



E-ISSN: 2717-8633

Sayı(Number) 9, Nisan(April) 2025

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

Geliş Tarihi(Receive Date): 09.12.2024

Kabul Tarihi(Accepted Date): 06.03.2025

**Kütahya şehir merkezindeki zeminlerin yapay sinir ağı ile sınıflandırılmasına dair
ön çalışma**

Ersel Göz^{a*}, Yunus Emre Yağan^b, Ali Samet Öngen^c

^aKütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, 43100, Türkiye
ORCID: 0000-0001-7515-2808

^bKütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kütahya, 43100, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1523-0306

^c Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya, 43100, Türkiye
ORCID: 0000-0002-4019-7157

Öz

Zemin sınıflaması, jeoloji ve inşaat mühendisliğinde özellikle jeoteknik projelerde önemli bir konudur. Önceki zemin sınıflandırma çalışmaları, zeminleri tanımlamak için klasik yöntemleri kullanmaktadır. Ancak klasik yöntemler zaman kaybına ve bazen hatalı zemin tanımlamalarına yol açabilmektedir. Bu çalışmada Yapay Sinir Ağı (YSA) kullanılarak bu sorunu çözmek amaçlanmıştır. Çalışmada Kütahya şehir merkezinden toplanan 72 adet zemin örneğini dört farklı zemin sınıfına ayırmak için sınıflandırıcı bir YSA modeli önerilmiştir. Önerilen YSA, ileri beslemeli üç katmanlı bir örüntü tanıma ve sınıflandırma ağıdır. YSA'nın ilk katmanı girdi katmanı, ikinci katmanı gizli katman ve üçüncü katmanı çıktı katmanıdır. Girdi katmanı, giriş elemanları olarak beş zemin özelliğinden meydana gelmektedir: çakıl, kum, kil+silt, likit limit ve plastisite indisi. Gizli katmanda dokuz nöron bulunmaktadır ve gizli katmandaki nöronlarda tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. YSA çıkışı, zemin örneklerini, düşük plastisiteli kil, yüksek plastisiteli kil, killi kum, killi çakıl olmak üzere dört farklı sınıfa ayırmak için dört elemanlı olarak tasarlanmıştır ve bu nedenle çıkış katmanında dört nöron bulunmaktadır. Çıkış katmanında Softmax aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Sonuçları değerlendirmek ve analiz etmek için kullanılan Karışıklık Matrislerine göre, önerilen sınıflandırıcı YSA %98,6'lık bir sınıflandırma performansına sahiptir. Bu sonuç, önerilen sınıflandırıcı YSA'nın zeminleri tanımlamada kullanışlı olduğunu ve kentsel alanlarda planlama ve geliştirme için değerli bilgiler verdiğini göstermektedir.

© 2023 DPU All rights reserved.

Anahtar Kelimeler: Kütahya; makine öğrenmesi; yapay sinir ağları; zemin sınıflama.

Preliminary approach to artificial neural network based soil classification in Kutahya city centre

Abstract

Soil classification is an important subject of geology, and civil engineering, especially in geotechnical projects. Previous soil classification studies have classical methods to identifying soils. However, these classical methods can be very time-consuming and sometimes lead to erroneous definitions of soils. Here, we aim to solve this problem for using Artificial Neural Networks (ANN). In this study, a classifier ANN model is proposed for classifying seventy-two soil samples collected from the city center of Kutahya into four different soil classes. The proposed ANN is a feed-forward three-layer pattern recognition and classification network. The first layer of the ANN is the input layer, the second layer is the hidden layer, and the third layer is the output layer. The input layer consists of five soil properties as input elements: gravel, sand, clay+silt, liquid limit and plasticity index. There are nine neurons in the hidden layer, and tangent hyperbolic activation functions are used in the neurons in the hidden layer. The output of the ANN is designed with four elements to classify the soil samples into four different classes: low plasticity clay, high plasticity clay, clayey sand, clayey gravel, and therefore four neurons are in the output layer. Softmax activation functions are used in the output layer. According to the Confusion Matrices used to evaluate and analyze the results, the proposed classifier ANN has a classification performance of 98.6%. This shows that the proposed classifier ANN is useful at identification of soils, and gives valuable information to the planning and development in urban areas.

© 2023 DPU All rights reserved.

Anahtar Kelimeler: Kütahya; machine learning; artificial neural networks; soil classification.

* Corresponding author. Tel.: +90-274-443-4365

E-mail address: ersel.goz@dpu.edu.tr

1. Giriş

Zemin sınıflaması, özellikle bina, köprü, otoyol, baraj gibi mühendislik projelerinin inşasından önce, ilgili projelerde karar alınmasını sağlayan en temel unsurlardan biri olup farklı ortamlarda ve gerilme koşullarında zemin davranışının tahmin edilmesi ve jeoteknik risklerin değerlendirilmesi için önemli veriler sağlamaktadır. Zemin sınıflamasına yönelik geleneksel yaklaşımlar, uzun süreç gerektiren ve yüksek maliyetli işlemlerdir. Günümüzde bilişim alanındaki gelişim ve değişimler ile birlikte daha hızlı ve etkin zemin sınıflaması için araştırmacılar Makine Öğrenmesi yaklaşımına yönelmişlerdir.

Bir makine öğrenmesi modeli olan Yapay Sinir Ağları (YSA), zemin verilerinin doğasında olabilecek değişkenlik ve bağımlılıkları yönetmede ve zemin veri kümelerindeki karmaşık, doğrusal olmayan ilişkileri yakalamada yüksek performans göstermektedir. Üç katmanlı İleri Beslemeli YSA'lar, hesaplama hızı ve tahmin hassasiyeti açısından önemlidir. Bu yapının, genel zemin sınıflamasında nasıl performans gösterdiğine dair bazı çalışmalar yürütülmüştür. Örneğin [1] tane boyu dağılımı ve su içeriğine dayalı olarak zemin türlerini tahmin etmek için üç katmanlı YSA'yı kullanmıştır. Çalışmadaki YSA'nın performansı lojistik regresyon modellerinden çok daha yüksektir. Ayrıca yine literatürde yer alan çalışmalarda [2], zeminlerin sınıflandırılmasında üç katmanlı YSA'ların etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Daha güçlü karşılaştırmaların yapıldığı bir çalışmada [3], zemin sınıflandırması için güvenilecek tek bir makine öğrenmesi aracı seçilmesi gerekiyorsa, bunun üç katmanlı YSA olması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca [4], mineralojik bileşim ve farklı fiziksel özelliklere sahip karmaşık jeolojik ortamlarda zemin türünün tanımlanmasında üç katmanlı YSA kullanmıştır. Bunun yanı sıra, YSA'lar zemin özelliklerinin tahmini için de uygulanmıştır. [5], kentsel arazi kullanımında zeminin hidrolik özelliklerini modellemek için üç katmanlı YSA'ları kullanırken, [6] ve [7]'de YSA'lar sırasıyla toprak erozyonu ve kuraklık riskinin modellenmesi için kullanılmıştır.

YSA'lar doğru bir zemin sınıflaması yapmak için çeşitli veri artırma teknikleri kullanan [8] tarafından belirtildiği gibi, özellikle verilerin az olduğu durumlarda son derece kullanışlıdır. Sınıflandırmanın doğruluğu, YSA'yı genetik algoritmalar [9] ve bulanık mantık [10] gibi diğer yaklaşımlarla entegre eden hibrit modellerle daha da geliştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, Kütahya şehir merkezindeki zeminlerin sınıflandırılmasında üç katmanlı YSA modeli kullanılarak, zemin sınıfını pratik bir şekilde sağlayacak verimli bir analiz yöntemine ulaşılmasıdır. Ayrıca çalışmamızda ileri beslemeli üç katmanlı YSA'ların, zemin sınıflandırması için etkinliği, geleneksel yöntemlere göre hızı, doğruluğu ve verimliliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve metod

2.1. Çalışma alanın jeolojisi

Çalışma alanında temel kayaç olarak mermer, kristalize kireçtaşı, mikaşıst, metakonglomera, kuvarsit ve fillitten meydana gelen Paleozoyik yaşlı metamorfik kayaçlar bulunmaktadır [11]. Bu kayaçlar, Mesozoyik yaşlı ofiyolitik seriye ait gabro, serpantin, peridotit tarafından tektonik dokanak ile üstlenmektedir [12]. Bu ofiyolitik seri üstüne uyumsuz olarak Neojen yaşlı volkanik, volkano-tortul kayaçlar ve akarsu-göl çökelleri yer almakta, yine bu birimlerin üzerine uyumsuz olarak Kuvaterner yaşlı alüvyon gelmektedir. Çalışma alanındaki güncel alüvyon birikiminde Porsuk ve Felent Çayları etkilidir. Kuvaterner alüvyon çeşitli tane boylarından oluşmaktadır ve çalışma alanındaki çeşitli jeolojik birimlerden türemiştir. Kütahya Ovası içerisinde yaygın olarak gözlenen alüvyon birim başlıca olarak çakıl, kum, silt ve kilden meydana gelmektedir. Çakıllar nadiren gözlenmiştir [13]. [14]'e göre Porsuk Çayı havzasında Devlet Su İşleri (DSİ) verilerine göre alüvyon kalınlığı 5-20 m'dir. Çalışma alanının içinde bulunduğu Kütahya Havzası BKB-DGD doğrultusunda uzanan bir çöküntü alanıdır ve güney kenarında Kütahya Fay Zonu tarafından sınırlanmaktadır [15].

2.2. Veri toplama

Çalışma kapsamında Kütahya Merkez ilçesinde yapılan zemin etütlerine ait raporlar incelenmiştir. Makine öğrenmesi ile zemin sınıflandırılmasının yapılabilmesi için, şehir merkezinin farklı bölgelerini temsil eden mahallelerde yapılan zemin etütlerinden elde edilen veriler özetlenmiştir. Toplamda 72 adet sondajdan zemin veri seti elde edilmiştir (Tablo 1). Elde edilen veri seti makine öğrenmesi algoritmasının, zemin türlerini sınıflandırmada etkinliğini değerlendirmek amacı ile eğitimi ve testi için kullanılmıştır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan 72 adet zemin etüt raporundan elde edilen verilerin değişim aralığı.

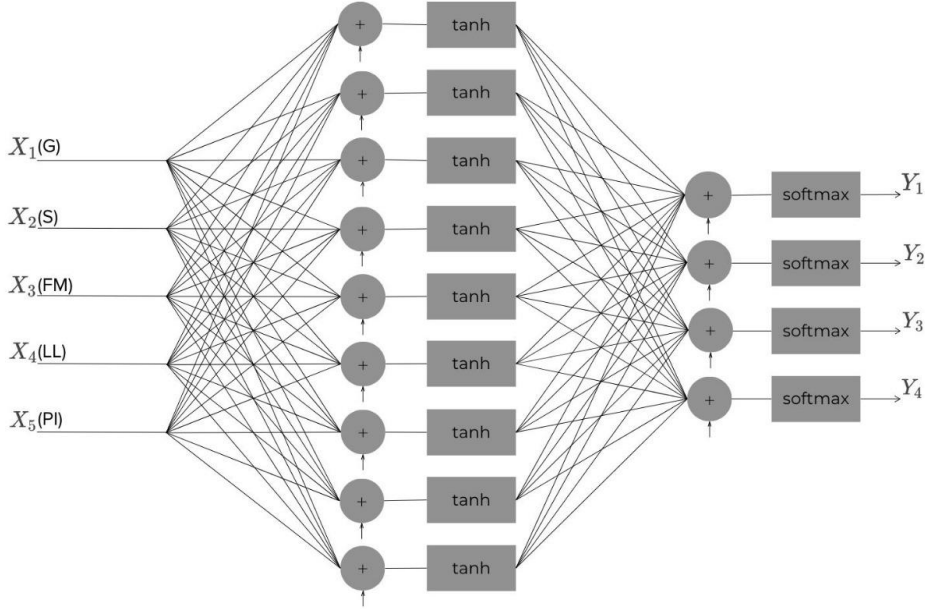
	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt+Kil (%)	Likit Limit, LL (%)	Plastisite İndeksi, PI (%)
Veri aralığı	0-55	1-48	23-99	25-81	12-48

3. Önerilen yapay sinir ağı modeli

Çalışma kapsamında, Kütahya şehir merkezinden toplanan 72 adet zemin örneği verilerini dört sınıfa ayıran bir YSA modeli önerilmektedir. Önerilen örüntü tanıma ve sınıflandırma ağı, Şekil 1'de gösterildiği gibi ileri beslemeli, çok katmanlı YSA yapısındadır. Ağın ilk katmanı girdi katmanı, ikinci katmanı gizli katman ve üçüncü katmanı ise çıktı katmanıdır. Giriş katmanı beş elemandan meydana gelmektedir: çakıl (G), kum (S), kil+silt (FM), likit limit (LL), plastisite indisi (PI). Gizli katmanda dokuz adet nöron bulunmaktadır ve gizli katmandaki nöronlarda tanjant hiperbolik (tanh) aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. YSA çıkış katmanı, zemin örneklerini düşük plastisiteli kil

(CL), yüksek plastisiteli kil (CH), killi kum (SC), killi çakıl (GC) olmak üzere dört farklı sınıfa ayırmak için dört elemanlı olarak tasarlanmıştır. Çıkış katmanında Softmax aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Tasarlanan YSA'nın gizli katmanında kullanılan nöronların sayısı, gizli katmanda ve çıkış katmanında kullanılan aktivasyon fonksiyonlarının türü deneme yanılma yoluyla belirlenmiştir. YSA'nın çıkış katmanında 4 adet nöron kullanılmasının sebebi ise tasarlanan YSA'nın 4 adet çıkış elemanı üretmesinden kaynaklanmaktadır. YSA çıkışından elde edilen bilgiler, zeminin ait olduğu sınıfı belirlemek için Tablo 2'de gösterildiği gibi kullanılmıştır.

Önerilen sınıflandırıcı YSA'nın eğitimi için 72 adet zemin örneğinden eğitim verileri hazırlanmıştır. YSA eğitim verileri 5x72'lik bir giriş matrisinden ve 4x72'lik bir çıkış matrisinden meydana gelmektedir. Tasarım ve eğitim süreci MATLAB yazılımındaki Neural Network Start grafiksel kullanıcı arayüzü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğitim, Scaled Conjugate Gradient geri yayılım algoritması kullanılarak yapılmıştır. Ağ eğitimi sırasında veriler üçe ayrılmıştır: %84,722 eğitim verisi (5x61 giriş ve 4x61 çıkış verisi), %5,556 doğrulama verisi (5x4 giriş ve 4x4 çıkış verisi) ve %9,722 test verisi (5x7 giriş ve 4x7 çıkış verisi). Eğitim verileri önerilen ağın eğitimi sırasında kullanırken, doğrulama verileri ise eğitim süreci boyunca ağın genelleme kabiliyetinin devam edip etmediğini denetlemek için kullanılır. Doğrulama süreci eğitim sürecine paralel olarak devam etmektedir ve genellemenin iyileşmesi durduğunda eğitim sürecinin sona ermesini sağlamaktadır. Test verileri ağın eğitimi sırasında kullanılmamakta olup sadece eğitimini tamamlanan ağın önceden görmediği örneklerle test edilmesi için ayrılmıştır.



Şekil 1. Önerilen sınıflandırıcı YSA.

Tablo 2. YSA çıktıları kullanılarak zemin sınıfının belirlenmesi.

Çıkış	CL	CH	SC	GC
Y1	1	0	0	0
Y2	0	1	0	0

Y3	0	0	1	0
Y4	0	0	0	1

4. Analiz sonuçları

Çalışma kapsamında önerilen sınıflandırıcı YSA'nın eğitim performans sonuçları Şekil 2'de sunulmuştur. Şekil 2'de sınıflandırıcı YSA'nın eğitim, doğrulama, test ve toplam veriler için performansını gösteren karışıklık matrisleri yer almaktadır. Bir karışıklık matrisinde köşegeni oluşturan yeşil renkli kutular hedef çıktı ile gerçek çıktının çakıştığı (aynı olduğu) durumları, köşegen dışımda kalan kırmızı renkli kutular ise gerçek çıktının hedef çıktıdan farklılaştığı durumları temsil etmektedir. Hedef çıktı ile gerçek çıktının çakışması, YSA'nın zemin örneğini doğru sınıflandırdığı anlamına gelmektedir. Hedef çıktı ile gerçek çıktı arasındaki fark, YSA'nın zemin örneğini yanlış sınıflandırdığı anlamına gelmektedir.

Şekil 2'deki Eğitim Karışıklık Matrisi incelendiğinde, altmış bir zemin örneğinden oluşan eğitim verileri ile gerçekleştirilen YSA eğitiminin, sadece bir zemin örneğinde yanlış sınıflandırma ile sonuçlandığı görülmektedir. Bu sonuç, sınıflandırıcı YSA'nın Eğitim sürecinin %98,4 başarı oranı ile tamamlandığını göstermektedir. Şekil 2'den Doğrulama Karışıklık Matrisi incelendiğinde, sınıflandırıcı YSA'nın doğrulama ve eğitimin sonlandırılması için kullanılan dört zemin örneğini %100 doğrulukla sınıflandırdığı anlaşılmaktadır. Test Karışıklık Matrisi incelendiğinde ise eğitim ve onaylama süreçleri tamamlanan sınıflandırıcı YSA'nın yedi zemin örneğini %100 doğrulukla sınıflandırdığı görülmektedir. Son olarak, Şekil 2'den Toplam Karışıklık Matrisi incelendiğinde ise sınıflandırıcı YSA'nın tüm veri seti için toplam sınıflandırma performansının %98,6 olduğu sonucu okunmaktadır.



Şekil 2. Önerilen sınıflandırıcı ağın performansı.

5. Sonuç ve öneriler

Araştırmada geliştirilen YSA modeli, Kütahya şehir merkezi zemin örneklerinin sınıflandırılması için beş farklı giriş parametresi kullanmaktadır. Önerilen ağ, içerisinde dokuz adet nöron olan, tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonuna sahip bir adet gizli katman içermektedir. Ağın çıkışı ise zeminin ait olduğu sınıfı gösteren, dört parametreden oluşmaktadır. Ağın çıkış katmanındaki nöronlarda softmax aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. YSA girişleri zemine ait çakıl, kum, kil+silt, likit limit ve plastisite indisi değerleridir. YSA çıkışından elde edilen bilgiler ise zeminin, düşük plastisiteli kil, yüksek plastisiteli kil, killi kum ve killi çakıl sınıflarından hangisine ait olduğunu göstermektedir. Önerilen modelin sınıflandırma performansı, eğitim verileri, doğrulama verileri, test verileri ve toplam verilerden elde edilen karışıklık matrisine göre değerlendirilmiştir. Karışıklık matrisleri incelendiğinde, sınıflandırıcı YSA'nın eğitim, onaylama, test ve tüm veriler için sınıflandırma performanslarının sırasıyla %98.4, %100, %100 ve %98.6 olduğu görülmektedir. Bu sonuç, önerilen sınıflandırıcı YSA'nın zeminleri tanımlamada başarılı olduğunu göstermektedir. [16] tarafından İstanbul Gayrettepe-Havalimanı metro hattında 805 zemin sondajı

verisi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, farklı makine öğrenmesi teknikleri kullanarak (SMOTE, KNN vb.) zemin sınıflandırılması için en uygun modelin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada ise softmax fonksiyonlu 9 nöronlu gizli katman kullanılmıştır. [16] çapraz doğrulama yöntemi ile çeşitli teknikleri kullanmış, bu çalışmada YSA modelinde tek bir yapay sinir ağı kullanılmış ve %98.4 ile %100 arasında değişen doğruluk oranları elde edilmiş, böylelikle oluşturulan YSA modelinin performansı analiz edilmiştir. Bu doğrultuda genelleştirilebilirlik açısından [16] daha kapsamlı bir yaklaşıma sahipken, uygulama başarısı açısından bu çalışma Kütahya ili açısından yüksek doğruluk oranları ile güçlü bir model sunmaktadır. Önerilen modelin kentsel alanların tasarım, planlama ve geliştirme süreçlerine önemli katkısı olacağı düşünülmektedir. Geliştirilen modelin genellenebilirliği için veri sayısının artırılması, daha büyük veri setleri kullanılması, farklı makine öğrenmesi yöntemleri ile kıyaslanması, farklı jeoloji ve zemin koşullarında denenmesi gerekmektedir.

Yazar katkısı

Ersel Göz ve Ali Samet Öngen veri seti oluşturulması, metnin yazılması ve Yunus Emre Yağan MATLAB programında makine öğrenmesi algoritmasını geliştirme ve metin yazımında katkı sunmuşlardır.

Teşekkür

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum çıkar çatışması bulunmamaktadır. Yazarlar, çalışma kapsamında kullanılan verilerin teminini konusunda yardımcı olan Zemin Mühendislik (Kütahya) firması sahibi Oktay SÖNMEZ ve firmanın tüm çalışanlarına, tüm hakemlere ve editörlere teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] J. Shi, B. Li, and X. Hu, "Soil classification using particle size distribution and moisture levels via artificial neural networks," *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 36, no. 6, pp. 3235-3247, 2018, doi: 10.1007/s10706-018-0512-1.
- [2] Y. Li, H. Wang, and Q. Zhang, "Application of artificial neural networks in soil texture classification: A case study in China," *Soil Science Society of America Journal*, vol. 84, no. 4, pp. 973-981, 2020, doi: 10.2136/sssaj2019.12.0001.
- [3] A. Elshorbagy, F. Diallo, and D. S. Nash, "Comparison of artificial neural network and support vector machine models for soil classification," *Computers and Geosciences*, vol. 140, pp. 104-119, 2020, doi: 10.1016/j.cageo.2020.104119.
- [4] N. Duc, H. Nguyen, and T. Tran, "Application of artificial neural networks for soil classification in challenging geological settings," *Engineering Geology*, vol. 319, pp. 107-122, 2023, doi: 10.1016/j.enggeo.2023.107122.
- [5] L. M. Nunes, D. M. de Souza, and R. Silva, "Predicting soil hydraulic properties using artificial neural networks for urban planning," *Journal of Hydrology*, vol. 594, pp. 125-132, 2021, doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.125132.
- [6] X. Wu, Y. Zhao, and L. Zhang, "Modeling soil erosion using artificial neural networks," *Catena*, vol. 199, p. 105120, 2021, doi: 10.1016/j.catena.2020.105120.
- [7] S. Singh, K. Thakur, and P. Kumar, "Assessing desertification risk using artificial neural networks," *Arid Land Research and Management*, vol. 34, no. 4, pp. 413-430, 2020, doi: 10.1080/15324982.2020.1729571.
- [8] M. S. Rahman and M. A. Islam, "Soil classification using artificial neural networks in data-scarce rural regions," *Geoderma Regional*, vol. 29, p. e00318, 2022, doi: 10.1016/j.geodrs.2022.e00318.
- [9] W. Zhang, Y. Luo, and H. Chen, "Optimizing soil classification with a genetic algorithm-enhanced neural network model in flood-prone areas," *Soil and Tillage Research*, vol. 231, p. 105703, 2023, doi: 10.1016/j.still.2023.105703.
- [10] G. Kaur, R. Singh, and A. Gupta, "Hybrid neural network model with fuzzy logic for soil classification in arid regions," *Environmental Modelling & Software*, vol. 157, p. 105280, 2023, doi: 10.1016/j.envsoft.2022.105280.
- [11] İ. Temizel, M. Arslan, C. Özkul, M. Özburan, "Kütahya (Batı Anadolu) ve çevresinde yüzeylenen Miyosen yaşlı volkanik kayaların mineral kimyası ve püskürme öncesi kristallenme koşulları," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 30, no. 4, pp. 564-585, 2024.
- [12] A.I. Okay, "Kuzeybatı Anadolu'daki ofiyolitlerin jeolojisi ve mavişist metamorfizması (Tavşanlı-Kütahya)," *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, vol. 24, pp. 85-95, 1981.
- [13] I. Yılmaz, A. Bağcı, "Soil liquefaction susceptibility and hazard mapping in the residential area of Kütahya (Turkey)". *Environ Geol*, vol. 49, 708-719, 2012. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-0112-1>.
- [14] M. Özburan, Ö.F. Gürer, "Late Cenozoic polyphase deformation and basin development, Kütahya region, western Turkey". *International Geology Review*, 54(12), 1401-1418, 2012.

- [15] S. Altınok, V. Karabacak, C. Ç. Yalçın, A. N. Bilgen, E. Altunel, N. G. Kıyak, “Kütahya Fay Zonu’nun Holosen Aktivitesi,” *Türkiye Jeoloji Bülteni*, vol. 55, no. 1, pp. 1–17, 2012.
- [16] Aydın, Y., Işıkdag, Ü., Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., & Geem, Z. W. (2023). Use of machine learning techniques in soil classification. *Sustainability*, 15(3), 2374. <https://doi.org/10.3390/su15032374>