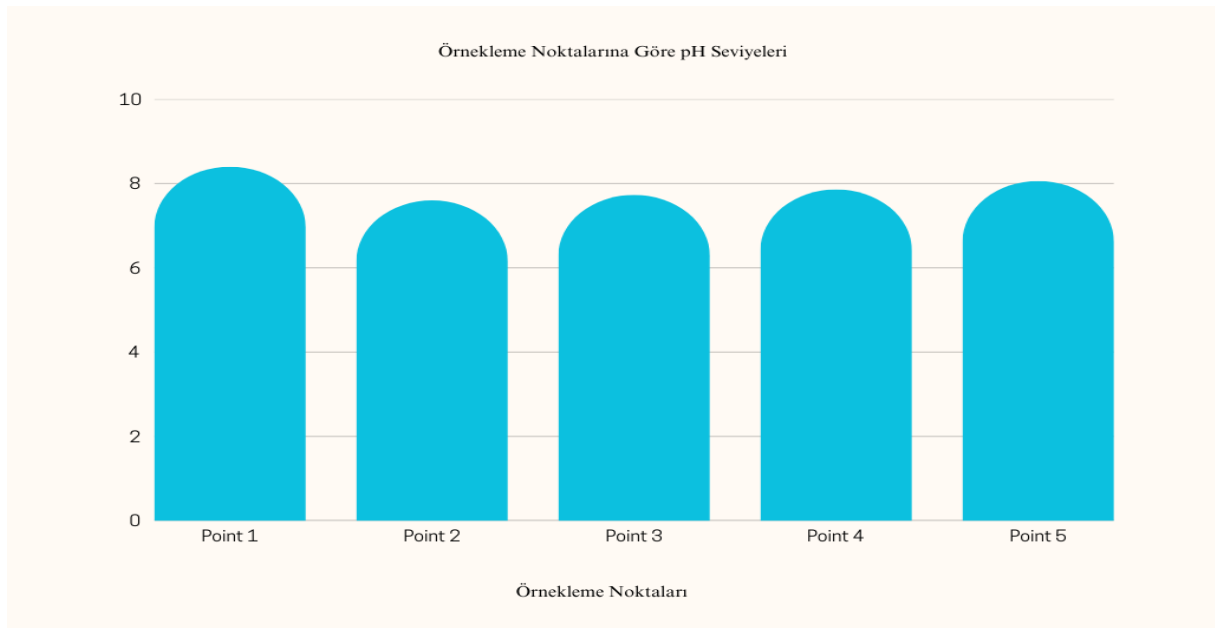
Analizler sonucunda, pH seviyelerinin genel olarak nötr ile hafif bazik aralıkta (7.56-8.40) değiştiği görülmüştür. Elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 426 µS/cm ile 844 µS/cm arasında değişmiş olup, bu durum bazı alanlarda çözünmüş iyon yoğunluğunun arttığına işaret etmektedir. Nitrat konsantrasyonlarının 8.30 mg/L ile 32.32 mg/L arasında değişmesi ve ortalama olarak 22.278 mg/L olarak belirlenmesi, sanayi ve tarımsal faaliyetlerin azot temelli kirliliğe neden olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, sülfata, magnezyum ve kalsiyum seviyelerinin sırasıyla 6-104 mg/L, 16.27-26.32 mg/L ve 47.68-119.65 mg/L arasında değiştiği tespit edilmiştir. Çözünmüş oksijen seviyeleri ise 7.45 mg/L ile 10.8 mg/L arasında olup, bu değerler suyun oksijen içeriğinde yerel farklılıkların bulunduğu işaret etmektedir. Elde edilen veriler, sanayi faaliyetlerinin bölge genelinde yeraltı suyu kalitesi üzerinde çeşitli etkilerinin bulunduğu işaret etmekte ve bu etkinin parametrelere göre farklılaştığını göstermektedir. Bu nedenle, ilerleyen dönemlerde su kalitesinin korunması amacıyla

düzenli izleme programlarının uygulanması ve uygun su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi önerilmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Ölçüm Değerleri ve Ölçüm Noktaları

Parametre	Minimum	Ortalama	Maksimum
pH	7.56	7.922	8.40
İletkenlik	426	551	844
Nitrat (mg/L)	8.30	22.278	32.32
Sülfat (mg/L)	6	34.2	104
Magnezyum(mg/	16.27	20.024	26.32
Kalsiyum (mg/L)	47.68	70.766	119.65
Çözülmüş Oksijen(Mg/L)	7.45	8.892	10.8

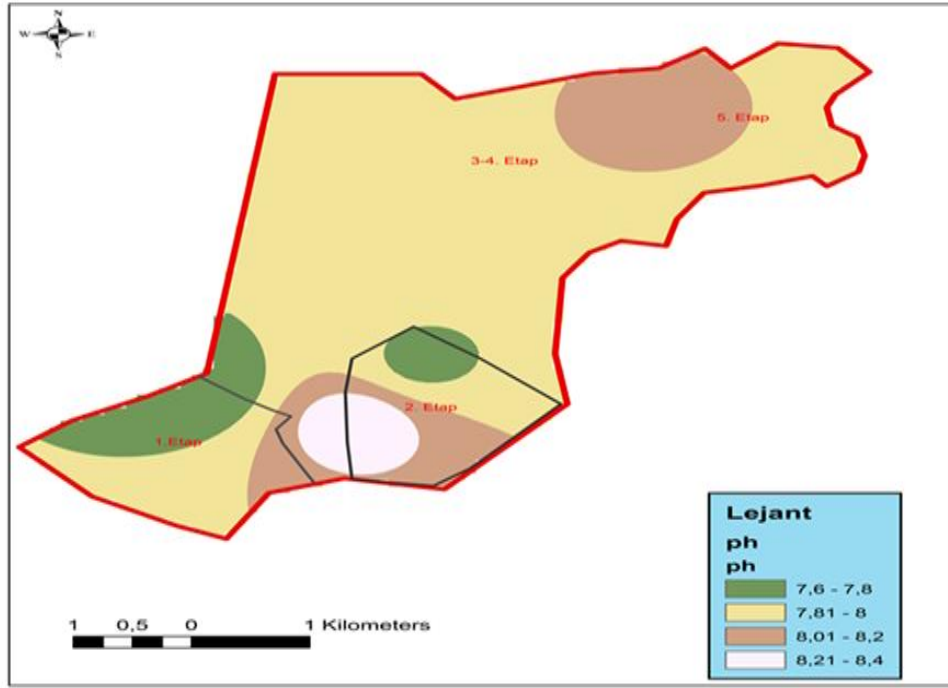
Şekil2’de, pH seviyelerinin örnekleme noktalarına göre değişimi gösterilmektedir. Çoğu nokta 7 civarında bir pH değeri ile nötr özellik göstermektedir. Ancak bazı noktalar hafif bazik (8 üzerinde) seviyelere çıkmaktadır. PH değerlerindeki bu değişiklikler, bölgedeki jeokimyasal yapı, sanayi faaliyetleri ve atık yönetim uygulamalarından kaynaklanıyor olabilir. Nötr seviyelere yakın değerler genelde içme suyu açısından olumlu olsa da, yüksek pH değerleri sudaki minerallerin dengesizliğine ve kimyasal reaksiyonlara neden olabilir.



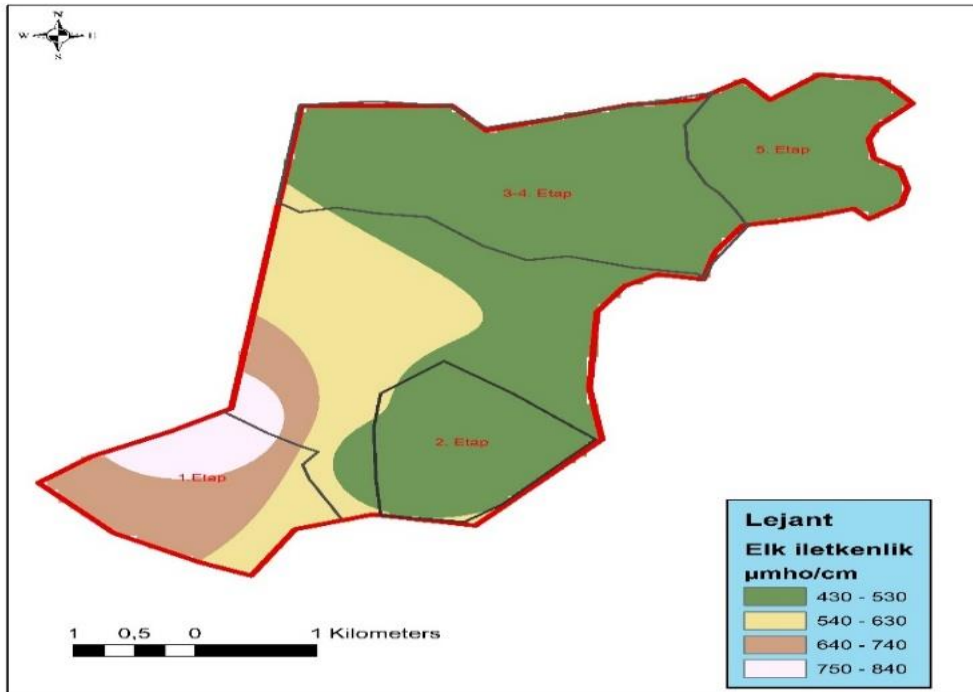
Şekil 2. Örnekleme Noktalarına göre pH Seviyeleri

Şekil 3’te bölgedeki pH dağılımını mekânsal olarak analiz ederek su kalitesindeki değişimleri göstermektedir. 1. Etap, 7,6-8 pH aralığında olup, nötr seviyeye en yakın bölge olarak suyun doğal yapısını büyük ölçüde korunduğunu göstermektedir. 2. Etap, 7.6-8, en yüksek pH seviyelerine de sahip çözülmüş madde içeriğinin daha fazla olabileceğini işaret etmektedir. Bu mekânsal dağılım, bölgedeki su kalitesinin jeolojik yapı ve antropojenik etkilerle değiştiğini göstermekte olup, detaylı hidrojeokimyasal analizlerin gerekliliğini vurgulamaktadır. 3. 4. ve 5. Etaplar, haritada sarı renk yoğun

olarak gösterilmiş olup, 7,81-8,2 aralığında pH değerlerine sahiptir; bu durum hafif alkali özellik gösterdiğini ve doğal süreçlerin baskın olabileceğini göstermektedir.



Şekil 3. Örnekleme Noktalarına göre pH Seviyeleri Haritası



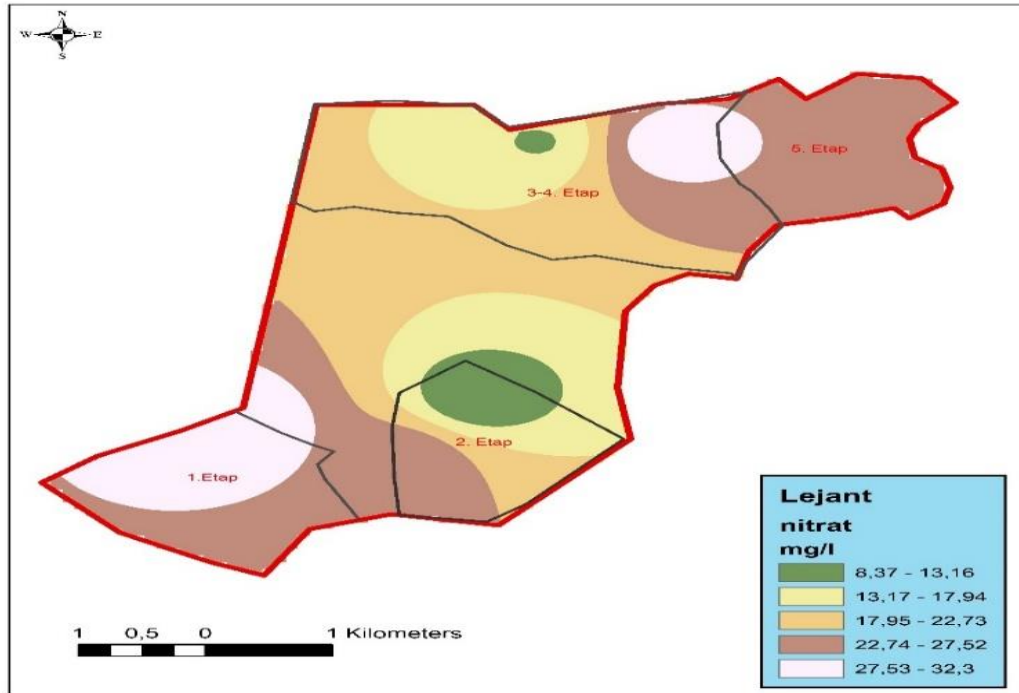
Şekil 4. Örnekleme Noktalarına göre Elk İletkenlik Haritası

Şekil 4’te bölgedeki su kalitesi, elektriksel iletkenlik değerleriyle doğrudan ilişkilidir. Yüksek iletkenlik değerleri, suyun daha fazla çözünmüş madde ve kirletici içerdiğini, bu da su kalitesinin bozulduğunu gösterir. Özellikle 1. Etaptaki 540-840 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındaki iletkenlik değerlerinin, 640-740 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arası yoğunluklu bölgelerde daha belirgin olması, bu alanlarda suyun daha fazla kirletici içerdiğini işaret etmektedir. Diğer etaplar (2-3-4-5) ise 430-530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında daha düşük iletkenlik değerleri sergileyerek, bu bölgelerde su kalitesinin daha iyi olduğunu göstermektedir. Bu veriler, bölgedeki su kirliliğinin yerel farklılıklar gösterdiğini ve belirli alanlarda su kalitesinin önemli ölçüde bozulduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 3. Mevsimsel Karşılaştırma

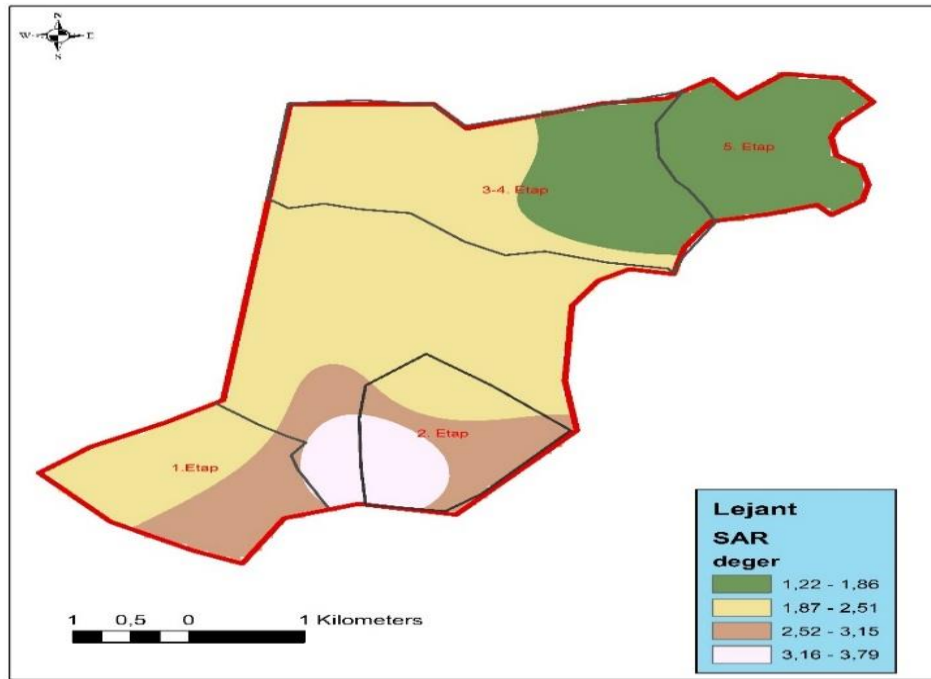
Mevsim	Ortalama pH	Ortalama EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Ortalama Nitrat (mg/L)
Yaz	7.35	665.1	30.4
Kış	7.15	731.6	27.4

Tablo 3, Yaz aylarında, su kalitesinin daha yüksek kirlilik gösterdiği, özellikle elektriksel iletkenlik ve nitrat değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, yaz mevsiminde suyun daha fazla kirletici içerdiğini ve tarımsal faaliyetlerin, sulama uygulamalarının suya etkisini işaret etmektedir. Kış aylarında ise, su kalitesinin daha iyi olduğu, iyonik kirliliğin ve nitrat seviyelerinin daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bu değişiklikler, mevsimsel su kullanımı ve tarımsal faaliyetlerdeki farklılıklara bağlı olarak suyun kirlilik düzeyindeki mevsimsel değişiklikleri yansıtmaktadır.



Şekil 5. Örneklem Noktalarına göre Nitrat Konsantrasyon Dağılımı Haritası

Şekil 5’te bölgedeki nitrat konsantrasyonlarının genel dağılımını göstermektedir. Sonuç olarak, nitrat seviyelerinin 20-30 mg/L arasında yoğunlaştığı görülmüştür. Bu değer, içme suyu açısından 50 mg/L’ lik sınırın altında kaldığı için genellikle güvenli kabul edilmektedir. Ancak, 50 mg/L’ye kadar çıkan seviyeler potansiyel bir kirlilik kaynağı olarak değerlendirilmelidir. Tarımsal gübre kullanımı ve endüstriyel atıkların yeraltı sularına sızması, bu konsantrasyonların yüksek olmasının başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Nitratin yüksek seviyeleri, özellikle içme suyu açısından sağlık riski oluşturabilir ve bölgedeki su kalitesinin bozulduğuna işaret etmektedir. Bu veriler, nitrat konsantrasyonlarının bölgesel olarak farklılıklar göstermektedir.



Şekil 6. Örneklem Noktalarına Göre SAR Dağılımı Haritası

Şekil 6’da bölgede ki değerlendirme noktalarına göre, SAR değerlerinin 1.22 ile 3.79 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Düşük SAR değerleri, suyun tarımsal sulama için daha uygun olduğunu gösterirken, yüksek SAR değerleri ise toprakta sodyum birikimi riski oluşturabilir ve bu da uzun vadede toprak sağlığını olumsuz etkileyebilir. Bu sonuçlar, sulama suyu kalitesini değerlendirirken SAR değeri yüksek olan bölgelerde sodyum birikiminin önüne geçmek için uygun yönetim stratejileri geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 4. Sodyum Su Yüzdesi [%]

Ölçüm Noktası	SAR	Su Sınıfı	Sodyum Su Yüzdesi [%]
Ölçüm Noktası 1	3.80	Orta Derece	24.91
Ölçüm Noktası 2	1.98	İyi Su	10.4
Ölçüm Noktası 3	2.16	İyi Su	13.88
Ölçüm Noktası 4	2.10	İyi Su	13.59
Ölçüm Noktası 5	1.22	İyi Su	3.85

Tablo 4, değerlendirilen farklı noktalar için sodyum su yüzdesi ve su sınıfını göstermektedir.

Tablo 5. Wilcox Değerlerine göre Su Kalitesi

Ölçüm Noktası	Wilcox'a Göre Su Kalitesi
Ölçüm Noktası 1	Dikkatli kullanım gerektirir
Ölçüm Noktası 2	Sulama için uygun
Ölçüm Noktası 3	Sulama için uygun
Ölçüm Noktası 4	Sulama için uygun
Ölçüm Noktası 5	Sulama için uygun

Ölçüm Noktası 1, “dikkatli kullanım gerektirir,” diğer noktalar ise sulama için uygun veya çok uygundur (Tablo 5).

SAR $\approx$ 3.80, Sodyum Yüzdesi $\approx$ 24.91% (Orta, Dikkatli kullanım gerektirir): Bu su, yüksek sodyum içeriği ile toprak yapısına zarar verebilir. Bu yüzden dikkatli kullanılmalı, sulama teknikleri ve toprak izleme yöntemleri uygulanmalıdır.

SAR $\approx$ 1.98 - 2.16, Sodyum Yüzdesi $\approx$ 10.4% - 13.88% (İyi, Sulama için uygun): Bu su örnekleri, sulama için genellikle uygundur ve toprak sağlığına zarar verme riski düşüktür. Sodyum yüzdesi makul seviyelerde olduğundan, tarım verimliliği için güvenli sulama sağlanabilir.

SAR $\approx$ 1.22, Sodyum Yüzdesi $\approx$ 3.85% (İyi, Sulama için çok uygun): Bu su, düşük sodyum içeriği ile sulama için son derece uygun olup, toprak sağlığını olumsuz etkilemeden verimli bir şekilde kullanılabilir.

Wilcox'a göre, sulama için en uygun su örnekleri düşük SAR ve sodyum yüzdesine sahip olanlardır, çünkü bu suyun toprağa zarar verme potansiyeli düşüktür. Ancak, yüksek SAR değeri olan su örneklerinde (örneğin SAR $\approx$ 3.80), dikkatli bir kullanım gereklidir.

Bu çalışmada elde edilen bulgular, Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi'nde yürütülen sanayi faaliyetlerinin yeraltı suyu kalitesine olan etkilerini kapsamlı bir şekilde ortaya koymaktadır. Sonuçlar, sanayi kaynaklı kirliliğin su kaynakları üzerinde önemli değişimlere yol açtığını ve belirli parametrelerde sınır değerlerin aşıldığını göstermektedir. Bu durum, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de halk sağlığı açısından dikkatle ele alınması gereken bir konudur. [10].

Genel olarak pH değerlerinin nötr ile hafif bazik aralıkta değiştiği belirlenmiş olsa da bazı örnekleme noktalarında pH seviyesinin 8'in üzerine çıkması, sanayi kaynaklı alkalik bileşiklerin suya karıştığını göstermektedir. Literatürde, sanayi tesislerinin özellikle metal işleme ve kimyasal üretim süreçlerinde yüksek baziklik oluşturabilecek atıklar ürettiği belirtilmektedir. Bu durum, uzun vadede

suyun kimyasal dengesinde değişikliklere yol açarak ekosistem üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir [11].

Elektriksel iletkenlik seviyelerinin bazı bölgelerde yüksek bulunması, çözülmüş iyonların yoğunluğunun arttığını göstermektedir. Özellikle sanayi ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan atıklar, suyun iletkenlik değerini artırarak suyun kalitesini olumsuz etkileyebilir. Mevsimsel değişimlerle birlikte bu parametrede belirgin dalgalanmalar gözlenmiş olup, özellikle yaz aylarında suyun iletkenliğinin arttığı belirlenmiştir. Bu durum, yüksek sıcaklık seviyeleri nedeniyle kirleticilerin daha yoğun hale gelmesiyle açıklanabilir [12].

Bölgedeki yeraltı sularında tespit edilen nitrat konsantrasyonları, su kalitesi açısından önemli bir gösterge olup, özellikle bazı örnekleme noktalarında 50 mg/L'ye kadar ulaşan seviyeler dikkat çekicidir. Nitrat kirliliğinin temel kaynağı, özellikle tarımsal faaliyetlerde kullanılan azot bazlı gübrelerin toprağa nüfuz ederek yeraltı sularına sızmasıdır. Bu durum, suyun kalitesini olumsuz yönde etkileyerek insan sağlığı ve ekosistem üzerinde ciddi riskler oluşturmaktadır [13].

Nitratin insan sağlığı üzerindeki etkileri oldukça ciddidir. Yüksek seviyelerde nitrat içeren suyun tüketimi, vücutta nitrite dönüşerek kanın oksijen taşıma kapasitesini düşürebilir. Özellikle bebeklerde "mavi bebek sendromu" olarak bilinen hastalığa neden olabilen bu durum, ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Ayrıca, nitratin uzun vadeli maruziyeti bazı kanser türleri ile ilişkilendirilmiştir. Bu nedenle, yeraltı sularındaki nitrat seviyelerinin belirlenen sınır değerler içinde tutulması kritik öneme sahiptir [14,15].

Mevsimsel analizler, nitrat seviyelerinin özellikle yaz aylarında artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, tarımsal faaliyetlerin yoğunlaştığı dönemlerde gübrelerin daha fazla kullanılması ve bu kirleticilerin yüzeyden yeraltı sularına daha hızlı taşınması ile ilişkilidir. Literatürdeki diğer çalışmalar da, tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde nitratin başlıca kirletici kaynaklardan biri olduğunu doğrulamaktadır [16,17].

Nitrat kirliliği yalnızca insan sağlığını tehdit etmekle kalmaz, aynı zamanda ekosistem üzerinde de olumsuz etkiler yaratır. Yeraltı sularında biriken nitrat, yüzey sularına taşınarak sucul ekosistemlerde besin dengesini bozabilir. Özellikle alg çoğalmasını teşvik ederek ötrofikasyon'a yol açabilir, bu da oksijen seviyelerinin düşmesine ve su ekosistemindeki organizmaların yaşam koşullarının olumsuz etkilenmesine neden olabilir [18,19].

Bu kapsamda, nitrat kirliliğinin azaltılmasına yönelik önlemler alınması gerekmektedir. Gübre kullanımının daha kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesi, organik tarım uygulamalarının teşvik

edilmesi ve düzenli su kalitesi izleme programlarının oluşturulması, bu sorunun çözümüne katkı sağlayabilecek stratejiler arasında yer almaktadır [20].

Sanayi ve tarımsal faaliyetlerin yeraltı su kaynakları üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmalar, bu kirleticilerin giderilmesine yönelik arıtma yöntemlerinin etkinliğini de tartışmaktadır. B. E. Nalbur ve E. Karaelli (2019) tarafından yapılan bir çalışma, petrol türevleri içeren atık suların arıtılabilirliğini inceleyerek, endüstriyel atıkların yeraltı sularına olası etkilerini ortaya koymuş ve uygun arıtma yöntemlerinin belirlenmesine yönelik katkı sağlamıştır. Literatürdeki benzer çalışmalar, nitrat kirliliğinin su kaynakları üzerindeki olumsuz etkilerini vurgulayarak, bu sorunun kontrol altına alınabilmesi için etkin yönetim stratejilerine duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır. Nitrat konsantrasyonlarının yüksek seviyelere ulaşması, hem insan sağlığı hem de ekosistem açısından ciddi riskler oluşturmakta olup, tarımsal gübre kullanımının bilinçli ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesi, su kaynaklarının sürekli izlenmesi ve su yönetimi politikalarının güçlendirilmesi, bu kirliliğin azaltılması açısından kritik öneme sahiptir [21,22,23].

SAR değerlerinin 1.22 ile 3.80 arasında değişkenlik göstermesi, bölgedeki sulama suyu kalitesinin mekânsal ve zamansal farklılıklara sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Düşük SAR seviyeleri, sulama suyunun toprak yapısını olumsuz etkileme riskinin düşük olduğunu ve bitkisel üretim için daha uygun koşullar sunduğunu göstermektedir. Ancak, SAR değerlerinin özellikle 3.80 seviyesine ulaşması, sodyum iyonlarının toprakta birikerek uzun vadede toprak yapısını bozabileceğini ve geçirgenliğini azaltabileceğini işaret etmektedir. Bu durum, toprağın su tutma kapasitesini düşürerek sulama verimliliğini olumsuz etkileyebilir ve erozyon riskini artırabilir. Bu bağlamda, yüksek SAR değerine sahip suların kullanımında, toprak sağlığını koruyacak ve tarımsal verimliliği sürdürülebilir kılacak uygun yönetim stratejilerinin uygulanması gerekmektedir. Bu stratejiler arasında sulama suyu kalitesinin düzenli olarak izlenmesi, uygun sulama tekniklerinin benimsenmesi ve toprak düzenleyicilerinin kullanımı yer almaktadır. Söz konusu önlemler, uzun vadede tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlamak açısından kritik öneme sahiptir.

Wilcox sınıflandırmasına göre, sulama amacıyla kullanılacak en uygun su örnekleri, düşük SAR (Sodyum Adsorpsiyon Oranı) ve düşük sodyum yüzdesine sahip olanlardır. Bu tür sular, toprak yapısını olumsuz etkileme riski taşımadan güvenli bir şekilde kullanılabilir. Örneğin, SAR değeri yaklaşık 1.22 ve sodyum yüzdesi yaklaşık 3.85 olan bir su örneği, tarımsal sulama açısından son derece uygun olup, toprak strüktürünü koruyarak uzun vadede verimliliği artırabilir.

Bununla birlikte, SAR değerinin 1.98 ile 2.16 arasında değiştiği su örnekleri de tarımsal sulama için uygun kabul edilse de, nispeten daha yüksek sodyum içeriği nedeniyle toprakta zamanla birikme

riski taşımaktadır. Bu nedenle, bu tür suların kullanımı sırasında sulama tekniklerinin optimize edilmesi ve toprak tuzluluğunun düzenli olarak izlenmesi önem arz etmektedir.

SAR değeri 3.80'e ulaşan su örnekleri, yüksek sodyum içeriği nedeniyle daha dikkatli bir kullanım gerektirmektedir. Yüksek SAR değerine sahip sular, zaman içinde toprakta sodyum birikmesine neden olarak toprağın geçirgenliğini ve su tutma kapasitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu durum, toprak verimliliğini düşürerek uzun vadede tarımsal üretimi olumsuz etkileyebilir. Bu tür suların kullanımı söz konusu olduğunda, sulama sistemlerinin iyileştirilmesi, uygun drenaj uygulamalarının devreye alınması ve toprak düzenleyicilerinin kullanımı gibi önlemler alınmalıdır [24,25,26].

Sulama suyunun kalitesinin düzenli olarak izlenmesi, SAR ve sodyum seviyelerinin kontrol altında tutulması, tarımsal sürdürülebilirliği sağlamak açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, su yönetimi politikalarının geliştirilmesi ve sulama uygulamalarının bilimsel temellere dayandırılması, hem tarımsal üretkenliği artıracak hem de toprak sağlığının korunmasına katkı sağlayacaktır.

4. SONUÇLAR

Sonuç olarak, Diyarbakır Organize Sanayi Bölgesi'nde gerçekleştirilen yeraltı suyu analizleri, bölgedeki su kaynaklarının sanayi faaliyetlerinden kaynaklanan kirlilik yükü nedeniyle önemli çevresel risk altında olduğunu açık bir şekilde göstermektedir. Doğal kaynakların bilinçsiz ve kontrolsüz kullanımı, yeraltı sularının yanı sıra, doğrudan ilişkili olan bitkiler, sucul canlılar ve diğer pek çok türün yaşam alanlarını tehdit ederek ekolojik dengenin bozulmasına yol açmaktadır. Bu durum, biyolojik çeşitliliği ciddi anlamda azaltmakta ve ekosistemlerin sürdürülebilirliğini tehlikeye sokmaktadır. Ayrıca, temiz su kaynaklarının azalması ve kirlenmesi, sadece bölgesel değil, küresel ölçekte gelecek nesillerin yaşam kalitesini düşürmekte ve onları ciddi sağlık riskleri ile karşı karşıya bırakmaktadır. Dolayısıyla, su kaynaklarının korunması, sadece bireysel değil, aynı zamanda toplumsal ve kurumsal sorumlulukları da içeren kapsamlı ve stratejik bir yaklaşımı gerektirmektedir. Bu bağlamda, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılması ve insan sağlığının korunması için su kaynaklarının etkin bir şekilde yönetilmesi ve korunmasına yönelik bütüncül politikaların acilen uygulanması büyük önem arz etmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bu çalışma kapsamında herhangi bir çıkar çatışmasının bulunmadığını beyan etmektedirler.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Merve ŞAKİ KOCAMAN: Yazma - orijinal taslak hazırlama, yazma - gözden geçirme ve düzenleme, veri toplama, verinin düzenlenmesi, görselleştirme, analiz, inceleme, analiz araçlarını sağlama, proje yönetimi, finansman edinimi. Recep ÇELİK: Gözetim ve liderlik sorumluluğu, metodoloji, analiz, yazma-gözden geçirme ve düzenleme, doğrulama.

KAYNAKLAR

- [1] E. Turan ve E. Bayrakdar, “Türkiye’nin su yönetim politikaları: Ulusal,” *Ulusal*, c. 6, sayı. 2, ss. 1–10, 2020.
- [2] S. Sünal ve S. Erşahin, “Türkiye’de tarımsal kaynaklı yeraltı suyu nitrat kirliliği,” *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, c. 5, sayı. 2, ss. 22–30, 2012.
- [3] F. Özyonar, B. Karagözoğlu ve E. Atmaca, “İçme suyundan elektrokoagülasyon prosesi ile doğal organik madde giderimi,” *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 27, sayı. 4, ss. 102–111, 2011.
- [4] A. Alkur, P. Uyanık, S. Göncü, Z. Yiğit Avdan ve K. Gedik, “Endüstriyel atık suların proseste tekrar kullanılabilirliğine yönelik metodolojik değerlendirme,” *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, c. 16, sayı. 1, ss. 30–42, 2024.
- [5] Ü. Şahin, T. Tunç ve S. Örs, “Yeraltı suyu kirliliği açısından atık su kullanımı,” *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi*, c. 4, sayı. 1, ss. 33–39, 2011.
- [6] T. Öztürk, “İzmit evsel ve tehlikeli katı atık düzenli depolama tesisi sızıntı sularının elektro-ve kimyasal koagülasyon yöntemleri ile arıtılabilirliğinin incelenmesi,” Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, 2006.
- [7] G. E. Üstün, S. K. Akal Solmaz ve K. Kestioğlu, “Organize sanayi bölgelerinde atıksu arıtımı: Bursa’dan bir O.S.B. örneği,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 9, sayı. 1, ss. 75–83, 2004.
- [8] A. H. Dökmeci, S. Özden Çelik, G. Kaykioğlu ve A. Öngen, “Tekirdağ’da Çorlu ilinde endüstriyel alanlardaki toprakta ağır metal kirliliğinin çevresel ve insan sağlığı açısından etkileri,” *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 19, sayı. 2, ss. 543–553, 2017.
- [9] T. Ekemen Keskin, F. Girişen ve Z. Başibüyük, “Yer altı sularında arsenik kirliliği: Kaman (Kırşehir, Türkiye) örneği,” *Uluslararası Su ve Atıksu Arıtma Teknolojileri Sempozyumu (ISHAD 2018)*, Kırşehir, Türkiye, 06-07 Aralık, 2018.
- [10] R. Çelik, “Diyarbakır tarihi Sur Bölgesinin yeraltısuyu potansiyelinin incelenmesi,” *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 8, sayı. 2, ss. 693–704, 2017.

- [11] E. Topçu ve İ. Taş, “Sulama suyu kalitesi açısından Çanakkale–Biga Ovası yeraltı sularının durumu,” *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi (COMU J. Agric. Fac.)*, c. 8, sayı. 1, ss. 38–47, 2020.
- [12] R. Bakış, H. Koyuncu, A. Özkan, M. Banar, G. Yılmaz ve E. Yörükoğulları, “Porsuk Havzası yüzeysel ve yeraltı suyu kirlilik düzeyinin belirlenmesi,” *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 12, sayı. 2, ss. 159–168, 2011.
- [13] A. Bildik ve L. Baş, “Investigation of nitrate, nitrite pollution levels and organic matter amounts of artesian waters of Aydın region,” *Animal Health Prod and Hyg*, vol. 11, no. 2, pp. 103–110, 2022.
- [14] Ö. Özdestan ve A. Üren, “Gıdalarda nitrat ve nitrit,” *Akademik Gıda*, c. 8, sayı. 6, ss. 35–43, 2010.
- [15] M. H. Ward, R. R. Jones, J. D. Brender, T. M. de Kok, P. J. Weyer, B. T. Nolan, C. M. Villanueva ve S. G. van Breda, “Drinking water nitrate and human health: An updated review,” *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 15, no. 7, pp. 1–31, 2018.
- [16] E. Olhan ve Y. Ataseven, “Türkiye’de içme suyu havza alanlarında tarımsal faaliyetlerden kaynaklanabilecek kirliliği önlemeye yönelik yasal düzenlemeler,” *Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty*, c. 6, sayı. 2, ss. 177–186, 2009.
- [17] Ö. Erdoğan, B. Karakaş ve M. Zeybek Yünlü, “Karpuz Çayı (Antalya) su kalitesinin fizikokimyasal parametrelere göre belirlenmesi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*, c. 17, sayı. 2, ss. 225–236, 2022.
- [18] N. Doğan-Sağlamtimur ve B. Sağlamtimur, “Sucul ortamlarda ötrofikasyon durumu ve senaryoları,” *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 7, sayı. 1, ss. 1–14, 2018.
- [19] Ş. Tulun ve M. Bilgin, “Sızıntı sularında çeşitli kirleticilerin elektrokoagülasyon yöntemiyle gideriminin incelenmesi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 23, sayı. 9, ss. 1055–1058, 2017.
- [20] B. Gemici, C. Yücedağ, E. Karakoç ve D. Algur, “Kuyu suyunda bazı kalite parametrelerinin belirlenmesi: Bartın örneği,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 6, sayı. 1, ss. 32–40, 2015.
- [21] B. Erol Nalbur ve E. Karaelli, “Petrol içeren atık suların arıtılabilirliği ve arıtım sisteminin tasarlanması,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 24, sayı. 1, ss. 123–133, 2019.
- [22] S. Tokmak ve S. Köseoğlu, “Yeraltı sularında nitrat kirliliği,” *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 13, sayı. 1, ss. 62–89, 2000.
- [23] B. Cüre, “Kimyasal ve organik gübrelerin çevre üzerine etkisi,” *Biyosistem Mühendisliği Dergisi*, c. 3, sayı. 2, ss. 75–83, 2022.
- [24] M. K. Gökkuş, M. C. Bağdatlı ve H. İ. Oğuz, “Yeraltı sularının ağır metal ve sulama suyu kalitesi açısından değerlendirilmesi ve mekânsal olarak haritalandırılması: Nevşehir-Gülşehir ilçesi örneği,” *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 14, sayı. 1, ss. 64–81, 2024.
- [25] A. Alver ve E. Baştürk, “Karasu Nehri su kalitesinin farklı su kalite indeksleri açısından değerlendirilmesi,” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 23, sayı. 2, ss. 488–497, 2019.

- [26] M. Yılmaz, “Türkiye’de yeraltı suları yönetiminin yasal ve kurumsal açıdan incelenmesi,” *DÜSBED – Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, c. 13, sayı. 27, ss. 1–10, 2021.

Copyright © 2025 Şaki Kocaman and Çelik. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).



Araştırma Makalesi / Research Article

Şeyhandede Şelalesi'nin (Çermik/Diyarbakır) Bitki Örtüsü Üzerinde Bir Değerlendirme

An Evaluation on the Vegetation of Şeyhandede Waterfall (Çermik/Diyarbakır)

İbrahim Halil YILDIRIM^{1,*}, Ömer Faruk KAYA²

¹ Harran Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, 63300, Şanlıurfa, Türkiye

² Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Botanik Anabilim Dalı, 63300, Şanlıurfa, Türkiye

<https://doi.org/10.55007/dufed.1655092>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 11 Mart 2025

Revize, 07 Mayıs 2025

Kabul, 09 Mayıs 2025

Online Yayınlama, 27 Mayıs 2025

Anahtar Kelimeler

Bitki örtüsü, Şelale, Şeyhandede, Çermik, Diyarbakır

ARTICLE INFO

Article History

Received, 11 March 2025

Revised, 07 May 2025

Accepted, 09 May 2025

Available Online, 27 May 2025

Keywords

Vegetation, Waterfall, Şeyhandede, Çermik, Diyarbakır.

ÖZ

Bu çalışmada, Diyarbakır ilinin Çermik ilçesinde yer alan Şeyhandede Şelalesi ve çevresinin doğal ortam özelliklerinin yanı sıra bitki örtüsünün belirlenmesi ve yıllara bağlı değişiminin incelenmesini amaçlanmıştır. Biyocoğrafik açıdan, bölge İran-Turan fitocoğrafik bölgesinin Mezopotamya alt biriminde yer almaktadır. Bu doğrultuda, çalışma sahasında farklı dönemlerde arazi gözlemleri gerçekleştirilmiş ve bitki örtüsündeki zamansal değişimi analiz etmek amacıyla Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca, bitki örtüsünün mekânsal dağılımını daha ayrıntılı ortaya koymak için kuzey-güney yönünde ve akarsu boyunca profiller çizilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Şeyhandede Şelalesi ve yakın çevresi, tabiat parkı statüsünde yer almakta olup ekolojik açıdan korunması gereken alanlar arasında değerlendirilmektedir. Hidrojeomorfolojik açıdan horsetail (At Kuyruğu) sınıfına giren şelale, yaklaşık %80 eğimli bir yüzey üzerinden akışını sürdürmektedir. Bölgenin bitki örtüsü büyük ölçüde meşe (*Quercus* spp.) topluluklarından oluşmakta, ancak örtünün seyrek olduğu alanlarda step vejetasyonuna ait türler gözlenmektedir. Uydu görüntülerinin analizi, bölgede antropojenik baskının görece düşük seviyede olması ve korunaklı alan özelliği taşıması nedeniyle yıllara bağlı olarak bitki örtüsünün büyük ölçüde aynı doğrultuda ilerlediğini göstermektedir. Tüm bu analizlerin haritalandırılması sürecinde ArcGIS yazılımının ArcMap 10.8 arayüzü kullanılmıştır.

ABSTRACT

This study aims to analyze the natural environmental characteristics and vegetation of Şeyhandede in a comprehensive manner. Waterfall and its surroundings in Çermik, Diyarbakır, focusing on temporal changes.

***Sorumlu Yazar**

E-posta Adresleri: ibrahilyildirim@gmail.com (İbrahim Halil YILDIRIM), phytosociologist@gmail.com (Ömer

Faruk KAYA)

Biogeographically, the region is located within the Mesopotamian subunit of the Iran-Turanian phytogeographical zone. Field observations were conducted at different periods, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) method was applied to analyze temporal changes in vegetation cover. To provide a more detailed assessment of vegetation distribution, profiles were drawn along the north-south axis and the river course. Şeyhandede Waterfall and its surroundings are designated as a nature park and are considered ecologically significant areas requiring conservation. Hydrologically, the waterfall is classified as a horsetail-type cascade, flowing over a surface with an approximate 80% slope. The vegetation is mainly composed of oak (*Quercus* spp.) communities, with steppe species observed in areas with sparse coverage. Satellite imagery analysis indicates that vegetation cover has been stable, progressed at a rate of 0.3 over the years, due to low anthropogenic pressure and the area's protected status. All these analyses were mapped using the ArcMap 10.8 interface of ArcGIS software.

1. GİRİŞ

Verimli Hilal'in kuzey kesiminde konumlanan Güneydoğu Anadolu Bölgesi, sahip olduğu doğal ortam özellikleri bakımından önemli bir coğrafi alan teşkil etmektedir. Bölgenin kuzey ve kuzeydoğu kesimleri dağlık alanlardan oluşurken, diğer bölümleri orta yükseltili dağlar ve tepelerle karakterize edilen plato morfolojisine sahiptir [1]. Karacadağ volkanik kütlesi, bölgeyi doğuda Dicle Nehri, batıda ise Fırat Nehri olmak üzere iki ana havzaya ayırmaktadır [2]. Şeyhandede Şelalesi, bölgenin batı kesiminde konumlanmakta olup hidrojeomorfolojik açıdan dikkat çeken alanlardan biridir.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, biyocoğrafik açıdan Holarktik aleminin İran-Turan fitocoğrafik bölgesinin Mezopotamya alt bölümünde yer almaktadır [3]. Bölgenin kuzey kesimlerinde genel olarak meşe (*Quercus* spp.) toplulukları dikkat çekerken, geri kalan alanlar ise daha çok step vejetasyonu ile karakterize edilmektedir. Bölgedeki step alanlarının büyük bir kısmı, Suriye sınırında yer alan Akçakale-Ceylanpınar-Kızıltepe hattı dışında, yoğun antropojenik etkiler sonucunda şekillenmiştir.

Şeyhandede Şelalesi, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin kuzey kesiminde, Diyarbakır ilinin Çermik ilçesine bağlı Şeyhandede Köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. Çalışma sahası ve çevresi 2021 yılında "Yabanardı-Şeyhandede Tabiat Parkı" olarak ilan edilmiştir. Tabiat parkı, Şeyhandede Köyü'ne yaklaşık 3 km, Yabanardı Köyü'ne ise yaklaşık 2 km mesafede bulunmaktadır (Şekil 1).

Su kaynakları açısından zengin bir bölgede konumlanan Şeyhandede Şelalesi, Şeyhan Vadisi içerisinde yer almakta olup Karaçay Deresi üzerinde bulunmaktadır. Yaklaşık %80 eğime sahip dik bir akış gösteren Şeyhandede Şelalesi, hidrojeomorfolojik sınıflandırmaya göre "horsetail" tipi bir şelale olarak tanımlanmaktadır. Şelalenin oluşumunda tektonik süreçler belirleyici bir rol oynamıştır. Jeolojik açıdan incelendiğinde, şelalenin bulunduğu alan Üst Pliyosen dönemine tarihlenen Kuşdoğan bazaltları üzerinde yer almaktadır [4], (Şekil 2). Volkanik kökenli bu bazaltik kayalar, yüksek mineral içeriği ve

Şelale, Karacadağ'ın volkanik aktivitesi sonucunda oluşan bazalt sütunlar üzerinden yaklaşık 32 metre yükseklikten dökülmektedir (Şekil 3). Bu bazalt sütunlar, lav akıntılarının soğuma sürecinde büzülmesiyle meydana gelmiş olup hem jeomorfolojik hem de ekolojik açıdan bölgenin karakteristik özelliklerinden biridir. Şelalenin akışı, bazalt sütunlarının dayanıklı yapısı nedeniyle uzun vadeli erozyon süreçlerine karşı direnç göstermekte ve bölgedeki hidrolojik dinamiklerin şekillenmesine katkıda bulunmaktadır.



Şekil 3. Şeyhandede Bazalt Sütunları

Bu çalışmada, Şeyhandede Şelalesi ve yakın çevresinin belirli iklimik özelliklerinin yanı sıra bitki örtüsünün yükseltiye bağlı dağılım profili belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, bölgenin mikroklimatik koşulları analiz edilmiş ve vejetasyonun topografik faktörlerle ilişkisi değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma sahasının coğrafi özelliklerini belirlemek amacıyla 5 metre hassasiyetinde sayısal yükseklik modeli (DEM) verisi üretilmiş ve lokasyon haritası oluşturulmuştur. Bu veri tabanıyla sahada topografik faktörlerin bitki yayılımı üzerindeki yayılımını ortaya koymak amacıyla yükselti ve arazinin yarıлма durumu özellikleri değerlendirilmiştir.

Araştırma sahasına ait anakaya özelliklerinin belirlenmesinde, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğünden alınan [5] L42 jeoloji paftaları, arazi gözlemleri ve önceki çalışmalardan elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu veriler ışığında, güncel bir jeoloji haritası oluşturulmuş ve sahanın anakaya özelliklerinin diğer doğal unsurlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

İklim özelliklerinin analizinde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan çok yıllık veriler doğrultusunda, Çermik meteoroloji istasyonlarına ait veriler interpolasyon yöntemleriyle ele alınarak, araştırma sahasının iklim diyagramları elde edilmiştir. Bu iklim diyagramları, bitki örtüsünün dağılışı

üzerindeki iklimsel etkilerin daha iyi anlaşılmasına olanak tanımıştır. Bu veri tabanıyla Şeyhandede Şelalesi'nin bulunduğu alanın ombrotermik diyagramının [6] ve Thornthwaite su bilançosu [7] grafikleri ortaya koyulmuştur.

Şelale ve çevresinin bitki örtüsünün zamana bağlı değişimini belirlemek amacıyla 1984 ile 2024 yılları arasındaki 30 yıllık dönemi kapsayan ve beşer yıllık aralıklarla alınan uydu görüntüleri kullanılarak Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) yöntemi ile analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, bitki örtüsündeki değişimlerin tespiti ve bölgedeki ekolojik süreçlerin izlenmesi açısından önemli bir yöntemsel yaklaşım sunmaktadır.

Jeomorfolojik özellikler ile bitki yayılışı arasındaki ilişkinin ortaya koyulmasında eş yükselti eğrileri ve topografya haritaları kullanılmıştır. Bölgedeki arazi şekillerinin bitki örtüsü ve toprak oluşumu üzerindeki etkilerini anlamak için önemli bir temel oluşturmuştur.

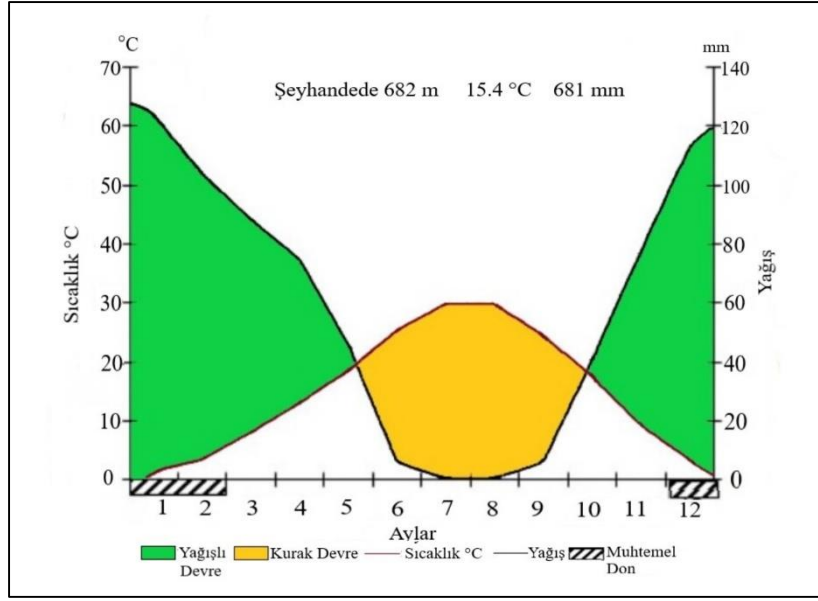
Şeyhandede Şelalesinin bitki profili, arazi çalışmaları ve literatürdeki önemli kaynaklarla [8,9,10,11] karşılaştırılarak ortaya konulmuştur.

Araştırma sahasında harita üretiminde ve mekânsal veri analizinde ArcGIS 10.8 yazılımı kullanılmış, bu yazılım sayesinde yüksek doğrulukta mekânsal veriler elde edilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada, çalışma sahasında yer alan doğal ortam özelliklerinin, bitki yayılışı üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Şeyhandede Şelalesi, coğrafi olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Bölgenin iklimsel özelliklerini daha doğru bir şekilde tanımlayabilmek amacıyla çalışma alanına en yakın konumda bulunan Çermik Meteoroloji İstasyonu'na ait veriler, interpolasyon yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışma sahası Emberger kuraklık indisine [12] göre, Akdeniz iklim özelliklerinin etkisi bulunmaktadır. Ayrıca, Emberger tarafından belirlenen yağış ve sıcaklık katsayısına göre, bölge, Akdeniz iklimi tiplerinden “Az Yağışlı Akdeniz İklimi” olarak sınıflandırılmaktadır. Elde edilen veriler doğrultusunda çizilen ombrotermik diyagramdan da görüldüğü gibi, mayıs sonu ve haziran başından itibaren başlayan kurak dönem, ekim ayı ortalarına kadar devam etmektedir. Bu süreçte, temmuz ve ağustos ayları en kurak ve en sıcak aylardır (Şekil 4).

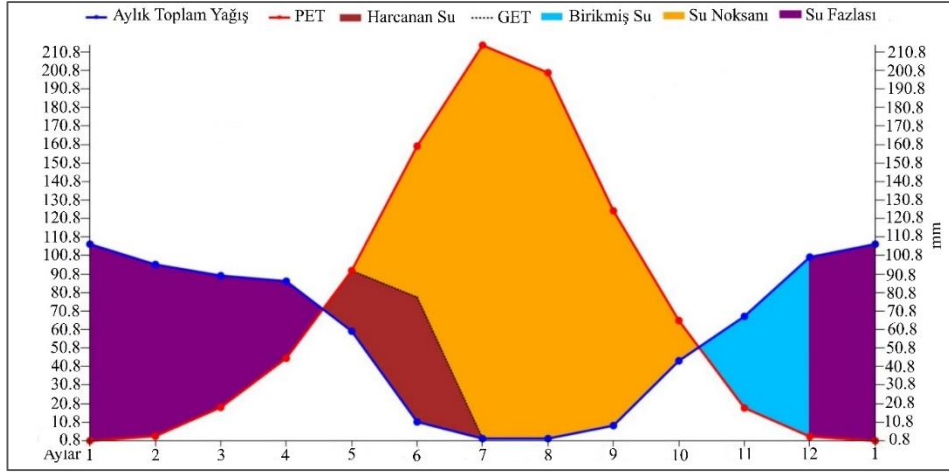


Şekil 4. Şeyhandede Ombrotermik Diyagram

Şeyhandede Şelalesi için çizilen su bilançosu diyagramına göre, ilkbaharda nisan ayı ortalarından itibaren başlayan ve yaz boyunca, özellikle temmuz ayında önemli ölçüde artan Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) değerleri, ağustos ayından itibaren azalmaya başlar ve ekim ayının ortalarına kadar en düşük seviyeye ulaşır. Bu dönemde alanda su noksanlığı meydana gelmektedir. Özellikle temmuz ayında maksimum seviyeye ulaşan PET değerleri, belirgin bir su eksikliğini işaret etmektedir. Sonbaharda, ekim ayı itibarıyla başlayan yağışlar ile PET değerleri düşerken, aralık ayı itibarıyla birikmiş su miktarı en yüksek seviyesine ulaşır. Aralık ayından nisan ayı ortalarına kadar ise yağış miktarının azalmaya başlamasıyla birlikte alanda su fazlası gözlemlenmektedir (Şekil 5).

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, iklimik ve edafik faktörlerin etkisiyle bitki örtüsünde genellikle geniş bozkır (step) alanları hakimdir ancak bölge genelindeki jeomorfolojik çeşitlilik ve iklimik farklılıklar nedeniyle bazı alanlarda bozkır ekosistemleri yerini özellikle meşelik alanlara bırakmaktadır. Bu meşelikler, bozkır alanlarının kenarlarında veya kısmen ortasında adacıklar halinde konumlanmaktadır.

Şeyhandede Şelalesi'nin bulunduğu alan, ortasından Karaçay Deresi'nin geçtiği ve yamaçlarında meşeliklerin yaygın olduğu bir vadiden oluşmaktadır. Bölgedeki bitki örtüsünün yükseltiye bağlı dağılımını belirlemek amacıyla dere boyunca ve kuzey-güney yönlerinde transektler alınmış ve bu transektler üzerinden ekolojik profil çıkartılmıştır (Şekil 6).



Şekil 5. Thornthwaite Su Bilançosu Diyagramı

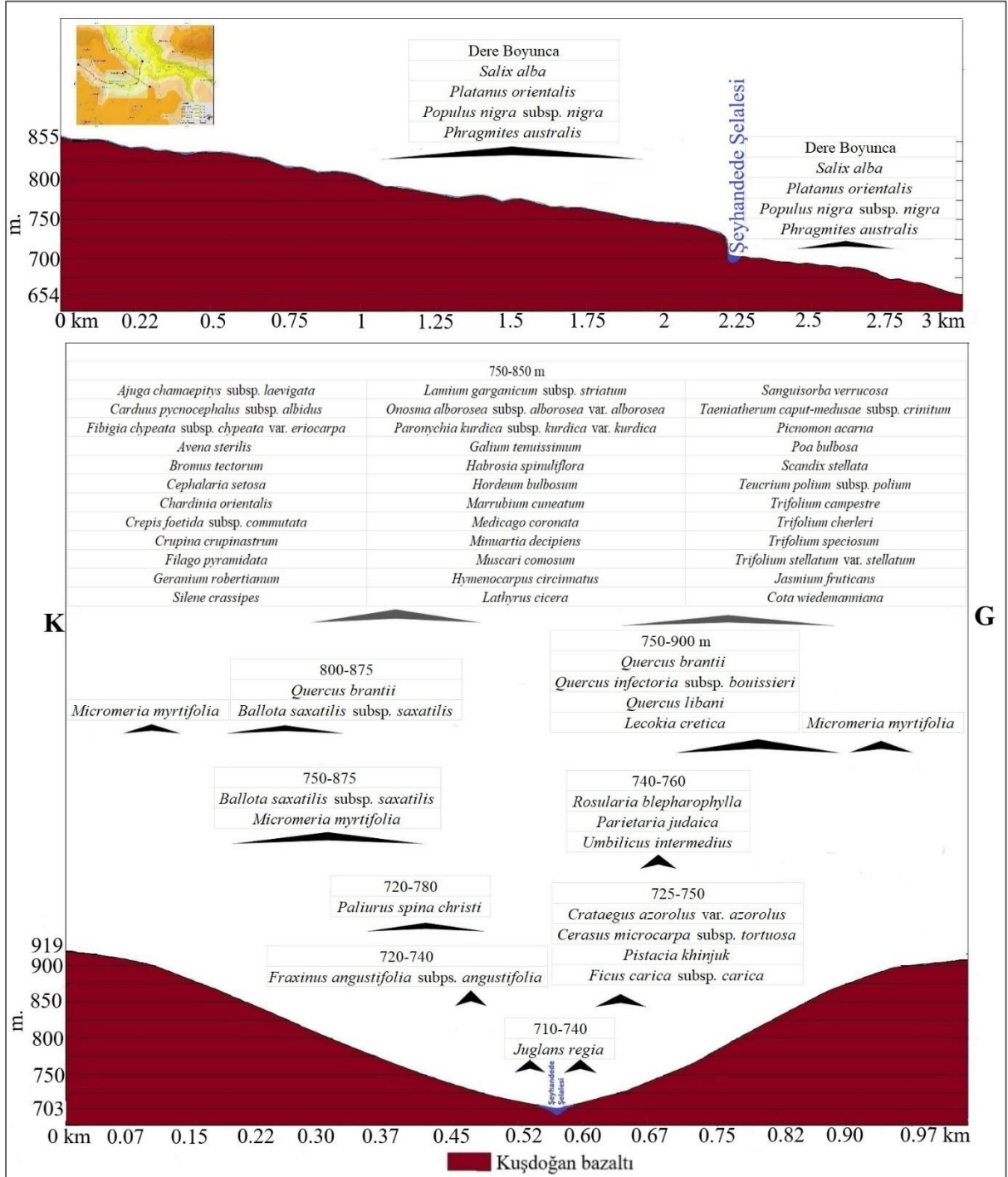


Şekil 6. Şeyhan Vadisi'nin Genel Görünümü

Şeyhandede şelalesinin de bulunduğu Karaçay deresinin 3 km'lik kısmında, dere boyunca (650-850 m.) genel olarak *Salix alba* ve *Platanus orientalis* türleri bulunmaktadır. Yer yer bu türlere *Populus nigra* subsp. *nigra* eşlik etmektedir. Dere kenarına yakın yamaçlarda ise *Paliurus spina-christi* ve *Fraxinus angustifolia* subsp. *angustifolia* türlerine rastlanılmaktadır.

Şeyhan vadi yamaçlarında 720-900 m. arasında bitki örtüsünü *Quercus brantii* ve *Q. infectoria* subsp. *veneris* türlerinin bulunduğu meşelikler oluşturmaktadır. Bu meşe türlerinin alt örtüsünde *Lecokia cretica* dikkat çekmektedir. Meşeliklerin örtüşü yer yer arazi şartlarından veya kısmen antropojenik etkiye bağlı olarak zayıftır. Bu kısımlarda bozkır alanlarında da görülen odunsu türlerden

Crataegus azorolus var. *azorolus*, *Cerasus microcarpa* subsp. *tortosa*, *Pistacia eurycarpa* ve *Ficus carica* subsp. *carica* dikkat çekmektedir (Şekil 7).

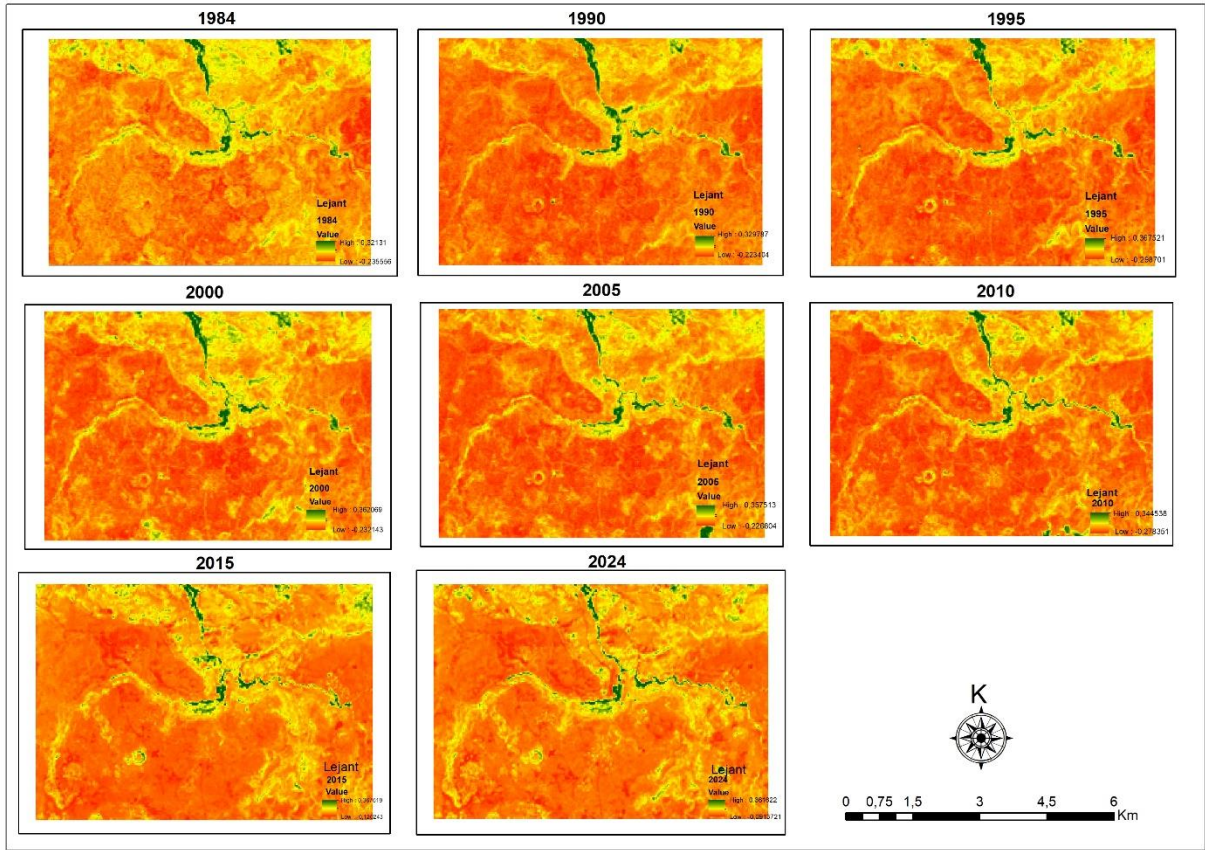


Şekil 7. Şeyhandede Şelalesinin Bitki Profilleri

Vadinin dereye yakın yamaçlarındaki kayalık alanlarda, kaya yüzeylerinde veya çatlaklarında *Rosularia blepharophylla*, *Micromeria myrtifolia*, *Parietaria judaica* ve *Umbilicus intermedius* gibi bitki

türlerine rastlanmaktadır. Vadi yamaçlarında, meşeliklerin yoğunluğunun azaldığı alanlarda ise, tür listesinde de belirtildiği üzere, bozkır bitki örtüsüne ait türler belirginleşmektedir.

Şeyhandede ve çevresinin bitki örtüsüne ilişkin 40 yıllık bir dönemi kapsayan uydu görüntüleri, beş yıllık aralıklarla Normalleştirilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) yöntemiyle analiz edilmiştir. Hesaplanan bitki örtüsü indeksine göre, alandaki bitki örtüsünün zaman içinde benzer bir doğrultuda ilerlediği tespit edilmiştir. Bu durumu açıklayan temel etmenler arasında bölgenin engebeli topografik yapısı, antropojenik etkilerin neredeyse yok denecek kadar az olması, kayalık ve taşlık alanların varlığı ve tarım için elverişli alanların sınırlı olması yer almaktadır. Uydu görüntülerinin analizinden de görüldüğü üzere, bitki örtüsündeki yoğunlaşma özellikle vadi tabanlarında ve yamaçlarda belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Bitki Örtüsünün NDVI Analizi

4. SONUÇLAR

Şeyhandede Şelalesi'nde gözlemlenen bazalt sütunlar, Karacadağ Volkanizması'nın aktiviteleri sonucunda oluşmuş jeolojik yapılar olup, doğanın önemli jeolojik oluşumları arasında yer almaktadır. Bu sütunlar, şelalenin üzerinden akarak doğal bir peyzaj oluşturan akışa ev sahipliği yapmaktadır ve çevresindeki bitki örtüsüyle birlikte bölgenin ekoturizm potansiyelini önemli ölçüde artırmaktadır.

Akdeniz ikliminin etkisi altındaki şelale ve çevresindeki su kaynaklarının aktif olması, kurak yaz aylarında dahi bitki yaşamı üzerinde olumsuz bir etki yaratmamaktadır. Bölgedeki dereler, bir mikroklima ortamı oluşturarak, vadi boyunca nemli bir atmosfer yaratmaktadır. Bu nemli ortam, bitkilerin uzun süre canlılıklarını sürdürebilmelerine olanak tanımaktadır. Yamaçlardaki meşelik alanlar da bu nemin kısmi etkisini taşımaktadır. Meşeliklerin örtüşü genellikle yüksek olmakla birlikte, yer yer topografyaya bağlı olarak bu örtüşme azalabilmektedir. Örtüşün zayıf olduğu alanlarda ise bozkıra ait türler ön plana çıkmaktadır. Şelale ve çevresinin yıllara ait uydu görüntülerinin analizine göre, alandaki bitki örtüsü de aynı doğrultuda gözlenmektedir. Bitki yaşamı için elverişli ortamlar sunan vadi içleri, bitki örtüsünün yoğunlaştığı alanlar olarak dikkat çekmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Bu akademik çalışmada, yazarlar herhangi bir çıkar çatışmasının bulunmadığını beyan etmektedir.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada yazarlar, “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında belirlenen ilkelere tam uyum sağladıklarını ve söz konusu yönergede “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” başlığı altında tanımlanan herhangi bir etik ihlalde bulunmadıklarını beyan etmektedir.

YAZARLARIN KATKILARI

İbrahim Halil YILDIRIM: çalışmayı kavramsallaştırma, araştırmayı yazma-inceleme, düzenleme, sahadan veri toplama, verilerin düzenlenmesi, harita ve şekillerine görselleştirme, bilgilerin gözetimi ve liderlik sorumluluğu. Ömer Faruk KAYA: çalışmayı kavramsallaştırma, araştırmayı yazma-inceleme, düzenleme, sahadan veri toplama, verilerin düzenlenmesi, bilgilerin gözetimi ve finansman.

KAYNAKLAR

- [1] A. Ardel, “Güneydoğu Anadolu’da coğrafi müşahedeler,” *Türk Coğrafya Dergisi*, c. 21, ss. 140–148, 1961.
- [2] A. N. Sözer, “Güneydoğu Anadolu’nun doğal çevre şartlarına coğrafi bir bakış,” *Ege Coğrafya Dergisi*, c. 2, ss. 18–31, 1984.
- [3] M. Zohary, *Geobotanical Foundations of the Middle East*, vol. 1–2, Stuttgart, Germany: Gustav Fischer Verlag, 1973.

- [4] K. Kırşan, “Çermik şelaleleri (Diyarbakır) ve doğal ortam özellikleri,” *Sosyal Beşerî ve İdari Bilimler Alanında Uluslararası Araştırmalar XI*, Konya, Türkiye: P. Doğanay, Ed., Eğitim Yayınevi, 2023, ss. 7–26.
- [5] İ. Keskin, *1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları L42 Paftası*. Ankara, Türkiye: MTA Genel Müdürlüğü, 2011.
- [6] H. Walter and H. Lieth, *Klimadiagramm-Weltatlas: Hrsg. in 3 Lieferungen*. Jena, Germany: Gustav Fischer Verlag, 1967.
- [7] C. W. Thornthwaite, “An approach toward a rational classification of climate,” *Geographical Review*, vol. 38, pp. 55–94, 1948.
- [8] P. H. Davis, *Flora of Turkey and the East Aegean Islands*, vol. 1–9, Edinburgh, Scotland: Edinburgh University Press, 1965–1985.
- [9] P. H. Davis, R. R. Mill, and K. Tan, *Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Supplement)*, vol. 10, Edinburgh, Scotland: Edinburgh University Press, 1988.
- [10] G. Kaynak, “Contribution to the flora of Karacadağ (Urfa and Diyarbakır provinces),” *Turkish Journal of Botany*, vol. 13, no. 1, pp. 275–397, 1989.
A. Güner, N. Özhatay, T. Ekim, and K. H. C. Başer, *Flora of Turkey and the East Aegean Islands (Supplement 2)*, vol. 11, Edinburgh, Scotland: Edinburgh University Press, 2000.
- [11] L. Emberger, “Une classification biogéographique des climats,” *Recueil Trav. Lab. Bot. Géol. Zool. Fac. Sci. Univ. Montpel., sér. Bot.*, vol. 7, pp. 3–43, 1954.
- [12]



Investigation of Pump Selection and Energy Efficiency in Agricultural Irrigation Systems

Tarımsal Sulama Sistemlerinde Pompa Seçimi ve Enerji Verimliliğinin İncelenmesi

Reşit AZİZOĞLU ¹, Fatih KOÇYİĞİT ^{2,*}

¹ Dicle University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Renewable Energy Resources, 21280, Diyarbakır, Türkiye

² Dicle University, School of Civil Aviation, Department of Aircraft Maintenance and Repair, 21280, Diyarbakır, Türkiye

<https://doi.org/10.55007/dufed.1681728>

ARTICLE INFO

Article History

Received, 22 April 2025

Revised, 12 May 2025

Accepted, 13 May 2025

Available Online, 27 May 2025

Keywords

Agricultural irrigation,
Renewable energy, Irrigation
pumps, Energy efficiency

ABSTRACT

Agricultural irrigation is a critical component for the sustainability and productivity of the agricultural sector. Irrigation systems must be carefully selected to meet the water needs of agricultural areas and improve product quality. Pump types are at the center of irrigation systems and stand out as one of the main factors that determine irrigation efficiency by ensuring water movement. The parameters to consider when selecting a pump include technical features such as distribution distance, elevation differences, and water flow. Energy efficiency is also an important concept in agricultural irrigation systems. The energy consumption of a water pump is a determining factor in both economic and environmental terms. While energy efficiency reduces the overall cost of the irrigation system, it also helps minimize the company's carbon footprint. Advanced technology and innovative pump designs provide more water transfer capacity with less energy consumption. Therefore, investigating the energy efficiency dimension of pump types plays a critical role for the future of agricultural irrigation. Reliable and sustainable pump solutions allow farmers to maintain the ecological balance and increase production. Therefore, the aim of this study is to shed light on sustainable agricultural practices by examining the adequacy and efficiency of pump solutions in agricultural irrigation.

*Corresponding Author

E-mail Addresses: resit_azizoglu@hotmail.com (Reşit AZİZOĞLU), fatih.kocyigit@dicle.edu.tr (Fatih KOÇYİĞİT)

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 22 Nisan 2025

Revize, 12 Mayıs 2025

Kabul, 13 Mayıs 2025

Online Yayınlama, 27 Mayıs 2025

Anahtar Kelimeler

Tarımsal sulama, Yenilenebilir enerji, Sulama pompaları, Enerji verimliliği

ÖZ

Tarımsal sulama, tarım sektörünün sürdürülebilirliği ve verimliliği açısından kritik bir unsur teşkil etmektedir. Sınırlı su kaynaklarının etkin kullanımı, dünya genelindeki tarımsal üretim biçimlerinde büyük önem kazanmıştır. Pompa tipleri, sulama sistemlerinin kalbinde yer almakta olup, suyun hareketini sağlayarak sulama etkinliğini belirleyen ana etkenlerden biri olarak öne çıkar. Pompa seçiminde göz önünde bulundurulması gereken parametreler arasında dağıtım mesafesi, yükseklik farkları ve suyun debisi gibi teknik özellikler bulunmaktadır. Enerji verimliliği, tarımsal sulama sistemlerinde bir diğer önemli kavramdır. Su pompasının enerji tüketimi hem ekonomik hem de çevresel açıdan belirleyici bir faktördür. Enerji verimliliği, sulama sisteminin toplam maliyetlerini azaltırken aynı zamanda işletmenin karbon ayak izinin minimize edilmesine katkı sağlar. Gelişmiş teknoloji ve yenilikçi pompa dizaynları, daha az enerji harcayarak daha fazla su taşıma kapasitesi sunabilmektedir. Bu bağlamda, pompa tiplerinin enerji verimliliği boyutunu araştırmak, tarımsal sulamanın geleceği için kritik bir rol oynar. Güvenilir ve sürdürülebilir pompa çözümleri, çiftçilerin hem ekolojik dengeyi korumalarına hem de üretimlerini artırmalarına olanak sağlar. Dolayısıyla, bu çalışma, tarımsal sulamadaki pompa çözümlerinin yeterliliğini ve etkinliğini irdeleyerek, sürdürülebilir tarım uygulamalarına ışık tutmayı hedeflemektedir.

1. INTRODUCTION

Agricultural production is a critical sector for meeting the growing food needs of the world's population. However, the sustainability of agricultural production is largely dependent on the effective management of water resources. Much of the world's freshwater resources are used for agricultural irrigation. According to the World Water Council (2019), approximately 70% of water is used in the farming sector and this rate is increasing. Therefore, efficient water use is critical for both environmental sustainability and agricultural productivity. Agricultural irrigation plays a critical role in meeting the water needs of plants. In many regions of the world, irrigation is required due to insufficient natural water resources. The sustainability of agricultural production, especially in arid and semi-arid climates, is directly dependent on irrigation systems. The ability of farmers to use water at the right time and in the right amount increases crop yields and prevents the depletion of water resources [1]. However, the efficiency of irrigation systems is directly related not only to the amount of water used, but also to the energy used to transport and distribute water. Pumps used in agricultural irrigation systems play a fundamental role in carrying water from sources to fields. Thus, energy efficiency in irrigation systems is a critical factor in reducing costs and reducing environmental impacts. Irrigation pump systems typically have high energy consumption.

Pump selection and operating conditions have a direct impact on the energy efficiency of irrigation systems. Pump energy efficiency is critical to the sustainability of agricultural production, especially in developing countries where energy costs are high [2]. Energy costs can be one of the largest

operating expenses in irrigation, so the efficient operation of pump systems has a direct impact on farmers' economic profitability. Moreover, the efficient operation of pumps is not only important from an economic standpoint, but also provides great environmental benefits. Energy-efficient pump systems reduce the use of fossil fuels by using less energy, which contributes to the reduction of greenhouse gas emissions [3]. This is a critical step to reduce the environmental impacts of agricultural production and promote sustainable agricultural practices.

The energy efficiency of pump systems is directly associated with the selection of the right type of pump. There are various types of pumps used for agricultural irrigation such as centrifugal pumps, reciprocating pumps, and submersible pumps. Each pump type should be selected according to different water flow and pressure conditions. Improper pump selection can result in energy loss, which reduces the overall efficiency of the system [4]. Centrifugal pumps are typically used in larger areas and must have the appropriate flow and pressure to operate efficiently. However, centrifugal pumps with low efficiency can result in energy losses. On the other hand, the use of modern technologies such as variable speed drives (VSDs) can reduce energy consumption by optimizing pump speed [5]. However, regular pump maintenance and system optimization are important steps to improve energy efficiency. In recent years, innovative irrigation technologies and applications have been developed to improve energy efficiency. Smart irrigation systems offer an important solution for improving energy efficiency in agriculture. Using sensors that monitor soil moisture and weather conditions, these systems determine irrigation needs in real time and use only the water needed. This ensures both more efficient use of water resources and reduced energy consumption [6].

Furthermore, the use of renewable energy sources, especially solar energy, can significantly reduce energy consumption in agricultural irrigation systems. Solar energy enables the operation of pumps in a sustainable manner, reducing energy costs and minimizing environmental impacts [7]. Solar energy enables the operation of pumps in a sustainable manner, reducing energy costs and minimizing environmental impacts. Studies have investigated the performance of different solar panel configurations for such applications [8]. Renewable energy sources, particularly solar energy, play a critical role in reducing energy consumption in agricultural irrigation systems. Solar-powered pumps not only reduce energy costs but also contribute to sustainable irrigation practices by minimizing environmental impacts [9-10]. Studies on solar irrigation systems have shown that these systems improve operational efficiency, providing economic benefits and reducing dependence on fossil fuels [11]. Furthermore, advanced technologies, such as variable speed drives (VSDs), used to optimize pump operations, can further enhance energy efficiency. These innovations are crucial for reducing energy waste and improving the overall efficiency and sustainability of irrigation systems, especially in regions

facing energy challenges, where increasing energy efficiency and achieving savings are essential [12-14].

Such applications improve the economic efficiency of irrigation systems and strengthen the energy independence of farmers.

The aim of this study is to investigate the energy efficiency of pump types used in agricultural irrigation systems, and to discuss potential improvements to increase the efficiency of these systems. Recommendations to improve the efficiency of pump systems and the integration of innovative technologies can bring both economic and environmental benefits. In addition, this study aims to provide information that would be guiding for farmers, policy makers and engineers on water management and energy efficiency in agriculture.

2. MATERIAL AND METHOD

The energy efficiency of the pumps used in agricultural irrigation systems is one of the most important factors that directly affects the overall costs of the system. Since the pump is the main component in the transportation of water from the source to the target areas in the field, the efficiency of this system mostly depends on the design and operating conditions of the pump. Pumps with high energy efficiency not only carry water with less energy consumption but also improve the overall performance of the irrigation system. Therefore, when selecting a pump, both the initial investment cost and the long-term energy consumption and maintenance costs should be taken into consideration [4].

2.1 Effect of Pump Type Selection on Energy Efficiency

The type of pumps used for agricultural irrigation is determined based on the distance, flow rate and pressure requirements of the water to be transported. Different pump types have different energy efficiency levels. The selection of the pump types is critical for the efficient operation of the system. Commonly used pump types and their impact on energy efficiency are as follows:

Centrifugal pumps: Centrifugal pumps are the pumps that create high pressure by pushing water through rotating wings and operate in wide flow ranges and are mostly used in large areas. These pumps, when properly selected, are highly efficient, but can lead to energy losses in case of misuse or overload [3]. In order to increase the energy efficiency of centrifugal pumps, the design must be made to exactly match the flow and pressure requirements of the system.

Reciprocating pumps: Reciprocating pumps use piston displacement to pump water at a given volume. These pumps are generally preferred to meet high-pressure requirements. However, they have higher energy consumption and their efficiency is generally lower compared to centrifugal pumps [5]. To increase the efficiency of reciprocating pumps, it is important that the pump capacity is fully compatible with the needs of the irrigation system.

Submersible pumps: Submersible pumps are generally used to extract water from deep wells. Such pumps can consume high energy depending on the depth of the water, but energy efficiency can be achieved with proper design and maintenance [1]. In particular, a good analysis of depth and pressure requirements ensures the right choice of a submersible pump.

2.2 Energy Efficiency Criteria to be Considered in Pump Selection

There are some basic criteria to consider when selecting a pump to optimize energy efficiency: **Pump performance curve:** It is important to examine the pump performance curve to determine the operating points at which the pump will operate efficiently. A properly selected pump provides high efficiency when operating in accordance with the flow and pressure requirements of the system. Correct analysis of the pump curve prevents energy loss [3]. Figure 1 shows the efficiency-flow relationship at different pump speeds for the norm 250-500 type pump for the irrigation system.

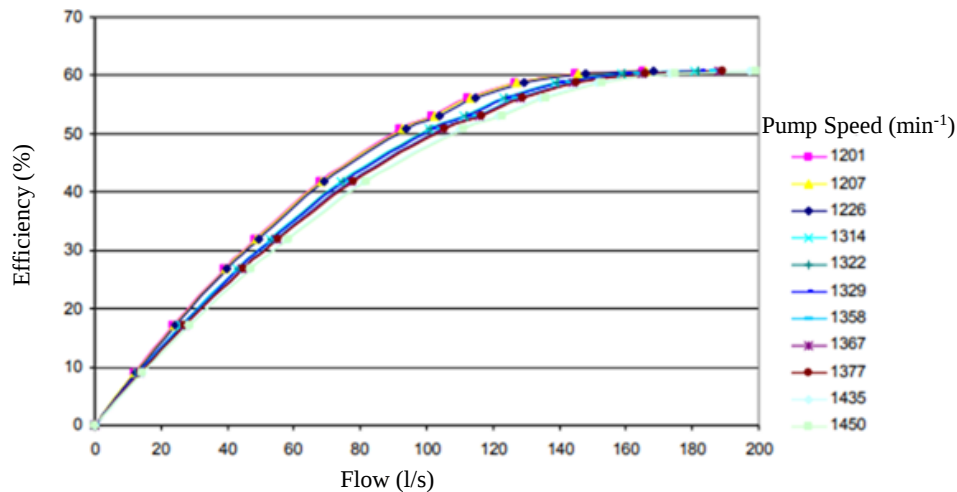


Figure 1. Efficiency-Flow Curves at Different Pump Speeds

Flow and pressure requirements of the system: One of the most important factors in pump selection is to correctly determine the flow and pressure requirements of the irrigation system. A wrong choice may cause the pump to overwork and thus lead to high energy consumption. In addition, the pump should be selected according to the pressure levels required by the system and the distance over which the water will be transported [1]. Figure 2 shows the power-flow relationship at different pump speeds for the

norm 250-500 type pump for the irrigation system. The different pump speeds shown in the figure correspond to the possible pump operating points obtained from the flow hydrographs.

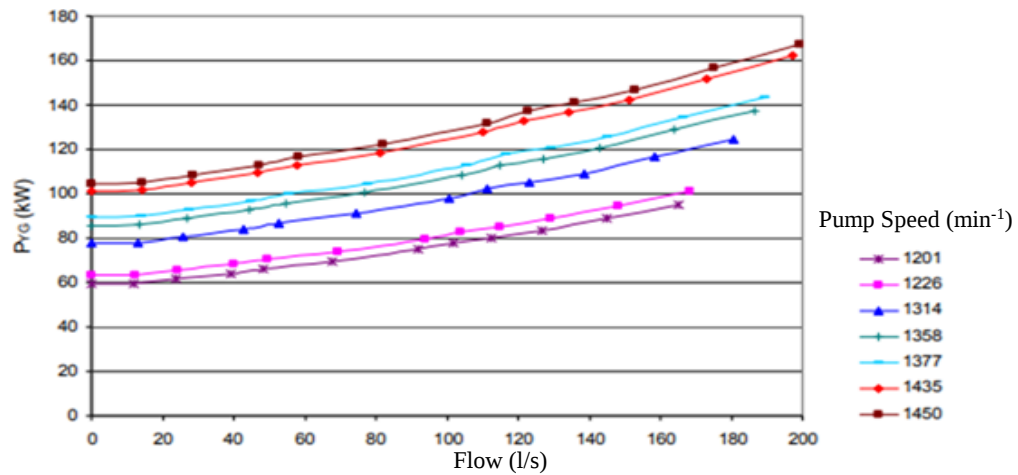


Figure 2. Pump Power-Flow Curves

Cavitation and efficiency: Cavitation is a phenomenon that can seriously reduce the efficiency of the pump. Models with a low risk of cavitation should be preferred in pump selection. Cavitation occurs due to the formation of water vapor as a result of a sudden pressure drop inside the pump and the explosion of the vapor, which leads to wear and energy loss in the pump [5]. In the current study, the pressure-flow rate-motor power for irrigating an agricultural area according to the operating conditions with centrifugal and submersible pumps was calculated and compared (Figure 3).

3. THE RESEARCH FINDINGS

Operating conditions:

- Height of the irrigation area: 50 meters
- Depth of water: 10 meters
- Targeted irrigation flow rate: 50 m³/s

Assumptions on pump types: Centrifugal pump:

- Maximum flow rate: 150 m³/s
- Maximum pressure: 30 meters
- Efficiency: 85%
- Motor power: 15 kW

Submersible pump:

- Maximum flow rate: 120 m³/s
- Maximum pressure: 40 meters
- Efficiency: 80%
- Motor power: 20 kW

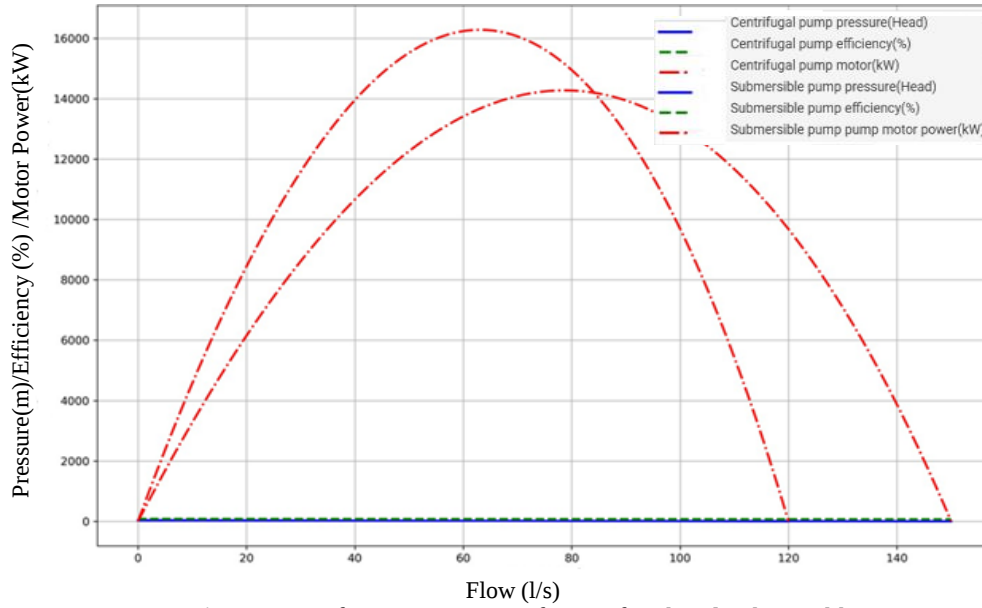


Figure 3. Performance Curves of Centrifugal and Submersible Pumps

According to the DIN 1944 standard, allowable error rates are divided into three precision classes and Table 1 shows the rates for these three classes. Table 2 shows the upper permissible limits (in %) for the total error rate in measurement according to the ISO classification.

Table 1. Permissible Error Rate for Pump Test Accuracy Classes (DIN1944)

Measurement Parameter	I	II	III
Tolerance in Flow Measurement (f_Q)	$\pm\%1.5$	$\pm\%2.0$	$\pm\%3.0$
Manometric Height (f_{Hm})	$\pm\%1.0$	$\pm\%1.5$	$\pm\%2.0$
Power Absorbed by the Pump (f_{pVG})	$\pm\%1.0$	$\pm\%1.5$	$\pm\%2.0$
Tolerance on Pump Efficiency (f_n)	$\pm\%2.0$	$\pm\%3.0$	-

Table 2. Total Error Rates in Measurement According to ISO Standards

Measurement Large	ISO 5198 Sensitive Class)	Class (A	ISO 3555 Eng.Class1 (B Class)	ISO 2548 Eng.Class2 (C Class)
Flow	$\pm\%1.5$		$\pm\%2.0$	$\pm\%3.5$
Pomp Head	$\pm\%1.0$		$\pm\%1.5$	$\pm\%3.5$
Shaft Power	$\pm\%1.0$		$\pm\%1.5$	$\pm\%3.7$
Rotating Speed	$\pm\%0.2$		$\pm\%0.5$	$\pm\%2.0$
Pump Efficiency	$\pm\%2.25$		$\pm\%2.8$	$\pm\%5.0$

3.1 Energy Efficiency and Economic Effects

Ensuring energy efficiency directly reduces the costs of agricultural production. Especially in regions with high energy costs, the use of efficient pump systems provides significant economic savings. This increases the competitiveness of the producer and supports environmental sustainability.

Energy efficiency is of great importance not only for environmental sustainability but also for economic development and cost management. The energy used in agricultural irrigation systems is largely related to the efficiency of pump systems. Efficient operation of pumps means less energy consumption, which leads to reduced agricultural production costs. Improving energy efficiency in irrigation systems can help farmers become economically more competitive, especially in regions with high energy costs.

3.1.1 Energy Efficiency and Cost Savings

Agricultural irrigation is a major source of energy consumption, especially in regions with scarce water resources. Pumps used for irrigation processes consume large amounts of electrical energy, which increases the costs of irrigation processes. Energy used in agricultural production processes can account for a significant portion of farmers' total production costs. Therefore, improving energy efficiency can significantly reduce these costs.

Use of energy efficient pumps directly affects energy consumption. For example, when using VSDs and highly efficient motors, pump systems consume only the amount of energy required. This prevents unnecessary energy losses during irrigation. As a result, energy-efficient irrigation systems can save between 20% and 40% of energy costs [2]. These savings reduce the total operating costs of farmers and contribute to a sustainable production process.

Particularly in regions with high energy prices, achieving energy efficiency provides farmers with huge financial benefits in the long term. For example, solar-powered irrigation systems can significantly reduce the use of mains electricity, allowing energy costs to be reduced to near-zero levels [7]. Although solar-powered systems have high initial investment costs, in the long run they provide significant energy savings and bring farmers economic independence.

3.1.2 Energy Efficiency and Farmer Incomes

Energy efficiency can not only reduce costs but also increase farmers' incomes. Saving energy allows farmers to reduce irrigation costs and thus earn more profit. The use of energy-efficient pump systems allows farmers to allocate more budget to irrigation through savings in irrigation costs. This

provides an advantage in terms of increasing the amount of production or making alternative agricultural investments.

Furthermore, the use of energy-efficient systems allows farmers to produce more crops with lower operating costs. This increases productivity in agriculture, leading to more income in production processes. For example, in systems using energy-efficient pumps, more efficient irrigation can be achieved by using less energy. This can increase plant growth and crop yields, thus increasing the total income of farmers [1].

3.1.3 Greenhouse Gas Emissions and Environmental Benefits

Energy efficiency provides great economic and environmental benefits. Efficient operation of the pump systems reduces greenhouse gas emissions by reducing energy consumption. This provides a significant environmental benefit, especially for irrigation systems operated by fossil fuels. When agricultural irrigation is carried out using fossil fuels, carbon dioxide (CO₂) and other greenhouse gases released into the atmosphere are major factors contributing to climate change. However, when energy efficiency is achieved, these emissions are significantly reduced.

In particular, irrigation using renewable energy sources (solar energy, wind energy) contributes greatly to reducing the carbon footprint. Renewable energy sources increase environmental sustainability by reducing dependence on fossil fuels. Solar-powered irrigation systems both reduce energy costs and minimize environmental damage [3]. Such innovative solutions help to ensure sustainability in the agricultural sector and minimize environmental impacts.

3.1.4 Return on Investment of Energy Efficiency Practices

The return on investments made to achieve energy efficiency is usually realized in the short term. Although energy efficient systems are initially installed at higher costs, they pay for themselves over time through energy savings. According to a study, the payback period of irrigation systems using VSDs and high-efficiency motors ranges from 2 to 4 years [5].

The return on such investments offers farmers not only energy savings, but also lower operating costs and long-term economic benefits. Furthermore, investments in energy efficient systems can be supported by incentives and subsidies offered by governments. Such policies encourage farmers to invest in such systems and accelerate the transition to sustainable agriculture.

3.1.5 Increasing Agricultural Competitiveness through Energy Efficiency

Energy-efficient agricultural irrigation systems can increase the competitiveness of farmers. Lower energy costs allow farmers to develop a more flexible pricing policy. Thanks to energy efficient systems, farmers who can keep their production costs under control can be more competitive in terms of market prices. This allows them to gain more market share in both local and global markets.

Furthermore, energy efficient irrigation systems enhance the quality of crops and make them more demandable for farmers. The relationship between irrigation efficiency and plant growth leads to obtain quality crops, which in turn increases the value of farmers in the market [1].

3.2 Energy Efficiency and Improvement Methods

3.2.1 Technological Developments to Improve Pump Efficiency

Energy efficiency is an important factor for the sustainability of agricultural irrigation systems, especially in developing countries. Various technological developments have been experienced in recent years to increase energy efficiency in pump systems. These developments have helped farmers to reduce energy costs while enabling pump systems to operate more efficiently. Some of the methods used to increase the energy efficiency of pump systems are as follows:

Variable speed drives (VSDs): Variable speed drives (VSDs) allow pump systems to adjust their speed based on water demand. The use of VSDs prevents pumps from running at unnecessarily high speeds, which saves energy. For example, when the water demand of the irrigation area decreases, the VSD system reduces energy consumption by lowering the pump speed. VSD can improve energy efficiency by 25% to 60%, resulting in significant cost savings in the long run [6]. Figure 4 shows the energy savings with VSD. Figure 5 shows a comparison of the amount of power used by controlling the valve with VSD.

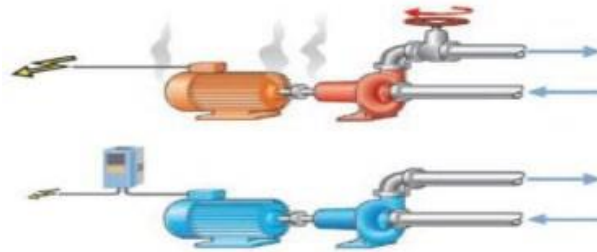


Figure 4. Energy Saving Principle through VSD Speed Adjustment

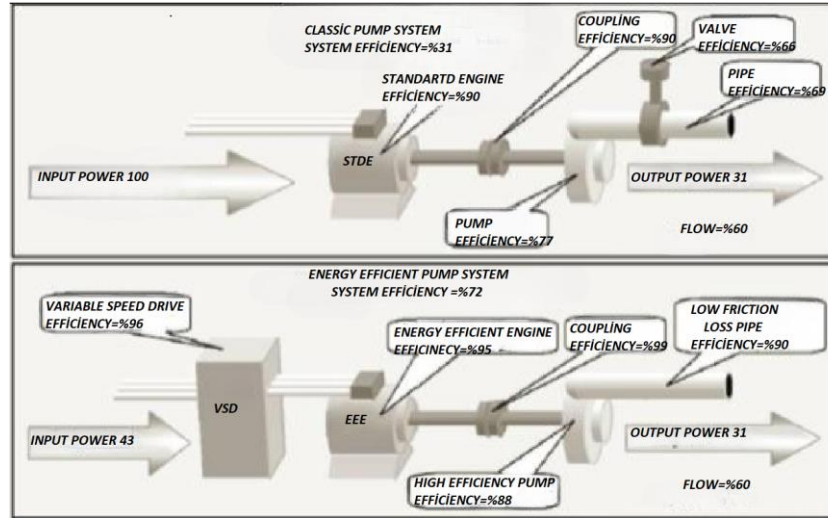


Figure 5. Comparison of Energy Consumption of Conventional Pump System and Pump System with VSD

Energy efficient motors and high-efficiency pumps: The efficiency of pump motors has a major impact on overall system efficiency. High-efficiency motors and pumps provide the same performance by using less energy. Modern motors ensure efficient operation of pump systems while minimizing energy losses. The right choice of pump and motor combination plays an important role in improving system efficiency [4].

Pump maintenance and monitoring systems: Regular maintenance and optimization of pump systems is critical to improve energy efficiency. Wear of pump vanes and other components leads to loss of efficiency. Therefore, automatic monitoring systems that monitor pump performance are beneficial to prevent energy losses [7]. In addition, pump systems need to be properly calibrated and adjusted in accordance with the operating conditions.

Feedback systems: After pumping water, it is important to recover and reuse excess water to ensure energy efficiency.

3.3 Integration of Modern Irrigation Systems

The types of pumps and energy efficiency used in agricultural irrigation systems, combined with modern irrigation technologies, can give more effective and efficient results. Smart irrigation systems optimize the irrigation process with sensors and automation technologies. Such systems enable more efficient use of water and energy.

3.3.1 Smart Irrigation Systems

Smart irrigation is supported by sensors that monitor soil moisture and weather conditions. These systems determine irrigation needs in real time and ensure that only the right amount of water is used. This method significantly reduces both energy and water consumption.

Soil moisture sensors measure moisture levels in the soil and determine the need for irrigation. These sensors can be used to optimize irrigation schedules. Weather sensors measure temperature, humidity, wind speed and precipitation. This data is used to determine irrigation needs. Soil temperature sensors measure soil temperature, which can change the water requirements of the plants. Collecting and analyzing this data improves irrigation system efficiency. Data collected by sensors is transmitted to cloud-based platforms or local data centers for analysis. These analyses are processed by algorithms and software that drive irrigation decisions. In smart irrigation systems, machine learning algorithms and artificial intelligence can be used to make more accurate predictions. For example, irrigation schedules can be more accurately determined by taking into account factors such as weather data and soil moisture.

Smart irrigation systems automatically control the irrigation unit. Many systems automate the irrigation process by connecting to this controller. These units also provide the ability to remotely control the irrigation system. Smart irrigation systems provide remote monitoring and control. Using smartphones or computers, farmers can monitor the irrigation system, view data and take action when necessary. Smart irrigation systems reduce unnecessary water use by accurately measuring the water requirements of the plants. This ensures that water is used efficiently and prevents water waste. As a result, it helps conserve water resources. In conventional irrigation systems, pumps and motors run continuously. However, smart irrigation systems operate only when needed, reducing energy consumption. Smart irrigation systems increase efficiency by providing irrigation conditions that best meet the needs of the plants. This results in healthier plants and higher crop yields.

Smart irrigation systems save farmers labor and time by automating the irrigation process. Farmers are freed from manually performing many tasks related to the irrigation process. Smart irrigation systems prevent the soil from receiving excess water during irrigation. This helps prevent soil erosion and salinity. Smart irrigation systems allow farmers for monitoring irrigation processes remotely. This feature allows to monitor the proper functioning of the irrigation system and makes a quick intervention in case of emergency.

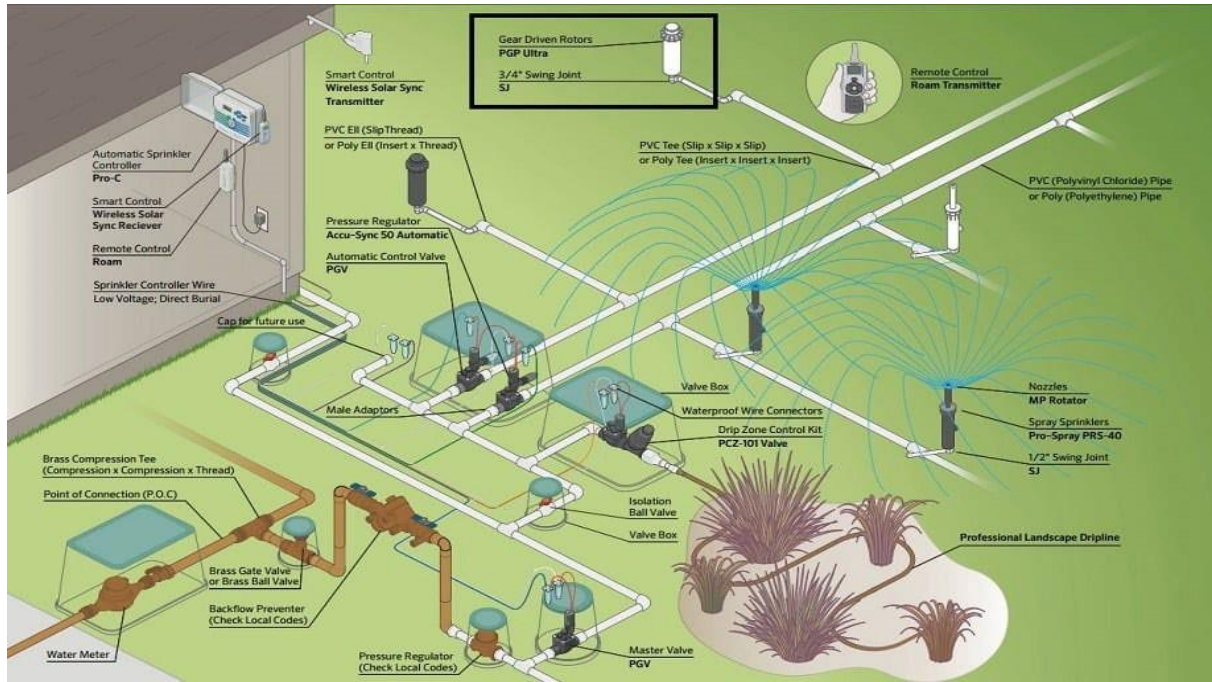


Figure 6. Scheme of smart irrigation system

3.3.2 Drone Technology and Remote Monitoring

Drones are effectively used in agriculture to monitor irrigation processes. They enable remote monitoring of large agricultural areas, ensuring efficient operation of irrigation systems and preventing water loss. They use advanced sensors to analyze soil moisture, plant health, and environmental conditions. With this data, irrigation is applied only where it is needed and at the right time. Targeted irrigation avoids excessive energy consumption by using water and energy only where it is needed. This makes irrigation more efficient and reduces energy costs. Drones monitor irrigation needs in real time and determine when irrigation is needed in a given area. Optimal irrigation schedules increase energy efficiency since pumps are operated only when needed and excess energy waste is avoided. Drones can quickly detect blockages or malfunctions in irrigation systems. This prevents a malfunctioning irrigation system from wasting energy. Drones can also identify areas where water is not being distributed evenly, allowing irrigation equipment to be used more efficiently. Remote monitoring is often used in combination with satellite imagery, sensors and weather data. These technologies make irrigation decisions more accurate and eliminate unnecessary energy use. With remote monitoring, irrigation is applied at the right place and time to ensure optimal use of energy and water.

Remote monitoring systems continuously monitor weather data and adjust irrigation schedules based on rainfall forecasts. This avoids additional irrigation after natural rainfall and saves energy. Data obtained from remote monitoring is analyzed to optimize energy consumption. This ensures that pumps and irrigation systems are operating properly, avoids unnecessary energy consumption,

and makes irrigation operations more efficient. Figure 7 shows agricultural irrigation using drone technology and remote monitoring.



Figure 7. *Irrigation with drone technology*

3.4 Points to Consider in Pump Selection

Points to consider in pump selection include a number of factors that have a direct impact on the effectiveness and efficiency of agricultural irrigation systems. First, basic parameters such as system suction depth, the head of the pump and desired flow rate should be clearly defined. These parameters are directly related to the intensity of irrigation practices and the topographical characteristics of the land; therefore, pump selection should be carefully evaluated together with the characteristics of the water source.

The choice of pump type is also important in terms of energy efficiency. Since energy consumption is a factor that directly affects the cost of agricultural irrigation, pump efficiency is closely related to the economics of any irrigation system. Selecting pumps with high efficiency ratings will help reduce energy costs in the long run. Pump efficiency classifications are usually based on pump efficiency standards (such as IE3, IE4) for electric pumps, and choosing according to these standards is a critical step in both saving energy and reducing environmental impact [15]. In addition, pump materials and design should also be considered. In particular, the chemical and physical properties of the water to be worked in play a decisive role in the material selection of the pump.

For example, corrosion-resistant materials should be preferred, especially in systems operating with saline or acidic water sources. All of these factors suggest the need for a multi-faceted analysis in the pump selection process; not just a short-term solution, but a long-term strategy to create a sustainable and efficient agricultural irrigation system. Choosing the right pump is therefore a critical element in terms of both economic impacts and ecosystem health.

3.4.1 Determination of Flow and Pressure Requirements

To increase the efficiency and sustainability of irrigated agriculture activities, accurately determining flow and pressure requirements is a critical step in irrigation system design. Flow refers to the rate at which water passes through a point in a given period of time, while pressure refers to the force that causes water to move through a system. Both have a direct effect on the performance of the irrigation system. The required flow rate depends on various factors such as the size of the agricultural land, plant species, the topography and the climatic conditions. Therefore, these parameters should be considered in order to provide sufficient water.

In addition to determining flow requirements, it is important to accurately estimate the pressure requirements of the irrigation system. The relevant pressure can be calculated based on the elevation at which the water enters the irrigation system and the irrigation method to be used (e.g., drip irrigation, sprinkler). Each method has its own specific pressure range and requirements, which are a critical element to consider in the system design process. For example, lower pressure levels are preferred for drip irrigation systems, while higher pressure levels may be required for sprinkler systems. Therefore, it is important to take an integrated approach so that both flow and pressure calculations are performed in a harmonized manner.

A detailed analysis of flow and pressure requirements is also effective in selecting the most appropriate pump type and increasing energy efficiency. At this stage, assessing available water resources and minimizing potential losses plays a critical role. In addition, integrating the right sensors and automation systems to manage the variability found in agricultural land optimizes both flow and pressure control [16].

3.4.2 Efficiency and Energy Consumption

Efficiency and energy consumption are critical to the sustainability and economic effectiveness of agricultural irrigation systems. While irrigation pump systems play an effective role in delivering water to agricultural areas, they also contribute to environmental impacts through their energy consumption. Pump efficiency defines how efficiently a pump moves water with a given energy consumption. Pumps with high efficiency consume less energy while delivering a given flow rate, which reduces operating costs. Energy efficiency is often directly related to the design, operating conditions and maintenance processes of the pump system. For example, correct sizing of the system, optimum selection of pump types and regular maintenance practices are important steps in reducing energy consumption [17].

Another important factor affecting energy consumption is whether or not the operating point of the pump system is within the pump's most efficient operating range. Ideally, the pump should operate in accordance with the efficiency curves provided by the manufacturer. Otherwise, the pump may operate at both low efficiency and overload, resulting in both energy loss and wear on the system. In addition, the design of the piping and fittings used in the system is one of the factors affecting energy losses. Low-resistance piping and appropriate diameters optimize water flow, reducing pump workload and helping to make more efficient use of energy resources.

In conclusion, the efficiency of pumps in agricultural irrigation is of great importance for both economic and environmental sustainability. In this context, minimizing energy consumption has the potential to increase agricultural productivity and business profitability.

For farm managers and irrigation professionals, identifying strategies to improve energy efficiency is a critical step to improve the overall performance of irrigation systems. Therefore, there has been an increasing tendency in the agricultural sector towards innovative solutions such as sensor-based automation systems, monitoring and control technologies to achieve high efficiency and low energy consumption [18].

3.4.3 Measures that can be Taken to Increase Energy Efficiency

Measures that can be taken to improve energy efficiency are critical to ensuring the sustainability of agricultural irrigation systems. These measures aim to reduce both energy consumption and to make use of water resources efficiently. First, it is necessary to focus on the design and modernization of irrigation systems. Old and inefficient pump systems should be replaced with integrated pump systems using energy-efficient electric motors and frequency converters. Such systems can be adjusted according to the required water flow and pressure, minimizing unnecessary energy consumption.

In addition, optimizing irrigation timing is an important factor in improving energy efficiency. Smart irrigation technologies can be integrated with soil moisture sensors and weather forecasting systems to more accurately determine irrigation needs. This saves both water and energy. The use of renewable energy sources is also important. Pumps powered by solar or wind energy reduce reliance on fossil fuels, lower operating costs, and reduce environmental impact.

Physical characteristics of agricultural lands such as topography and soil structure are also factors that affect the efficiency of irrigation systems. Therefore, proper analysis of the land and selection of appropriate irrigation techniques are essential to avoid energy losses. In addition, the

implementation of regular maintenance and control procedures to ensure proper operation of the system is another factor that increases energy efficiency. In this context, training operators, raising awareness about energy efficiency and promoting the right practices will lead to results that increase efficiency in agricultural irrigation [19].

4. CONCLUSION

This study examined the critical role of pump selection and energy efficiency in agricultural irrigation systems and analyzed the performance of different pump systems in different irrigation scenarios. The results clearly show that the selection of highly energy-efficient pumps provides significant economic and environmental benefits. As a result of the analysis, high-efficiency pumps were found to provide 15-30% lower energy consumption compared to conventional pumps. In particular, pumps equipped with VFDs can reduce the overall energy consumption of the irrigation system by 20% compared to pumps operating at constant speed. In addition, the inverse relationship between pump efficiency and energy consumption indicates that errors in the design phase of the system should be reduced. The study revealed that for every 1 kWh of energy saving, irrigation costs are reduced by 5-8%. In addition, data from field studies in different irrigation areas show that pump selection has a direct impact on irrigation efficiency. In the application examples, it was observed that irrigation efficiency increased by 10-15% and water use efficiency increased by up to 20% with the right pump selection.

These results show that pump systems with high energy efficiency not only provide cost advantage, but also allow for more efficient use of water. Technologies that increase system efficiency play an important role in irrigation management. In particular, the integration of automation and remote monitoring systems has enabled more precise management of irrigation processes and reduced water losses by 25%. At the same time, these technologies make it possible to monitor and optimize the performance of pump systems, significantly reducing maintenance requirements.

Recommended strategies to improve energy efficiency are:

- Use of high-efficiency pump systems.
- Integration of smart irrigation technologies.
- Use of renewable energy sources.
- Ensuring pump maintenance and optimization.

Implementation of these strategies increases the efficiency of agricultural production and reduces operating costs. It also ensures the widespread use of sustainable agricultural practices.

In conclusion, proper pump selection is critical to increasing energy efficiency and reducing costs in agricultural irrigation systems. The results of the study show that the potential for increasing energy efficiency in the agricultural sector is quite high and investments in this area will provide economic benefits in the long run. In addition, the introduction of incentive arrangements for energy efficiency in irrigation systems by policymakers and raising awareness among farmers will be an important step for a more sustainable and efficient agriculture.

CONFLICTS OF INTEREST

No conflict of interest was declared by the authors.

DECLARATION OF ETHICAL CODE

In this study, the authors undertake that they comply with all the rules within the scope of the “Higher Education Institutions Scientific Research and Publication Ethics Directive” and that they do not take any of the actions under the heading “Actions Contrary to Scientific Research and Publication Ethics” of the relevant directive.

AUTHORS’ CONTRIBUTIONS

Fatih KOÇYİĞİT: Writing-original draft preparation, data collection, data curation, visualization. Reşit AZİZOĞLU: Conceptualization, methodology, validation, analysis, writing-review and editing, supervision.

REFERENCES

- [1] M. Rodrigues, P. Silva, and S. Silva, “Sustainable Water Use in Agriculture: The Importance of Efficient Irrigation Systems,” *Agricultural Water Management*, vol. 177, pp. 73-82, 2016.
- [2] M. Kaviani, S. Sadeghi, and M. Ghaffari, “Energy Efficiency in Irrigation Pumping Systems,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 56, pp. 35-44, 2020.
- [3] V. Belessiotis, A. Mavridis, and S. Gakis, “Energy Efficiency and Sustainability in Agricultural Irrigation: A Review of Recent Advances,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 101, pp. 34-52, 2019.
- [4] C. D. S. Neto, M. F. D. Silva, and M. A. D. Silva, “Pump Selection and Energy Efficiency in Agricultural Irrigation”. *Renewable Energy*,” vol. 122, pp. 232-242, 2018.
- [5] J. Xu, X. Liu, and Z. Zhang, “Optimization of Pumping Systems in Agricultural Irrigation,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 17-29, 2021.
- [6] S. Mahdavi, E. Sahraei, and M. Yazdanpanah, “Smart Irrigation Systems for Water Conservation and Energy Efficiency,” *Environmental Engineering Research*, vol. 23, no. 2, pp. 163-174, 2018.

- [7] X. Zhou, Q. Yang, and H. Li, “Renewable Energy in Irrigation Systems: A Case Study of Solar-Powered Irrigation Systems,” *Sustainability*, vol. 12, no. 5, pp. 1402-1415, 2020.
- [8] I. Tirogo, “Effect of different tilt angles on the performance of the different PV panels in Pouytenga, Burkina Faso,” *Wapprime*, vol. 1, no. 1, pp. 45-56, 2024.
- [9] V. B. Shinde, and S. S. Wandre, “Solar photovoltaic water pumping system for irrigation: A review,” *African Journal of Agricultural Research*, vol. 10, no. 22, pp. 2267-2273, 2015.
- [10] S. M. Wazed, B. R. Hughes, D. O’Connor and J. K. Calautit, “A review of sustainable solar irrigation systems for Sub-Saharan Africa,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1206-1225, 2018.
- [11] S. Khattak, M. Yousif, S. U. Hassan, M. Hassan, and T. A. Alghamdi, “Techno-economic and environmental analysis of renewable energy integration in irrigation systems: A comparative study of standalone and grid-connected PV/diesel generator system in Khyber Pakhtunkhwa,” *Heliyon*, vol. 10, no. 10 pp. e31025 2024.
- [12] E. K. Ünal, “Analytical and numerical investigation of viscous heating in parallel-plate Couette flow,” *Wapprime*, vol. 1, no. 1, pp. 57–69, 2024.
- [13] M. Erdoğan, and M. Ş. Acar, “Thermodynamic analysis of a tunnel biscuit oven and heat recovery system,” *Wapprime*, vol. 1, no. 1, pp. 1-15, 2024.
- [14] A. E. Akan, and F. Ünal, “An application to error and uncertainty analysis in industrial type dryer experiments,” *Turkish Journal of Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 75–80, 2021.
- [15] E. Ayder, and U. Kalmanoğlu, *Türbosan Pump and Pump Systems*. Pump Handbook. (2017). Accessed: Apr. 16, 2025. [Online]. Available: [Chromeextension://efaidnbmnribpcajpcglclefindmkaj/https://turbosan.com/pdf/pompaelkitabi.pdf](https://turbosan.com/pdf/pompaelkitabi.pdf).
- [16] G. K. Şenol, and C. Karakuş, “Energy Saving Applications in Pumps and Pumping Systems,” *Engineer and Machinery*, vol. 58, no. 687, pp. 1-16, 2017.
- [17] B. Çakmak, and S. Avcı, “Water Saving and Irrigation Water Pricing Approaches in Agriculture,” *Nevsehir Journal of Science and Technology*, vol. 6, pp. 198-206, 2017.
- [18] V. Demir, H. Yürdem, and T. Günhan, “Computer Aided Determination of Characteristic Values of Pumps Used in Agricultural Irrigation in Laboratory Conditions,” *Journal of Agricultural Machinery Science*, vol. 5, no. 2, pp. 223-234, 2009.
- [19] H. Geller, P. Harrington, A. H. Rosenfel, S. Tanishima and F. Unander, “Policies for increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries,” *Energy Policy*, vol. 34, no. 5, pp. 556-573, 2006.



Araştırma Makalesi / Research Article

Diyarbakır Ovasında Çok Kriterli Karar Verme Modeli ve CBS Entegrasyonu ile Yeraltı Barajı Yer Seçimi

Subsurface Dam Site Selection in the Diyarbakır Plain Using Multi-Criteria Decision-Making Model and GIS Integration

Melis ARCA ^{1,*} , Recep ÇELİK ²

¹ Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 21280, Diyarbakır, Türkiye

² Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

<https://doi.org/10.55007/dufed.1684987>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 27 Nisan 2025

Revize, 12 Mayıs 2025

Kabul, 13 Mayıs 2025

Online Yayınlama, 29 Mayıs 2025

Anahtar Kelimeler

AHP yöntemi, Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), Çok kriterli karar verme (ÇKKV), TOPSIS yöntemi, Yeraltı barajı

ARTICLE INFO

Article History

Received, 27 April 2025

Revised, 12 May 2025

Accepted, 13 May 2025

Available Online, 29 May 2025

Keywords

Analytic hierarchy process (AHP), Geographic information systems (GIS), Multi-criteria decision-making (MCDM), Technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS), Groundwater dam

ÖZ

Bu çalışmanın temel amacı, Diyarbakır Ovası'nda yeraltı barajı inşasına uygun alanları belirlemek amacıyla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) gibi çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre biçimde uygulanmasıdır. Küresel ölçekte artan su talebi ve mevcut kaynakların sürdürülebilir yönetimi, özellikle yarı kurak bölgelerde alternatif su depolama çözümlerine olan ilgiyi artırmıştır. Yeraltı barajları, bu kapsamda buharlaşma kaybını azaltan ve çevresel etkisi düşük yapılar olarak öne çıkmaktadır. Çalışmada, yeraltı barajı yer seçimi için 11 parametre belirlenmiş ve raster veri formatında CBS ortamında işlenmiştir. Parametreler, 3-6-9 puanlama sistemi ile sınıflandırılmış, AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve tutarlılık oranı kontrol edilmiştir. TOPSIS yöntemi kullanılarak her bölgenin uygunluk skorları hesaplanmış ve alanlar “en uygun”, “orta uygun” ve “uygun değil” şeklinde sınıflandırılmıştır. Sonuçlar, özellikle alüvyonal zeminlerin yoğunlaştığı, eğimin düşük ve yüzey su kaynaklarına yakın bölgelerin yüksek uygunluk skorlarına sahip olduğunu göstermiştir. Bu yöntem, sürdürülebilir su yönetimi planlamaları için etkili bir karar destek aracı sunmaktadır.

ABSTRACT

The primary aim of this study is to identify suitable areas for groundwater dam construction in the Diyarbakır Plain by integrating multi-criteria decision-making (MCDM) methods such as the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) with Geographic Information Systems (GIS). The globally increasing demand for water and the need for sustainable management of existing resources have heightened interest in alternative water storage solutions, particularly in semi-arid regions. Groundwater dams, in this context, stand out as structures that minimize evaporation

***Sorumlu Yazar**

E-posta Adresleri: meliskarakas21@gmail.com (Melis ARCA), recep.celik@dicle.edu.tr (Recep ÇELİK)

losses, have low environmental impact, and offer high sustainability. In the study, 11 parameters were identified for groundwater dam site selection and processed in GIS environment using raster data format. The parameters were classified using a 3-6-9 scoring system, weighted through the AHP method, and checked for consistency. Using the TOPSIS method, suitability scores for each region were calculated, and the areas were classified as “most suitable,” “moderately suitable,” and “unsuitable”. The results indicate that areas with intensive alluvial soils, low slope, and proximity to surface water sources have higher suitability scores. This integrated method offers an effective decision support tool for sustainable water management planning.

1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus, kentleşme, endüstrileşme ve iklim değişikliği gibi etkenler, dünya genelinde su kaynaklarının miktarını ve kalitesini doğrudan etkilemektedir. Özellikle yarı kurak ve kurak iklim bölgelerinde su stresi ciddi boyutlara ulaşmıştır. Türkiye gibi yarı kurak iklim kuşağında yer alan ülkelerde, su kaynaklarının sürdürülebilirliği yalnızca çevresel bir mesele değil; aynı zamanda tarımsal üretim, halk sağlığı, sanayi ve enerji politikaları açısından stratejik bir konu haline gelmiştir. Bu bağlamda, klasik yüzey barajlarının ötesine geçen alternatif su yönetimi çözümlerine duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır.

Bu alternatiflerden biri olan yeraltı barajları, buharlaşma kaybı olmaksızın suyun depolanmasına, doğal zemin filtrasyonu sayesinde su kalitesinin korunmasına ve çevresel etkilerin en aza indirilmesine olanak sağlayan yapılardır. Özellikle yüzey akışının düzensiz olduğu bölgelerde, geçirimsiz bir bariyer aracılığıyla suyun yeraltında tutulmasını hedefleyen bu yapılar; yüzey rezervuarlarına göre daha az alan kaplamakta, daha uzun ömürlü olmakta ve doğal çevreyle daha uyumlu bir çözüm sunmaktadır.

Ancak yeraltı barajlarının planlanması, çok sayıda doğal ve beşerî faktörün birlikte değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir süreçtir. Jeolojik yapılar (özellikle geçirgenlik düzeyleri), zemin türü (kil, kum, çakıl), topoğrafik eğim, yağış rejimi, su kaynaklarının mekânsal dağılımı (akarsular ve yeraltı su seviyeleri), fay hatlarına yakınlık, arazi kullanım biçimi (tarım, yerleşim, ormanlık alan) ve akifer türü (basınçlı, serbest, karstik vb.) gibi çok sayıda parametre bu süreçte dikkate alınmalıdır.

Bu denli çok boyutlu karar alanlarında, karar vericilere nesnel bir yol haritası sunmak amacıyla çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve TOPSIS gibi yöntemler, hem nicel hem nitel verileri birlikte değerlendirme imkânı sunarak, mekânsal planlama süreçlerinde güçlü bir karar destek mekanizması sağlamaktadır. Saaty (1980) tarafından geliştirilen AHP yöntemi, karar vericilerin öznel

değerlendirmelerini ikili karşılaştırmalar yoluyla sayısallaştırmakta ve tutarlılık kontrolü gerçekleştirmektedir [1]. Malczewski (1999), AHP'nin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegrasyonunun arazi uygunluk analizleri ve mekânsal karar destek süreçlerinde etkili bir yaklaşım sunduğunu vurgulamıştır [2].

Son yıllarda bu yöntemlerin hidrojeoloji ve su kaynakları planlaması alanlarında kullanım alanı genişlemiştir. Örneğin Vashist ve Singh (2024), Hindistan'daki Krishna Nehri havzasında AHP tabanlı taşkın riski haritalaması yaparak, hidrolojik ve topografik faktörleri birlikte değerlendirmiştir [3,4]. Benzer şekilde, Getachew (2019) eğitim yapılarının yer seçimi sürecinde GIS ve TOPSIS yöntemlerini bir araya getirerek, mekânsal kararların doğruluk ve güvenilirliğini artırmıştır [5].

TOPSIS yöntemi ise ideal çözüme yakınlık prensibine dayalı olarak alternatiflerin en uygun olanlarını objektif biçimde belirlemeye olanak sağlamaktadır. Bu yöntem, AHP ile elde edilen kriter ağırlıklarıyla birlikte kullanıldığında, güçlü ve tutarlı bir karar destek yapısı ortaya çıkarmaktadır. Böylece çok sayıda parametreye dayalı mekânsal veriler haritalandırılarak görselleştirilebilmekte ve yorumlanabilmektedir.

Bu çalışmada, literatürde yaygın olarak kullanılan CBS tabanlı çok kriterli değerlendirme yaklaşımı Diyarbakır Ovası özelinde uygulanmıştır. Bu kapsamda 11 farklı parametre CBS ortamında raster veri formatında işlenmiş, AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmış ve TOPSIS yöntemi aracılığıyla her piksel için uygunluk skoru hesaplanmıştır. Parametreler arasında yeraltı su seviyesi, zemin yapısı, eğim, yağış, akifer türü, alüvyon varlığı ve iletkenlik gibi hidrojeolojik değişkenlerle birlikte, arazi kullanımı ve yerleşim alanlarına uzaklık gibi sosyo-mekânsal faktörler bütüncül şekilde değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın amacı yalnızca yeraltı barajı için uygun alanları belirlemekle sınırlı değildir. Aynı zamanda, çok kriterli karar verme yöntemlerinin ve CBS teknolojilerinin su kaynakları planlamasına nasıl entegre edilebileceğini göstermeyi ve karar vericilere bilimsel, görsel ve pratik bir rehber sunmayı hedeflemektedir.

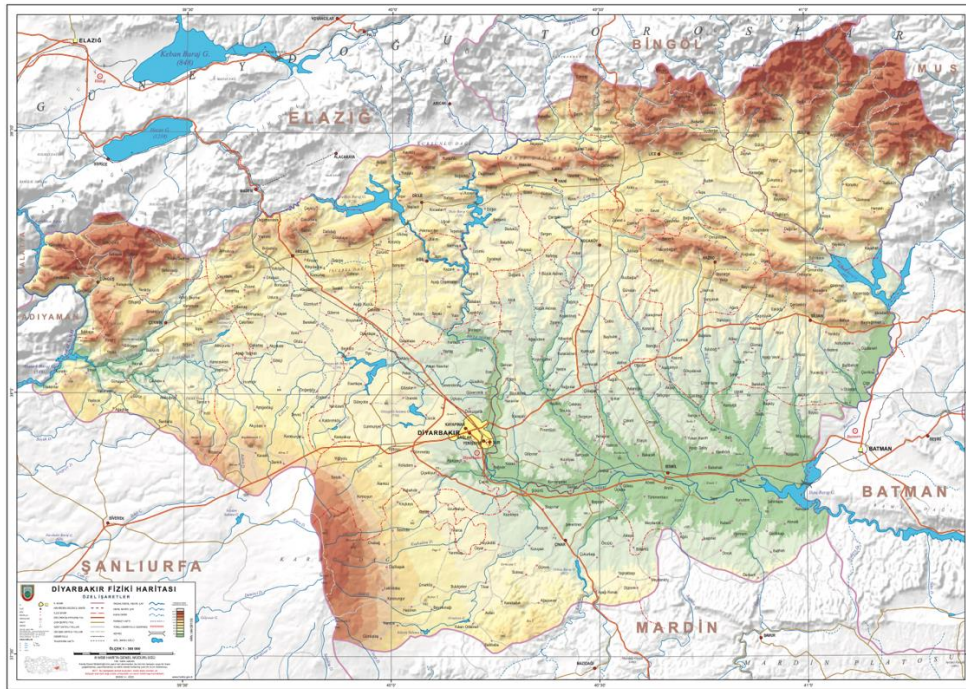
2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegre edilen çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak Diyarbakır Ovası'nda yeraltı barajı için en uygun alanlar belirlenmiştir. Analiz sürecinde, AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi ile kriterlerin ağırlıkları belirlenmiş, ardından TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ile her alan için uygunluk skoru hesaplanmıştır.

2.1 Çalışma Alanı

Diyarbakır Ovası, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin en önemli tarımsal üretim alanlarından biridir. Yarı kurak iklim koşullarının hüküm sürdüğü bu bölgede, yılın büyük bir bölümünde sulama gereksinimi bulunmaktadır. Tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu ovada mevcut geleneksel su yapıları, özellikle yaz aylarında su ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, su kaynaklarının daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilmesi için alternatif yöntemlerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yeraltı barajları, bu bağlamda buharlaşma kayıplarını minimize eden, çevresel etkileri düşük ve uzun vadeli su güvenliği sağlayabilen yapılar olarak Diyarbakır Ovası için uygulanabilir bir çözüm alternatifi sunmaktadır. Şekil 1'de Diyarbakır Ovası çalışma alanının sınırları, akarsu sistemleri ve yerleşim bölgeleri genel coğrafi bağlam içinde sunulmuştur. Bu harita, analiz yapılan raster alanları görselleştirmek açısından temel bir referans sağlamaktadır.



Şekil 1. Diyarbakır Ovası Çalışma Alanı Haritası

2.2 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), karmaşık karar verme problemlerini hiyerarşik bir yapıya dönüştürerek her kriterin görelî önemini belirlemeye olanak tanıyan nicel bir yöntemdir (Saaty, 1980). AHP'de karar vericiler kriterleri ikili karşılaştırmalar yoluyla değerlendirir ve bu karşılaştırmalar sonucunda özdeğer yaklaşımıyla ağırlık katsayıları (w) hesaplanır. Bu katsayılar, karar vericinin her bir

kriteri diğerine göre ne ölçüde önemli bulunduğunu yansıtır. Süreç sonunda tutarlılık oranı (Consistency Ratio, CR) hesaplanarak yapılan değerlendirmelerin tutarlılığı test edilir. $CR \leq 0.10$ olması durumunda ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu kabul edilir [1].

Bu çalışmada, yeraltı barajı yeri seçiminde etkili olduğu literatürde sıkça vurgulanan toplam 11 parametre (eğim, jeoloji, zemin, su kaynaklarına yakınlık vb.) dikkate alınmış ve her biri AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. Uzman görüşleriyle oluşturulan ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak kriterlere ait ağırlıklar elde edilmiş ve bu ağırlıklar raster veriye entegre edilerek parametre haritaları oluşturulmuştur.

2.3 TOPSIS Yöntemi

Teknik olarak "İdeale Yakınlıkla Sıralama" anlamına gelen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), karar verilecek alternatiflerin pozitif ideal çözüme (en iyi değer) en yakın ve negatif ideale (en kötü değer) en uzak olmasına dayanır. Yöntem aşağıdaki adımları içermektedir:

- Karar Matrisi Oluşturulması: Alternatiflerin her bir kritere göre aldığı değerler matris şeklinde düzenlenir.
- Normalize Edilmiş Karar Matrisi: Farklı birimlerdeki değerlerin karşılaştırılabilir hale gelmesi için normalize edilir.
- Ağırlıklı Normalize Matris: Her bir kriter değeri, o kritere ait AHP ağırlığı ile çarpılarak hesaplanır.
- Pozitif ve Negatif İdeal Çözüm Değerleri: Her kriter için en iyi (max) ve en kötü (min) değerler belirlenir.
- Uzaklıkların Hesaplanması: Her alternatifin pozitif ve negatif çözüme olan uzaklığı Öklidyen mesafeyle hesaplanır.
- TOPSIS Skorunun Hesaplanması: Alternatifin pozitif çözüme yakınlığı, toplam uzaklıkların oranı ile belirlenir.

TOPSIS yöntemi, özellikle çok sayıda parametre içeren mekânsal analizlerde tercih edilmekte ve CBS tabanlı karar destek sistemleriyle birlikte kullanıldığında, uygunluk derecelerini mekânsal olarak görselleştirmeye olanak tanımaktadır.

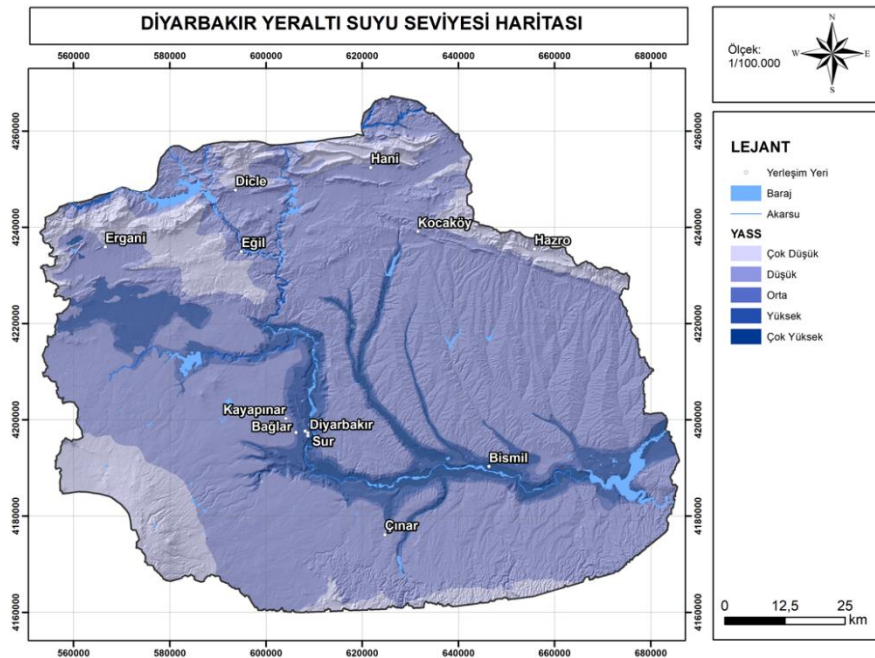
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 Kullanılan Veriler ve Parametreler

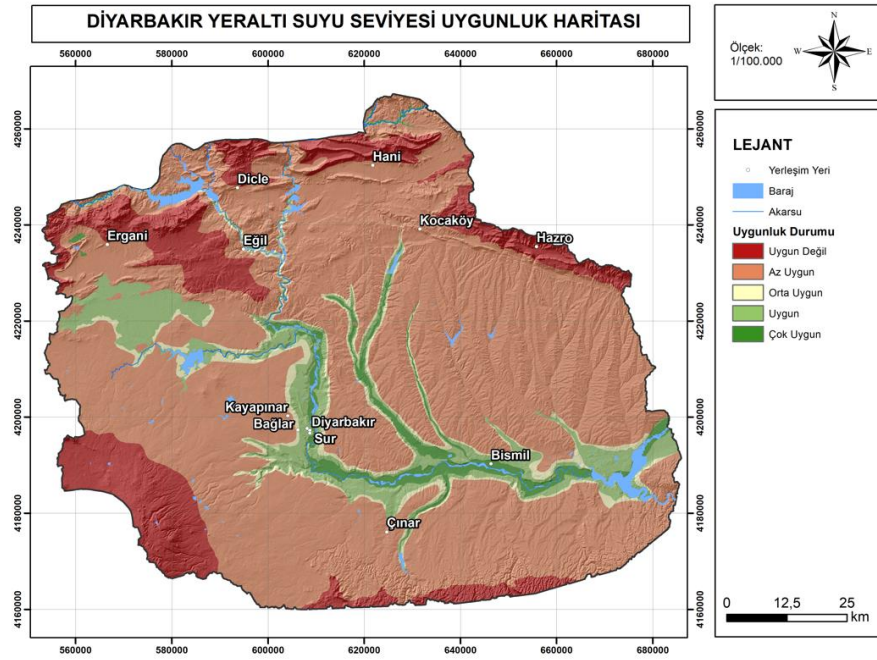
3.1.1 Yeraltı Su Seviyesi

Yeraltı su seviyesinin yüksekliği, yeraltı barajlarının dolum süresi üzerinde doğrudan etkili olup, özellikle kurak ya da yarı kurak bölgelerde bu tür yapıların etkinliği açısından kritik bir parametredir. Yüzeye çok yakın olan yeraltı suları, barajın hızlı dolumunu sağlasa da, bu durum aynı zamanda yapısal stabilite açısından risk oluşturabilir. Örneğin, yüzeye çok yakın su seviyeleri sızma, yüzey doygunluğu ve zeminin taşıma kapasitesinde azalma gibi olumsuz etkiler yaratabilir. Bu durum, özellikle mühendislik yapılarının planlamasında zemin güvenliği açısından dikkatle değerlendirilmelidir. Diğer yandan, su seviyesinin çok derinde olması, barajın verimli çalışmasını engelleyebilir; çünkü suyun yeraltında taşınması ve depolanması zorlaşır, dolum süresi uzar ve maliyetler artar.

Genel kabul gören yaklaşım, yeraltı su seviyesinin orta derinlikte olduğu alanların yeraltı barajı inşası için daha uygun olduğudur. Bu tür alanlar hem hızlı dolum kapasitesi sağlar hem de mühendislik açısından daha az risk içerir [5]. Çalışma kapsamında, Diyarbakır ili özelinde yeraltı su seviyesi dağılımı analiz edilmiş ve uygunluk kriterlerine göre sınıflandırılmıştır. Yeraltı Su Seviyesi parametresinin doğal dağılımı Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2 ve Şekil 3, yeraltı su seviyesinin mekânsal dağılımını ve uygunluk derecelerini göstermektedir. Özellikle orta derinliğe sahip alanların yeraltı barajı için daha elverişli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. Diyarbakır İli Yeraltı Su Seviyesi Haritası



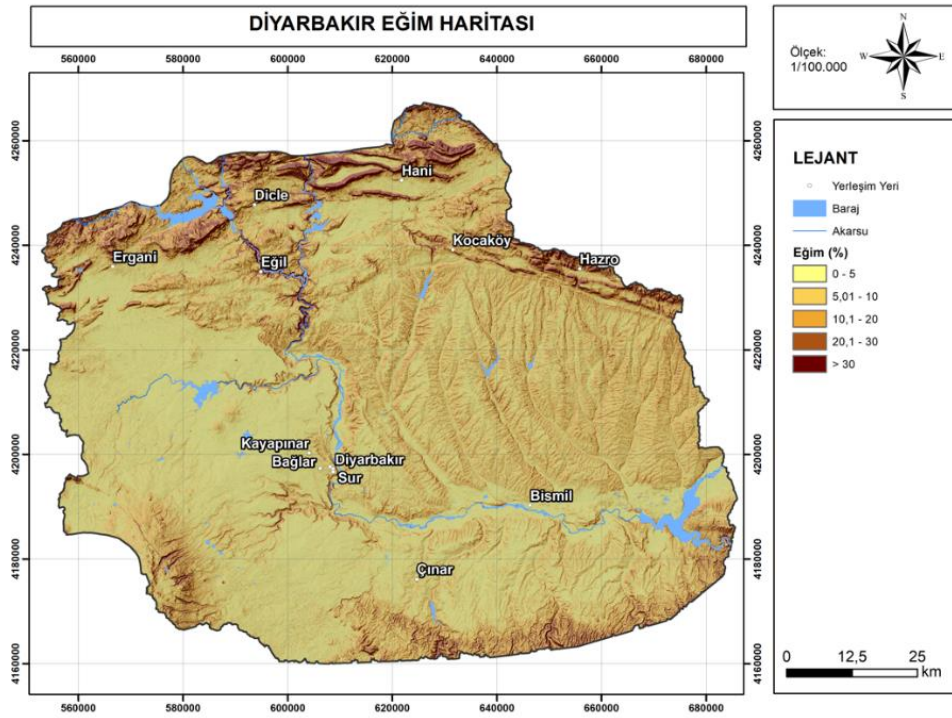
Şekil 3. Diyarbakır Yeraltı Su Seviyesi Parametresi Uygunluk Haritası

3.1.2 Eğim

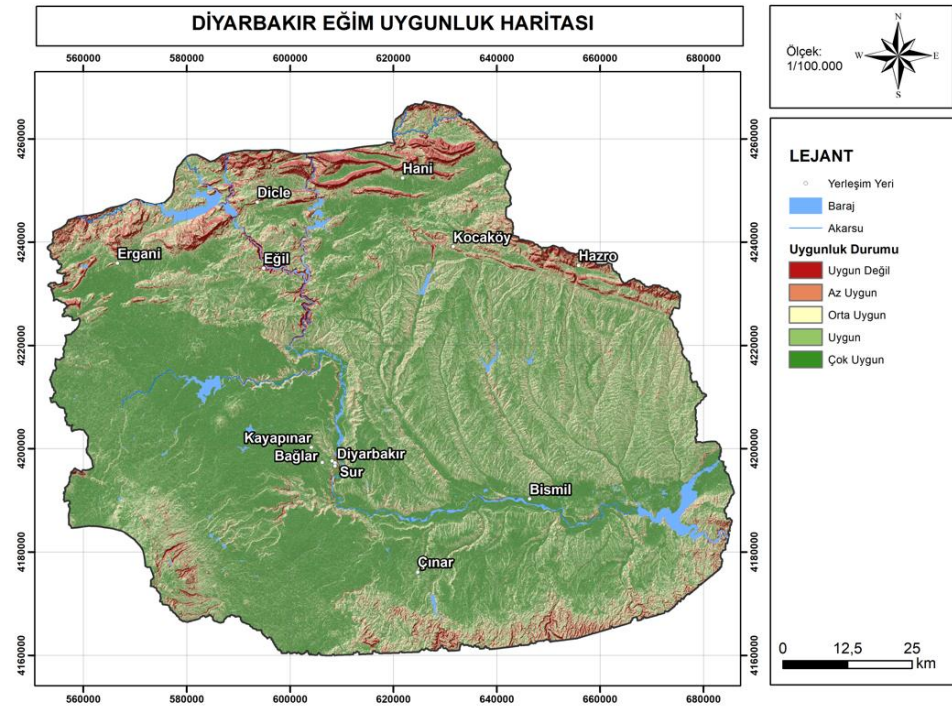
Resim Eğim, bir arazinin yatay düzleme göre eğiklik derecesini ifade eder ve yeraltı barajı yer seçiminde kritik öneme sahiptir. Düşük eğimli alanlar ($\sim 0-3^\circ$), yüzey akış hızını azaltarak suyun zemine sızması ve yeraltı suyunun beslenmesi için daha uygun koşullar sağlar. Bu bölgelerde yeraltı barajları suyu daha uzun süre tutabilir, bu da suyun depolanması açısından avantaj yaratır. Özellikle ova tabanlarında yer alan düşük eğimli alanlar, barajların yapısal istikrarı ve su toplama kapasitesi açısından tercih edilmektedir.

Orta eğimli alanlar ($3-6^\circ$ ve $6-13^\circ$) ise suyun kısmen yüzeyden akmasına izin verirken, belirli alanlarda sızma da sağlayabilir. Ancak bu bölgelerde barajın verimliliği, topografik yapının yanı sıra zemin özellikleriyle de yakından ilişkilidir.

Yüksek eğimli alanlarda ($>13^\circ$) ise su, yer çekiminin etkisiyle hızla yüzeyden uzaklaşır. Bu durum, yeraltı barajlarının etkili bir şekilde su tutmasını engelleyebilir. Aynı zamanda bu tür alanlarda inşaat zorlukları, erozyon riski ve mühendislik maliyetleri daha yüksektir. Bu nedenle, çok eğimli araziler genellikle uygun olmayan alanlar olarak değerlendirilir. Yeraltı barajı tasarımında eğim faktörünün dikkatle analiz edilmesi gereklidir (Malczewski, 1999; Saaty, 1980) [1,2]. Ayrıca yüksek eğimli araziler, inşaat açısından mühendislik zorlukları ve maliyet artışına yol açmaktadır. Diyarbakır ili özelinde yapılan analizlerde, bölgedeki eğim dağılımı değerlendirilmiştir. Şekil 4 ve Şekil 5, Diyarbakır ili genelindeki eğim dağılımını ve bu dağılıma göre yer altı barajı için uygunluk sınıflarını sunmaktadır. Düşük eğimli bölgeler yüksek uygunluk potansiyeli taşımaktadır.



Şekil 4. Diyarbakır İli Eğim Dağılımı Haritası



Şekil 5. Diyarbakır İli Eğim Parametresi Uygunluk Haritası

3.1.3 Zemin (Yüzey) Yapısı

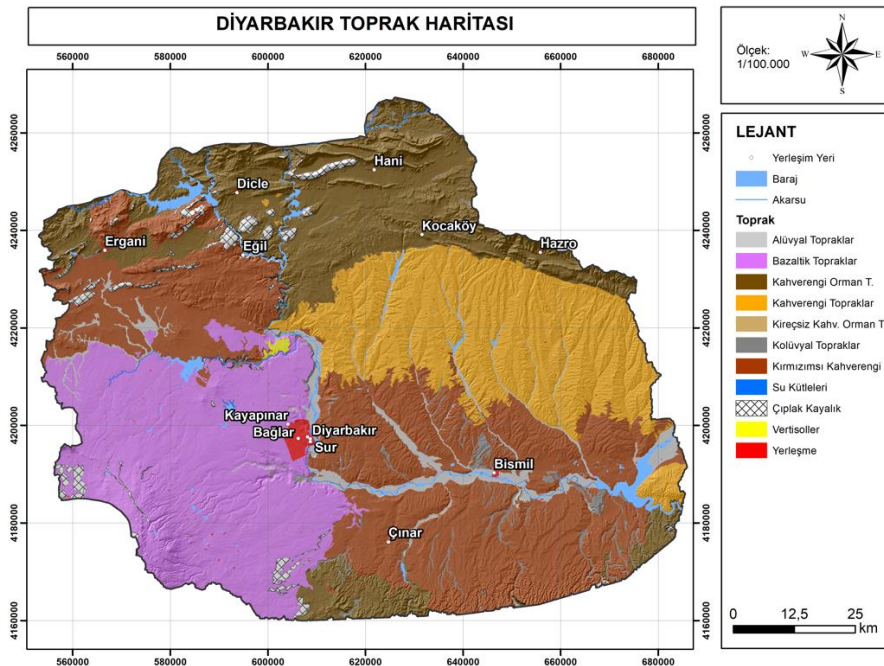
Zemin yapısı, yeraltı barajı uygulamalarında suyun toprak içerisinde tutulabilirliği ve sızma riskinin kontrolü açısından belirleyici bir parametredir. Geçirgen toprak tipleri (örneğin kumlu ve çakıllı

zeminler), suyun infiltrasyonunu ve depolanmasını kolaylaştırırken; kil ve silt gibi düşük geçirgenlikli zeminler, suyun yüzey altına geçişini sınırlandırarak yeraltı barajlarında tampon zon olarak işlev görebilmektedir [6].

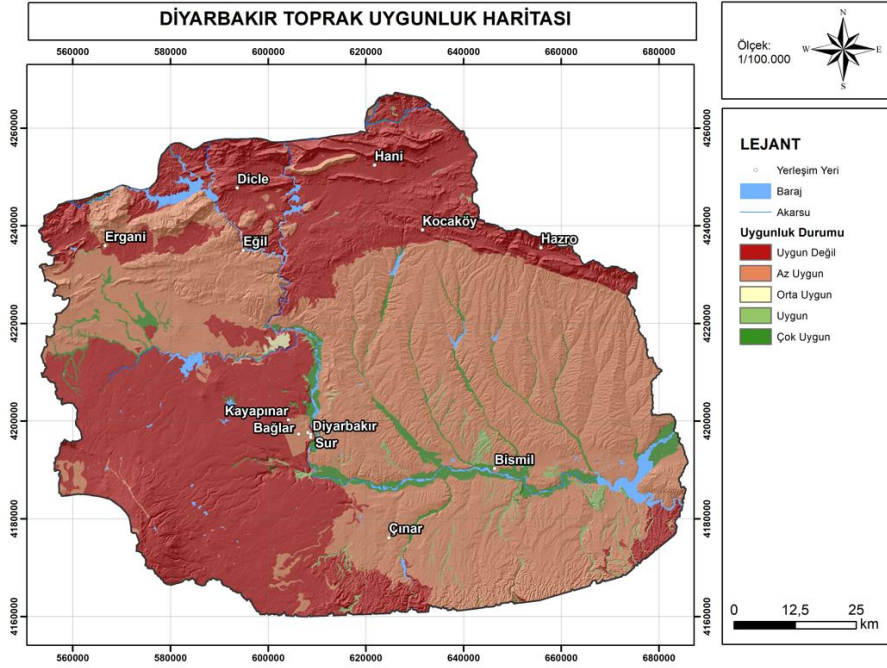
Ancak bu iki uç zemin tipi arasında yer alan, orta düzey geçirgenliğe sahip (örneğin kumlu tınlı) toprakların, yeraltı barajı uygulamaları için en uygun ortamı sunduğu söylenebilir. Bu tür zeminler, hem yeterli su tutma kapasitesi sağlar hem de kontrollü sızma yoluyla yeraltı su seviyesinin dengede tutulmasına olanak tanır.

Diyarbakır iline ait toprak yapısı, harita üzerinde farklı renk skalalarıyla sınıflandırılmıştır. Özellikle bazaltik topraklar, kahverengi orman toprakları ve alüvyal topraklar, geçirgenlik potansiyelleri açısından değerlendirilmiştir. Alüvyal toprakların yaygın olduğu nehir yataklarına yakın kesimler, yeraltı suyu beslemesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Buna karşılık, killi ve taşlı toprakların yoğunlaştığı bölgeler, geçirimsizlik nedeniyle sınırlı uygunluk potansiyeli taşımaktadır [7].

Şekil 6 ve Şekil 7, zemin yapısının sınıflandırılmasını ve bu yapıya göre gerçekleştirilen uygunluk analizini göstermektedir. Bu kapsamda, kumlu ve alüvyal zeminlerin bulunduğu alanlar, yeraltı barajı yer seçimi açısından daha avantajlı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6. Diyarbakır İli Yüzey (Zemin) Yapısı Haritası



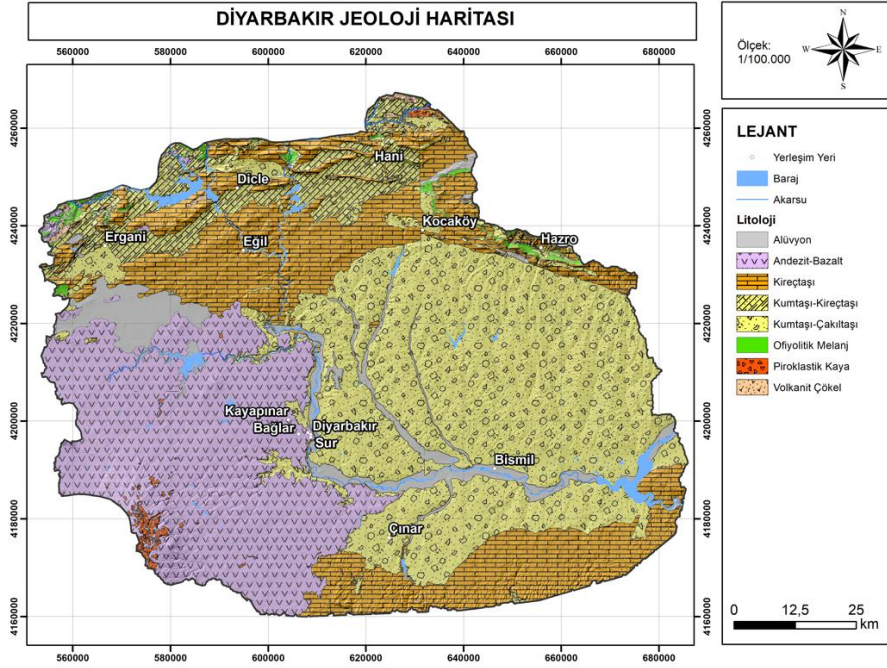
Şekil 7. Diyarbakır İli Yüzey (Zemin) Yapısı Uygunluk Haritası

3.1.4 Jeoloji

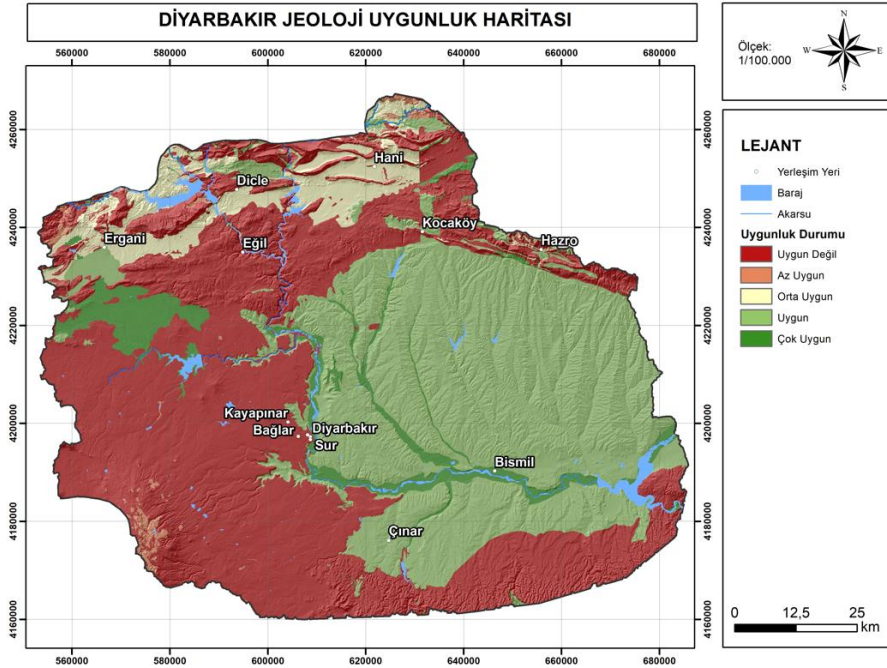
Yeraltı barajı inşaatı için uygun zemin özelliklerinin belirlenmesinde jeolojik yapı kritik bir rol oynar. Alüvyon, kumtaşı, çakıltası gibi yüksek geçirgenliğe sahip litolojik birimler, yeraltı suyu depolama kapasitesi açısından öncelikli olarak tercih edilmektedir (MTA, 2020) [8]. Bu tür formasyonlar, hem suyun kolayca hareket etmesini hem de barajda istenilen seviyede tutulmasını sağlar.

Buna karşılık, bazalt, granit, şist gibi düşük geçirgenliğe veya geçirimsizliğe sahip kayalar, suyun akışını ve depolanmasını kısıtladığı için yeraltı barajı yapımında genellikle uygun olmayan formasyonlar olarak değerlendirilir. Ancak bazı bazalt formasyonlarında çatlaklı yapılar nedeniyle lokal geçirgenlik artışı görülebilir; bu durum detaylı jeolojik analizlerle netleştirilebilir.

Bu çalışmada, Diyarbakır ili genelinde yayılım gösteren jeolojik birimler, litolojik özelliklerine göre sınıflandırılmış ve geçirgenlik potansiyelleri göz önünde bulundurularak uygunluk değerlendirmesine tabi tutulmuştur. Haritada, farklı renkler farklı jeolojik formasyonları temsil etmektedir. Özellikle alüvyonel dolguların yoğunlaştığı nehir vadileri ve ova tabanları, yeraltı barajı için potansiyel alanlar olarak öne çıkmaktadır. Şekil 8 ve Şekil 9, jeolojik birimlerin dağılımı ile geçirgen formasyonların yer altı barajı açısından uygunluk analizini sunmaktadır. Alüvyon ve kumtaşı gibi litolojiler öne çıkmaktadır.



Şekil 8. Diyarbakır İli Jeoloji Formasyonları Haritası



Şekil 9. Diyarbakır İli Jeoloji Parametresi Uygunluk Haritası

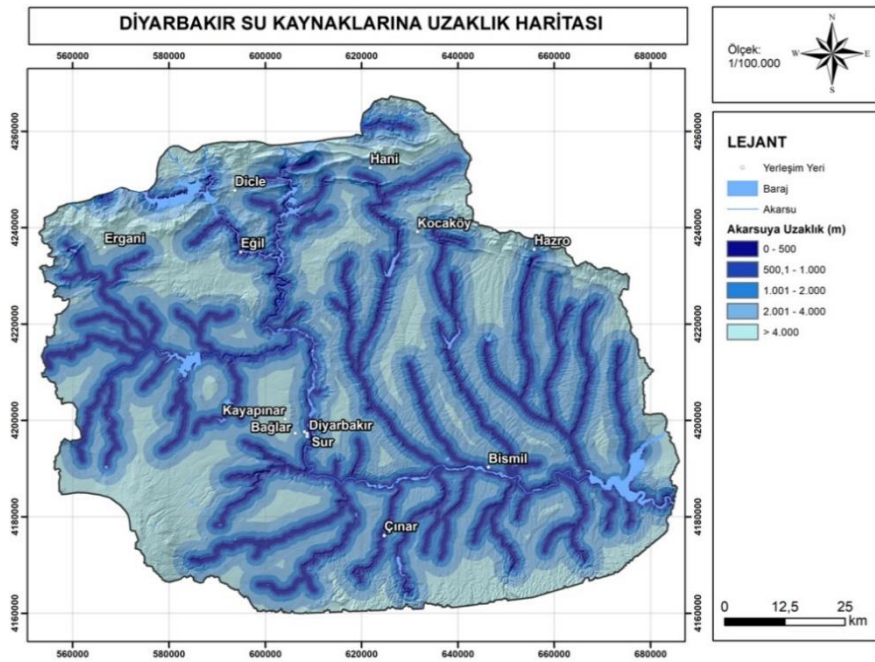
3.1.5 Su Kaynaklarına Yakınlık

Baraj yapılacak alanın nehir, dere veya taşkın yataklarına yakın olması, yeraltı barajlarının su kaynaklarını daha verimli şekilde besleyebilmesi açısından büyük önem taşır. Yüzey sularına yakınlık, sadece baraj dolum sürecini hızlandırmakla kalmaz, aynı zamanda sürekli su temini açısından da

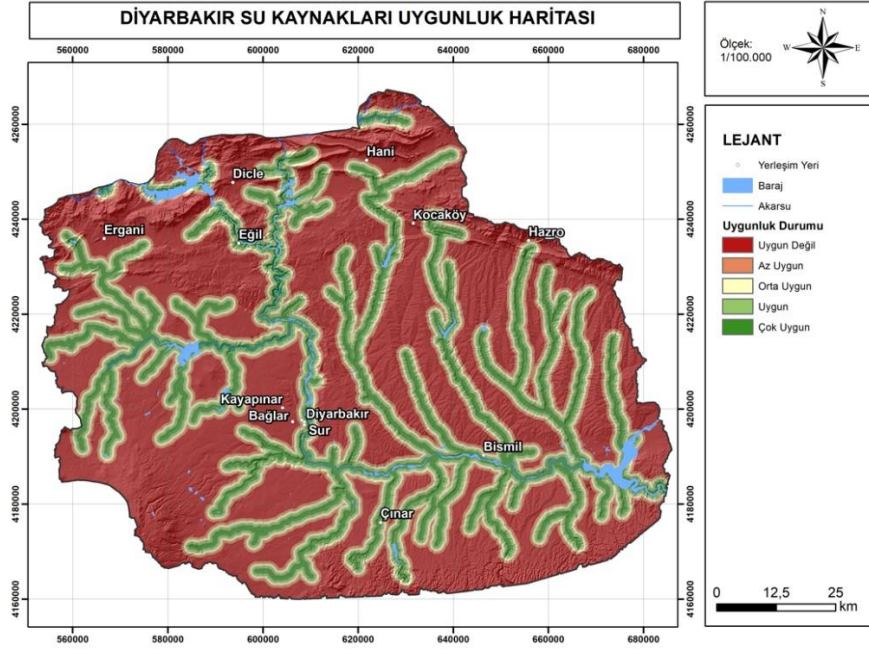
sürdürülebilirlik sağlar [9]. Özellikle kurak veya yarı kurak bölgelerde, yüzeysel akışa yakın alanlarda yapılacak yeraltı barajları, mevsimsel yağışların etkili biçimde depolanmasına olanak tanır.

Bununla birlikte, taşkın riski yüksek olan alanlar, yapı güvenliği açısından potansiyel tehdit oluşturabilir. Aşırı yüzeysel akış, baraj yapılarının zarar görmesine, zemin stabilitesinin bozulmasına ve verimliliğin düşmesine neden olabilir. Bu nedenle, yer seçimi yapılırken sadece su varlığı değil, taşkın riski düzeyi de dikkate alınmalıdır.

Bu çalışma kapsamında, Diyarbakır ili genelinde yüzey sularına yakınlık ve taşkın riski dağılımı raster verileriyle analiz edilmiştir. Uygunluk değerlendirmesi yapılırken, akarsu sistemlerinin yoğunluğu, taşkın potansiyeli ve yerleşim alanlarına olan uzaklık gibi kriterler birlikte değerlendirilmiştir. Haritada mavi tonlar, yüzey sularına yakınlığı; kahverengi ve turuncu tonlar ise yüksek taşkın riski taşıyan bölgeleri göstermektedir. Bu kapsamda, suya yakın ancak taşkın riski düşük bölgeler, yeraltı barajları için öncelikli aday alanlar olarak öne çıkmaktadır. Şekil 10 ve Şekil 11, yüzey su kaynaklarına yakınlık ile taşkın riski analizini yansıtmaktadır. Suya yakın ancak taşkın riski düşük alanlar baraj planlamasında öncelikli alanlardır.



Şekil 10. Diyarbakır İli Su Kaynaklarına Yakınlık ve Taşkın Riski Dağılım Haritası



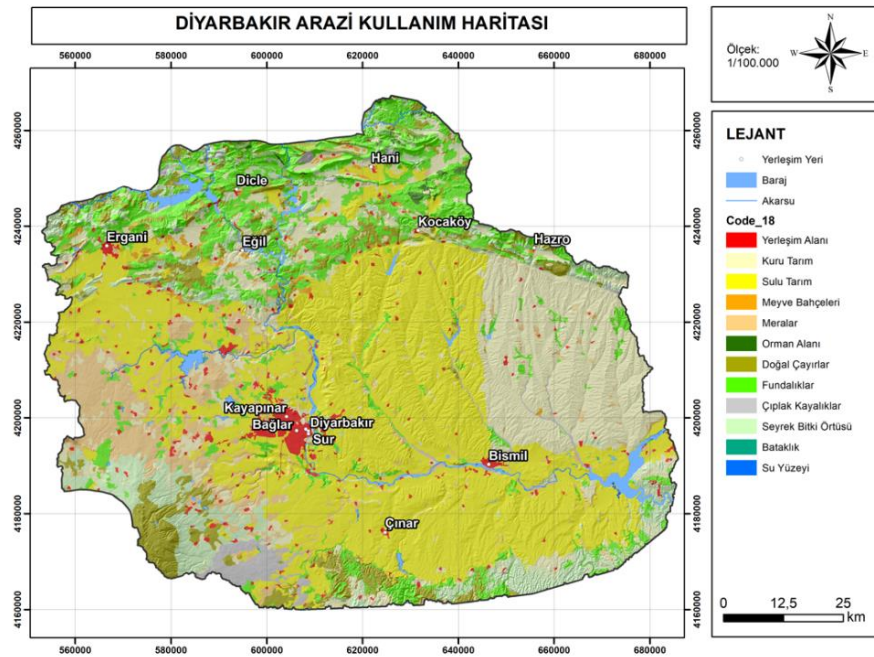
Şekil 11. Diyarbakır İli Su Kaynaklarına Yakınlık Parametresi Uygunluk Haritası

3.1.6 Arazi Kullanımı

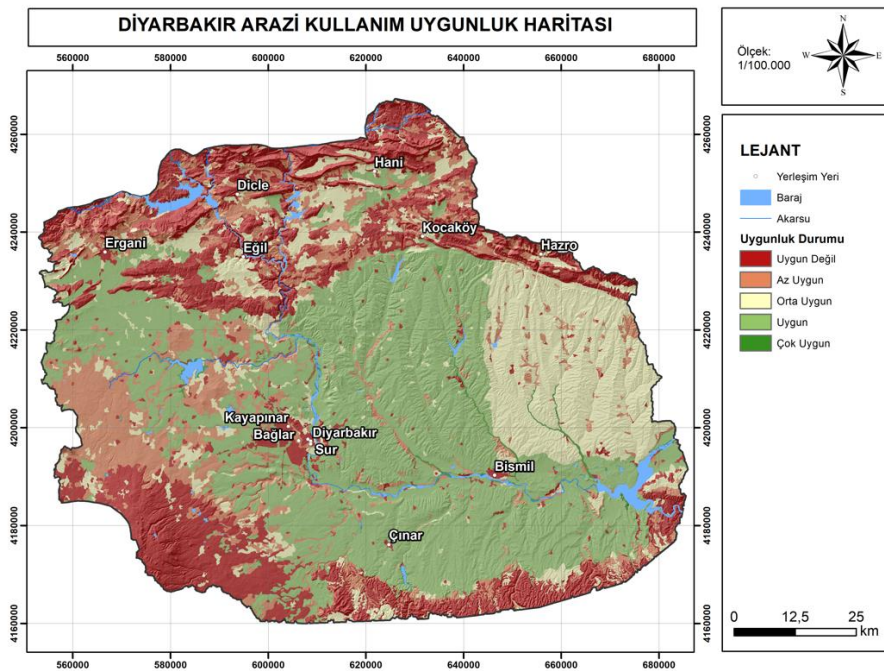
Tarım dışı ve yerleşimden uzak bölgeler, çevresel etkiyi azaltmak adına tercih edilir. Tarımsal alanlara çok yakın yerlerde, arazi kullanım değişikliği nedeniyle sosyal maliyetler doğabilir [10]. Arazi kullanım kabiliyeti, bir arazinin tarım, ormancılık ya da mera gibi faaliyetlere uygunluğunu belirleyen ve bu uygunluğu sınıflandıran önemli bir parametredir. Yeraltı barajı yer seçiminde, özellikle I., II. ve III. sınıf gibi yüksek üretim potansiyeline sahip tarım arazileri koruma önceliği taşıdığından, bu alanlar baraj inşası için uygun görülmemektedir. Bu alanlarda yer altı barajı yapımı, tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliği açısından sakıncalı olabilir.

Öte yandan, V., VI. ve VII. sınıf gibi erozyon riski yüksek, eğimli ve sınırlı tarım potansiyeline sahip alanlar; arazi bozulmalarının önüne geçmek, yüzey akışını azaltmak ve yeraltı su seviyesini beslemek adına yeraltı barajı uygulamaları için daha uygun kabul edilmektedir. Bu sınıflar, barajın çevresel etkisini minimize etmek açısından da avantaj sunar.

Diyarbakır iline ait arazi kullanım kabiliyetleri analiz haritası incelendiğinde, ilin büyük bölümünün IV., V. ve VI. sınıf arazilerden oluştuğu görülmektedir. Bu durum, kırsal bölgelerde yer altı barajı potansiyelini artırmakta; özellikle merkezden uzak, eğimli ve tarımsal baskının düşük olduğu bölgelerde uygulamaların teşvik edilmesine olanak tanımaktadır. Şekil 12 ve Şekil 13, arazi kullanım kabiliyetine dayalı sınıflamayı ve yer altı barajı açısından uygunluk durumlarını göstermektedir. Tarım dışı, eğimli ve erozyon riski yüksek alanlar daha uygun bulunmuştur.



Şekil 12. *Diyarbakır İli Arazi Kullanımı Kabiliyet Haritası*



Şekil 13. *Diyarbakır İli Arazi Kullanımı Parametresi Uygunluk Haritası*

3.1.7 Yağış

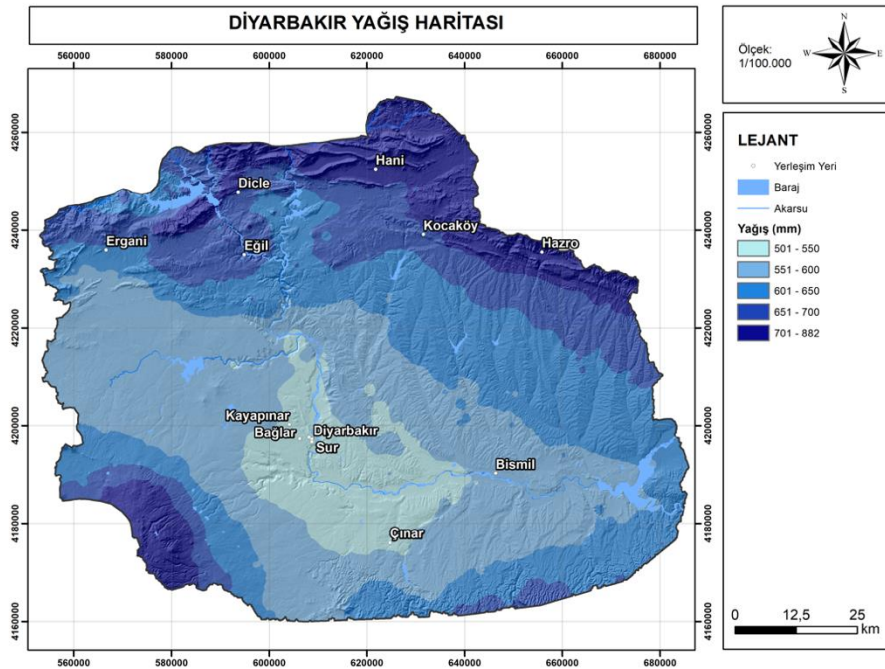
Yağış, yeraltı barajlarının dolun potansiyelini etkileyen en temel hidrolojik parametrelerden biridir. Yıllık ortalama yağış miktarının fazla olduğu bölgeler, yüzey akışının artması ve sızma yoluyla yeraltı suyunun daha etkin beslenmesi açısından avantaj sağlamaktadır [3]. Bu nedenle, yeraltı

barajlarının yer seçimi sürecinde yağış dağılımının mevsimsel ve bölgesel değişimleri dikkate alınmalı; yağışın yüksek olduğu alanlar öncelikli değerlendirilmelidir.

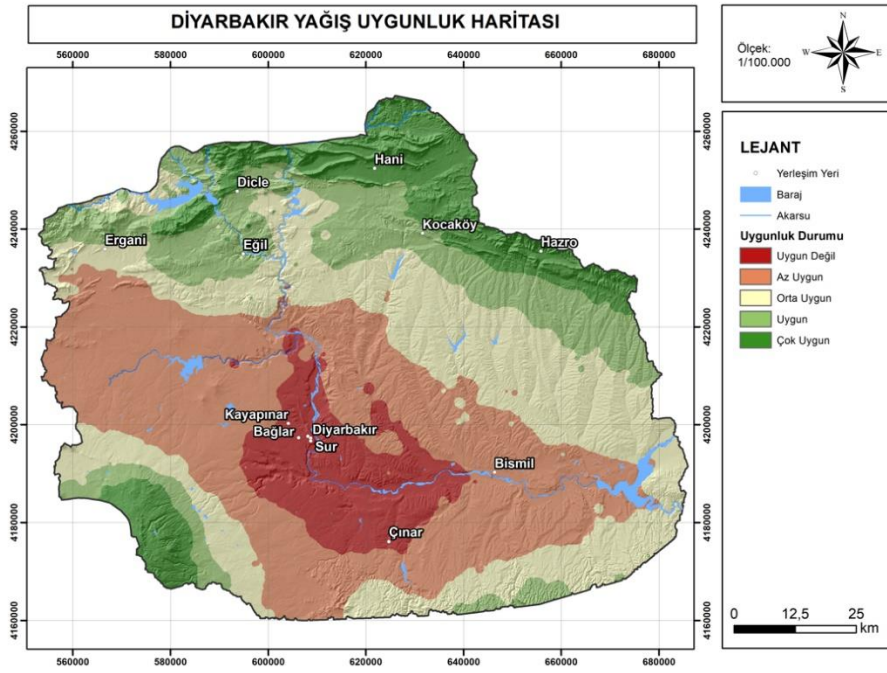
Diyarbakır ili, yarı kurak iklim kuşağında yer almasına rağmen, kuzeydoğusundaki dağlık kesimlerde yıllık yağış miktarları ovaya kıyasla daha yüksektir. Bu bölgelerde, yükselti farklarının ve orografik etkinin etkisiyle, özellikle ilkbahar ve kış aylarında yağış yoğunluğu artmaktadır. Topografik yapı, yağışın coğrafi dağılımını belirlerken, arazi eğimi ve bitki örtüsü gibi faktörler de yağışın yüzey ve yeraltı sistemlerine katkısını şekillendirmektedir.

Topografik yapı ve yükselti, yağışın coğrafi dağılımını doğrudan etkiler. CBS tabanlı analizde kullanılan raster yağış verileri, yıllık ortalama yağış (mm) bilgisine dayalı olarak sınıflandırılmıştır. Harita üzerinde renk skalası kullanılarak farklı yağış zonları gösterilmiştir. Koyu kırmızı tonlar yüksek yağışlı alanları, açık sarı tonlar ise düşük yağışlı alanları temsil etmektedir.

Bu sınıflandırma, yeraltı barajı inşası için öncelikli bölgelerin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Yağışın 600 mm'nin üzerinde olduğu bölgeler “en uygun”, 400–600 mm aralığı “orta uygun”, 400 mm'nin altındaki alanlar ise “uygun değil” olarak değerlendirilmiştir. Özellikle Diyarbakır ili kuzey kesimlerinde kırmızı ile gösterilen yüksek yağışlı alanlar, yeraltı barajı planlaması için stratejik fırsatlar sunmaktadır. Şekil 14 ve Şekil 15, yağış dağılımı verileriyle yıllık ortalama değerlere göre uygunluk derecelerini sunmaktadır. Yüksek yağışlı bölgeler öncelikli olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 14. Diyarbakır İli Yıllık Ortalama Yağış Dağılımı Haritası



Şekil 15. Diyarbakır İli Yağış Parametresi Uygunluk Haritası

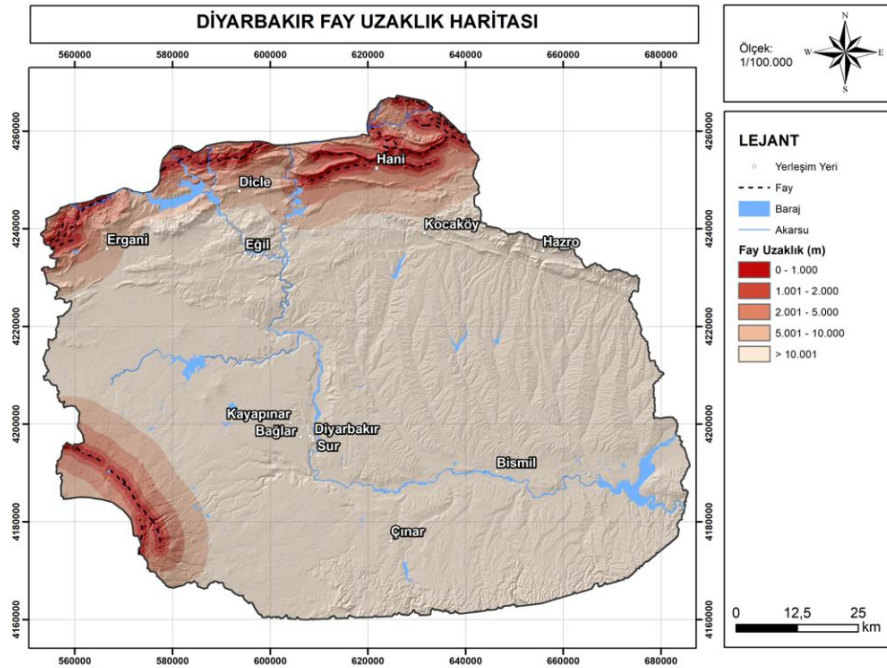
3.1.8 Fay Hattı Yakınlığı

Fay hatları, yer kabuğundaki kırık zonlarını temsil eder ve bu bölgelerde meydana gelen sismik aktiviteler, yeraltı yapıları için ciddi yapısal riskler oluşturur. Yeraltı barajlarının inşasında, fay hatlarına olan mesafe doğrudan güvenlik ve mühendislik kararı açısından belirleyici bir kriterdir. Özellikle aktif fay hatlarına çok yakın alanlarda inşa edilen baraj yapılarında, deprem sırasında zemin hareketlerine bağlı deformasyon riski yüksektir. Bu nedenle yeraltı barajı planlamasında sismotektonik verilerin dikkate alınması zorunludur [11,12].

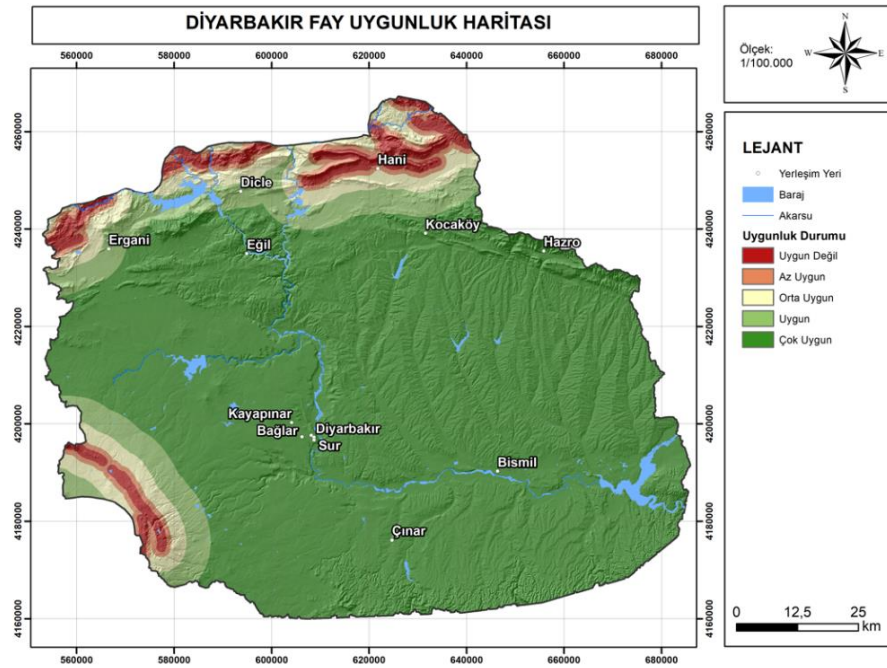
Diyarbakır ili, Türkiye'nin aktif deprem kuşaklarından biri olan Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı ile Doğu Anadolu Fay Zonu arasında yer almakta olup, kuzeydoğusunda Lice, Hani, Kulp gibi ilçeler aktif faylara yakın konumlanmaktadır. Bu alanlarda jeolojik kırık hatları boyunca diri fayların varlığı saptanmıştır. Bu nedenle söz konusu ilçeler ve çevreleri, yeraltı barajı inşası açısından yüksek riskli alanlar arasında değerlendirilmiştir.

Fay hattı yakınlığı, CBS ortamında raster tabanlı olarak modellenmiş ve Diyarbakır ili için oluşturulan sismik uygunluk haritası üzerinde görsel olarak sunulmuştur. Haritada aktif fay hatları, kırmızı çizgilerle belirtilmiş; bu çizgilere yakın olan bölgeler düşük uygunluk (riskli alanlar), uzak bölgeler ise yüksek uygunluk olarak sınıflandırılmıştır. Fay hatlarına 0–5 km arası mesafe olan bölgeler “uygun değil”, 5–10 km arası “orta uygun”, 10 km üzeri bölgeler ise “en uygun” olarak

değerlendirilmiştir. Şekil 16 ve Şekil 17, fay hatlarına olan uzaklık temelinde yapılan sınıflamayı içermektedir. Deprem riski nedeniyle fay hatlarından uzak bölgeler daha uygun kabul edilmiştir.



Şekil 16. Diyarbakır İli Fay Hatlarına Yakınlık Dağılımı Haritası

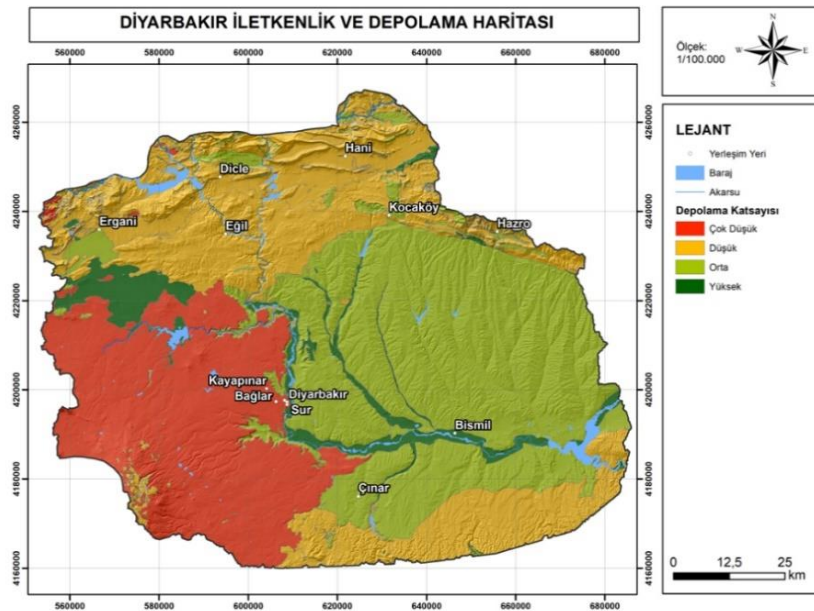


Şekil 17. Diyarbakır İli Fay Hattı Yakınlığı Parametresi Uygunluk Haritası

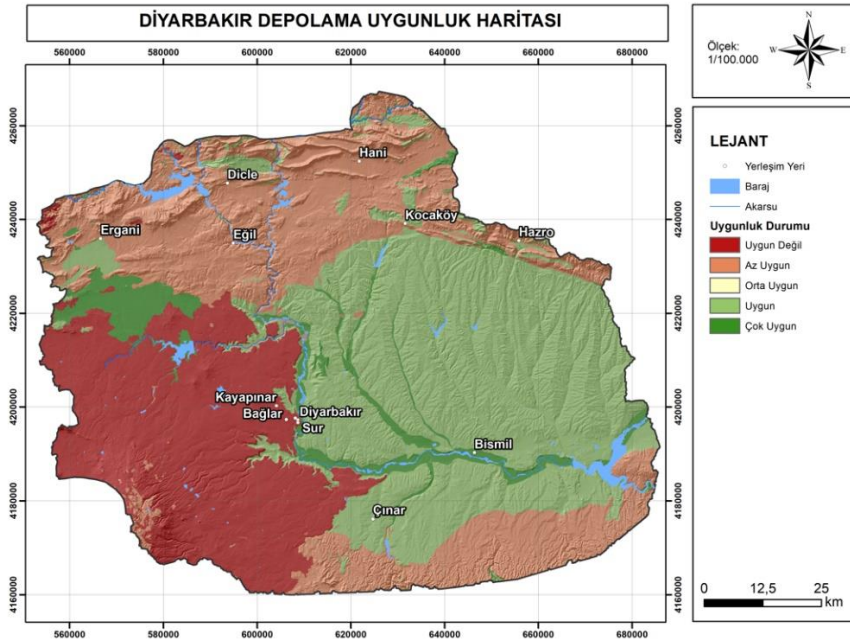
3.1.9 İletkenlik ve Depolama Katsayısı

Zeminin hidrolik iletkenliği (permeabilitesi), suyun yeraltı ortamında ne kadar hızlı hareket edebileceğini belirleyen temel fiziksel özelliktir. Bu parametre, yeraltı barajlarında suyun depolanma süreci, rezervuar dolumu ve suyun yatay-düşey hareketliliği açısından kritik rol oynar. Yüksek hidrolik iletkenliğe sahip zeminler (örneğin kum, çakıl gibi iri taneli malzemeler), suyun hızlı bir şekilde yayılmasına olanak tanırken, düşük iletkenlik değerleri (örneğin kil veya silt gibi ince taneli malzemeler), suyun geçişini yavaşlatarak barajın dolum süresini uzatabilir. Bu nedenle çok düşük iletkenlik, barajın işlevini azaltırken, çok yüksek iletkenlik de suyun istenilen alanda tutulmamasına neden olabilir [5].

Depolama katsayısı ise, akiferin veya zeminin belirli bir alanda ne kadar su tutabileceğini gösteren bir parametredir. Bu katsayı, hem gözenekliliğe hem de doyumluk durumuna bağlı olarak değişiklik gösterir. Serbest akiferlerde depolama katsayısı daha yüksekken, basınçlı akiferlerde bu değer düşüktür. Yeraltı barajlarının etkin çalışabilmesi için orta düzeyde iletkenliğe ve yüksek depolama katsayısına sahip ortamlar tercih edilir. Bu sayede su hem yeterince tutulabilir hem de kontrollü bir şekilde kullanılabilir hale gelir. Bu parametrelerin birlikte değerlendirilmesi, baraj yerinin hidrojeolojik uygunluğunu belirlemek açısından büyük önem taşır. Raster veriler üzerinden analiz edilen bu değişkenler, AHP ve TOPSIS gibi çok kriterli karar verme yöntemleriyle ağırlıklandırılarak nihai uygunluk değerlendirmesine katkı sunmaktadır. İletkenlik ve Depolama Katsayısı parametresinin doğal dağılımı Şekil 18'de verilmiştir. Şekil 19, zeminlerin iletkenlik ve depolama katsayısına göre mekânsal uygunluklarını ortaya koymaktadır. Su tutma kapasitesi yüksek alanlar tercih edilmiştir.



Şekil 18. Diyarbakır İli İletkenlik ve Depolama Katsayısı Dağılımı Haritası



Şekil 19. Diyarbakır İli İletkenlik ve Depolama Katsayısı Uygunluk Haritası

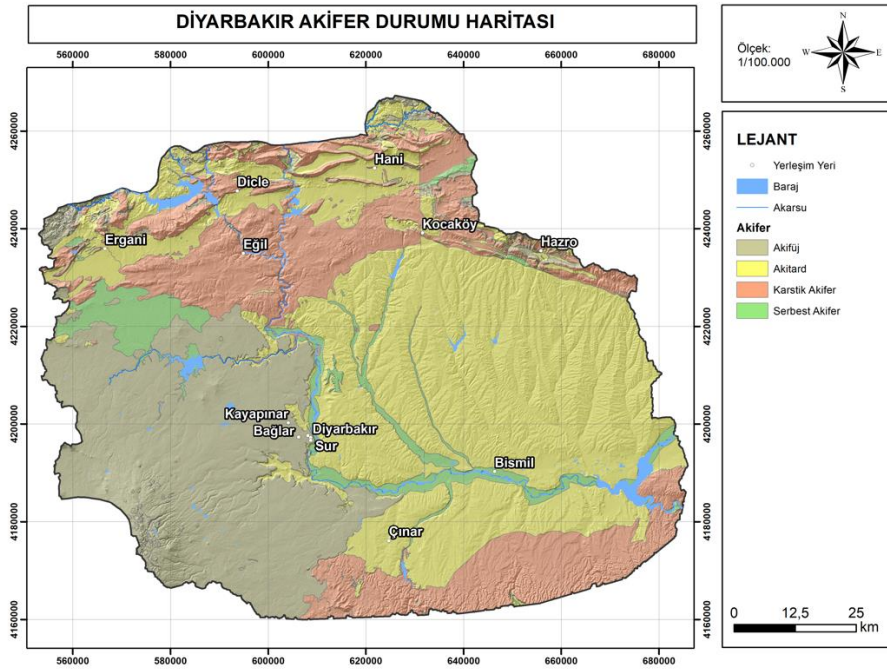
3.1.10 Akifer Durumu

Akiferler, yeraltında suyu tutan ve ileten geçirgen jeolojik birimlerdir. Yeraltı barajlarının verimliliği, bu akiferlerin tipine ve hidrodinamik özelliklerine doğrudan bağlıdır. Genel olarak üç tür akifer ayırt edilmektedir: serbest (unconfined), basınçlı (confined) ve karstik akiferler.

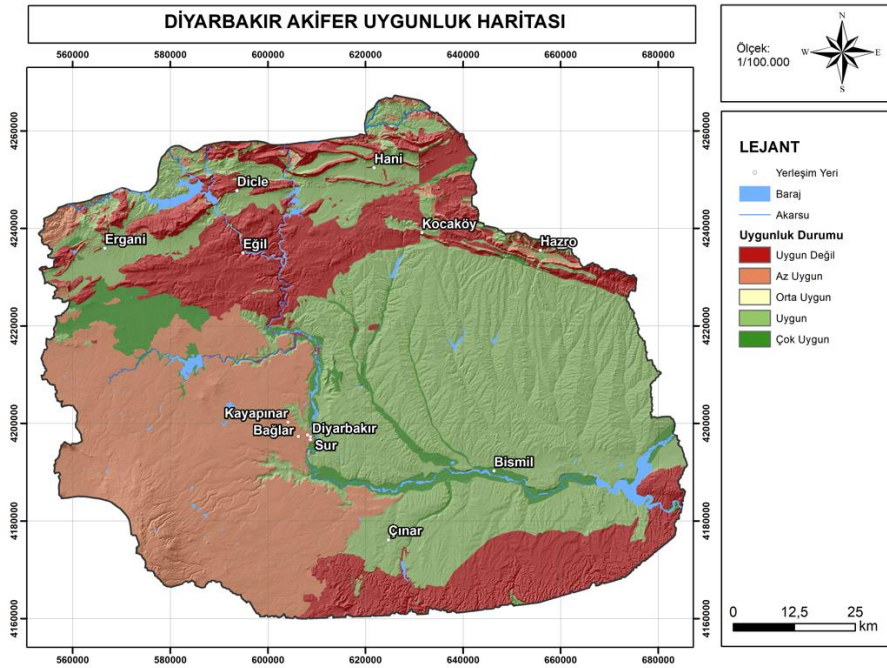
Basınçlı akiferler, geçirimsiz tabakalar arasında yer alan ve suyu sabit basınçta tutan sistemlerdir. Bu özellikleri sayesinde, yeraltı barajlarında depolanan suyun yüzeye çıkışı kontrollü bir şekilde sağlanabilir. Bu durum, su yönetimi açısından oldukça avantajlıdır.

Serbest akiferler, yüzeye daha yakın ve üstünde geçirimsiz bir tabaka bulunmayan akifer tipidir. Bu yapılar, yağış ve yüzey sularından kolayca beslenebilir; ancak su seviyeleri mevsimsel değişimlere oldukça duyarlıdır. Bu da barajın doluluk ve boşalma döngülerinde dalgalanmalara neden olabilir.

Karstik akiferler ise kalker gibi kolay eriyebilen kayalar içinde oluşan boşluklardan meydana gelir. Bu akiferlerde su çok hızlı hareket eder ve bu durum yeraltı barajlarında suyun tutulmasını güçleştirir. Ayrıca ani boşalmalar ve kontrolsüz akımlar görülebilir, bu da mühendislik açısından riskli koşullar yaratır [4]. Bu nedenle, yeraltı barajı inşa edilecek alanların basınçlı veya uygun geçirgenliğe sahip serbest akiferlerle sınırlı olması önerilmektedir. Şekil 20 ve Şekil 21, akifer türlerinin dağılımını ve bu yapılara göre uygunluk analizini göstermektedir. Basınçlı ve uygun geçirgenliğe sahip serbest akiferler olumlu değerlendirilmiştir.



Şekil 20. Diyarbakır İli Akifer Tipi ve Yayılımı Haritası



Şekil 21. Diyarbakır İli Akifer Durumu Parametresi Uygunluk Haritası

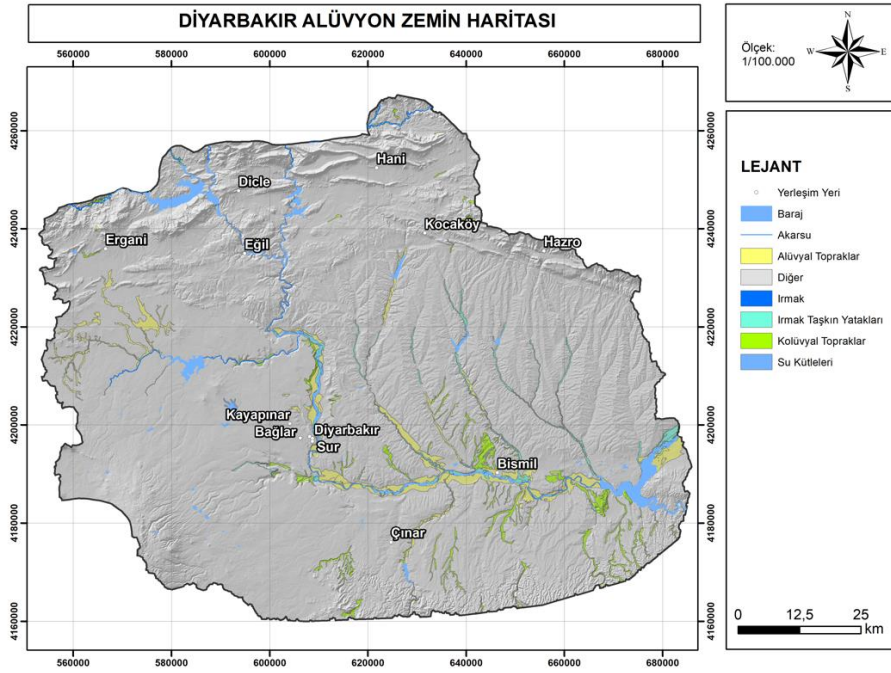
3.1.11 Alüvyon

Alüvyonal zeminler, genellikle nehir yatakları boyunca biriken kum, çakıl, mil ve kil gibi gevşek tortul malzemelerden oluşur. Bu tür zeminler yüksek geçirgenlik özelliklerine sahiptir ve bu da onları yeraltı barajlarının kurulumu açısından son derece uygun kılar. Özellikle kumlu-çakıllı alüvyonlar, hem suyun depolanması hem de yeniden beslenmesi (recharge) açısından avantaj sunar.

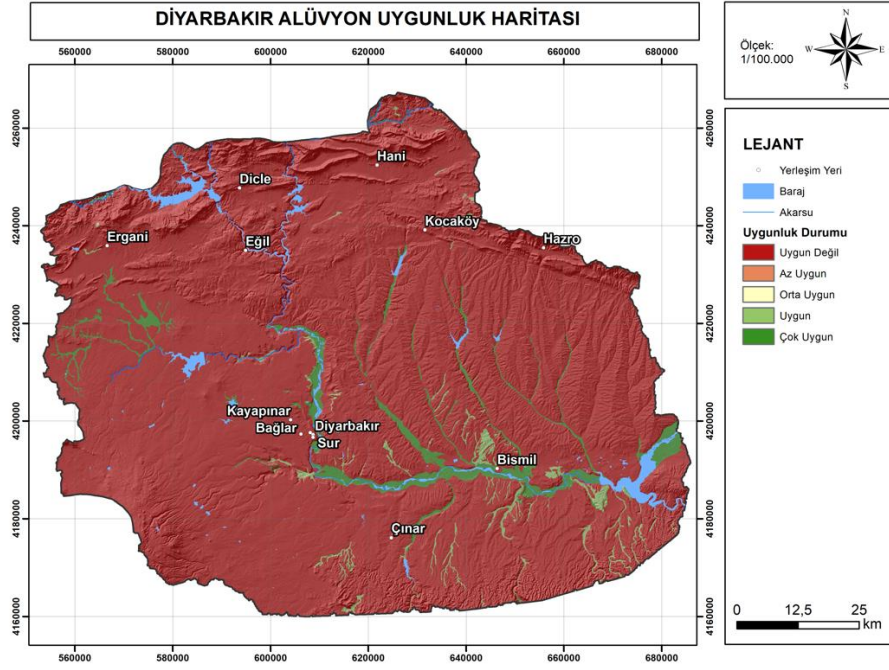
Alüvyonların bulunduğu bölgelerde, suyun sızma kapasitesi yüksek olduğu için yüzeysel akış minimize edilir, bu da yeraltı suyunun verimli şekilde tutulmasını sağlar. Aynı zamanda, bu zeminlerdeki hidrolik iletkenlik düzeyi sayesinde suyun depolama ve dağılım süreci daha kontrollü hale gelir. Bu özellikler, barajın hem hidrolojik performansını artırmakta hem de mühendislik uygulamalarının başarısını desteklemektedir.

Ancak, her alüvyonal zemin baraj için uygun değildir. Özellikle çok ince taneli veya kil içeriği yüksek alüvyonlar geçirimsizlik sorunlarına ve suyun akışında dengesizliklere yol açabilir. Bu nedenle zemin özelliklerinin detaylı bir şekilde analiz edilmesi gereklidir.

Bu çalışmada, Diyarbakır ili sınırları içerisinde alüvyonal alanlar ArcGIS ortamında tanımlanmış, raster veri katmanı olarak sınıflandırılmış ve 3-6-9 puan sistemine göre normalize edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen harita, alüvyon varlığının yoğunlaştığı bölgeleri görsel olarak sunmakta ve yeraltı barajı için potansiyel bölgeleri tanımlamaktadır. Haritada özellikle Dicle Nehri ve çevresindeki tortul birikim alanları dikkat çekmektedir. Şekil 22 ve Şekil 23, alüvyonal zeminlerin konumlarını ve baraj potansiyeli açısından uygunluk analizini içermektedir. Dicle Nehri çevresi bu açıdan öne çıkmaktadır.



Şekil 22. Diyarbakır İli Alüvyonal Zeminlerin Dağılımı Haritası



Şekil 23. Diyarbakır İli Alüvyon Parametresi Uygunluk Haritası

3.2 AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci)

AHP yöntemi, karar vericilerin kriterler arasındaki karşılaştırmalarını matematiksel modele dönüştürerek göreceli ağırlıklar oluşturur. Bu yöntemde ikili karşılaştırmalarla her kriterin diğerlerine göre önemi belirlenir. Tutarlılık oranı (CR) %10'un altında olduğu sürece elde edilen ağırlıklar güvenilirdir [1]. Bu çalışmada kullanılan 11 parametre aşağıda açıklanmış ve AHP yöntemiyle ağırlıklandırılmıştır.

- Yeraltı Su Seviyesi: Yüksekliği, baraj dolm hızını etkiler; orta seviye genelde tercih edilir.
- Eğim: Düşük eğimli alanlar su tutma açısından daha uygundur.
- Zemin Yapısı: Kum, çakıl gibi geçirgen zeminler tercih edilir; kil ise su sızmasını engeller.
- Jeoloji: Geçirgen formasyonlar baraj için uygundur, örneğin alüvyon ve kumtaşı.
- Su Kaynaklarına Yakınlık: Yüksek öneme sahiptir; su temini kolaylaştırır.
- Arazi Kullanımı: Yerleşim dışı alanlar tercih edilir; çevresel etki azalır.
- Yağış: Barajın dolm süresi açısından yüksek yağışlı bölgeler daha uygundur.
- Fay Hattı Yakınlığı: Deprem riski nedeniyle uzak bölgeler daha güvenlidir.
- İletkenlik ve Depolama Katsayısı: Zeminin su geçirgenliği ve tutma kapasitesi açısından önemlidir.
- Akifer Durumu: Basınçlı akiferler tercih edilir; karstik akiferlerde su kontrolü zordur.
- Alüvyon: Su tutma kapasitesi yüksek zemin tipidir.

AHP yöntemiyle belirlenen kriter ağırlıkları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 1.).

Tablo 1. Yeraltı Barajı Yer Seçiminde Kullanılan Parametreler ve AHP Ağırlıkları

Parametre	Ağırlık (%)
Su kaynaklarına yakınlık	16 %
Arazi kullanımı	14 %
Jeoloji	13 %
Yağış	11 %
Eğim	10 %
Zemin yapısı	9 %
Fay hattı yakınlığı	8 %
Yeraltı su seviyesi	7 %
Akifer durumu	6 %
Alüvyon	4 %
İletkenlik ve depolama katsayısı	2 %

3.2.1 AHP Ağırlıklarının CBS Ortamında Raster Verilere Uygulanması

Bu çalışmada, yeraltı barajı yeri seçiminde belirlenen 11 parametreye ait mekânsal veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında raster formatında analiz edilmiştir. Parametreler, önce uygunluk açısından normalize edilerek 0 ile 1 arasında değerler alacak şekilde dönüştürülmüş; ardından AHP yöntemi ile elde edilen ağırlıklarla çarpılarak her hücre için ağırlıklı uygunluk puanı hesaplanmıştır. Her bir raster hücresi için uygulanan bu işlem, aşağıdaki formüle dayanmaktadır:

$$\text{Uygunluk Skoru (S)} = \text{Tüm kriterler için (Normalize Değer} \times \text{Kriter Ağırlığı)} \quad (1)$$

Bu hesaplama sonucunda elde edilen toplam puan, hücrenin yeraltı barajı kurulumu açısından uygunluk düzeyini göstermektedir. Tüm hücreler için yapılan bu işlem sonucunda, Diyarbakır Ovası'nın genel uygunluk haritası elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Raster Hücresine ait Normalize Değerler, AHP Ağırlıkları ve Uygunluk Puanı Hesaplaması

Parametre	Normalize Değeri	AHP Ağırlığı	Ağırlıklı Değer
Yeraltı Su Derinliği	0.75	0.10	0.0750
Eğim	0.85	0.12	0.1020
Zemin Türü	0.70	0.08	0.0560
Jeolojik Uygunluk	0.60	0.11	0.0660
Su Kaynaklarına Yakınlık	0.90	0.15	0.1350
Taşkın Riski	0.65	0.06	0.0390
Arazi Kullanımı	0.50	0.10	0.0500
Yağış Miktarı	0.75	0.08	0.0600
Fay Hattına Uzaklık	0.80	0.05	0.0400
İletkenlik (Depolama Katsayısı)	0.65	0.07	0.0455
Akifer Türü	0.55	0.08	0.0440
TOPLAM PUAN	—	1.00	0.7125

3.3 TOPSIS ve Uygunluk Değerlendirmesi

TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi, çok kriterli karar verme teknikleri arasında nesnelliği ve pratik uygulanabilirliği nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Yöntemin temel prensibi, her bir alternatifin pozitif-ideal çözüme (en iyi değer) ve negatif-ideal çözüme (en kötü değer) olan uzaklıklarının hesaplanmasına dayanır. Alternatif bir lokasyon, pozitif çözüme ne kadar yakın ve negatif çözüme ne kadar uzaksa, o denli uygun olarak değerlendirilir [1,13].

Bu çalışmada, AHP yöntemiyle ağırlıklandırılmış 11 parametreye ait raster veriler her hücre için normalize edilmiştir. Her parametrenin değeri, AHP'den gelen ağırlıklarla çarpılmış ve toplam skorlar hesaplanmıştır. Elde edilen TOPSIS skorları 0 ile 1 arasında değer almış; 1'e yakın skorlar yüksek uygunluk, 0'a yakın skorlar ise düşük uygunluk anlamına gelmiştir. Bu yöntem, özellikle sınırlı sayıda aday bölge üzerinden karar verilmesi gereken durumlarda nesnel bir değerlendirme imkânı sunmaktadır [14].

Literatürde benzer yöntemlerin farklı coğrafi uygulamalarda kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, Getachew (2019), okul yer seçimi analizlerinde çevresel, sosyoekonomik ve altyapı kriterlerini entegre ederek TOPSIS yöntemini başarıyla uygulamıştır. Zhou ve arkadaşları (2021) ise yeraltı suyu yeniden şarj alanlarının mekânsal uygunluk analizinde AHP-TOPSIS entegrasyonunun yüksek doğruluk sağladığını belirtmiştir [4,15].

Bu çalışma kapsamında Diyarbakır Ovası'nda belirlenen 10 temsili analiz noktası TOPSIS yöntemiyle değerlendirilmiş; her nokta için koordinat bilgisi, hesaplanan skor ve uygunluk sınıfı aşağıdaki tabloda sunulmuştur. Uygunluk değerlendirmesi için aşağıdaki eşik değerler esas alınmıştır:

- $0.70 \leq \text{Skor} \leq 1.00 \rightarrow \text{En Uygun}$
- $0.50 \leq \text{Skor} < 0.70 \rightarrow \text{Orta Uygun}$
- $0.00 \leq \text{Skor} < 0.50 \rightarrow \text{Uygun Değil}$

Tablo 3. TOPSIS Yöntemiyle Analiz Edilen Noktalar, Koordinatlar ve Skorlar

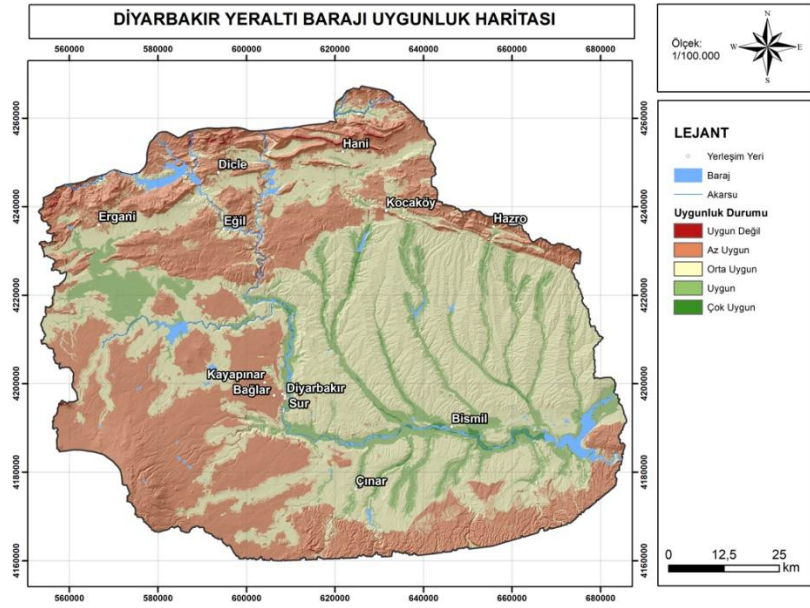
Nokta No	Koordinat (Lat, Lon)	TOPSIS Skoru	Uygunluk
1	37.95, 40.20	0.83	En uygun
2	37.93, 40.23	0.76	En uygun
3	37.92, 40.18	0.69	Orta uygun
4	37.91, 40.22	0.64	Orta uygun
5	37.90, 40.25	0.58	Orta uygun
6	37.94, 40.27	0.51	Uygun değil
7	37.96, 40.17	0.45	Uygun değil
8	37.97, 40.16	0.38	Uygun değil
9	37.98, 40.26	0.31	Uygun değil
10	37.99, 40.24	0.25	Uygun değil

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve TOPSIS yöntemlerinin birlikte uygulanması, Diyarbakır Ovası'nda yeraltı barajı inşası açısından potansiyel alanların bilimsel temellere dayalı olarak belirlenmesini mümkün kılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen skorlar, hidrojeolojik, topoğrafik ve çevresel faktörlerin mekânsal bütünlüğü içerisinde değerlendirilerek karar vericilere yön gösterici uygunluk haritaları sunmuştur.

TOPSIS yöntemiyle elde edilen skorlar, çalışmanın çok kriterli değerlendirme hedefini başarıyla yansıtmaktadır. Yüksek skor alan bölgeler, genellikle alüvyon zeminlerin yoğunlaştığı, eğim oranının düşük olduğu ve yüzey su kaynaklarına yakın konumlanan alanlar olarak dikkat çekmektedir. Bu alanların aynı zamanda yağış rejimi bakımından da avantajlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç, Freeze ve Cherry (1979) tarafından vurgulanan “geçirgenliği yüksek akiferlerde su tutulumu ve yönetiminin daha verimli olduğu” prensibiyle de örtüşmektedir [5].

Ayrıca, çalışmada üretilen tematik raster haritalar, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığıyla hem görselleştirme hem de karar destek sistemi işlevi taşımakta ve mühendislik uygulamaları açısından büyük avantaj sağlamaktadır. Bu haritalar, yerel yönetimler, çevre mühendisleri, hidrojeologlar ve su kaynakları planlamacıları için bölgesel ölçekli stratejik planlamalarda kullanılabilecek güçlü bir referans kaynağı niteliğindedir. Şekil 24, tüm parametrelerin AHP ve TOPSIS yöntemleriyle birleştirilmesiyle elde edilen nihai uygunluk haritasıdır. “Çok uygun”, “orta uygun” ve “uygun değil” alanlar sınıflandırılmıştır.



Şekil 24. Diyarbakır İli Yeraltı Barajı Yer Seçimi Nihai Uygunluk Haritası

Literatürde yer alan benzer çalışmalarla bu çalışmanın bulguları önemli ölçüde örtüşmektedir. Örneğin, Yılmaz ve Erdem (2018), Karaman ilinde gerçekleştirdikleri çalışmada yüksek uygunluk alanlarını alüvyon formasyonları, düşük eğim değerleri ve suya yakınlık ile ilişkilendirmiştir [15].

Getachew (2019), TOPSIS yönteminin mekânsal uygunluk analizlerinde yüksek güvenilirlik sağladığını ve CBS ile entegrasyonunun güçlü sonuçlar ürettiğini belirtmiştir [4]. Zhou ve arkadaşları (2021) ise, yeraltı suyu yeniden dolum alanlarının belirlenmesinde AHP–TOPSIS yöntemlerinin birlikte kullanımının özellikle alüvyon, yağış ve eğim faktörlerinde etkili olduğunu göstermiştir [16].

Bu çalışmanın en önemli katkılarından biri, eksik parametrelerin (iletkenlik, akifer durumu ve alüvyon) literatür destekli modellemelerle analiz sistemine entegre edilmesidir. Böylece yalnızca mevcut veriye dayalı değil, jeolojik ve hidrojeolojik varsayımlarla desteklenmiş alanlar da değerlendirme sürecine dahil edilmiştir.

Gelecek çalışmalar için, bu analiz sonuçlarının yerinde yapılacak jeofizik etütler, zemin sondajları ve su seviyesi ölçümleri gibi saha temelli verilerle karşılaştırılması önerilmektedir. Bu doğrulama adımı, modelin güvenilirliğini artıracak gibi, yeraltı barajlarının tasarım ve inşaa süreçlerinde daha yüksek isabet oranı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, Diyarbakır Ovası özelinde yürütölen bu çalışma, sadece yer seçimi açısından değil; aynı zamanda çok kriterli karar verme yaklaşımlarının CBS ile entegrasyonuna dair başarılı bir örnek teşkil etmektedir. Söz konusu yöntem, Türkiye'nin diğeri yarı kurak havzalarında da uygulanabilir olup, sürdürülebilir su yönetimi politikaları açısından yol gösterici potansiyel taşımaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Recep ÇELİK: Kavramsallaştırma, gözetim ve liderlik sorumluluğu (araştırma faaliyetinin planlanması ve yürütülmesi için gözetim ve liderlik sorumluluğu), metodoloji (metodolojinin geliştirilmesi ya da tasarımı). Melis ARCA: Yazma-orijinal taslak hazırlama, yazma-gözden geçirme ve düzenleme, veri toplama, verinin düzenlenmesi (çeşitli kaynaklardan toplanan verilerin organizasyonu ve bütünleştirilmesi), görselleştirme (veri sunumu), analiz (verileri analiz etmek için istatistiksel, matematiksel, hesaplamalı ya da diğer tekniklerin kullanılması), metodoloji (metodolojinin geliştirilmesi ya da tasarımı).

KAYNAKLAR

- [1] T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [2] J. Malczewski, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley & Sons, 1999.
- [3] K. Vashist and K. Singh, “Flood hazard mapping using GIS-based AHP approach for Krishna River basin,” *Hydrological Processes*, vol. 38, no. 1, pp. 110–122, 2024.
- [4] Y. Getachew, “Application of multi-criteria decision analysis integrated with GIS and air pollution model inputs for schools site selection,” M.S. thesis, Addis Ababa University, Ethiopia, 2019.
- [5] R. A. Freeze and J. A. Cherry, *Groundwater*. New Jersey: Prentice Hall, 1979.
- [6] S. K. Sharma and M. L. Kansal, “Suitability analysis for subsurface dam site selection using remote sensing and GIS,” *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, vol. 59, no. 3, pp. 174–186, 2011.
- [7] S. Tadayon and M. Feizi, “Investigating suitable sites for underground dam construction using GIS (Case study: Yazd–Ardakan plain),” *Environmental Earth Sciences*, vol. 70, no. 3, pp. 1289–1297, 2013, doi: 10.1007/s12665-012-2192-3.

- [8] MTA Genel Müdürlüğü, *Jeoloji ve Hidrojeoloji Haritaları Arşivi*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayınları, 2020.
- [9] N. Saatçioğlu, “Yeraltı Barajları Ölçütleri,” *DSİ Teknik Bülteni*, vol. 5, no. 2, pp. 13–27, 2019.
- [10] A. Shaban, “Groundwater mapping using remote sensing and GIS,” *Environmental Earth Sciences*, vol. 75, no. 7, pp. 643, 2016.
- [11] ESRI (Environmental Systems Research Institute), *ArcGIS Pro User Guide*. (2020). Erişim Tarihi: 02.05.2025. [Online]. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/main/welcome-to-the-arcgis-pro-app-help.htm>
- [12] MTA Genel Müdürlüğü, *Yenilenmiş Diri Fay Haritaları, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı*. (2023). Erişim Tarihi: 02.05.2025. [Online]. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari>
- [13] C. L. Hwang and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. New York: Springer-Verlag, 1981.
- [14] M. Behzadian, S. K. Otaghsara, M. Yazdani, and J. Ignatius, “A state-of the-art survey of TOPSIS applications,” *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 17, pp. 13051–13069, 2010.
- [15] E. Yılmaz and S. Erdem, “Gömülü havzalarda yeraltı su potansiyelinin belirlenmesi: Karaman ili örneği,” *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 12, no. 3, pp. 321–330, 2018.
- [16] Y. Zhou, X. Li, C. Zhang, and R. Wang, “Integrated assessment of groundwater recharge using TOPSIS-AHP and GIS: A case study in Northern China,” *Environmental Earth Sciences*, vol. 80, no. 2, pp. 115, 2021.