



**JEOLJİK VE JEOTEKNİK ÇALIŞMALARA
BAĞLI OLARAK YERLEŞİME UYGUNLUK
DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ:
KÜTAHYA (MERKEZ) ÖRNEĞİ**

Yüksek Lisans Tezi

Murat HASTÜRK

Eskişehir 2025

**JEOLJİK VE JEOTEKNİK ÇALIŞMALARA BAĞLI OLARAK YERLEŞİME
UYGUNLUK DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ: KÜTAHYA (MERKEZ)
ÖRNEĞİ**

Murat HASTÜRK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Kasım 2025

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Murat HASTÜRK'ün JEOLJİK VE JEOTEKNİK ÇALIŞMALARA BAĞLI OLARAK YERLEŞİME UYGUNLUK DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ: KÜTAHYA (MERKEZ) ÖRNEĞİ başlıklı çalışması 06/11/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Yer Bilimleri Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Prof. Dr. H. Ahmet NEFESLİOĞLU

Üye

: Doç. Dr. Emrah PEKKAN

Üye

: Doç. Dr. Yasemin LEVENTELİ

Prof. Dr. Harun BÖCÜK

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

06/11/2025

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Murat HASTÜRK, JEOLojİK VE JEOTEKNIK ALIşMALARA BAğLI OLARAK YERLEşİME UYGUNLUK DURUMUNUN DEğERLENDİRİLMESİ: KÜTAHYA (MERKEZ) RNEğİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımda incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİğLU

ÖZET

JEOLJİK VE JEOTEKNİK ÇALIŞMALARA BAĞLI OLARAK YERLEŞİME UYGUNLUK DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ: KÜTAHYA (MERKEZ) ÖRNEĞİ

Murat HASTÜRK

Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kasım 2025

Danışman: Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Bu çalışmada, Kütahya Merkez İlçesi'nin yerleşime uygunluk durumunun Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile K-En Yakın Komşular (KNN) algoritmasının entegrasyonu aracılığıyla analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, bölgenin jeoteknik ve topoğrafik özellikleri birlikte değerlendirilmiş; mühendislik jeolojisi açısından güvenli ve sürdürülebilir yerleşim alanlarının belirlenmesine yönelik mekânsal analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde, sismik dalga hızları (V_p , V_s), standart penetrasyon testi (N_{60}) değerleri, topoğrafik eğim ve yükselti gibi parametreler kullanılmıştır. Bu verilerin mekânsal dağılımları CBS ortamında belirlenmiş, ardından oluşturulan mikrobölgeler içerisinde normalize edilerek KNN modeli aracılığıyla sınıflandırılmıştır. Ayrıca, KNN modelleme sürecinde değerlendirilen predict_proba yöntemi ile her bir örneğin ilgili sınıfa ait olma olasılıkları hesaplanmış; bu sayede, belirlenen öncelikli alanların kendi içerisinde alt gruplara ayrılması mümkün olmuştur. Elde edilen sonuçlar, düşük eğimli ve yüksek zemin dayanımına sahip alanların yerleşim açısından yüksek uygunluk gösterdiğini; alüvyon karakterli, düşük dalga hızına sahip gevşek zeminlerin ise düşük uygunluk sınıfında yer aldığını ortaya koymaktadır. CBS tabanlı KNN yaklaşımının predict_proba yöntemi ile entegrasyonunun, yerleşim planlaması, mühendislik jeolojisi ve afet risk azaltma uygulamalarında etkin bir karar destek aracı olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Mühendislik jeolojisi, KNN, predict_proba, Yerleşim uygunluğu, Kütahya Merkez İlçesi

ABSTRACT

ASSESSMENT OF SUITABILITY FOR SETTLEMENT BASED ON GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL STUDIES: THE CASE OF KÜTAHYA (CENTER)

Murat HASTÜRK

Department of Earth Sciences

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, November 2025

Supervisor: Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

This study aims to analyze the suitability of Kütahya Central District for settlement through the integration of Geographic Information Systems (GIS) and the K-Nearest Neighbors (KNN) algorithm. Within this scope, the geotechnical and topographic characteristics of the region were evaluated together; spatial analyses were performed to determine safe and sustainable settlement areas from an engineering geology perspective. Parameters such as seismic wave velocities (V_p , V_s), standard penetration test (N_{60}) values, topographic slope, and elevation were used in the analysis process. The spatial distribution of these data was determined in a GIS environment, then normalized within the created microzones and classified using the KNN model. In addition, the predict_proba method evaluated in the KNN modeling process was used to calculate the probabilities of each sample belonging to the relevant class; thus, it was possible to divide the identified priority areas into subgroups within themselves. The results obtained reveal that areas with low slope and high ground strength are highly suitable for settlement, while loose soils with alluvial characteristics and low wave velocity are classified as low suitability. It was determined that the integration of the CBS-based KNN approach with the predict_proba method can be used as an effective decision support tool in settlement planning, engineering geology, and disaster risk reduction applications.

Keywords: Engineering geology, KNN, predict_proba, Settlement suitability, Kütahya Central District

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yürütülmesi sürecinde, veri temini ve teknik destek konularında katkılarını esirgemeyen İller Bankası Genel Müdürlüğü Mekansal Dairesi Başkanlığı çalışanlarına ve özellikle çalışmalarımda kullanılan jeoteknik parametrelerin paylaşımına izin veren Mekansal Planlama Dairesi Başkanı Sayın Osman Nuri OSMANLI'ya içten teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında fikir alışverişinde bulunarak düşünsel gelişimime katkı sağlayan değerli mesai arkadaşıma ve her zaman yanımda olarak maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu çalışmanın her aşamasında bilgi, deneyim ve yönlendirmeleriyle bana rehberlik eden, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli danışmanım Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU'na en derin teşekkürlerimi sunarım.

Murat HASTÜRK

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Murat HASTÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Konusu ve Gerekçesi	1
1.2. Kütahya İlinin Jeolojik Önemi	2
1.3. Çalışmanın Amacı: KNN Yöntemiyle Yerleşime Uygunluk Analizi	2
1.4. Yöntemin Özelliği ve Katkısı	3
1.5. Tezin Kapsamı ve Yapısı	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
2.1. Yerleşime Uygunluk Kavramı	6
2.1.1. Yerleşime uygunluk kavramının tarihsel gelişimi	6
2.1.2. Türkiyede ve dünyadaki yaklaşımlar.....	7
2.2. Jeolojik ve Jeoteknik Etkenlerin Yerleşim Uygunluğu Üzerindeki Rolü	9
2.3. KNN algoritması ve uygulamaları.....	11
2.4. CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) Tabanlı Uygunluk Çalışmaları.....	12
3. ÇALIŞMA ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ	13

3.1. Kütahya Merkez İlçesi'nin Coğrafi Konumu.....	13
3.2. Jeolojik Yapı ve Stratigrafi	14
3.3. Tektonik Özellikler ve Aktif Faylar	18
3.4. Arazi Kullanımı, Eğim, Su Kaynakları ve Diğer Parametreler	19
3.5. Topografik ve Morfolojik Analizler	20
4. VERİLER VE YÖNTEM.....	22
4.1. Zemin Özellikleri ve Jeoteknik Veriler	23
4.1.1. Eğim ve topoğrafik veriler:	23
4.1.2. Drenaj ve hidrolojik veriler:	23
4.1.3. Fay hattı ve tektonik veriler:.....	23
4.1.4. CBS tabanlı mekânsal veriler:	23
4.2. Veri Ön İşleme.....	24
4.2.1. Normalizasyon.....	29
4.2.2. Mekânsal interpolasyon (IDW Yöntemi).....	30
4.2.3. Rasterlaştırma	31
4.2.4. Veri katmanlaştırma.....	31
4.3. KNN Algoritması ve Teorik Temelleri.....	31
4.4. Eğitim ve Test Verileri.....	33
4.5. CBS ile KNN Modelleme Süreci ve Analiz Aşamaları.....	35
4.5.1. Veri okuma ve hazırlık	35
4.5.2. Parametrelerin dağılım analizi	35
4.5.3. Korelasyon analizi.....	36
4.5.4. Tanımlayıcı istatistiklerin elde edilmesi.....	36
4.5.5. Verilerin normalizasyonu.....	36
4.5.6. KNN modelinin eğitilmesi ve en uygun k değerinin belirlenmesi	36
4.5.7. Modelin tahmin aşaması ve olasılık analizi	38
4.5.8. Sürecin genel değerlendirmesi	38
4.6. Haritalama ve Sınıflandırma	40
4.6.1. Parametrelerin mekânsal dağılımı	40
4.6.2 Genel değerlendirme.....	54
4.7. Avantajlar ve Sınırlamalar.....	55
5. UYGULAMA VE ANALİZLER	57

5.1. Model Parametrelerinin Belirlenmesi	57
5.2. KNN Sınıflandırmasının Uygulanması	57
5.3. CBS Ortamında Uygunluk Haritalarının Üretimi.....	59
5.4. Sonuçların Doğrulanması.....	60
5.5. Uygunluk Sonuçlarının Mekansal Bazlı Değerlendirilmesi	61
5.5.1. Stabilite sorunu açısından önemli alan 2.1	62
5.5.2. Şişme ve oturma sorunu açısından önemli alan 5.1	63
6. BULGULAR.....	64
6.1. KNN Model Sonuçlarının İstatistiksel Analizi	64
6.1.1. Kutu grafikleri ile sınıflara göre olasılık dağılımı.....	64
6.1.2. Histogramlar ile olasılık yoğunluklarının dağılımı.....	68
6.2. Genel Değerlendirme ve Bulguların Anlamı	71
7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	73
7.1. Kütahya Merkez’de Yerleşime En Uygun ve En Riskli Bölgelerin Değerlendirilmesi	73
7.2. Yöntemin güçlü ve sınırlı yönleri.....	74
7.3. Uygulayıcılara Öneriler (Belediyeler, Planlamacılar, Afet Yönetimi Birimleri İçin).....	74
7.4. Literatürdeki Benzer Çalışmalarla Karşılaştırma.....	74
7.5. Jeoteknik Verilerin Karar Sürecine Etkisi	75
8. ÖNERİLER	76
8.1. Tezin Ana Bulguları.....	76
8.2. Planlama ve Afet Yönetimi Açısından Çıkarımlar	76
8.3. Kütahya Özelinde ve Genelde Uygulanabilirlik Önerileri	77
8.4. Gelecekteki Araştırmalara Katkı Sağlayacak Tavsiyeler	77
8.5. Son Değerlendirme.....	78
KAYNAKÇA.....	79
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Türkiyede ve Dünyadaki Yaklaşımlar	8
Tablo 3.1. Yerleşmeler arası karayolu uzaklıkları	13
Tablo 4.1. Kullanılan tüm verilerin istatistiksel özeti(parameters: parametreler, count: veri setinde yer alan gözlem sayısı, mean: verilerin aritmetik ortalaması, std: standart sapma, min: veri setindeki en küçük değer, 0.25: verilerin %25'inin bu değerden küçük olduğunu gösterir, 0.50: verilerin tam ortasındaki değerdir, 0.75: verilerin %75'inin bu değerden küçük olduğunu gösteri, max: veri setindeki en büyük değer).	24
Tablo 4.2. SPT Düzeltme Katsayıları (TBDY, 2018)	26
Tablo 4.3. Sk-87 kuyusunun N_{60} düzeltme tablosu (TBDY, 2018)	26
Tablo 4.4. Örnek SİS-34-35 noktalarına ait hız ve kalınlık değerleri	27
Tablo 4.5. Kullanılan tüm verilerin istatistiksel özeti(parameters: parametreler, count: veri setinde yer alan gözlem sayısı, mean: verilerin aritmetik ortalaması, std: standart sapma, min: veri setindeki en küçük değer, 0.25: verilerin %25'inin bu değerden küçük olduğunu gösterir, 0.50: verilerin tam ortasındaki değerdir, 0.75: verilerin %75'inin bu değerden küçük olduğunu gösteri, max: veri setindeki en büyük değer).	33
Tablo 4.6. Yükseklik bazlı istatistikler	33
Tablo 4.7. Eğim bazlı istatistikler	34
Tablo 4.8. N_{60} bazlı istatistikler	34
Tablo 4.9. V_p küme bazlı istatistikler	34
Tablo 4.10. V_p/V_s küme bazlı istatistikleri	34
Tablo 4.11. V_{s30} bazlı istatistikler	34

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. İnceleme alanı Google Earth görüntüsü	13
Şekil 3.2. Kütahya İli ve Merkez İlçesi'nin Yer Buldur Haritası.....	14
Şekil 3.3. Kütahya ve Çevresi Jeoloji Haritası ((Özburun M. , 2009).....	15
Şekil 3.4. Kütahya (Merkez) stratigrafik kolon kesiti (Özburun M. , 2009)	16
Şekil 3.5. Çalışma Alanındaki Aktif Fay Hatları ((Türkiye Diri Fay Haritası, 2012).....	19
Şekil 3.6. Çalışma Alanının Yükseklik Dağılımı	20
Şekil 3.7. Çalışma Alanının Eğim Dağılımı	21
Şekil 4.1. Sondaj çalışmalarına ait fotoğraflar	22
Şekil 4.2. N_{60} değerlerinin mekânsal dağılımı (IDW yöntemiyle)	41
Şekil 4.3. V_p değerlerinin mekânsal dağılımı (IDW yöntemiyle).....	42
Şekil 4.4. V_p/V_s 'in değerlerinin mekânsal dağılımı (IDW yöntemiyle).....	43
Şekil 4.5. V_{s30} değerlerinin mekânsal dağılımı (IDW yöntemiyle)	44
Şekil 4.6. Yükseklik Dağılımı (A) boxplot ve (B) histogram gösterimi	45
Şekil 4.7. Eğim Dağılımı (A) boxplot ve (B) histogram gösterimi	46
Şekil 4.8. N_{60} Dağılımı (A) boxplot ve (B) histogram gösterimi	47
Şekil 4.9. V_p Dağılımı (A) boxplot ve (B) histogram gösterimi	48
Şekil 4.10. V_p/V_s Dağılımı (A) boxplot ve (B) histogram gösterimi	49
Şekil 4.11. V_{s30} Dağılımı (A) boxplot ve (B) histogram gösterimi.....	50
Şekil 4.12. Parametreler Arası İlişkiler – Pairplot Grafiği	51
Şekil 4.13. Parametreler arası korelasyon matrisi	53
Şekil 5.1. Kütahya Merkez İlçesi'nde stabilite sorunu açısından belirlenen Önemli Alan 2.1'in mekânsal dağılımı	62
Şekil 5.2. Kütahya Merkez İlçesi'nde şişme ve oturma potansiyeli açısından belirlenen Önemli Alan 5.1'in mekânsal dağılımı	63

Şekil 6.1. KNN sonucu tahmin edilen 1 nolu sınıfının tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı kutu grafiği ile gösterimi	64
Şekil 6.2. KNN sonucu tahmin edilen 2 nolu sınıfının tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı kutu grafiği ile gösterimi	65
Şekil 6.3. KNN sonucu tahmin edilen 3 nolu sınıfının tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı kutu grafiği ile gösterimi	66
Şekil 6.4. KNN sonucu tahmin edilen 4 nolu sınıfının tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı kutu grafiği ile gösterimi	67
Şekil 6.5. KNN sonucu tahmin edilen 1 nolu sınıfının tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı histogram grafiği ile gösterimi.....	68
Şekil 6.6. KNN sonucu tahmin edilen 2 nolu sınıfının tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı histogram grafiği ile gösterimi.....	69
Şekil 6.7. KNN sonucu tahmin edilen 3 nolu sınıfının tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı histogram grafiği ile gösterimi.....	69
Şekil 6.8. KNN sonucu tahmin edilen 4 nolu sınıfının tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı histogram grafiği ile gösterimi.....	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
KNN	: K-En Yakın Komşular Algoritması
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
N₆₀	: %60 enerji verimine indirgenmiş SPT darbe sayısı
V_p	: P Dalgası (Birincil dalga) hızı
V_s	: S Dalgası (İkincil dalga) hızı
V_{S30}	: İlk 30 metredeki ortalama S dalgası hızı
IDW	: Ters Uzaklık Ağırlıklı Enterpolasyon (Inverse Distance Weighting)
MASW	: Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (Multichannel Analysis of Surface Waves)
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model)
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
JMO	: Jeoloji Mühendisleri Odası
Ç.Ş.İ.D.B	: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
UOA	: Uygun Olmayan Alan
C_v	: Çapraz Doğrulama (Cross Validation)
C_{sv}	: Virgülle Ayrılmış Değerler (Comma-Separated Values)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
KNN	: K-En Yakın Komşular Algoritması
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
N₆₀	: %60 enerji verimine indirgenmiş SPT darbe sayısı
V_p	: P-Dalgası (Birincil dalga) hızı
V_s	: S-Dalgası (İkincil dalga) hızı
Min	: Minimum
Max	: Maximum
K	: Komşu sayısı

1. GİRİŞ

1.1. Araştırmanın Konusu ve Gerekçesi

Bu araştırma, Kütahya Merkez İlçesi'nde yerleşime uygunluk analizinin K-En Yakın Komşular (KNN) yöntemi kullanılarak yapılmasını konu almaktadır. Çalışmada bölgenin jeolojik, jeoteknik ve topoğrafik özellikleri, yerleşim alanı seçiminde belirleyici kriterler olarak ele alınmıştır (Özdemir ve Kaya 2020).

Türkiye'de son yıllarda hızla artan kentleşme ve nüfus yoğunluğu, plansız yapılaşma ile birleştğinde yerleşim alanlarının doğal koşullara uygun olmayan zeminler üzerine kurulmasına yol açmaktadır (T.C. ÇŞİDB., 2023) (. Bu durum, özellikle deprem, sıvılaşma, heyelan ve zemin oturması gibi jeoteknik riskleri artırmakta, can ve mal güvenliği açısından ciddi sorunlar yaratmaktadır (AFAD, 2018; Kramer, 1996). Bu nedenle yerleşim alanı seçimi, yalnızca sosyal ve ekonomik kriterlerle değil, jeolojik ve mühendislik jeolojisi temelli değerlendirmelerle yapılmalıdır (Nefeslioğlu vd., 2019).

Yerleşim alanlarının jeolojik ve jeoteknik açıdan değerlendirilmesi hem mevcut yapılaşma hem de gelecekteki kentsel gelişim için hayati öneme sahiptir (Yılmaz, 2015). Zemin türü, eğim koşulları, formasyon yapısı, yeraltı su seviyesi ve mühendislik parametreleri gibi faktörler, alanın güvenli ve sürdürülebilir şekilde kullanılabilirliğini belirler. Geleneksel yöntemlerde uzman görüşüne dayalı değerlendirmeler subjektif olabilmektedir; bu nedenle, KNN gibi veri temelli ve nesnel makine öğrenmesi algoritmaları, yerleşime uygunluk analizlerinde daha güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar sağlamaktadır (Altman, 1992; Zhang vd., 2019).

Bu çalışma, hem Türkiye'deki hızlı kentleşmenin getirdiği jeoteknik risklerin farkına varılması hem de Kütahya Merkez özelinde yerleşime uygun alanların belirlenmesi açısından önem taşımaktadır (Ergün, 2021). Ayrıca, KNN algoritmasının CBS ile entegrasyonu, elde edilen sonuçların mekânsal olarak yorumlanabilmesini ve planlama süreçlerinde bilimsel bir karar destek aracı olarak kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır (Goodchild, 2007; Chen vd., 2020).

Özetle, araştırmanın konusu ve gerekçesi, Türkiye'deki kentleşme baskısı altında güvenli ve sürdürülebilir yerleşim alanlarının belirlenmesi ihtiyacına dayanmakta; jeolojik ve jeoteknik kriterlerin nesnel, veri temelli ve mekânsal olarak değerlendirilebilmesini sağlayacak bir yöntem sunmayı amaçlamaktadır.

1.2. Kütahya İlinin Jeolojik Önemi

Kütahya ili, Türkiye'nin batısında yer almakta olup, hem jeolojik hem de jeoteknik açıdan oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir (MTA, 2020). Bölgede farklı dönemlere ait litolojik birimler yan yana bulunmakta ve aktif fay hatları nedeniyle önemli bir sismik risk taşımaktadır (Emre vd., 2018). Ege Bölgesi'nin batı Anadolu genişleme rejimi etkisinde bulunması, Kütahya ve çevresinde sık sık depremlerin meydana gelmesine yol açmaktadır (Bozkurt, 2001). Özellikle Kütahya Fay Zonu ve çevresindeki diğer aktif faylar, kenti doğrudan etkileyebilecek potansiyele sahiptir (Yıldırım ve Özkaymak 2020).

Bunun yanı sıra, topoğrafik çeşitlilik, eğim farklılıkları, zemin sıvılaşma potansiyeli ve yeraltı suyu seviyesinin yüksek olduğu alanlar gibi faktörler, Kütahya'da yerleşime uygunluk analizlerini daha da karmaşık hale getirmektedir (AFAD, 2018; Yalçın ve Ekinci, 2019). Dolayısıyla, bu bölgedeki yeni yerleşim alanlarının belirlenmesi sürecinde çok kriterli ve bütünlük bir analiz yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır (Saaty, 1980; Malczewski, 2004).

1.3. Çalışmanın Amacı: KNN Yöntemiyle Yerleşime Uygunluk Analizi

Bu çalışmanın temel amacı, K-En Yakın Komşular (KNN) algoritması kullanılarak Kütahya Merkez İlçesi'nin yerleşime uygunluk durumunun nicel ve mekânsal açıdan değerlendirilmesidir (Cover ve Hart, 1967; Altman, 1992). Günümüzde nüfus artışı, hızlı kentleşme ve plansız yapılaşma gibi etkenler, doğal ve jeoteknik özellikleri dikkate alan bilim temelli yer seçimi analizlerini zorunlu hale getirmiştir (T.C. ÇŞİDB, 2023; AFAD, 2018). Bu bağlamda çalışma, veri temelli bir yaklaşımla jeolojik, jeomorfolojik, eğim, litoloji, zemin özellikleri, sıvılaşma potansiyeli ve mühendislik parametreleri gibi çok boyutlu kriterleri birlikte değerlendirerek, en uygun yerleşim alanlarının belirlenmesini hedeflemektedir (Malczewski, 2004; Nefeslioğlu vd., 2019).

KNN yöntemi, denetimli öğrenme algoritmaları arasında yer almakta olup, karar verme sürecinde veri kümeleri arasındaki benzerlikleri (mesafeleri) temel alır. Bu yönüyle, daha önce yerleşime uygunluğu bilinen örnek alanlardan elde edilen veriler, yeni alanların uygunluk düzeyini tahmin etmede kullanılabilir. Böylece, uzman yargısına dayalı geleneksel yöntemlerin subjektifliğini azaltarak, daha nesnel ve istatistiksel olarak temellendirilmiş sonuçlar elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Çalışmanın bir diğer amacı, KNN algoritmasının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında uygulanabilirliğini ortaya koymaktır. Kütahya Merkez İlçesi özelinde

oluşturulan tematik veri katmanları, algoritmaya uygun biçimde sayısallaştırılmış ve uygunluk sınıflarını kendi içinde ilişkilendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, bölgesel yerleşim planlaması, afet riski yönetimi ve sürdürülebilir arazi kullanımı karar süreçlerine bilimsel bir altyapı sağlamayı amaçlamaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma ile KNN yönteminin yerleşime uygunluk analizlerinde alternatif bir karar destek aracı olarak kullanılabilirliği değerlendirilmiş; hem yöntemin etkinliği hem de Kütahya'nın mevcut arazi koşulları açısından uygunluk dağılımı ortaya konulmuştur. Bu sayede, ilerleyen dönemlerde benzer mekânsal analizlerde kullanılacak yöntemsel bir referans çerçevesi sunulması hedeflenmiştir.

1.4. Yöntemin Özelliği ve Katkısı

Bu çalışmada kullanılan K-En Yakın Komşular (KNN) yöntemi, denetimli öğrenme tabanlı bir makine öğrenmesi algoritması olarak, mekânsal analizlerde kullanılabilirliği yüksek, esnek ve güçlü bir sınıflandırma yaklaşımı sunmaktadır (Cover ve Hart, 1967; Altman, 1992). KNN yöntemi, bir noktaya ait bilinmeyen sınıfın belirlenmesinde, o noktanın veri kümesindeki en yakın komşularına olan benzerliğini dikkate alır. Bu benzerlik, çoğunlukla Öklid mesafesi gibi ölçütlerle hesaplanır (Duda vd., 2001). Bu sayede model, herhangi bir karmaşık fonksiyon tanımlamasına ihtiyaç duymadan, doğrudan veri benzerliklerine dayalı tahminler yapabilir.

KNN yönteminin en önemli özelliği, parametrik olmayan bir algoritma olmasıdır; yani verilerin belirli bir dağılım varsayımına uyması gerekmez (Altman, 1992). Bu durum, jeolojik ve jeoteknik verilerin doğası gereği karmaşık ve düzensiz olduğu yerleşime uygunluk analizlerinde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Böylece KNN, farklı ölçeklerdeki verilerle uyumlu çalışabilir ve karmaşık mekânsal ilişkileri basitleştirilmiş ama doğru bir şekilde modelleyebilir.

Bu çalışmada KNN yöntemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile bütünleştirilerek uygulanmıştır. CBS, mekânsal verilerin yönetimi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesinde güçlü bir araç olduğundan (Goodchild, 2007), KNN algoritmasının sonuçları konumsal olarak yorumlanabilir hâle getirilmiştir. Bu entegrasyon sayesinde hem veri temelli karar verme süreci güçlendirilmiş hem de yerleşime uygunluk haritaları mekânsal doğruluk açısından yüksek güvenilirlikte üretilmiştir (Chen vd., 2020).

Yöntemin çalışmaya sağladığı başlıca katkılar şu şekilde özetlenebilir:

Nesnellik ve tekrarlanabilirlik: KNN yöntemi, insan yargısına dayalı ağırlıklandırma sürecini ortadan kaldırarak daha nesnel sonuçlar üretir. Aynı veri setiyle tekrarlandığında benzer sonuçlar elde edilmesi, yöntemin tekrarlanabilirliğini artırır.

Veri çeşitliliğine uyum: Jeolojik, topografik, jeoteknik ve morfometrik veriler farklı ölçeklerde ve türlerde olmasına rağmen KNN bu çeşitliliği doğrudan işleyebilen bir yapıya sahiptir (Han vd., 2012).

Model esnekliği: KNN, parametre değişimleriyle (örneğin “k” değerinin seçimi) farklı çözünürlüklerde analizler yapılmasına olanak sağlar; bu da yerleşim planlamasında farklı senaryoların denenebilmesine imkân tanır (Altman, 1992).

CBS ile bütünleşebilirlik: KNN sonuçları doğrudan raster veya vektör tabanlı haritalara aktarılabildiğinden, planlama ve risk analizi süreçlerinde görsel karar destek aracı olarak kullanılabilir (Malczewski, 2004).

Yöntemsel yenilik: Bu çalışma, KNN algoritmasının jeoteknik ve mühendislik jeolojisi tabanlı yerleşim uygunluk analizlerinde kullanımına yönelik örnek bir uygulama sunarak, literatürdeki yöntemsel boşluklardan birine katkı sağlamaktadır (Nefeslioğlu vd., 2019).

Sonuç olarak, KNN yöntemi bu çalışmada veriye dayalı, nesnel ve CBS ile entegre bir karar destek modeli olarak kullanılmıştır. Yöntem, Kütahya Merkez İlçesi örneğinde hem mevcut yerleşim alanlarının jeoteknik uygunluklarını doğrulamakta hem de gelecekteki planlama kararları için bilimsel bir referans zemin oluşturmaktadır.

1.5. Tezin Kapsamı ve Yapısı

Bu tez çalışması, Kütahya Merkez İlçesi sınırları içerisinde kalan alanlarda, jeolojik, jeoteknik ve topoğrafik özelliklerin yerleşime uygunluk üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Çalışmanın kapsamında zemin özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında sayısallaştırılması (Goodchild, 2007), bu verilerin K-En Yakın Komşular (KNN) algoritmasıyla bütünleştirilmesi (Cover ve Hart, 1967; Altman, 1992) ve elde edilen sonuçların yerleşime uygunluk haritaları şeklinde sunulması yer almaktadır.

Kapsam itibarıyla bu çalışma, veri derleme, ön işleme, modelleme ve sonuçların mekânsal analizini içeren bütüncül bir araştırma yaklaşımına sahiptir. Bu bağlamda, Kütahya Merkez İlçesi için daha önce yürütülen; yerleşime uygunluk sınırları, eğim ve topoğrafya analizleri, SPT (Standart Penetrasyon Testi) sonuçları, V_{s30} değerleri, V_p ve

Vp/Vs oranları gibi çok boyutlu mühendislik parametreleri değerlendirilmiştir (Nefeslioğlu vd., 2019). Her bir parametre, KNN algoritmasının temel girdi katmanlarını oluşturmuş; bu veriler CBS ortamında bütünleştirilerek mekânsal analizler gerçekleştirilmiştir (Chen vd., 2020; Malczewski, 2004). Sonuç olarak, yerleşime uygunluk sınıfları CBS tabanlı modelleme süreciyle belirlenmiş ve Kütahya Merkez İlçesi özelinde jeoteknik ve morfolojik faktörlerin bütüncül etkisi ortaya konmuştur.

Çalışmanın yapısı, sistematik bir yaklaşımla düzenlenmiştir. Tez, toplam sekiz ana bölümden oluşmaktadır:

Birinci bölümde, çalışmanın amacı, kapsamı, yöntemin dayandığı temel ilkeler ve araştırmanın gerekliliği açıklanmıştır.

İkinci bölümde, konuya ilişkin literatür taraması yer almakta; dünyada ve Türkiye’de yapılmış benzer yerleşime uygunluk analizleri ile makine öğrenmesi uygulamaları özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde, araştırma alanının konumu, jeolojik yapısı, jeomorfolojik özellikleri ve mevcut zemin koşulları ayrıntılı biçimde tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde, çalışmada kullanılan veri kaynakları, parametreler, KNN algoritmasının teorik temelleri ve analiz adımları detaylı olarak açıklanmıştır.

Beşinci bölüm, KNN yöntemi ile elde edilen uygunluk analiz sonuçlarını ve bu sonuçların CBS tabanlı mekânsal değerlendirmelerini kapsamaktadır.

Altıncı bölümde, analiz sonuçları literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılmış, yöntemin etkinliği ve elde edilen bulgular tartışma başlığı altında değerlendirilmiştir.

Yedinci ve son bölümde ise çalışmadan elde edilen genel sonuçlar, öneriler ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar yer almaktadır.

Bu yapı sayesinde tez, hem kuramsal çerçeveyi hem de uygulama sürecini bütünleştiren, adım adım ilerleyen bir araştırma mantığına sahiptir. Ayrıca, KNN algoritmasının CBS ortamında kullanımıyla elde edilen sonuçların bilimsel, planlama ve mühendislik uygulamalarına katkı sağlayacak nitelikte olması, çalışmanın özgün değerini artırmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Yerleşime Uygunluk Kavramı

Yerleşime uygunluk analizi, bir alanın fiziksel ve çevresel özelliklerinin insan yerleşimine elverişlilik düzeyini değerlendiren çok kriterli bir süreçtir. Bu analiz, doğal çevre faktörleri ile beşerî etkilerin bütüncül biçimde ele alınmasına dayanır ve özellikle hızlı kentleşmenin görüldüğü bölgelerde planlı gelişimin sağlanması açısından büyük önem taşır. Doğal afet risklerinin yüksek olduğu alanlarda, uygunluk analizleri; sürdürülebilir kent planlaması, afet zararlarının azaltılması ve kaynakların rasyonel kullanımı için vazgeçilmez bir araç niteliğindedir (McHarg, 1969; Malczewski, 1999).

Doğal koşullarla uyumsuz alanlarda gerçekleşen kontrolsüz yapılaşma, zemin oturması, sivilaşma, heyelan veya deprem gibi afetlerin etkisini artırarak ciddi can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Bu nedenle, yerleşim alanlarının belirlenmesinde yalnızca sosyal ve ekonomik faktörler değil; jeolojik, jeoteknik, hidrolojik ve morfolojik parametrelerin de dikkate alınması gerekmektedir (Saaty, 1980; Nefeslioğlu vd., 2019).

Yerleşime uygunluk analizlerinde genellikle eğim, litoloji, yeraltı suyu derinliği, zemin dayanımı, drenaj özellikleri, bitki örtüsü, fay hatlarına uzaklık ve mevcut altyapı koşulları gibi çok sayıda kriter birlikte değerlendirilir. Bu kriterlerin mekânsal olarak analiz edilmesiyle, yerleşime uygun, önlem alınması gereken veya kesinlikle yerleşime kapalı alanlar belirlenebilir. Böylece çevresel sürdürülebilirlik ilkeleri gözetilerek, kentsel gelişim için en uygun bölgelerin seçilmesi ve afet risklerinin azaltılması sağlanır (Eastman, 2011; Nefeslioğlu vd., 2019).

2.1.1. Yerleşime uygunluk kavramının tarihsel gelişimi

Yerleşime uygunluk kavramı, insanların güvenli yaşam alanları oluşturma arayışlarının doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmış ve zaman içerisinde farklı afet deneyimlerinden beslenerek gelişim göstermiştir. Bu kavram, başlangıçta yalnızca jeolojik güvenlik temelli iken, günümüzde çok disiplinli bir anlayışla ele alınmaktadır.

(Yoshida N. ve Iai, 2003; Kramer, 1996), Erken dönemlerde (19. yüzyıl sonları – 20. yüzyıl başları) yerleşim seçimleri daha çok tarımsal verimlilik, suya erişim ve ulaşılabilirlik gibi temel ihtiyaçlara göre yapılmaktaydı. Ancak bu yaklaşımın yetersizliği, büyük ölçekli doğal afetler sonrasında ortaya çıkmıştır. Örneğin, Japonya’da yaşanan 1891 Nobi Depremi ve 1923 Büyük Kanto Depremi ile ABD’deki 1906 San

Francisco Depremi, zemin koşullarının ve aktif fay hatlarının yerleşim kararlarında mutlaka dikkate alınması gerektiğini açıkça göstermiştir.

(Deltares, 2015), Orta dönemde (1940'lar–1970'ler), hızlı kentleşme ve sanayileşmenin etkisiyle zemin sıvılaşması, heyelan ve taşkın gibi riskler öne çıkmıştır. Özellikle 1964 Niigata Depremi sırasında meydana gelen geniş ölçekli sıvılaşma olayları, yerleşim güvenliğinde zemin davranışının kritik rolünü ortaya koymuştur. Bu süreçte Avrupa'da da taşkın risklerine karşı baraj, set ve drenaj sistemleri ön plana çıkmıştır.

(California Geological Survey, 2008), Modern döneme gelindiğinde (1970'lerden günümüze), teknolojik ilerlemeler yerleşime uygunluk çalışmalarını farklı bir boyuta taşımıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), uzaktan algılama teknikleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri (AHP, M-AHP vb.) sayesinde doğal ve sosyo-ekonomik faktörler birlikte değerlendirilir hale gelmiştir. Örneğin, Kaliforniya'da uygulanan Seismic Hazard Mapping Act, sıvılaşma ve kütle hareketi risklerinin planlamada doğrudan kullanılmasına imkân tanımıştır.

(AFAD, 2021); (Özburun A. , 2009), Türkiye özelinde, 1999 Marmara ve Düzce depremleri, yerleşime uygunluk kavramının ulusal ölçekte yeniden değerlendirilmesine yol açmıştır. Günümüzde ülkemizde AFAD ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı öncülüğünde mikrobölgeleme etütleri, deprem tehlike senaryoları, heyelan ve taşkın duyarlılık haritaları hazırlanmakta; ayrıca CBS tabanlı analizler ve çok kriterli karar verme yöntemleri kullanılarak güvenli yerleşim alanlarının belirlenmesine yönelik kapsamlı çalışmalar yürütülmektedir.

2.1.2. Türkiyede ve dünyadaki yaklaşımlar

K-En Yakın Komşular (KNN) yöntemi, son yıllarda yerleşime uygunluk analizlerinde sıkça kullanılan veri temelli bir sınıflandırma yaklaşımıdır. Bu yöntem, mekânsal veriler arasında benzerlik ilişkilerini değerlendirerek her bir noktanın uygunluk sınıfını, kendisine en yakın komşularının özelliklerine göre belirler (Cover ve Hart, 1967).

Dünya genelinde, KNN yöntemi özellikle Japonya, Çin ve ABD gibi ülkelerde deprem riski, zemin sıvılaşması, heyelan ve taşkın duyarlılığı gibi alanlarda uygulanmaktadır. Bu çalışmalarda KNN, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama verileriyle birleştirilerek mekânsal karar destek sistemlerinde etkin bir araç haline gelmiştir (Yoshida ve Iai, 2003; California Geological Survey, 2008).

Türkiye’de ise KNN yöntemi, özellikle AFAD ve üniversiteler tarafından yürütülen mikrobölgeleme ve yerleşime uygunluk çalışmalarında kullanılmaya başlanmıştır. KNN modeli, çok kriterli analizlerin sonuçlarını doğrulamada, verilerin mekânsal örüntülerini belirlemede ve uzman yargısına dayalı hataları azaltmada etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (AFAD, 2021).

Sonuç olarak, hem ulusal hem de uluslararası düzeyde yapılan uygulamalar, KNN yönteminin mekânsal veri analizlerinde güvenilir, esnek ve kolay uygulanabilir bir alternatif olduğunu göstermektedir. Bu yöntem, CBS tabanlı yerleşime uygunluk çalışmalarında, geleneksel yöntemleri tamamlayıcı modern bir yaklaşım sunmaktadır.

Tablo 2.1. *Türkiyede ve Dünyadaki Yaklaşımlar*

Yazar/ Kurum	Ülke/ Bölge	Amaç	Kullanılan Yöntem/ Algoritma	Sonuç / Katkı
Yoshida ve Iai (2003)	Japonya	Deprem sonrası zemin sıvılaşmasının etkilerini incelemek	KNN ve CBS	Sıvılaşma riski yüksek alanlar belirlenmiş, yerleşim planlamasına veri temelli katkı sağlanmıştır
Rossi vd., (2010)	İtalya	Heyelan riskli alanların tahmini	KNN	Eğimli arazilerde riskli bölgeler belirlenmiş, planlama sürecine entegre edilmiştir
Catani vd., (2013)	İspanya	Arazi kullanım planlaması ve heyelan analizi	KNN	CBS tabanlı uygunluk haritaları oluşturulmuş, güvenli alanlar belirlenmiştir
Yılmaz ve Demir (2015)	Türkiye, İstanbul	Deprem risk haritalarının oluşturulması	KNN + AHP	Zemin sınıflandırması yapılarak riskli bölgeler tespit edilmiş, planlamaya veri temelli katkı sağlanmıştır
Kaya vd. (2018)	Türkiye, Bursa ve Sakarya	Heyelan ve toprak kayması risk analizi	KNN	Riskli alanlar belirlenmiş ve kentsel planlamaya yön verilmiştir
Arslan ve Çetin (2020)	Türkiye, Konya ve Kayseri	Arazi kullanım uygunluk analizi	KNN	Tarım, yerleşim ve sanayi alanlarının uygunluğu CBS ile görselleştirilmiş ve değerlendirilmiştir

2.2. Jeolojik ve Jeoteknik Etkenlerin Yerleşim Uygunluğu Üzerindeki Rolü

Yerleşim alanlarının güvenli, sürdürülebilir ve afetlere dirençli biçimde planlanabilmesi, bölgenin doğal ve mühendislik açısından kritik özelliklerinin bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesine bağlıdır. Bu bağlamda, jeolojik etkenler; alanın litolojik yapısı, formasyon özellikleri, topoğrafik karakteri ve tektonik konumunu tanımlarken, jeoteknik etkenler; zeminin mühendislik davranışını belirleyen parametreleri “zemin dayanımı, sıkışabilirlik, SPT (Standart Penetrasyon Testi) değerleri, yeraltı suyu seviyesi ve sıvılaşma potansiyeli gibi” kapsamaktadır (Kramer, 1996; Nefeslioğlu vd., 2019).

Kütahya Merkez İlçesi özelinde bu faktörler, yerleşime uygunluk açısından birbiriyle ilişkili çok sayıda süreci etkilemektedir:

Zemin ve formasyon özellikleri: Bölgedeki farklı litolojik birimler (örneğin alüvyon, kumtaşı, kilitaşı veya konglomera) yapıların taşıma gücü, oturma davranışı ve mühendislik önlemleri açısından farklılık göstermektedir. Bu nedenle her formasyonun mühendislik özellikleri dikkate alınarak yerleşim kararlarının verilmesi gerekmektedir (Çetin, 2009).

Eğim ve topoğrafya: Arazi eğimi, yüzey stabilitesi ve potansiyel kütle hareketleri açısından belirleyici bir parametredir. Yüksek eğimli alanlar genellikle heyelan veya yüzey akması riski taşırken, düşük eğimli bölgeler yerleşim açısından daha avantajlıdır (Yalçın ve Bulut, 2007).

SPT değerleri ve zemin sıklılığı: Standart Penetrasyon Testi sonuçları zeminin dayanımını, sıklılığını ve oturma riskini yansıtır. Düşük SPT (N_{60}) değerleri, taşıma gücü düşük zeminleri işaret eder ve bu tür alanlar yapılaşmaya sınırlı biçimde uygundur (Seed ve Idriss, 1982).

Yeraltı suyu seviyesi ve sıvılaşma potansiyeli: Yüksek yeraltı suyu seviyesi, özellikle deprem sırasında sıvılaşma riskini artırır. Bu durum, zeminin taşıma kapasitesini azaltarak yapı güvenliğini tehdit eder. Bu nedenle yeraltı suyu koşullarının belirlenmesi, yerleşim planlamasında kritik öneme sahiptir (Yoshida ve Iai, 2003).

Tektonik yapı ve fay hatları: Aktif fay zonlarına yakın alanlar, deprem kaynaklı tehlikeler açısından yüksek risk taşır. Bu bölgelerde yapılaşma sınırlandırılmalı veya özel mühendislik önlemleri uygulanmalıdır (Emre vd., 2013).

Bu etkenlerin tamamı, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile bütünleştirilerek K-En Yakın Komşular (KNN) algoritması gibi veri odaklı yöntemlerle analiz edilebilir. KNN

yöntemi, mekânsal veriler arasındaki benzerlikleri değerlendirerek her pikselin veya noktanın uygunluk sınıfını tahmin eder. Böylece, jeolojik ve jeoteknik açıdan riskli alanlar önceden belirlenebilir ve güvenli yerleşim bölgeleri bilimsel bir temelde önerilebilir (Cover ve Hart, 1967; Altman, 1992).

Yerleşim alanlarının güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde planlanabilmesi, bölgenin doğal ve mühendislik açısından kritik özelliklerinin doğru bir biçimde değerlendirilmesine doğrudan bağlıdır. Bu kapsamda, jeolojik etkenler alanın litolojik yapısı, formasyon özellikleri, topoğrafik yapısı ve tektonik durumu gibi doğal koşullarını ifade ederken, jeoteknik etkenler zemin dayanımı, sıkışabilirlik, SPT değerleri, yeraltı su seviyesi ve sıvılaşma potansiyeli gibi yapı güvenliğini belirleyen mühendislik özelliklerini kapsamaktadır.

Kütahya Merkez özelinde, bu etkenlerin yerleşime uygunluk üzerindeki etkisi birkaç açıdan kritik öneme sahiptir:

Zemin ve formasyon özellikleri: Farklı kayaç ve toprak türleri, yapıların taşıma kapasitesini değiştirir. Örneğin kumtaşı ve kiltası gibi formasyonlar, farklı mühendislik önlemleri gerektirir ve yerleşime uygunluk açısından farklı değerlendirilir.

- **Eğim ve topoğrafya:** Yüksek eğimli alanlar, heyelan ve zemin kayması riskini artırır. Düz veya hafif eğimli bölgeler ise yerleşim için daha güvenli olarak kabul edilir.
- **SPT değerleri ve zemin sıkılığı:** Standart Penetrasyon Testi (SPT) sonuçları, zeminin taşıma kapasitesi ve oturma riski hakkında bilgi verir. Düşük SPT değerleri, yapılaşmaya uygun olmayan alanları işaret eder.
- **Yeraltı su seviyesi ve sıvılaşma riski:** Yüksek yeraltı suyu seviyeleri, özellikle deprem etkisi altında zemin sıvılaşması riskini artırır. Bu durum, alanın yerleşim açısından uygunluğunu olumsuz etkiler.
- **Tektonik özellikler ve fay hatları:** Aktif fay hatlarına yakın alanlar, deprem riski nedeniyle yapı güvenliği açısından daha az uygun olarak değerlendirilir.

Bu etkenlerin tümü, KNN algoritması ile yapılan yerleşime uygunluk analizlerinde kritik veriler olarak kullanılabilir. KNN, bir alanın uygunluk sınıfını belirlerken, bu parametrelerin birbirleriyle olan benzerlik ve yakınlık ilişkilerini dikkate alır. Böylece jeolojik ve jeoteknik açıdan riskli bölgeler önceden belirlenir ve yerleşim için güvenli alanlar önerilebilir.

2.3. KNN algoritması ve uygulamaları

K-En Yakın Komşular (KNN) algoritması, denetimli öğrenme yöntemleri arasında yer alan ve hem sınıflandırma hem de regresyon problemlerinde yaygın biçimde kullanılan bir makine öğrenmesi tekniğidir. Algoritmanın temel yaklaşımı, sınıfı bilinmeyen bir örneğin hangi kategoriye ait olduğunu belirlemek için veri setindeki en yakın “k” adet komşunun özelliklerinden yararlanmaktır (Cover ve Hart, 1967). Bu komşuluk ilişkisi genellikle Öklid, Manhattan veya Minkowski mesafesi gibi ölçütler aracılığıyla tanımlanır (Altman, 1992).

KNN’nin öne çıkan özelliklerinden biri, parametrik olmayan bir yöntem olmasıdır. Yani modelin belirli bir istatistiksel dağılım varsayımına ihtiyaç duymaması, verilerin doğal yapısına müdahale edilmeden analiz edilmesini mümkün kılar. Bu özellik, özellikle jeolojik ve jeoteknik veriler gibi heterojen, gürültülü ve düzensiz dağılım gösteren veri setlerinde KNN’yi oldukça uygun bir yöntem haline getirir (Han vd., 2012).

KNN algoritmasının uygulama süreci dört temel adımdan oluşmaktadır:

Veri hazırlığı: Modelin öğrenebilmesi için önceden sınıf etiketleri bilinen örnekler (eğitim verisi) hazırlanır.

Mesafe hesaplama: Bilinmeyen her veri noktası ile eğitim verisindeki noktalar arasındaki mesafeler ölçülür.

En yakın komşuların seçimi: Belirlenen “k” değeri kadar en yakın komşu seçilir.

Sınıflandırma veya tahmin: Komşuların çoğunluk sınıfı dikkate alınarak bilinmeyen örneğin sınıfı belirlenir.

Yerleşime uygunluk analizlerinde KNN algoritması, nesnel, tekrarlanabilir ve veri odaklı bir yaklaşım sunar. İnsan yargısına dayalı sübjektif ağırlıklandırmalar yerine, verinin içsel ilişkilerine dayalı sınıflandırma yapar. Ayrıca çok boyutlu veri ile çalışmaya elverişlidir; jeolojik, topoğrafik ve jeoteknik parametreleri eşzamanlı olarak değerlendirebilir ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile kolaylıkla bütünleşerek mekânsal uygunluk haritalarının üretilmesini sağlar (Witten vd., 2016; Eastman, 2011).

KNN yöntemi dünya genelinde, jeoloji, şehir planlama, çevre mühendisliği ve afet riski modelleme gibi alanlarda etkin biçimde kullanılmaktadır. Örneğin, zemin özellikleri ve topoğrafik parametrelerin bir arada değerlendirilmesiyle deprem sırasında sivilaşma riski haritaları oluşturulmuş (Yoshida ve Iai, 2003), eğim ve toprak yapısı verilerinin kullanımıyla heyelan duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir (Yalçın ve Bulut, 2007). Ayrıca tarım, yerleşim ve sanayi bölgeleri için arazi kullanım uygunluk analizleri de

KNN tabanlı mekânsal karar destek sistemleriyle yaygın biçimde yapılmaktadır (Malczewski, 1999).

Bu tez kapsamında, Kütahya Merkez İlçesi özelinde KNN algoritması, jeolojik ve jeoteknik parametrelerin CBS ortamında değerlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Böylece hem mevcut yerleşim alanlarının güvenliğini incelemek hem de gelecekteki yapılaşmalar için uygun bölgeleri nesnel bir biçimde belirlemek mümkün olmuştur.

Sonuç olarak, KNN algoritması yerleşime uygunluk analizlerinde veri temelli, güvenilir ve CBS entegrasyonuna uygun bir araç olarak; hem akademik araştırmalarda hem de uygulamalı planlama süreçlerinde önemli katkılar sağlayan bir yöntemdir.

2.4. CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) Tabanlı Uygunluk Çalışmaları

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal verilerin toplanması, saklanması, analizi ve görselleştirilmesi için kullanılan güçlü bir teknolojidir. Yerleşime uygunluk analizlerinde CBS, farklı veri katmanlarının (jeoloji, topoğrafya, hidroğrafya, arazi kullanımı vb.) entegrasyonunu sağlayarak, mekânsal analizlerin daha doğru ve hızlı gerçekleştirilmesine olanak tanır (Burrough ve McDonnell, 1998).

CBS destekli uygunluk analizlerinde farklı kriterler raster veya vektör veri formatında bir araya getirilir, ağırlıklandırılarak analiz edilir ve sonuçlar haritalar aracılığıyla görselleştirilir. Bu yöntem, karar vericilerin farklı senaryoları test edebilmesine ve en uygun alanları objektif şekilde belirlemesine büyük katkı sağlamaktadır (Malczewski, 1999).

3. ÇALIŞMA ALANININ GENEL ÖZELLİKLERİ

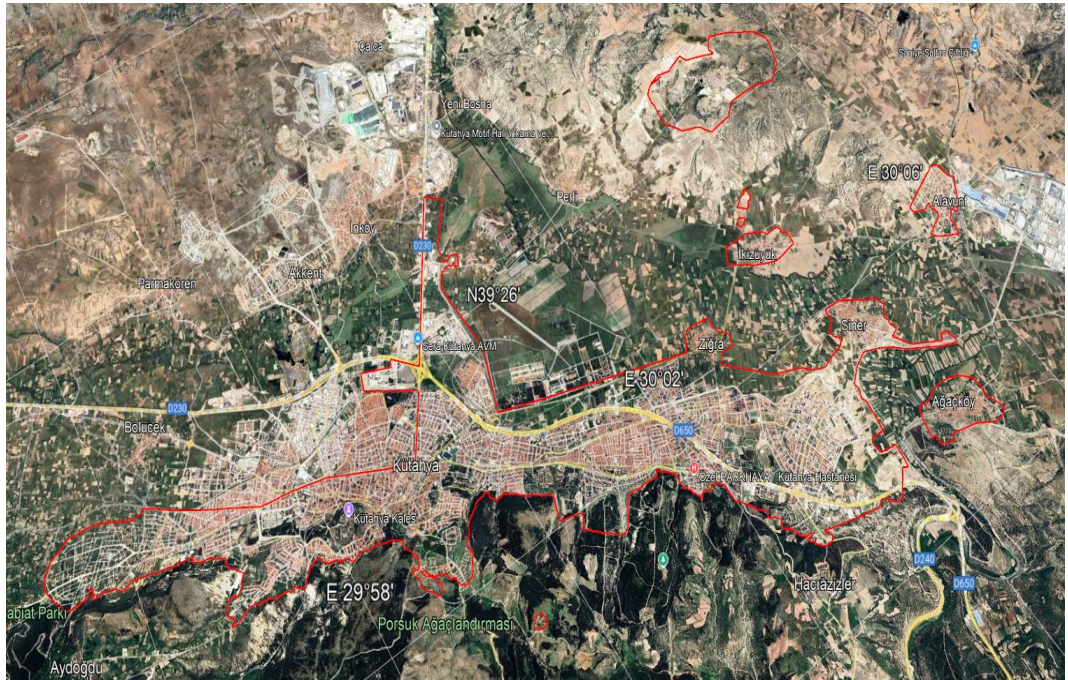
3.1. Kütahya Merkez İlçesi'nin Coğrafi Konumu

Kütahya ili, Türkiye'nin Batı Anadolu Bölgesi'nde yer almakta olup, $29^{\circ}15'$ – $30^{\circ}15'$ doğu boylamları ile $38^{\circ}30'$ – $39^{\circ}30'$ kuzey enlemleri arasında konumlanmaktadır (Şekil 3.2). Merkez İlçe, ilin idari ve ekonomik merkezi olup, kuzeyde Tavşanlı, doğuda Eskişehir, batıda Simav ve Gediz ilçeleri ile çevrilidir.

Çalışma alanı, Ege Bölgesi'nin doğusunda yer almakla birlikte İç Anadolu Bölgesi ile batı sınırında bir geçiş kuşağında bulunması nedeniyle hem Ege hem de İç Anadolu karakteristiklerini taşımaktadır. Yüksekliği genellikle 900–1.200 metre arasında değişmekte olup, engebeli bir topoğrafyaya sahiptir.

Tablo 3.1. Yerleşmeler arası karayolu uzaklıkları

GÜZERGAH	MESAFE (km)
Merkez-Altıntaş	47
Merkez-Domaniç	88
Merkez-Emet	94
Merkez-Gediz	90
Merkez-Tavşanlı	49



Şekil 3.1. İnceleme alanı Google Earth görüntüsü

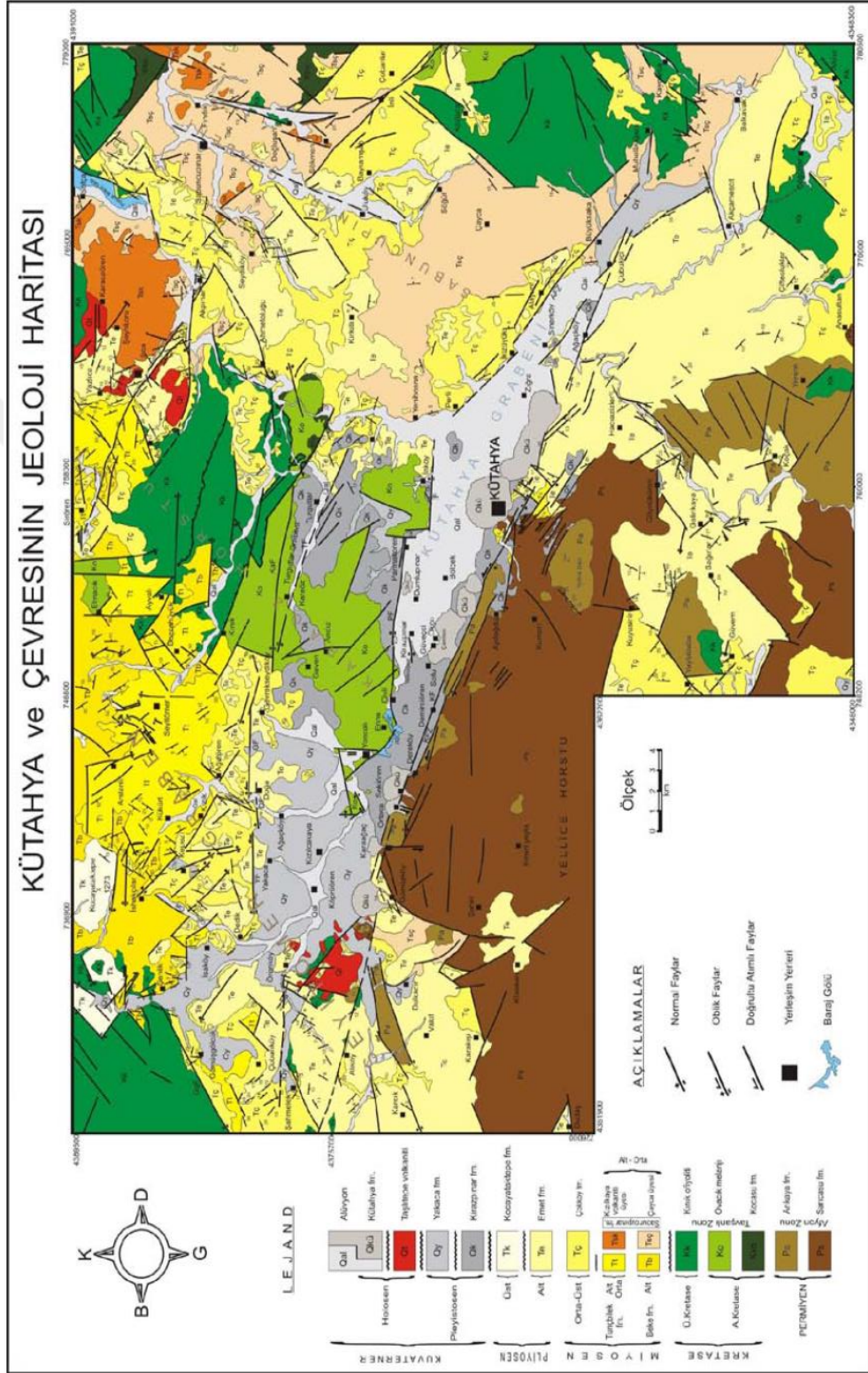


Şekil 3.2. Kütahya İli ve Merkez İlçesi'nin Yer Buldur Haritası

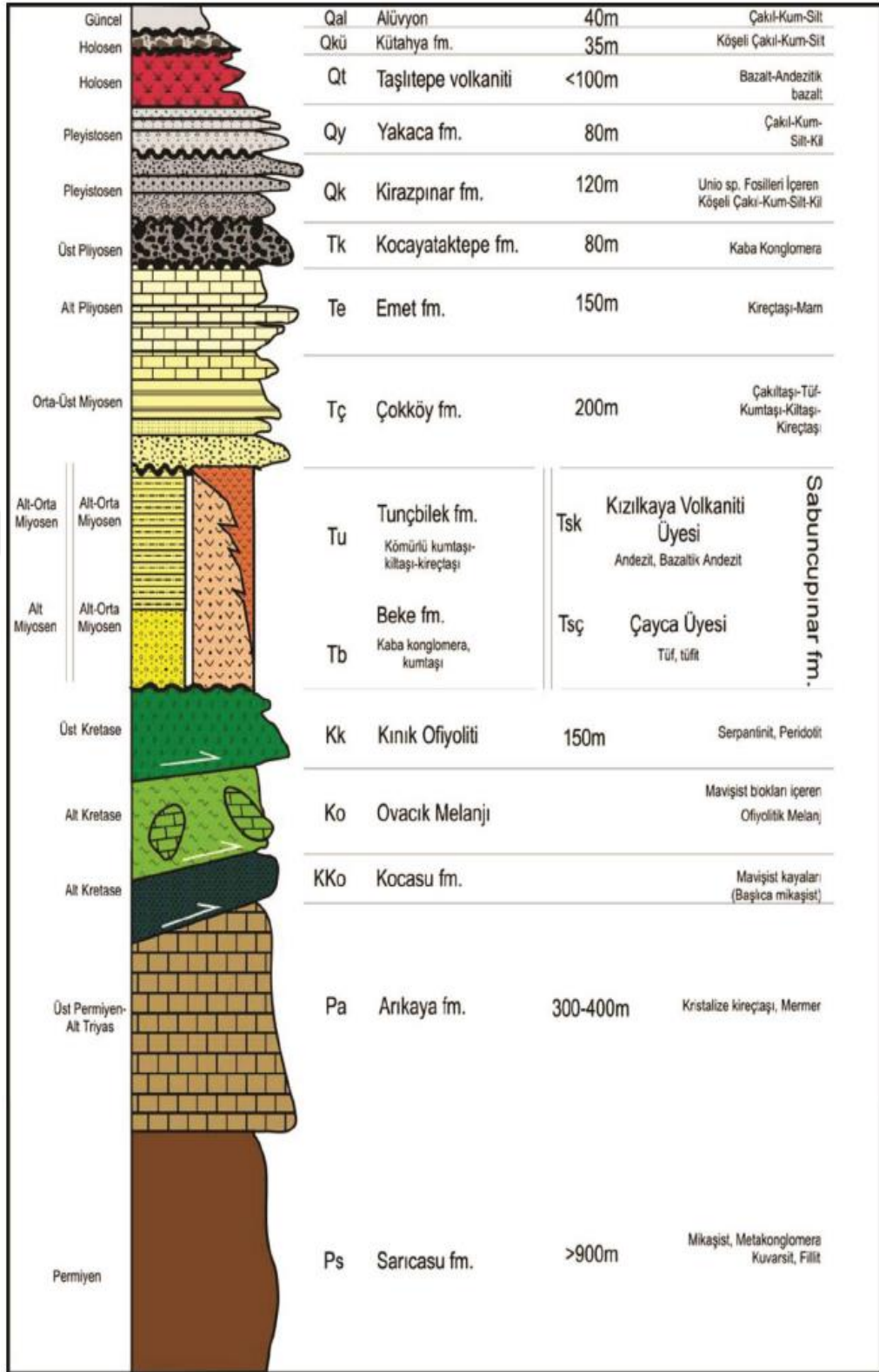
3.2. Jeolojik Yapı ve Stratigrafi

Araştırma alanında gözlenen en yaşlı jeolojik birimler, kristalin şistlerden oluşan metamorfik kayaç topluluklarıdır. Bu birimlerin üzerine yer yer kalın mermer seviyeleri gelerek örtü karakteri kazanmıştır. Stratigrafik dizilim, Permo-Karbonifer döneminde bölgenin derin ve geniş bir denizel ortama sahip olduğunu göstermektedir. Mesozoyik yaşlı istif, Üst Jura çökelleriyle başlayıp daha yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Maestrihtiyen evresinde ofiyolitik seriye ait intrüzif ve ekstrüzif kayaçların etkin olduğu anlaşılmaktadır. Alpin orojenezi, bölgede sınırlı bir etki yaratmış; bu dönemin sonunda kireçtaşları, filişler ve ofiyolitik kütleler arasında çeşitli fay zonlarının geliştiği belirlenmiştir. Kütahya ve yakın çevresi, İç Batı Anadolu tektonik kuşağında yer almakta olup, Paleozoyik'ten Senozoyik'e kadar farklı yaş ve özellikle kaya topluluklarını içermektedir. En altta şist ve mermerden oluşan metamorfik temel, bunun üzerinde tektonik dokanak boyunca yerleşmiş ofiyolitik kayaçlar bulunur. Bu birimler, gölsel ve akarsu ortamlarında çökelmiş, volkanik katkılı kırıntılı ve karbonatlı tortul istiflerce uyumsuz şekilde örtülmüştür. En genç oluşumlar ise Kütahya Grabeni'nin

gelişimiyle ilişkili flüviyal çökeller olup, graben dolgusu niteliği taşımaktadır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Göncüoğlu, 2010).



Şekil 3.3. Kütahya ve Çevresi Jeoloji Haritası (Özburun M. , 2009).



Şekil 3.4. Kütahya (Merkez) stratigrafik kolon kesiti (Özburun M. , 2009)

Çalışma alanında Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı birimler, başlıca Çökköy Formasyonu, Emet Formasyonu, Kirazpınar Formasyonu, Kütahya Formasyonu ve Alüvyon birimlerinden oluşmaktadır. Bu birimler, Kütahya Merkez ve yakın çevresinin güncel jeolojik ve jeoteknik özelliklerini belirlemede önemli rol oynamaktadır (MTA, 2020).

Çökköy Formasyonu (Tç): Dizilimin en yaşlı birimi olan Çökköy Formasyonu, göl–akarsu geçişli ortamlarda çökelmiş konglomera, kumtaşı, kilitaşı ve marn aralanmasından oluşmaktadır. Üst seviyelerinde kireçtaşı ve silisleşmiş tabakalar yer almaktadır. Litolojik çeşitliliği, dönemsel olarak değişen akarsu ve gölssel koşulları yansıtır. Gevşek çimentolu yapısı orta dayanımlı zemin özelliklerini temsil eder. Yer yer kil oranının artması, oturma ve şişme potansiyeline neden olabilmektedir. Stratigrafik olarak, üstteki Emet Formasyonu ile geçişli bir dokanak sunar (Göncüoğlu, 2010).

Emet Formasyonu (Te): Çökköy Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelir ve gölssel ortamda çökelmiş kireçtaşı–marn aralanmasından meydana gelir. Alt seviyelerde ince taneli marn, kilitaşı ve killi kireçtaşları; üst seviyelerde ise silisifiye kireçtaşları gözlenmektedir. Bu aralanma, formasyonun yeraltı suyu geçirgenliğini artırmakta, ancak zemin davranışında heterojenlik yaratmaktadır. Kütahya Merkez’in kuzeydoğu ve doğu kesimlerinde geniş yüzeylenmelere sahiptir. Jeoteknik açıdan orta–yüksek dayanımlı zemin koşullarını temsil eder (Şengör & Yılmaz, 1981; MTA, 2020).

Kütahya Formasyonu (Qkü): Gevşek tutturulmuş çakıl, kum ve silt malzemelerinden oluşmakta olup, Kütahya grabeninin tabanında alüvyal dolgu niteliğinde gelişmiştir. Bu birim, yüksek yeraltı su seviyesi ve düşük taşıma gücü ile karakterizedir. Sıvılaşma potansiyeli yüksek olup, özellikle deprem yükleri altında dayanım kaybı riski taşır. Stratigrafik olarak, Emet Formasyonu’nun üzerinde uyumsuz olarak yer alır. Mühendislik uygulamalarında zemin iyileştirme ve drenaj önlemleri gerektiren bir zemin türüdür (MTA, 2020).

Kirazpınar Formasyonu (Qk): Gevşek tutturulmuş çakıl, kum, silt ve kil malzemelerinden oluşan, akarsu taşkın düzlüğü ve alüvyal yelpaze çökelleriyle temsil edilen bir birimdir. Bu formasyon, Kütahya Fay Zonu çevresinde yayılım gösterir. Yüksek sıkışabilirlik, suya doygunluk ve düşük drenaj özellikleri nedeniyle mühendislik açısından zayıf zemin koşullarını temsil eder. Yer yer Emet Formasyonu’ndan türemiş kırıntılı malzeme içerir. Stratigrafik olarak Kütahya Formasyonu ile yan ve düşey geçişli ilişkiler sunar (Göncüoğlu, 2010; MTA, 2020).

Alüvyon (Qal): Dizilimin en genç birimi olan Alüvyon, güncel dere yatakları ve taşkın ovalarında birikmiş gevşek tutturulmamış malzemelerden oluşur. Malzeme bileşimi çakıl, kum, silt ve kil boyutundadır. Alüvyon zeminler, yüksek su geçirgenliği ve düşük taşıma kapasitesi nedeniyle yapılaşma açısından riskli zemin koşullarını temsil eder. Ancak drenaj ve zemin güçlendirme yöntemleri uygulandığında, belirli alanlarda kontrollü yapılaşma mümkündür. Bu birim, Kütahya Çayı ve yan derelerin taşıdığı malzemelerin güncel birikimlerini yansıtır (MTA, 2020).

3.3. Tektonik Özellikler ve Aktif Faylar

Çalışma alanı, Batı Anadolu Genişleme Rejimi'nin etkisi altında gelişen dinamik bir tektonik yapıya sahiptir. Bu nedenle bölge, aktif deformasyon süreçlerinin izlerini açık biçimde yansıtmaktadır. Kütahya ve çevresi, Ege Bölgesi'nde gözlenen kabuk genişlemesi ve buna bağlı normal faylanma hareketlerinin tipik örneklerinden birini oluşturmaktadır.

Araştırma sahasında başlıca aktif yapısal unsurlar arasında Kütahya Fay Zonu, Simav Fay Zonu ve Gediz Graben Sistemi yer almaktadır. Bunlardan özellikle Kütahya Fay Zonu, doğu-batı doğrultulu ana kırık hatları boyunca gelişmiş olup, Merkez İlçe'nin kuzey ve batı kesimlerinde belirgin biçimde yüzeylemektedir (Şekil 3.3). Bu zon, birbirine paralel çok sayıda fay segmentinin bir araya gelmesiyle karmaşık bir yapısal sistem meydana getirir.

Fay hatları, bölgenin güncel tektonik evriminde önemli rol oynamakta ve aktif sismik özellikler göstermektedir. Yüzeyde meydana gelen küçük ölçekli deformasyonlar, bu sistemin halen hareketli olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Kütahya grabenini sınırlayan normal faylar, hem yüzey morfolojisini hem de yeraltı suyu dolaşımını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, bölgedeki yerleşim planlamasında fay zonlarına yakın alanlar, zemin güvenliği ve yapılaşma açısından dikkatle değerlendirilmesi gereken bölgeler arasında yer almaktadır.



Şekil 3.5. Çalışma Alanındaki Aktif Fay Hatları ((Türkiye Diri Fay Haritası, 2012).

3.4. Arazi Kullanımı, Eğim, Su Kaynakları ve Diğer Parametreler

İnceleme alanının doğal ve fiziksel çevre özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla, arazi kullanımı, topoğrafik eğim, yüzey ve yeraltı su kaynakları gibi temel parametreler dikkate alınmıştır. Bu faktörler, mikrobölgeleme çalışmalarının ve yerleşime uygunluk değerlendirmelerinin ana bileşenlerini oluşturmakta olup, planlama kararları açısından kritik öneme sahiptir.

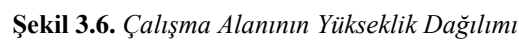
Çalışma alanı genel olarak tarımsal faaliyetlerin yoğunlaştığı açık alanlardan meydana gelmektedir. Bununla birlikte, orman, mera ve kısmen yerleşim amaçlı kullanımlar da gözlenmektedir. Tarım arazilerinin geniş bir alana yayılması, bölgenin verimli toprak özellikleriyle ilişkilidir. Yer yer düzensiz yapılaşmalar ve sanayi kullanımına ayrılmış alanlar da bulunmaktadır. Bitki örtüsü, topoğrafik eğimin arttığı bölgelerde daha yoğun gelişmiştir.

Bölgedeki eğim değerleri 0 ile 54° arasında değişmekte olup, 0–10° arası eğim değerine sahip sahalar genellikle yerleşim ve tarım için elverişli kabul edilmektedir. Buna karşılık, 20° nin üzerindeki eğimler, şev stabilitesi ve erozyon açısından risk oluşturmaktadır. Eğim analizleri, 1/5000 ölçekli halihazır haritalardan üretilen sayısal yükseklik modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve yerleşim planlaması ile mühendislik önlemlerinin belirlenmesinde temel girdi olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında çok sayıda küçük dere, mevsimsel akışa sahip kuru dere yatakları ve yer yer doğal kaynak suları bulunmaktadır. Yeraltı suyu seviyesi genellikle derinlerde

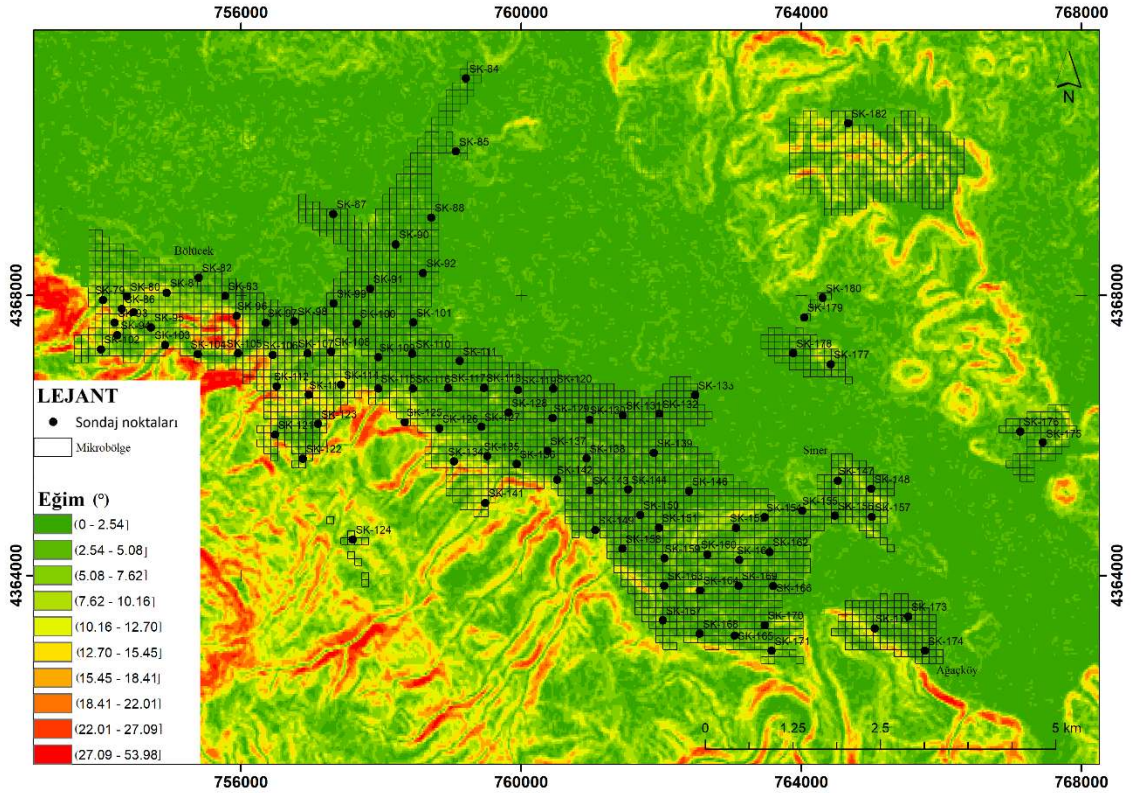
Bölgedeki doğal ve insan kaynaklı tehlikelerin belirlenmesi amacıyla; heyelan, kaya düşmesi, taşkın ve sıvılaşma gibi afet riskleri incelenmiş, bu alanlar haritalanarak risk zonları tanımlanmıştır. Ayrıca, dolgu alanları, atık sahaları ve stabilize edilmemiş yamaçlar mühendislik açısından kritik bölgeler olarak değerlendirilmiştir. Bu tür sahalar, yerleşime açılmadan önce detaylı zemin etütleri ve önlem projeleri gerektiren alanlardır.

Yükseklik haritası incelendiğinde, Kütahya Merkez İlçesi'nin kuzey ve doğu kesimlerinden topoğrafyanın güney ve güneybatısına doğru belirgin şekilde yükseldiği gözlenmektedir.



Çalışma alanının yükseklik dağılımı haritası, 702 m ile 1899 m arasındaki kot farkını göstermektedir. Düşük kotlu bölgeler kuzey ve kuzeydoğuda yoğunlaşırken, yüksek kotlu alanlar güney ve güneybatı kesimlerde yer almaktadır. Bu topografik çeşitlilik, zemin dayanımı ve yerleşim uygunluğu açısından farklı mühendislik özelliklerinin gelişmesine neden olmaktadır.

Eğim haritası, yüzey şekillerinin mühendislik ve planlama açısından risk faktörlerini değerlendirmek için önemli bir göstergedir.



Şekil 3.7. Çalışma Alanının Eğim Dağılımı

Eğim haritası, çalışma alanındaki topoğrafik farklılıkların mekânsal dağılımını ortaya koymaktadır. Eğim değerleri 0–54° arasında değişmekte olup, düşük eğimli bölgeler alüvyon alanlarını, yüksek eğimli bölgeler ise kaya birimlerinin yüzeylendiği alanları temsil etmektedir. Bu durum, şev stabilitesi ve erozyon riski bakımından yerleşim planlamasında dikkate alınması gereken bir faktördür.

4. VERİLER VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Kütahya Merkez İlçesi'nin jeolojik ve jeoteknik özellikleri detaylı olarak incelenmiş, elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında analiz edilerek yerleşime uygunluk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Araştırma süreci boyunca arazi verileri değerlendirilmiş, sayısal analizler ve mekânsal modeller yardımıyla elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

İnceleme alanlarında yüzeylenen jeolojik birimlerin yanal ve düşey değişimlerinin belirlenebilmesi amacıyla 100 adet sondaj, 49 adet Sismik Kırılma ve 48 adet MASW çalışması yürütülmüştür. Bu ölçümlerden elde edilen mühendislik parametreleri, hem zemin davranışını anlamak hem de yerleşime uygunluk sınıflarını belirlemek amacıyla değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1. Sondaj çalışmalarına ait fotoğraflar

4.1. Zemin Özellikleri ve Jeoteknik Veriler

İlçede gerçekleştirilen SPT (Standart Penetrasyon Testi), V_{s30} , V_p , V_p/V_s , Eğim ve topografya verileri KNN algoritmasının jeoteknik analizlerinde veri katmanı olarak kullanılacak parametrelerin ağırlıklandırılması ve uygunluk tahmini adımlarında temel girdi olarak değerlendirilir.

Çalışma alanında sondaj dağılımı, jeolojik birimlerin temsil gücü, arazi erişimi ve yerleşim yoğunluğu dikkate alınarak optimize edilmiştir. Bazı mikrobölgelerde sondaj bulunmaması, bu alanların jeolojik olarak homojen olması veya komşu sondaj verileriyle yeterli düzeyde temsil edilmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, yüksek eğimli topoğrafya ve erişim kısıtları nedeniyle bazı bölgelerde doğrudan arazi çalışması yürütülememiştir. Bu alanlarda veri eksiklikleri, CBS tabanlı enterpolasyon yöntemleri (IDW) ile giderilmiştir.

4.1.1. Eğim ve topoğrafik veriler:

Sayısal yükseklik modelleri (DEM) ve topoğrafik haritalar kullanılarak arazi eğimi hesaplanmıştır. Eğim verileri, özellikle heyelan ve zemin kayması riski açısından önemlidir. Yüksek eğimli alanlar, uygunluk sınıflandırmasında kısıtlı veya düşük uygunluklu alanlar olarak belirlenir.

4.1.2. Drenaj ve hidrolojik veriler:

Akarsu ve dere hatları, drenaj yoğunluğu ve yeraltı su seviyesi gibi hidrolojik parametreler, taşkın riski ve sıvılaşma potansiyeli açısından değerlendirilmiştir. Bu veriler, özellikle alüvyonlu ve düşük taşıma kapasitesine sahip alanların risk analizinde kritik öneme sahiptir.

4.1.3. Fay hattı ve tektonik veriler:

Bölgede bulunan aktif ve pasif fay hatları, deprem riski açısından önem taşır. Fay hattına yakın alanlar, yerleşime uygunluk analizinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

4.1.4. CBS tabanlı mekânsal veriler:

Tüm veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamına aktarılmış, raster ve vektör tabanlı katmanlar oluşturulmuştur. Bu katmanlar, KNN algoritmasının parametreleri

karşılaştırması ve mekânsal uygunluk haritalarının üretilmesi için kullanılmıştır. Bu veri setlerinin bir araya getirilmesi, Kütahya Merkez İlçesi'nde yerleşime uygunluk analizinin sayısal, nesnel ve tekrarlanabilir bir yöntemle yürütülmesini sağlamıştır. Her veri türü, algoritmanın doğru sınıflandırmalar yapabilmesi ve riskli ile güvenli alanların güvenilir biçimde belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

4.2. Veri Ön İşleme

Bu çalışmada, Kütahya Merkez İlçesi'nin yerleşime uygunluk durumunu belirlemek amacıyla kullanılan jeolojik, jeoteknik ve jeofizik veriler, K-En Yakın Komşular (KNN) algoritmasının analiz sürecine uygun hâle getirilebilmesi için çok aşamalı bir ön işleme sürecinden geçirilmiştir. Farklı kaynaklardan ve ölçüm yöntemlerinden elde edilen bu veriler, doğrudan modelleme aşamasında kullanılabilecek biçimde olmadığından; veri yapısının tutarlılığını, ölçek uyumunu ve mekânsal bütünlüğünü sağlamak amacıyla kapsamlı bir veri düzenleme çalışması yürütülmüştür. Bu süreç, algoritmanın hem eğitim hem de test aşamasında doğru sonuçlar üretebilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Tablo 4.1. Kullanılan tüm verilerin istatistiksel özeti(parameters: parametreler, count: veri setinde yer alan gözlem sayısı, mean: verilerin aritmetik ortalaması, std: standart sapma, min: Veri setindeki en küçük değer, 0.25: verilerin %25'inin bu değerden küçük olduğunu gösterir, 0.50: verilerin tam ortasındaki değerdir, 0.75: verilerin %75'inin bu değerden küçük olduğunu gösteri, max: veri setindeki en büyük değer).

parameters	count	mean	std	min	0.25	0.50	0.75	max
V _{S30}	710	290.67	19.11	222.318	278.71	289.86	305.54	333.208
N ₆₀	710	18.15	2.79	10	16.00	18.00	20.00	27
V _p	710	1051.83	189.90	631.477	914.77	1044.97	1171.34	1824.71
V _p /V _s	710	3.29	0.47	2.324	2.96	3.25	3.60	4.88
Eğim	710	2.61	0.83	0.739	2.03	2.52	2.98	6.811
Yükseklik	710	1744.59	10.62	1723.56	1736.70	1741.90	1754.51	1766.45

Analizlerde kullanılacak verilerin güvenilirliği ve bütünlüğü açısından, çalışmada elde edilen tüm jeoteknik ve jeofizik veriler öncelikle belirli standartlara göre düzenlenmiş ve birbiriyle uyumlu hale getirilmiştir. Bu kapsamda, her sondaj noktasına en yakın konumda yer alan jeofizik ölçüm istasyonlarının sonuçları dikkate alınarak, veriler CBS tabanlı altlık üzerinde eşleştirilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)'de belirtildiği üzere, değerlendirmelerde N₁₍₆₀₎ yerine N₆₀ değerlerinin

esas alınması gerektiğinden, bu çalışmada da zemin sınıflandırmalarında N_{60} değerleri kullanılmıştır.

Sondajlardan elde edilen ham SPT sonuçları, Jeoloji Mühendisleri Odası (JMO) tarafından yayımlanan standart düzeltme katsayıları dikkate alınarak revize edilmiştir. Her bir sondaj için düzeltilmiş değerler üzerinden ağırlıklı ortalama N_{60} hesaplanmış ve bu değerler analizlerde kullanılacak nihai veri setine aktarılmıştır. Böylece, zemin sıkılığı ve taşıma gücü gibi mühendislik parametrelerinin güvenilirliği artırılmış, aynı zamanda KNN tabanlı yerleşime uygunluk analizinde kullanılacak veriler arasında bir standardizasyon sağlanmıştır.

SPT Darbe Sayılarının Enerji Düzeltmesi:

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin doğru şekilde belirlenebilmesi için yapılan Standart Penetrasyon Testi (SPT) sonuçlarının uluslararası ölçekte karşılaştırılabilir hale getirilmesi gerekir. Bunun sağlanabilmesi için, sahada ölçülen darbe sayılarının belirli bir enerji düzeyine indirgenerek standartlaştırılması gerekmektedir. Deney sırasında kaydedilen N_{30} değeri, ham darbe sayısını temsil eder; ancak bu değer, kullanılan ekipman tipine, sondaj sistemi özelliklerine ve saha koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle, ölçüm sonuçlarının daha tutarlı ve güvenilir hale gelebilmesi için enerji düzeltme katsayıları uygulanır ve standart enerji seviyesine indirgenmiş N_{60} değeri hesaplanır.

Bu düzeltme işlemi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)'de tanımlandığı şekilde gerçekleştirilir ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir:

$$N_{60} = N_{30} \times CR \times CS \times CB \times CE$$

Burada;

N_{60} : %60 enerji verimine indirgenmiş standart darbe sayısı,

N_{30} : deney sırasında ölçülen ham darbe sayısı,

CR: sondaj tiji uzunluğu düzeltme katsayısı

CS: örselenme (sampler) düzeltme katsayısı

CB: sondaj çapı düzeltme katsayısı

CE: enerji oranı düzeltme katsayısı

Bu katsayıların kullanılmasıyla, farklı saha koşullarında ve ekipmanlarla elde edilen sonuçlar ortak bir enerji seviyesine dönüştürülmekte, böylece farklı bölgelerde yapılan deneylerin sonuçları karşılaştırılabilir hale getirilmektedir.

Tablo 4.2. SPT Düzeltme Katsayıları (TBDY, 2018)

Düzeltme Katsayısı	Değişken	Değer
CR	3 m ile 4 m aralığında	0.75
	4 m ile 6 m aralığında	0.85
	6 m ile 10 m aralığında	0.95
	10 m'den derinde	1
CS	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)	1
	İç tüpü olmayan numune alıcı	1.10-1.30
CB	Sondaj delgi çapı: Çap 65 mm-115 mm arasında	1
	Sondaj delgi çapı: Çap 150 mm	1.05
	Sondaj delgi çapı: Çap 200 mm	1.15
CE	Güvenli tokmak	0.60-1.17
	Halkalı tokmak	0.45-1.00
	Otomatik darbeli tokmak	0.90-1.60

Tablo 4.3. Sk-87 kuyusunun N_{60} düzeltme tablosu (TBDY, 2018)

Derinlik (m)	YASS (m)	SPT- N_{30}	Enerji Oranı (ER)	C_E	C_B	C_R	C_S	N_{60}
3.0	2.5	5	60	1	1	0.75	1	3.8
4.5	2.5	5	60	1	1	0.85	1	4.3
6.0	2.5	13	60	1	1	0.95	1	12.4
7.5	2.5	13	60	1	1	0.95	1	12.4
9.0	2.5	16	60	1	1	0.95	1	15.2
10.5	2.5	18	60	1	1	1	1	18.0
12.0	2.5	9	60	1	1	1	1	9.0
13.5	2.5	14	60	1	1	1	1	14.0
15.0	2.5	24	60	1	1	1	1	24.0
16.5	2.5	18	60	1	1	1	1	18.0
18.0	2.5	13	60	1	1	1	1	13.0
19.5	2.5	18	60	1	1	1	1	18.0
21.0	2.5	17	60	1	1	1	1	17.0
22.5	2.5	28	60	1	1	1	1	28.0
24.0	2.5	40	60	1	1	1	1	40.0
25.5	2.5	29	60	1	1	1	1	29.0

Örnek N_{60} hesaplama:

N_{60} değerleri şunlar:

3.8, 4.3, 12.4, 12.4, 15.2, 18, 9, 14, 24, 18, 13, 18, 17, 28, 40, 29

Eşit ağırlık alırsak, ağırlıklı ortalama aritmetik ortalama ile aynı olur:

Toplam = 3.8, 4.3, 12.4, 12.4, 15.2, 18, 9, 14, 24, 18, 13, 18, 17, 28, 40, 29 = 263.7

Ağırlıklı ortalama = Toplam / Ölçüm sayısı = 263.7 / 16 $\approx$ 16.48

Bu yöntem, sondaj verilerindeki eksikliklerden etkilenmeden ortalama bir değer elde edilmesini sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında, yürürlükteki ilgili mevzuat hükümleri doğrultusunda topografik eğim ve yükseklik (kot) parametreleri de analiz sürecine dâhil edilmiştir. Bu amaçla, inceleme alanı 100×100 m boyutlarında karelajlara ayrılmıştır. Her bir karelaj içerisinde yer alan 12,5×12,5 m boyutundaki alt alanlardan elde edilen eğim ve kot verilerinin aritmetik ortalaması alınarak, o hücreyi temsil eden tek bir değer oluşturulmuştur. Bu yöntem, bölgesel topoğrafik değişimlerin dengeli bir şekilde temsil edilmesini ve arazi eğimindeki ani değişimlerin analiz sonuçlarını yanıltmamasını sağlamıştır.

Jeofizik veriler kapsamında, V_{S30} değerleri doğrudan ölçüm sonuçlarından alınmıştır. V_p ve V_p/V_s oranları ise her sondaj noktasına karşılık gelen jeofizik ölçüm sonuçları dikkate alınarak ağırlıklı ortalama yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu yaklaşımda, her ölçüm değerine temsil ettiği alanın güvenilirliği ve veri yoğunluğu oranında ağırlık verilmiştir. Ağırlıklı ortalama, ölçüm değerlerinin kendi katsayılarıyla çarpımının toplamının, bu katsayıların toplamına bölünmesiyle elde edilmiştir.

Bu yöntem sayesinde, farklı yoğunlukta ve farklı güvenilirlik derecesine sahip ölçümler analize orantılı biçimde katkı sağlamış; böylece hem jeofizik hem topoğrafik değişkenlerin çalışma alanı genelinde dengeli ve gerçekçi bir mekânsal dağılım göstermesi sağlanmıştır. Bu yaklaşımla elde edilen temsili değerler, daha sonraki aşamada kullanılan KNN tabanlı yerleşime uygunluk analizinin temel veri setini oluşturmuştur.

Örnek V_p ve V_p/V_s ağırlıklı ortalama hesabı:

Tablo 4.4. Örnek SİS-34-35 noktalarına ait hız ve kalınlık değerleri

Serim No	Tabaka No	V_p (m/s)	V_p ort(m/s)	V_{S30} (m/s)	Kalınlık(m)	V_p/V_s	V_p/V_s ort
Sis - 34	1	473	1323.5	701	5	1.75	1.61
	2	1607			20	1.56	
Sis-35	1	596	1544	536	5	2.48	2.59
	2	1860			20	2.62	

$$V_p \text{ Ağırlıklı Ortalama} = (473 \cdot 5 + 1607 \cdot (20 - 5)) / 20$$

$$V_p/V_s \text{ Ağırlıklı Ortalama} = (1.75 \cdot 5 + 1.56 \cdot (20 - 5)) / 20$$

Çalışmada, zemin tabakalarına ait dalga hızı değerleri (V_p ve V_s), her bir tabakanın kalınlığı dikkate alınarak ağırlıklı ortalama yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu yaklaşımda, her bir tabakanın dalga hızı kendi kalınlığı ile çarpılarak ağırlıklandırılmış; ardından tüm tabakaların bu çarpımları toplanarak toplam tabaka kalınlığına bölünmüştür. Böylece, daha kalın tabakaların ortalama dalga hızına katkısı, ince tabakalara göre orantılı biçimde artırılmıştır.

Bu yöntem, zemin profillerinde kalınlık farklarından kaynaklanabilecek yanılgıları azaltarak, zeminlerin ortalama dalga hızının gerçeğe daha yakın biçimde temsil edilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda, özellikle çok tabakalı zeminlerde sismik dalga geçiş sürelerinin doğru modellenmesine olanak tanımaktadır. Elde edilen bu ağırlıklı ortalama değerler, hem V_{s30} hesaplamalarında hem de KNN algoritması ile gerçekleştirilen yerleşime uygunluk analizinde temel girdi olarak kullanılmıştır.

Veri ön işleme aşamasının ilk adımında, tüm veri kümeleri Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı bir altlık üzerinde birleştirilmiştir. Farklı kurum ve projelerden temin edilen jeolojik haritalar, jeoteknik sondaj sonuçları, sismik dalga hızları (V_p , V_{s30}), SPT (N_{60}) değerleri, topoğrafik eğim, yükseklik gibi parametreler; CBS ortamında konumsal olarak hizalanmış, ortak koordinat sistemine taşınmış ve aynı mekânsal çözünürlükte raster forma dönüştürülmüştür. Böylece her piksel, çalışma alanının belirli bir noktasını temsil eder hâle getirilmiş ve tüm parametreler aynı mekânsal referans sistemi içinde değerlendirilmiştir.

Veri birleştirme işleminin ardından ölçek ve birim uyumluluğu sağlanmıştır. Farklı ölçü birimlerine sahip verilerin doğrudan karşılaştırılması modelde hatalara yol açabileceğinden, tüm değişkenler ölçeklendirme ve normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. KNN algoritması mesafe temelli bir yöntem olduğundan, değişkenlerin farklı sayısal aralıklarda olması modelin öğrenme sürecini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle her parametre değeri, 0–1 aralığında normalize edilerek algoritmanın tüm girdileri eşit ağırlıkta değerlendirmesi sağlanmıştır. Bu adım, KNN'in her komşuluk hesabında tek bir değişkenin baskın olmasını engellemiş ve sınıflandırmanın daha dengeli bir şekilde yapılmasına olanak tanımıştır.

Sonraki aşamada, eksik ve uç değerlerin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Özellikle jeoteknik sondaj verilerinde yer alan eksik kayıtlar, veri bütünlüğünü korumak amacıyla

konumsal komşuluk ve istatistiksel ortalama yöntemleriyle tamamlanmıştır. Yakın konumda yer alan gözlemler arasındaki benzerlik ilişkileri dikkate alınarak, eksik veriler tahmin edilmiş ve tutarsız ölçümler veri setinden çıkarılmıştır. Bu işlem, hem model doğruluğunu artırmış hem de KNN algoritmasının yanlış sınıflandırma yapma riskini azaltmıştır.

Veri standardizasyonu sürecinde ayrıca CBS ortamında üretilen tüm katmanlar (eğim, yükseklik, N_{60} , V_{S30} , V_p/V_s oranı vb.) aynı hücre boyutunda yeniden örneklenmiştir (resampling). Bu sayede, her parametrenin aynı mekânsal çözünürlükte temsil edilmesi sağlanmış, farklı ölçeklerdeki veri kaynakları arasında uyum yakalanmıştır. Bu işlem, özellikle KNN algoritmasının mesafe tabanlı karar verme süreci açısından büyük önem taşımaktadır; çünkü tüm veriler aynı koordinat yapısında ve piksel çözünürlüğünde olmalıdır.

Veri ön işleme sürecinin son aşamasında, özellik (feature) seçimi yapılmıştır. Analiz sürecinde kullanılacak değişkenlerin seçimi, hem istatistiksel anlamlılıkları hem de yerleşime uygunluk üzerindeki etkileri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu kapsamda, yükseklik, eğim, N_{60} , V_p , V_p/V_s oranı ve V_{S30} parametreleri temel değişkenler olarak modele dahil edilmiştir. Bu parametrelerin her biri, zemin dayanımı, topografik eğim, morfolojik istikrar ve sismik performans gibi yerleşim güvenliğini doğrudan etkileyen mühendislik özelliklerini temsil etmektedir.

Sonuç olarak, gerçekleştirilen tüm bu işlem adımları sayesinde; hem istatistiksel hem de mekânsal olarak tutarlı, eksiksiz ve dengeli bir veri seti oluşturulmuştur. Bu yapı, KNN algoritmasının hem eğitim hem de test verilerini doğru biçimde yorumlamasına, dolayısıyla Kütahya Merkez İlçesi'nin jeolojik ve jeoteknik özelliklerine dayalı olarak yerleşime uygunluk sınıflarını yüksek doğrulukla ayırt edebilmesine olanak tanımıştır. Elde edilen bu veri bütünlüğü, çalışmanın sonraki aşamalarında yürütülen mekânsal modelleme, haritalama ve doğrulama süreçlerinin güvenilirliğini önemli ölçüde artırmıştır.

4.2.1. Normalizasyon

Çalışmada kullanılan jeolojik, jeoteknik ve jeofizik parametreler farklı ölçü birimlerine ve değer aralıklarına sahip olduğundan, bu verilerin analizlerde karşılaştırılabilir hale getirilmesi amacıyla normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Her bir parametre 0 ile 1 aralığına indirgenmiş, en yüksek değer 1, en düşük değer ise 0 olacak

biçimde yeniden ölçeklendirilmiştir. Böylece, farklı büyüklükteki değişkenlerin model üzerinde orantısız etki oluşturmaları önlenmiş ve tüm parametrelerin katkısı eşit düzeye getirilmiştir.

Bu işlem sonucunda, veriler KNN (K-En Yakın Komşular) algoritmasının gerektirdiği biçimde aynı ölçek sistemine aktarılmıştır. Normalizasyon, modelin performansını artırmanın yanı sıra, çok farklı değer aralıklarına sahip zemin ve jeofizik parametrelerinin karşılıklı etkilerini istatistiksel olarak daha doğru şekilde yansıtmalarını sağlamıştır.

4.2.2. Mekânsal interpolasyon (IDW Yöntemi)

Analizlerde kullanılan sondaj, sismik ve MASW ölçüm noktaları mekânsal olarak düzensiz bir dağılıma sahip olduğundan, bu verilerden sürekli veri yüzeyleri elde etmek amacıyla mekânsal interpolasyon yöntemi uygulanmıştır. Bu kapsamda, noktasal ölçüm verilerinin alan genelindeki tahmini değerlerini belirlemek için IDW (Inverse Distance Weighting – Ters Uzaklık Ağırlıklı) yöntemi tercih edilmiştir.

Bu yöntemde, bilinmeyen bir noktanın değeri, çevresinde yer alan bilinen noktaların değerleriyle olan uzaklık ilişkisine göre hesaplanmıştır. Uzaklık arttıkça ağırlık katsayısı azalmış, yakın noktaların etkisi ise daha fazla olmuştur. Bu sayede, çalışma alanı genelinde parametrelerin mekânsal sürekliliği korunmuş ve noktasal verilerden sürekli yüzey haritaları elde edilmiştir.

IDW (Inverse Distance Weighting) yöntemiyle üretilen haritalar, Kütahya Merkez İlçesi genelinde zemin dayanımı ve jeofizik parametrelerin mekânsal değişimini ortaya koymaktadır. Deterministik bir interpolasyon yaklaşımı olan IDW yöntemi, doğrudan standart hata veya varyans değeri üretmemektedir. Bu nedenle, tahminlerin doğruluğu çapraz doğrulama (cross-validation) yöntemiyle değerlendirilmiş; gözlenen ve tahmin edilen değerler arasındaki farklardan elde edilen RMSE istatistikleri, modelin genel hata düzeyini ve güvenilirliğini temsil etmiştir.

IDW yöntemi, hem Kütahya Merkez İlçesi'nin topografik değişkenlik düzeyi hem de ölçüm yoğunluğu açısından uygun bir yöntem olarak değerlendirilmiştir. Böylece, zemin ve jeofizik parametrelerinin bölgesel dağılımı gerçeğe en yakın şekilde temsil edilmiştir.

4.2.3. Rasterlaştırma

İnterpolasyon aşamasında elde edilen sürekli yüzey verileri, raster formatına dönüştürülerek analizde kullanılabilir düzenli bir veri yapısı oluşturulmuştur. Rasterlaştırma sürecinde, çalışma alanı belirli çözünürlükte (örneğin 100×100 m) hücrelere bölünmüş ve her hücreye en yakın mesafedeki ilgili parametrenin temsil ettiği tek bir sayısal değer atanmıştır.

Bu dönüşüm sayesinde, eğim, kot, N_{60} , V_{S30} , V_p , V_p/V_s oranı gibi parametreler aynı çözünürlükte ve aynı koordinat sisteminde temsil edilmiştir. Raster yapı, CBS ortamında analizlerin otomatik olarak yürütülmesine, parametrelerin hücre bazlı olarak karşılaştırılmasına ve KNN algoritmasıyla uygunluk sınıflarının hesaplanmasına olanak sağlamıştır.

4.2.4. Veri katmanlaştırma

Çalışmanın son aşamasında, raster formatına dönüştürülmüş tüm veri setleri veri katmanlaştırma (layer overlay) yöntemiyle bir araya getirilmiştir. Her katman, analizdeki önem derecesine ve temsil ettiği parametre türüne göre belirli bir ağırlıkla değerlendirilmiştir. Jeolojik, jeoteknik, jeofizik ve topografik katmanlar aynı koordinat sisteminde hizalanarak mekânsal bütünlük sağlanmıştır.

Bu işlem sonucunda, tüm parametreler CBS ortamında üst üste bindirilmiş ve KNN algoritmasına girdi olarak kullanılacak birleşik veri seti elde edilmiştir. Katmanlaştırma süreci, farklı veri türlerinin hem sayısal hem mekânsal olarak bütünleşmesini sağlayarak yerleşime uygunluk analizinin temel altyapısını oluşturmuştur. Böylece, Kütahya Merkez İlçesi özelinde zemin, topoğrafya ve jeoteknik değişkenlerin birlikte değerlendirilmesi mümkün hale gelmiştir.

4.3. KNN Algoritması ve Teorik Temelleri

Bu çalışmada kullanılan K-En Yakın Komşular (KNN) algoritması, denetimli öğrenme yöntemleri arasında yer alan, basit yapısına rağmen oldukça etkili bir sınıflandırma yaklaşımıdır (Cover ve Hart, 1967). Temel olarak “benzer özelliklere sahip örnekler benzer sonuçlar üretir” ilkesine dayanır. Bu yönüyle, özellikle jeoteknik ve jeolojik parametrelerin çok değişkenli yapısının modellenmesinde güvenilir sonuçlar verir.

KNN algoritması, önceden tanımlı bir fonksiyon kullanmaz; bunun yerine her yeni veriyi eğitim kümesindeki örneklerle mesafe ölçütleri üzerinden karşılaştırır. Bu çalışmada, veriler arasındaki benzerlik Öklid mesafesi kullanılarak hesaplanmıştır. Her bir yeni örnek, en yakın k adet komşu ile karşılaştırılmış ve bu komşuların çoğunluk sınıfı gözlemin ait olduğu sınıf olarak belirlenmiştir.

Modelin başarısını doğrudan etkileyen iki temel unsur, “k” değeri ve mesafe ölçütüdür. k değeri, sınıflandırmada dikkate alınacak komşu sayısını ifade eder. Küçük k değerleri modelin gürültüye duyarlılığını artırırken, büyük k değerleri sınıflar arasındaki ayrımı azaltabilir. Bu nedenle uygun k değeri, farklı kombinasyonlar denenerek en yüksek doğruluk oranını sağlayan değer olarak seçilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda, model için en uygun k değeri 12 ($k=12$) olarak belirlenmiştir. Bu değer, modelin hem aşırı uyumdan (overfitting) kaçınmasını hem de sınıflar arası ayrımı koruyarak istikrarlı sonuçlar üretmesini sağlamıştır. KNN algoritmasının en önemli avantajı, parametrik olmaması ve veri dağılımı hakkında ön kabuller gerektirmemesidir. Bu özellik, Kütahya Merkez İlçesi gibi jeolojik açıdan heterojen alanlarda farklı zemin türleri ve topoğrafik koşulların birlikte değerlendirilmesini kolaylaştırır. Ayrıca algoritma, mekânsal verilerdeki yerel benzerlikleri dikkate aldığı için, yerleşime uygunluk analizlerinde morfolojik, jeoteknik ve sismik özelliklerin bütüncül olarak ele alınmasına olanak tanır.

Bu çalışmada KNN algoritması, önceden tanımlanmış yerleşime uygunluk sınıfları (ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3 ve ÖA-4) üzerinden çalışacak şekilde yapılandırılmıştır. Model, bu sınıfları eğitim verisi olarak kullanmış ve her sınıfın karakteristik özelliklerini öğrenmiştir. Sınıflar; sırasıyla sıvılaşma riski (ÖA-1), stabilite sorunları (ÖA-2), şişme ve oturma potansiyeli (ÖA-3) ve uygun olmayan alanlar (ÖA-4) olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada KNN algoritması, önceden tanımlanmış yerleşime uygunluk sınıflarını (ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3 ve ÖA-4) temel alarak eğitilmiştir. Model, bu sınıflara ait örnek verilerden öğrenme sürecini gerçekleştirmiş ve her sınıfın karakteristik zemin ve topoğrafik özelliklerini tanımlamıştır.

ÖA-1 sıvılaşma riski taşıyan alanları,

ÖA-2 stabilite sorunu bulunan bölgeleri,

ÖA-3 şişme ve oturma potansiyeli yüksek zeminleri,

ÖA-4 ise genel olarak uygun olmayan alanları temsil etmektedir.

KNN modeli, bu sınıfların istatistiksel örüntülerini kullanarak yeni gözlemleri değerlendirmiş ve her noktanın hangi uygunluk kategorisine ait olduğunu tahmin etmiştir. Böylece yükseklik, eğim, N_{60} , V_p , V_p/V_s oranı ve V_{s30} parametrelerinin birlikte değerlendirilmesiyle, yerleşime uygunluk sınıflarının mekânsal dağılımı objektif biçimde yeniden oluşturulmuştur. Sonuç olarak, KNN algoritması bu çalışmada nesnel, veri temelli ve tekrarlanabilir bir sınıflandırma yaklaşımı sunmuş; jeoteknik ve jeolojik değişkenlerin mesafeye dayalı analiziyle çalışma alanındaki zemin özelliklerini ve topoğrafik farklılıkları bilimsel olarak ayırtmıştır.

4.4. Eğitim ve Test Verileri

Bu çalışmada KNN algoritmasının eğitilmesi ve doğruluk analizinin yapılabilmesi amacıyla, elde edilen tüm veriler rastgele biçimde iki alt kümeye ayrılmıştır. Toplam veri setinin %80'i modelin öğrenme süreci için eğitim verisi, %20'si ise modelin genelleme performansını değerlendirmek amacıyla test verisi olarak kullanılmıştır (Han vd., 2012). Eğitim verisi, parametreler arasındaki istatistiksel ilişkilerin öğrenilmesini sağlarken; test verisi, modelin yeni veriler üzerindeki başarımını ölçmek için kullanılmıştır. Ayrım sonrasında her iki veri setine ait tanımlayıcı istatistiksel değerler Tablo 4.1 ile Tablo 4.7 arasında sunulmuş olup, bu tablolar veri setlerinin homojenliğini, dağılım özelliklerini ve model doğruluğunu desteklemektedir.

Tablo 4.5. Kullanılan tüm verilerin istatistiksel özeti(parameters: parametreler, count: veri setinde yer alan gözlem sayısı, mean: verilerin aritmetik ortalaması, std: standart sapma, min: veri setindeki en küçük değer, 0.25: verilerin %25'inin bu değerden küçük olduğunu gösterir, 0.50: verilerin tam ortasındaki değerdir, 0.75: verilerin %75'inin bu değerden küçük olduğunu gösterir, max: veri setindeki en büyük değer).

Parameters	count	mean	std	min	0.25	0.50	0.75	max
Yükseklik	100	970.77	46.81	921.00	938.00	957.50	985.25	1150.00
Eğim	100	3.97	2.97	0.33	1.88	3.28	4.89	20.39
N_{60}	100	39	14	8	26	50	50	50
V_p	100	1199.15	633.50	0.00	988.25	1283.00	1610.00	2280.00
V_p/V_s	100	1.66	0.79	0.00	1.59	1.86	2.09	2.82
V_{s30}	100	571.92	222.53	0.00	410.50	562.50	721.25	1109.00

Tablo 4.6. Yükseklik bazlı istatistikler

Önemli Alan Sınıfı	Gözlem Sayısı	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	En Küçük Değer	25% den Küçük	Verilerin Ortası	75% den Küçük	En Büyük Değer
1	2	931.00	1.41	930.00	930.50	931.00	931.50	932.00
2	49	990.49	54.30	921.00	951.00	974.00	1005.00	1150.00
3	47	949.30	22.79	921.00	932.00	943.00	963.50	1019.00
4	2	1032.00	9.90	1025.00	1028.50	1032.00	1035.50	1039.00

Tablo 4.7. *Eğim bazlı istatistikler*

Önemli Alan Sınıfı	Gözlem Sayısı	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	En Küçük Değer	25% den Küçük	Verilerin Ortası	75% den Küçük	En Büyük Değer
1	2	0.33	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
2	49	4.61	2.62	0.73	3.03	3.99	5.60	10.79
3	47	3.34	3.18	0.33	1.37	2.79	4.22	20.39
4	2	6.76	0.44	6.45	6.61	6.76	6.92	7.07

Tablo 4.8. *N₆₀ bazlı istatistikler*

Önemli Alan Sınıfı	Gözlem Sayısı	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	En Küçük Değer	25% den Küçük	Verilerin Ortası	75% den Küçük	En Büyük Değer
1	2	9	0	9	9	9	9	9
2	49	47	8	20	50	50	50	50
3	47	32	15	8	18	32	50	50
4	2	48	4	45	46	48	49	50

Tablo 4.9. *V_p küme bazlı istatistikler*

Önemli Alan Sınıfı	Gözlem Sayısı	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	En Küçük Değer	25% den Küçük	Verilerin Ortası	75% den Küçük	En Büyük Değer
1	2	778.5	1100.96	0	389.25	778.5	1167.75	1557
2	49	1420.22	558.89	0	1215	1476	1873	2280
3	47	993.80	638.21	0	772	1108	1368	2024
4	2	1029	0	1029	1029	1029	1029	1029

Tablo 4.10. *V_p/V_s küme bazlı istatistikleri*

Önemli Alan Sınıfı	Gözlem Sayısı	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	En Küçük Değer	25% den Küçük	Verilerin Ortası	75% den Küçük	En Büyük Değer
1	2	1.31	1.85	0.00	0.65	1.31	1.96	2.61
2	49	1.75	0.61	0.00	1.59	1.84	2.04	2.68
3	47	1.58	0.93	0.00	1.60	1.97	2.11	2.82
4	2	1.64	0.00	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64

Tablo 4.11. *V_{s30} bazlı istatistikler*

Önemli Alan Sınıfı	Gözlem Sayısı	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	En Küçük Değer	25% den Küçük	Verilerin Ortası	75% den Küçük	En Büyük Değer
1	2	300.00	42.43	270.00	285.00	300.00	315.00	330.00
2	49	673.47	214.68	0.00	561.00	673.00	830.00	1109.00
3	47	476.85	187.03	0.00	372.00	446.00	576.50	971.00
4	2	590.00	28.28	570.00	580.00	590.00	600.00	610.00

Bu çalışmada KNN algoritmasının sınıflandırma sürecinde iki temel veri grubu kullanılmıştır: eğitim verisi ve test verisi. Eğitim verisi; yükseklik, eğim, SPT-N₆₀, V_p, V_p/V_s oranı ve V_{s30} gibi parametreler kullanılarak modelin sınıflandırma kurallarını öğrenmesini sağlamıştır. Bu aşamada algoritma, benzer jeoteknik ve topoğrafik özelliklere sahip alanlar arasındaki komşuluk ilişkilerini belirlemiş ve önceden

tanımlanmış yerleşime uygunluk sınıflarını (ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3 ve ÖA-4) karakteristik özelliklerine göre ayırt etmiştir. Böylece model, parametreler arasındaki çok boyutlu ilişkiyi değerlendirerek her noktanın hangi uygunluk kategorisine ait olduğunu istatistiksel olarak tahmin edebilmiştir.

Test verisi ise, modelin genel doğruluğunu ve sınıflandırma performansını ölçmek amacıyla, eğitim sürecine dâhil edilmeyen bağımsız bir veri kümesi olarak oluşturulmuştur. Bu veri seti, KNN algoritmasının daha önce karşılaşmadığı yeni veriler üzerindeki tahmin yeteneğini değerlendirmek için kullanılmıştır.

Modelin performansı, sınıflandırma doğruluk matrisi ve Kappa istatistiği temel alınarak değerlendirilmiştir. Bu ölçütler sayesinde modelin genelleme kapasitesi, sınıflandırma başarısı ve güvenilirliği nicel olarak belirlenmiştir.

Bu süreç, algoritmanın yalnızca öğrenmekle kalmayıp, bilinmeyen alanlarda da güvenilir sonuçlar üretebilmesini sağlar.

4.5. CBS ile KNN Modelleme Süreci ve Analiz Aşamaları

Bu çalışmada Kütahya Merkez İlçesi'ne ait jeolojik, jeoteknik ve topoğrafik parametreler kullanılarak K-En Yakın Komşular (KNN) algoritması temelinde bir sınıflandırma modeli oluşturulmuştur. Bu modelin uygulanmasında Python 3.10 programlama dili kullanılmış; veri işleme, görselleştirme ve modelleme adımları aşağıda açıklanan süreç dâhilinde yürütülmüştür.

4.5.1. Veri okuma ve hazırlık

İlk aşamada, yerleşime uygunluk analizine ait öğrenme veri seti (model_ogren_.txt) pandas kütüphanesi aracılığıyla okunmuş ve DataFrame formatında işlenmiştir. Veri setinde yer alan temel parametreler; yükseklik (yuksekl_), eğim (egim), SPT-N₆₀ değerleri (n60), P dalga hızı (vp), Vp/Vs oranı (vp_vs) ve Vs₃₀ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler, bölgenin jeoteknik ve morfolojik özelliklerini temsil etmektedir.

4.5.2. Parametrelerin dağılım analizi

Her bir parametrenin önemli alan sınıflarına (oa_sinif) göre değişimini incelemek amacıyla kutu grafikleri (boxplot) ve histogramlar oluşturulmuştur. Bu görseller, parametrelerin sınıflar arasındaki istatistiksel farklarını ortaya koymakta ve veri setindeki

uç değerlerin tespit edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, FacetGrid yapısı kullanılarak parametrelerin her bir sınıf içerisindeki dağılımları yoğunluk eğrileri ile birlikte sunulmuş; böylece değişkenlerin hangi aralıkta yoğunlaştığı görsel olarak değerlendirilmiştir.

4.5.3. Korelasyon analizi

Modelde kullanılan değişkenler arasındaki ilişkiler, korelasyon matrisi aracılığıyla incelenmiştir. pandas ve seaborn kütüphaneleri yardımıyla elde edilen korelasyon katsayıları, ısı haritası (heatmap) biçiminde görselleştirilmiştir. Bu analiz, özellikle zemin parametreleri arasında yüksek ilişki düzeyi gösteren değişkenlerin belirlenmesine yardımcı olmuş, modelde çoklu doğrusal ilişki olasılıklarının değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca pairplot grafikleriyle tüm parametre çiftleri arasındaki ilişki yapısı detaylı olarak incelenmiştir.

4.5.4. Tanımlayıcı istatistiklerin elde edilmesi

Veri setinin genel tanımlayıcı istatistikleri (mean, std, min, max vb.) tüm veri ve sınıf bazında hesaplanmıştır. Bu işlem sonucunda, her parametrenin genel dağılımı ile birlikte her bir uygunluk sınıfındaki ortalama değerleri de karşılaştırılmış; istatistiksel çıktılar. csv formatında kayıt altına alınmıştır. Bu istatistikler, farklı formasyon ve zemin tiplerinin sınıflandırma üzerindeki etkilerinin sayısal olarak değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

4.5.5. Verilerin normalizasyonu

Modelde tüm parametreler farklı birimlerde ölçüldüğü için, veriler [0–1] aralığına normalize edilmiştir.

Bu işlem, $((\text{değer} - \text{min}) / (\text{max} - \text{min}))$ formülü kullanılarak yapılmış ve her bir parametre için alt–üst sınırlar saha verilerine göre belirlenmiştir. Normalizasyon işlemi, tüm değişkenlerin KNN algoritmasında eşit ağırlıkta değerlendirilmesini sağlayarak modelin mesafe temelli yapısına uygun hale getirmiştir.

4.5.6. KNN modelinin eğitilmesi ve en uygun k değerinin belirlenmesi

Bu çalışmada kullanılan K-En Yakın Komşular (KNN) algoritması, denetimli bir sınıflandırma yöntemidir ve modelin öğrenme süreci doğrudan eğitim verileri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Modelleme aşamasında klasik anlamda bir “öğrenme” süreci

bulunmamakta; algoritma, eğitim kümesindeki tüm örnekleri bellekte saklayarak yeni gelen test örneklerini bu verilerle benzerlik (mesafe) temelli olarak karşılaştırmaktadır.

Bu kapsamda, çalışma alanındaki veriler dört farklı sınıf altında etiketlenmiştir: 2 adet ÖA-1.1 (sıvılaşma riski yüksek alan), 49 adet ÖA-2.1 (stabilite sorunu olan alan), 47 adet ÖA-5.1 (şişme–oturma riski bulunan alan) ve 2 adet UOA-2.1 (heyelan riski yüksek alan). Bu dağılım, modelin en yoğun olarak ÖA-2.1 ve ÖA-5.1 sınıflarında örneklem içerdiğini, buna karşın ÖA-1.1 ve UOA-2.1 sınıflarında gözlem sayısının sınırlı olduğunu göstermektedir.

Modelleme süreci beş katlı çapraz doğrulama (5-fold cross validation) ilkesine dayalı olarak yürütülmüştür. Bu doğrulama yaklaşımında veri kümesi beş eşit parçaya bölünmüş; her bir iterasyonda dört parça eğitim (train) verisi, bir parça ise doğrulama (validation) verisi olarak kullanılmıştır. Bu işlem beş kez tekrarlanarak her bir alt küme bir kez doğrulama amacıyla kullanılmış ve sonuçlar ortalaması alınarak modelin genel başarımı hesaplanmıştır. Dolayısıyla, her iterasyonda verilerin yaklaşık %80'i eğitim, %20'si doğrulama amacıyla değerlendirilmiştir.

Modelin parametre optimizasyonu GridSearchCV yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, belirlenen hiperparametrelerin (örneğin `n_neighbors`) farklı değer kombinasyonlarını test ederek, model performansını maksimize eden parametre setini belirler. GridSearchCV aynı zamanda içsel bir çapraz doğrulama süreci barındırır ve her parametre kombinasyonu için modelin ortalama doğruluk değerini hesaplar. Bu çalışmada GridSearchCV yöntemi sonucunda en uygun `k` değeri `k = 12` olarak belirlenmiştir.

Modelin tahmin sürecinde, her test noktasının hangi sınıfa ait olduğu, en yakın 12 komşunun sınıf etiketlerine göre belirlenmiştir. Bu noktada KNN algoritması, test örneğinin sınıfını “çoğunluk oylaması” prensibine göre tayin eder.

Örneğin,

bir test örneğine ait 12 komşudan 9'u ÖA-2 sınıfına,

2'si ÖA-3 sınıfına ve

1'i UOA-4 sınıfına ait ise,

Model bu örneği ÖA-2 sınıfında sınıflandırır.

Bununla birlikte, KNN yalnızca sınıf tahmini değil, aynı zamanda olasılık değerleri de üretmektedir. Bu değerler, test örneğinin belirli bir sınıfa ait olma olasılığını ifade eder

ve komşuların sınıf dağılımlarına göre hesaplanır. Yukarıdaki örnekte, test örneğinin ÖA-2 sınıfına ait olma olasılığı şu şekilde hesaplanır:

$$P(\text{Ö.A-2})=9/12=0.75$$

Yani test örneğinin ÖA-2 sınıfına ait olma olasılığı %75'tir. Bu olasılıklar, modelin predict_proba() fonksiyonu tarafından hesaplanmakta ve her bir sınıf için ayrı ayrı sunulmaktadır. Bu sayede, her test noktasının farklı sınıflara ait olma olasılıkları nicel olarak değerlendirilebilmekte ve yerleşime uygunluk sınıflarının (ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3, UOA-4) model tarafından hangi güven düzeyiyle tahmin edildiği ortaya konmaktadır.

Modelleme aşamasında, bağımsız değişkenler (x) normalleştirilmiş parametrelerden; bağımlı değişken (y) ise oa_sinif değerlerinden oluşturulmuştur. En uygun komşu sayısı (k) değeri, GridSearchCV yöntemiyle 1–30 aralığında denenmiş ve 5 katlı çapraz doğrulama (5-fold CV) uygulanmıştır. Bu sayede, modelin genelleme başarısı test edilmiş ve en yüksek doğruluk oranını veren k değeri otomatik olarak seçilmiştir.

4.5.7. Modelin tahmin aşaması ve olasılık analizi

En uygun parametrelerle eğitilen model, tahmin veri seti (model_tahmin_.txt) üzerinde uygulanmıştır. Her bir örnek için model tarafından sınıf tahmini (sonuc) ve her sınıfa ait olasılık değerleri (olasilik1–4) hesaplanmıştır.

Bu olasılıklar, her bir örneğin hangi sınıfa ait olma olasılığını göstermekte olup, sonuçlar sonuc2_.csv dosyasına kaydedilmiştir.

Tahmin sonrası, olasılık değerlerinin sınıflar bazında dağılımı kutu grafikleri ve histogramlarla görselleştirilmiştir. Bu analiz, modelin hangi sınıflarda daha yüksek güvenle tahmin yaptığını ortaya koymuş ve sınıflandırma doğruluğunun görsel olarak değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

4.5.8. Sürecin genel değerlendirmesi

Model parametrelerinin belirlenmesinin ardından, CBS tabanlı veri katmanları K-En Yakın Komşular (KNN) algoritması ile analiz edilmiştir. Bu aşamada, her hücre (piksel) için mekânsal parametre değerleri değerlendirilmiş ve en yakın komşuların özelliklerine göre uygunluk sınıfı atanmıştır. Sınıflandırma süreci şu adımlarla yürütülmüştür:

CBS ortamındaki raster veri setleri, her hücreye ait sayısal değerleri içeren bir veri matrisine dönüştürülmüştür.

KNN algoritması, her hücre için en yakın “k” komşu verisini belirlemiş ve bu komşuların uygunluk sınıfına göre ağırlıklı değerlendirme yapmıştır.

Her hücre, sıvılaşma, stabilite, oturma–şişme veya heyelan riski içeren dört ana uygunluk grubundan birine atanır.

Sonuçta, çalışma alanındaki her nokta, jeolojik, jeoteknik ve topoğrafik parametrelerin bütüncül etkisine göre sınıflandırılmıştır.

Bu yaklaşım sayesinde, veri temelli ve mekânsal olarak tutarlı bir uygunluk dağılımı elde edilmiştir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın 28.09.2011 tarihli ve 102732 sayılı genelgesi, jeolojik–jeoteknik etütlerde yapılaşmaya uygunluk alanlarının Ö.A 1.1, Ö.A 2.1, Ö.A 5.1 ve U.O.A 2.1 sınıfları altında tanımlanmasını öngörmektedir. Ancak bu yaklaşım, geniş alanların tek sınıf altında değerlendirilmesi nedeniyle zemin davranışındaki yerel farklılıkların göz ardı edilmesine yol açabilmektedir (T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2011).

Bu tez çalışmasında, söz konusu sınıflandırma sistemi daha ayrıntılı ve veri temelli biçimde yeniden ele alınmış; V_{s30} , N_{60} , V_p/V_s oranı, V_p , topografik eğim ve kot verilerinin çok boyutlu ilişkileri KNN algoritmasıyla analiz edilmiştir. Böylece klasik tanımlar yerine mikro ölçekte ayrıştırılmış alt uygunluk zonları oluşturulmuştur.

Analiz sonucunda, Kütahya Merkez İlçesi genelinde dört ana sınıf belirlenmiş ve bu sınıflar Bakanlık sisteminde tanımlanan uygunluk kodlarıyla ilişkilendirilmiştir:

ÖA-1 (Önemli Alan 1.1 – Sıvılaşma Potansiyeli): V_{s30} ve N_{60} değerlerinin düşük, V_p/V_s oranlarının yüksek olduğu, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın bulunduğu gevşek ve suya doymuş zeminlerden oluşan alanlardır. Bu bölgelerde deprem sırasında pore suyu basıncı artışı ve taşıma gücü kaybı riski bulunmaktadır. Yapılaşma öncesinde sıvılaşma analizi ve zemin iyileştirme yapılması gerekmektedir.

ÖA-2 (Önemli Alan 2.1 – Stabilite Sorunu): Topografik eğimin yüksek olduğu, kohezyonsuz veya ayrılmış kaya birimlerinin hâkim bulunduğu sahalardır. Şev stabilitesi, yüzey akışı ve erozyon bu alanlarda belirleyici faktörlerdir. Bu bölgelerde yapılaşma öncesinde şev destekleme ve drenaj önlemleri alınmalıdır.

ÖA-3 (Önemli Alan 5.1 – Oturma ve Şişme Sorunu): Orta–yüksek plastisiteli kil ve silt tabakalarının bulunduğu, düşük N_{60} ve V_{s30} değerleriyle tanımlanan alanlardır. Bu

bölgelerde konsolidasyon oturması ve hacim değişimine bağlı şişme potansiyeli yüksektir. Zeminlerin drenaj koşulları iyileştirilmeli ve zemin temel etkileşimi analizleri ayrıntılı şekilde yapılmalıdır.

UOA-4 (Uygun Olmayan Alan 2.1 – Heyelan Riski): Eğim değerlerinin yüksek, kütle hareketi potansiyeli belirgin ve aktif veya potansiyel heyelan zonları bulunmaktadır. Zemin stabilitesi açısından yüksek risk taşıdığından yerleşime uygun olmayan alan olarak değerlendirilmiştir.

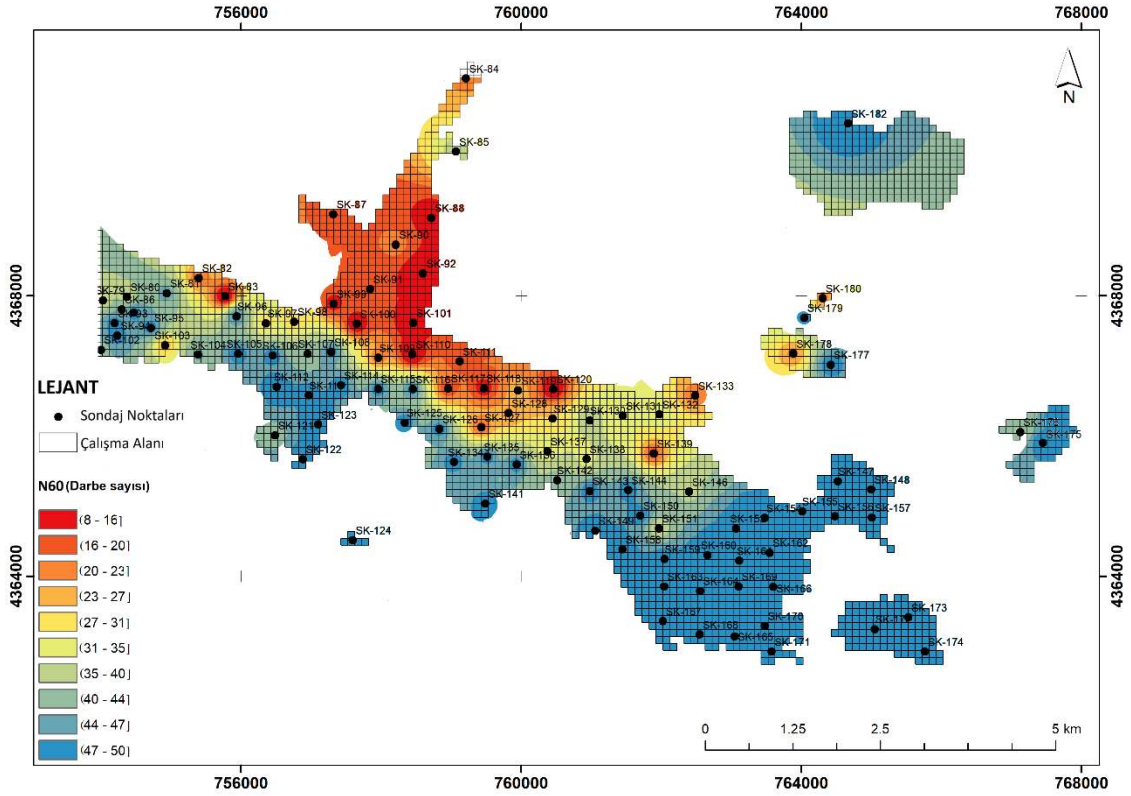
KNN algoritmasının uygulanmasıyla, Kütahya Merkez İlçesi'ne ait önceden tanımlanmış yerleşime uygunluk sınıfları (ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3 ve ÖA-4) istatistiksel olarak tanımlanmış veri kümeleri üzerinden yeniden değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, klasik jeolojik uygunluk sınıflandırmalarına kıyasla daha nicel, veri temelli ve mühendislik parametrelerine dayalı bir uygunluk haritası elde edilmiştir. Sonuç olarak, yükseklik, eğim, SPT-N₆₀, V_p, V_p/V_s oranı ve V_{s30} parametrelerinin birlikte değerlendirilmesiyle Kütahya Merkez İlçesi'nin zemin dayanımı ve topoğrafik özelliklerine bağlı yerleşime uygunluk zonları yüksek mekânsal doğrulukla belirlenmiştir. Bu model, bölgedeki sıvılaşma, stabilite, şişme–oturma ve jeoteknik uygunluk farklılıklarını mekânsal olarak ayırt edebilmiş ve CBS tabanlı analizlerle güvenilir bir mühendislik sınıflandırması ortaya koymuştur.

4.6. Haritalama ve Sınıflandırma

4.6.1. Parametrelerin mekânsal dağılımı

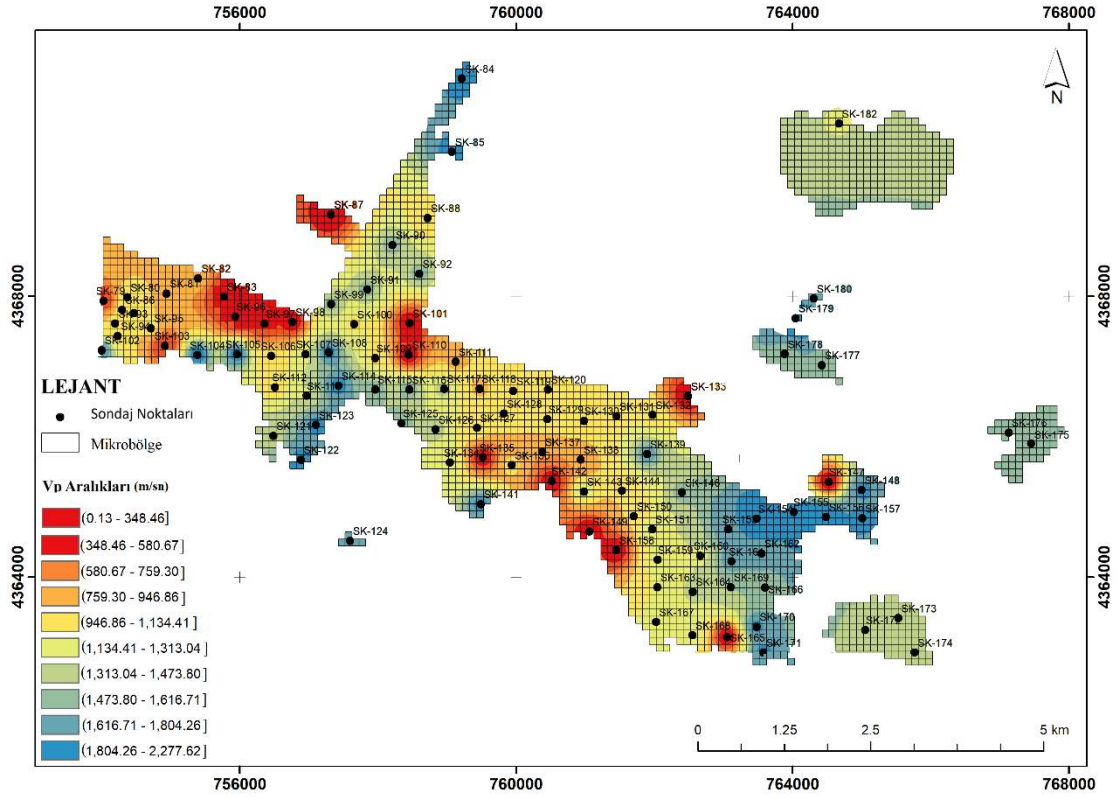
IDW (Inverse Distance Weighting) yöntemiyle elde edilen haritalar, Kütahya Merkez İlçesi genelinde zemin dayanımı ve jeofizik özelliklerin mekânsal değişimini göstermektedir.

Yerleşime uygunluk analizinde KNN algoritması ile elde edilen sınıflandırma sonuçları, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında görselleştirilmiş ve mekânsal olarak değerlendirilmiştir. CBS, farklı veri kaynaklarından (jeolojik, jeoteknik ve topografik) elde edilen parametrelerin aynı mekânsal referans sisteminde birleştirilmesini, analiz edilmesini ve sonuçların harita tabanlı olarak sunulmasını sağlamaktadır. Bu yaklaşım, modelin yalnızca istatistiksel değil, coğrafi gerçekliğe dayalı yorumlanmasına olanak tanımaktadır.



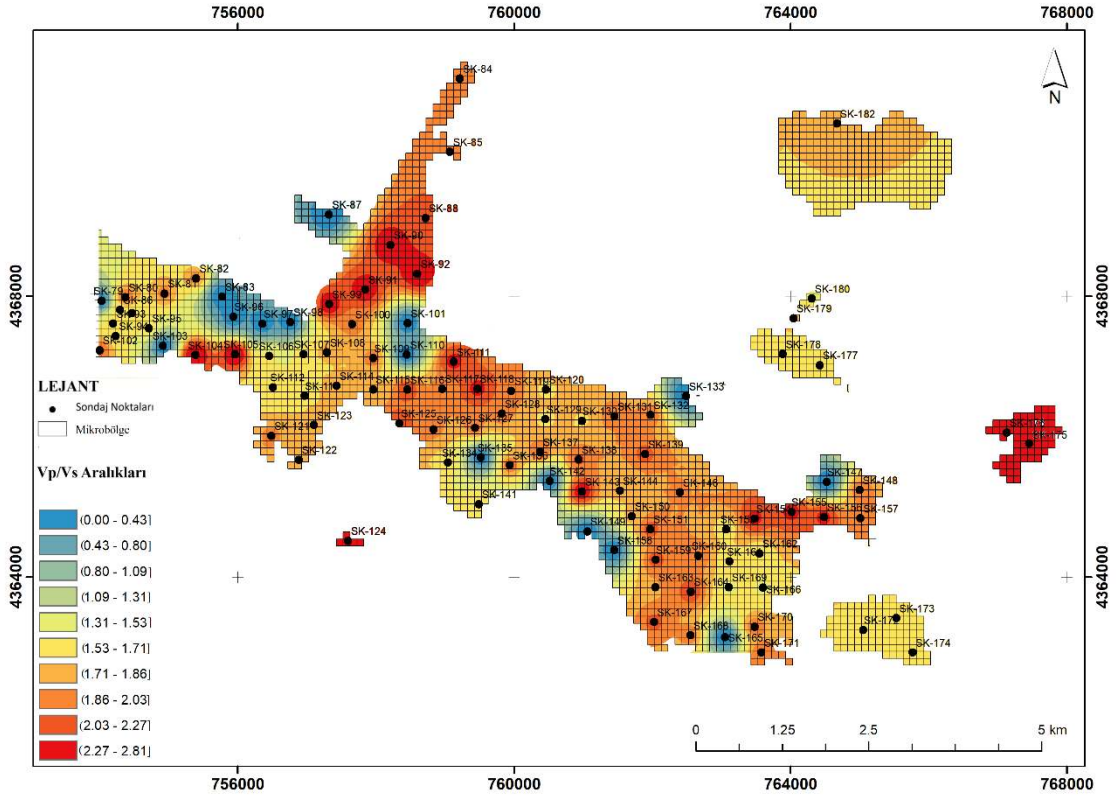
Şekil 4.2. N_{60} değerlerinin mekânsal dağılımı (IDW yöntemiyle)

N_{60} değerlerinin IDW yöntemiyle oluşturulan mekânsal dağılım haritası, çalışma alanı genelinde zemin dayanımının bölgesel değişimini göstermektedir. Değerlerin alansal olarak farklılık göstermesi, zeminlerin sıklık derecesinde ve mühendislik özelliklerinde yerel değişkenliğin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, bölgedeki litolojik çeşitlilik, yeraltı suyu seviyesi ve jeoteknik koşulların zemin davranışı üzerindeki etkisini yansıtmaktadır.



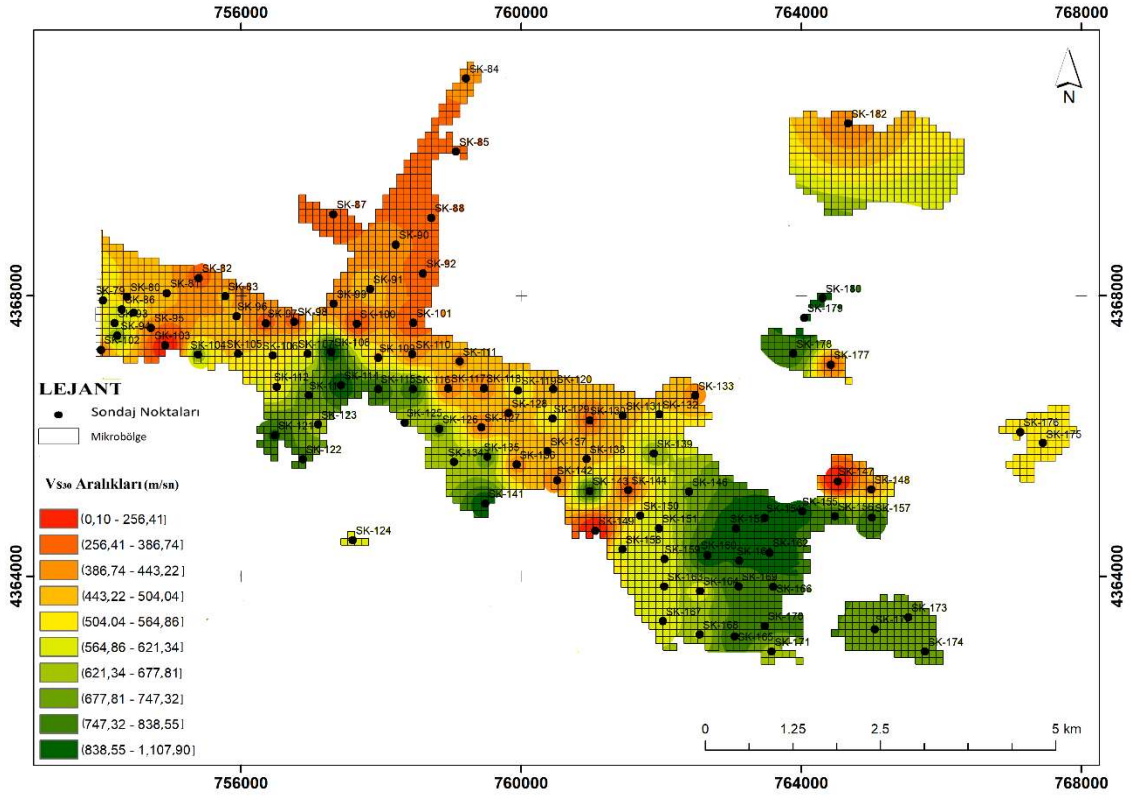
Şekil 4.3. Vp değerlerinin mekânsal dağılımı (IDW yöntemiyle)

Vp (basınç dalgası hızı) değerlerinin IDW yöntemiyle oluşturulan mekânsal dağılım haritası, çalışma alanındaki zemin yoğunluğu ve elastik özelliklerin bölgesel değişimini ortaya koymaktadır. Değerlerin farklı bölgelerde değişim göstermesi, litolojik birimler arasındaki farklılıkları ve yeraltı suyu koşullarının etkisini yansıtmaktadır. Genel olarak, yüksek Vp değerleri daha sıkı ve düşük boşluk oranına sahip zeminleri, düşük Vp değerleri ise gevşek ve suya doymun zemin koşullarını işaret etmektedir. Bu dağılım, bölgedeki jeoteknik birimlerin heterojen yapısına bağlı olarak zemin sertliğinin mekânsal farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.4. V_p/V_s 'in değerlerinin mekânsal dağılımı (IDW yöntemiyle)

V_p/V_s oranlarının IDW yöntemiyle oluşturulan mekânsal dağılım haritası, çalışma alanında zeminlerin elastik özelliklerinin ve suya doygunluk düzeylerinin bölgesel değişimini göstermektedir. Oran değerlerindeki farklılıklar, malzeme sertliği, nem içeriği ve sıkışabilirlik özelliklerindeki çeşitliliği yansıtmaktadır. Genel olarak, yüksek V_p/V_s oranları daha yumuşak veya suya doygun zeminleri, düşük oranlar ise daha rijit ve kuru zemin koşullarını temsil etmektedir. Bu sonuçlar, zemin davranışındaki mekânsal değişkenliğin jeoteknik açıdan dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.5. V_{s30} değerlerinin mekânsal dağılımı (IDW yöntemiyle)

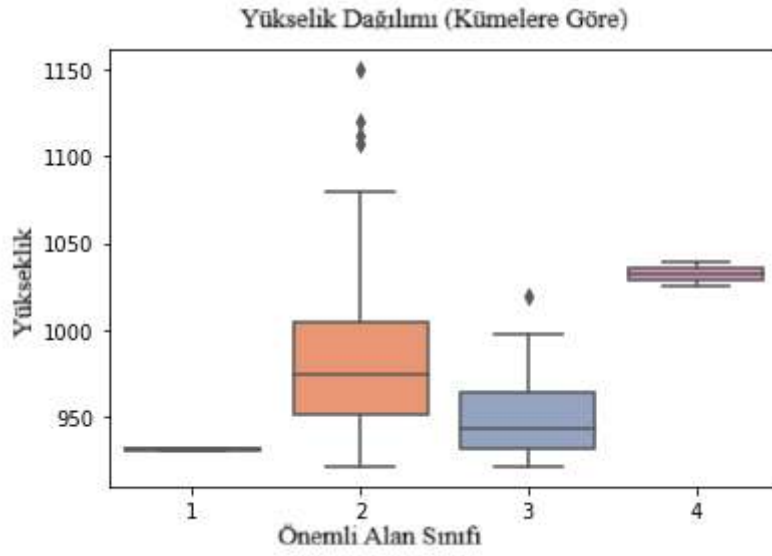
V_{s30} değerlerinin IDW yöntemiyle oluşturulan mekânsal dağılım haritası, çalışma alanında zeminlerin kayma dalgası hızına bağlı olarak rijitlik ve dayanım özelliklerinin bölgesel değişimini göstermektedir. Değerlerin alansal olarak farklılık göstermesi, zemin sertliği, tabaka kalınlığı ve formasyon özelliklerindeki çeşitliliği ortaya koymaktadır. Genel eğilim olarak yüksek V_{s30} değerleri daha rijit ve sağlam zemin koşullarını, düşük değerler ise daha yumuşak ve düşük dayanımlı zemin ortamlarını temsil etmektedir. Bu dağılım, bölgedeki jeoteknik özelliklerin mekânsal heterojenliğini ve yerleşime uygunluk açısından dikkate alınması gereken alanları vurgulamaktadır.

Bu çalışmada, KNN algoritması önceden tanımlanmış Önemli Alan (ÖA) sınıflarını temel olarak çalıştırılmıştır. Bu sınıflar, yerleşim açısından farklı jeoteknik uygunluk düzeylerini temsil etmekte olup; ÖA-1 (sıvılaşma riski taşıyan alanlar), ÖA-2 (stabilite sorunu bulunan alanlar), ÖA-3 (şişme ve oturma potansiyeli yüksek alanlar) ve ÖA-4 (uygun olmayan alanlar) olarak tanımlanmıştır. Model, bu tanımlı sınıflara ait örnek verilerden öğrenme sürecini gerçekleştirerek, yükseklik, eğim, SPT- N_{60} , P dalgası hızı (V_p), V_p/V_s oranı ve kayma dalgası hızı (V_{s30}) gibi parametrelerin istatistiksel ilişkilerini değerlendirmiştir. Her bir sınıfın bu parametrelerle olan ilişkisi, kutu grafikleri (boxplot) ve histogram dağılımları yardımıyla analiz edilmiş; böylece farklı zemin türlerinin ve

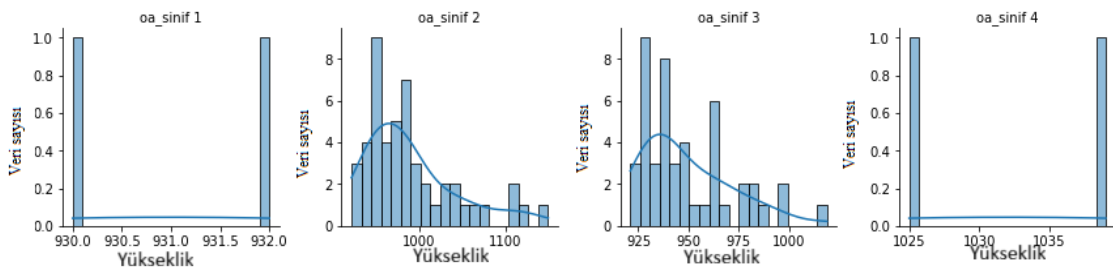
topoğrafik koşulların yerleşime uygunluk üzerindeki etkileri görsel olarak ortaya konmuştur.

Kutu grafikleri, parametrelerin sınıflar arasındaki medyan, minimum, maksimum ve çeyrek değerlerini karşılaştırmalı olarak ortaya koyarken; histogramlar, bu parametrelerin frekans dağılımını ve KNN sınıflandırmasının ayrıştırma başarısını göstermektedir. Böylece her parametrenin ÖA sınıfları içerisindeki değişimi hem nicel hem de mekânsal bağlamda açıklanır hale getirilmiştir.

A.



B.



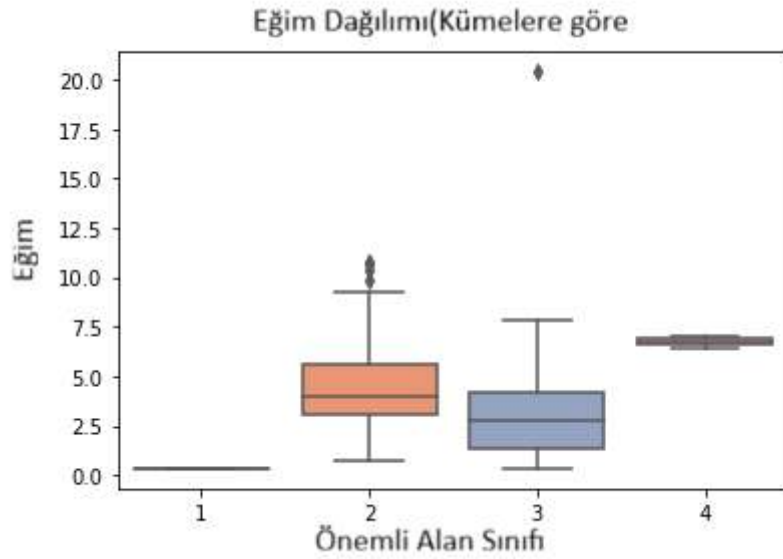
Şekil 4.6. Yükselik Dağılımı (A) boxplot ve (B) histogram gösterimi

Bu grafikler, Kütahya Merkez İlçesi'nde tanımlanan Önemli Alan (ÖA) sınıflarının topoğrafik yükseklik (m) değerleri açısından istatistiksel dağılımını göstermektedir. Kutu grafiği (Şekil 4.6.a) ve histogram analizleri (Şekil 4.6.b), yükseklik değerlerinin sınıflar arasında belirgin biçimde farklılaştığını ortaya koymaktadır.

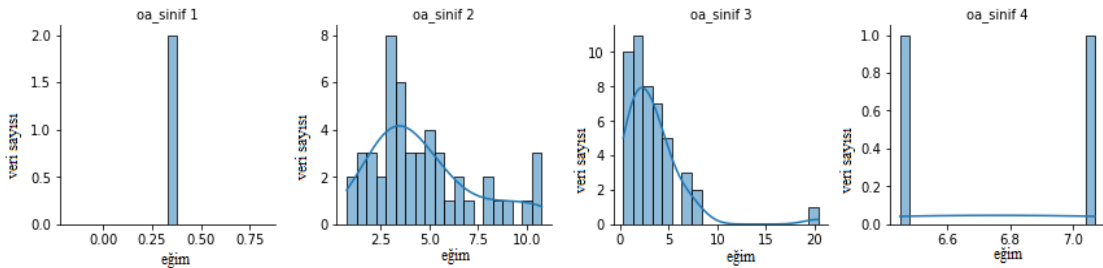
ÖA-1 sınıfı, yaklaşık 930–932 m kotlarında yoğunlaşmakta olup, genellikle düşük kotlu ve düz morfolojiye sahip sıvılaşma riski yüksek alanları temsil etmektedir. ÖA-2 sınıfı, 940–1050 m aralığında değişken bir dağılım göstermekte ve orta kotlu, eğim farklılıkları belirgin stabilite sorunlu bölgeleri yansıtmaktadır. ÖA-3 sınıfı, 925–1000 m aralığında toplanmış olup, şişme ve oturma potansiyeli bulunan zeminlerin yer aldığı kesimleri ifade etmektedir. ÖA-4 sınıfı ise 1025 m’nin üzerinde oldukça dar bir yükseklik aralığında, homojen ve dengeli topoğrafik koşullara sahip alanları temsil etmektedir.

Bu sonuçlar, yüksek kotlardaki alanların morfolojik olarak genel anlamda daha dengeli bir topografya sunduğunu ve jeoteknik açıdan daha istikrarlı zemin koşullarına sahip olduğunu, buna karşın düşük kotlardaki alanlarda sıvılaşma ve stabilite kaynaklı risklerin daha belirgin olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, Kütahya Merkez İlçesi’nde topoğrafik yükseklik değişimlerinin yerleşime uygunluk üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

A.



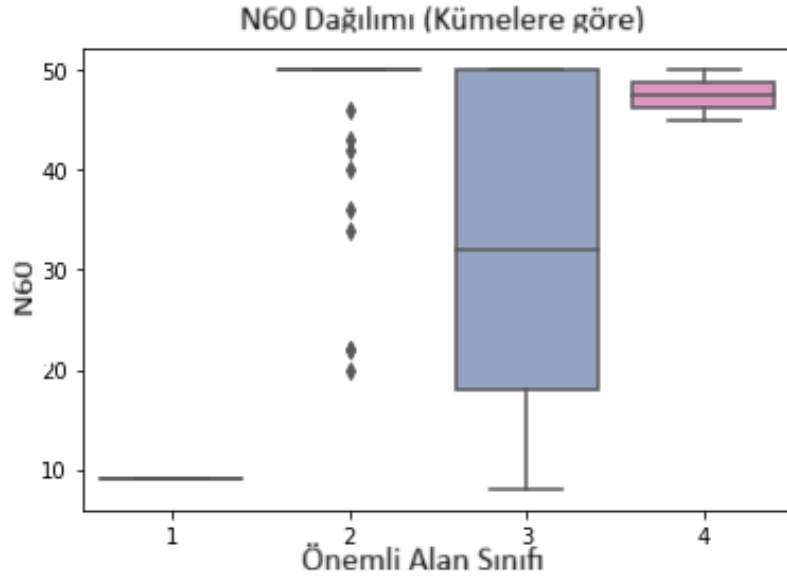
B.



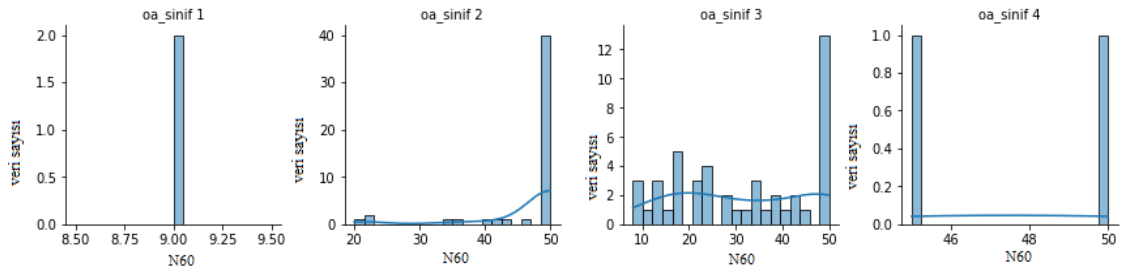
Şekil 4.7. Eğim Dağılımı (A) boxplot ve (B) histogram gösterimi

Kütahya Merkez İlçesi'ndeki önemli alan sınıflarına (ÖA 1–4) ait eğim değerlerinin dağılımı grafiklerde sunulmuştur. Grafiklerde, 1. Sınıf alanların yatay topografyada yer aldığı, 2. Ve 3. Sınıflarda eğim değerlerinin 0° – 10° arasında değiştiği, 4. Sınıf alanların ise 6° – 7° Aralığında toplandığı görülmektedir. Bu durum, sınıflar arasındaki topoğrafik farklılıkların KNN algoritmasıyla başarıyla ayrıştırıldığını göstermektedir.

A.



B.

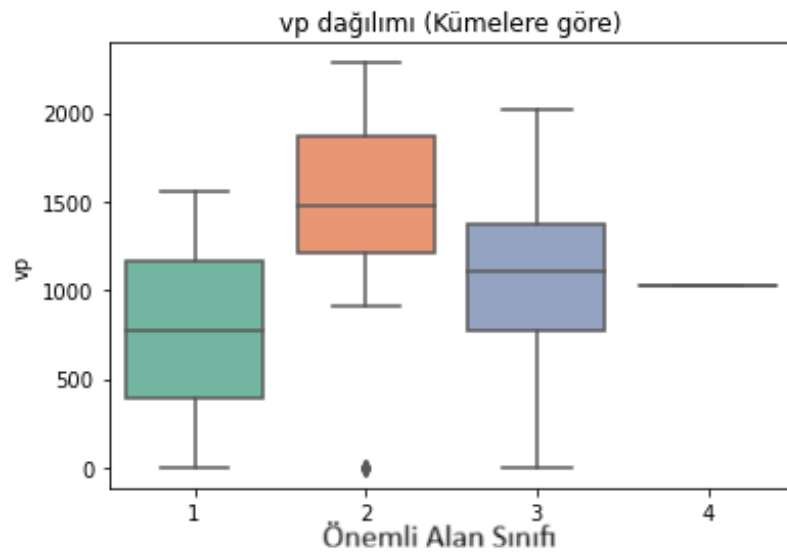


Şekil 4.8. N_{60} Dağılımı (A) boxplot ve (B) histogram gösterimi

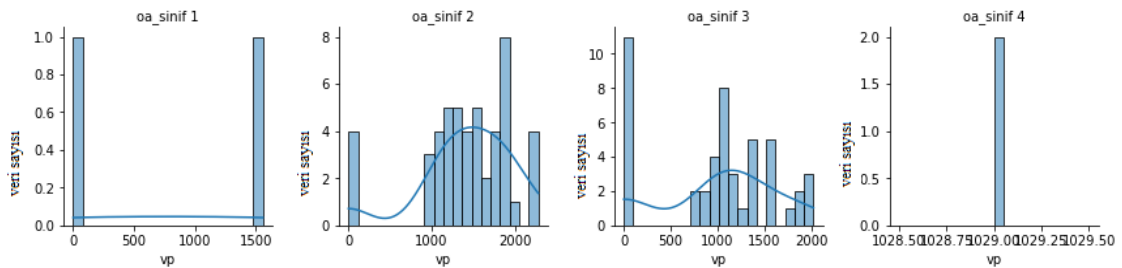
Grafikler, Kütahya Merkez İlçesi'nde tanımlanan Önemli Alan (ÖA) sınıflarına ait N_{60} değerlerinin istatistiksel dağılımını göstermektedir. N_{60} , zeminin sıkılığı ve taşıma gücü açısından en önemli jeoteknik göstergelerden biridir. Grafikler incelendiğinde, ÖA-1 sınıfında oldukça düşük N_{60} değerlerinin hâkim olduğu ve bu durumun gevşek, suya doygun zeminlerin sıvılaşma riski taşıdığını işaret ettiği görülmektedir. ÖA-2 sınıfında N_{60} değerleri orta-yüksek aralıkta yoğunlaşmakta olup, bu zeminlerin sıkılık açısından

yeterli olmasına rağmen eğim, drenaj ve tabaka süreksizliklerinden kaynaklanan stabilite problemlerinin etkili olduğu anlaşılmaktadır. ÖA-3 sınıfı geniş bir dağılım sergileyerek heterojen zemin yapısına işaret etmekte; farklı litolojik birimlerde değişen sıklık koşulları nedeniyle bu alanlar oturma ve şişme potansiyeli bakımından riskli değerlendirilmektedir. ÖA-4 sınıfı ise dar bir aralıkta yüksek N_{60} değerleri göstermekte ve bu da sıkı, dayanımı yüksek zeminlerin varlığını ortaya koymaktadır. Genel olarak, N_{60} değerlerindeki bu değişim, çalışma alanında zeminlerin jeoteknik özelliklerinin ve mühendislik davranışlarının sınıflar arasında belirgin biçimde farklılaştığını ve KNN modelinin bu farklılıkları başarılı şekilde ayırt edebildiğini göstermektedir.

A.



B.

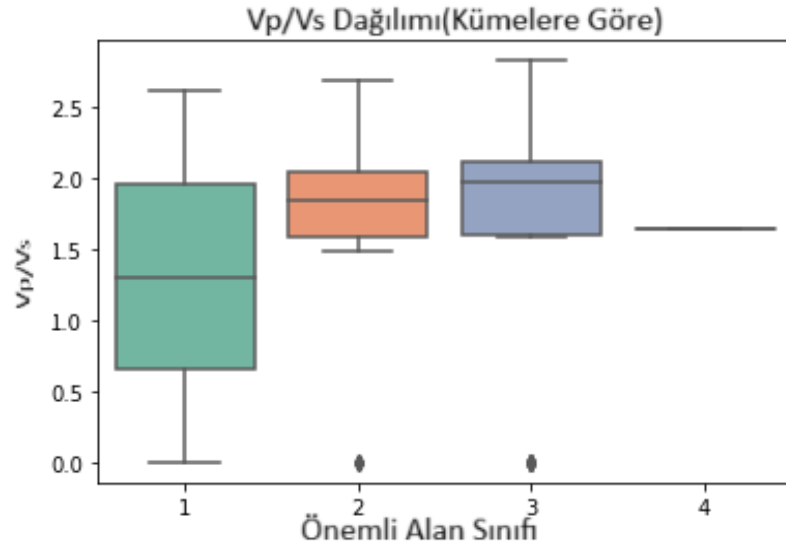


Şekil 4.9. *Vp Dağılımı (A) boxplot ve (B) histogram gösterimi*

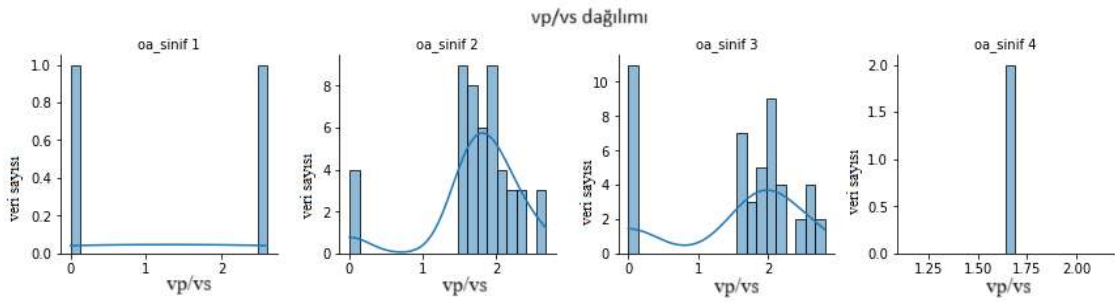
Kütahya Merkez İlçesi’ndeki önemli alan sınıflarına (ÖA 1–4) göre P dalgası (V_p) hızlarının istatistiksel değişimini göstermektedir. Grafiklerde, 1. Sınıf alanlarda düşük V_p değerleri gevşek zeminleri, 2. Ve 3. Sınıf alanlarda orta düzey hızlar sıkılaşan zemin

koşullarını, 4. Sınıf alanlarda ise yüksek ve dengeli hız değerleri rijit ve dayanıklı zemin yapısını temsil etmektedir.

A.



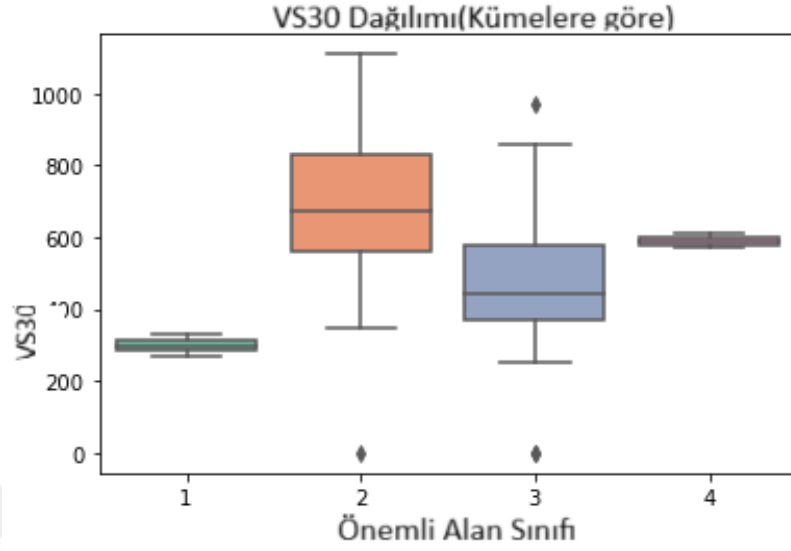
B.



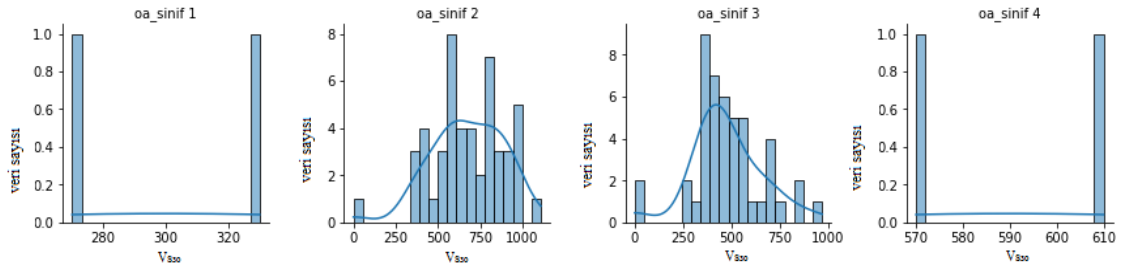
Şekil 4.10. *Vp/Vs Dağılımı (A) boxplot ve (B) histogram gösterimi*

Kütahya Merkez İlçesi’ndeki önemli alan sınıflarına (ÖA 1–4) göre V_p/V_s oranlarının değişimini göstermektedir. Grafiklerde, 1. Sınıf alanlarda geniş bir dağılım gözlenirken, 2. Ve 3. Sınıf alanlarda oran değerleri 1.6–1.8 aralığında yoğunlaşmaktadır. 4. Sınıf alanlarda ise oranlar dar bir aralıkta ve düşük değerlerde seyretmektedir; bu durum, bu bölgelerde zeminin daha rijit ve stabil özellikler taşıdığını göstermektedir.

A.



B.

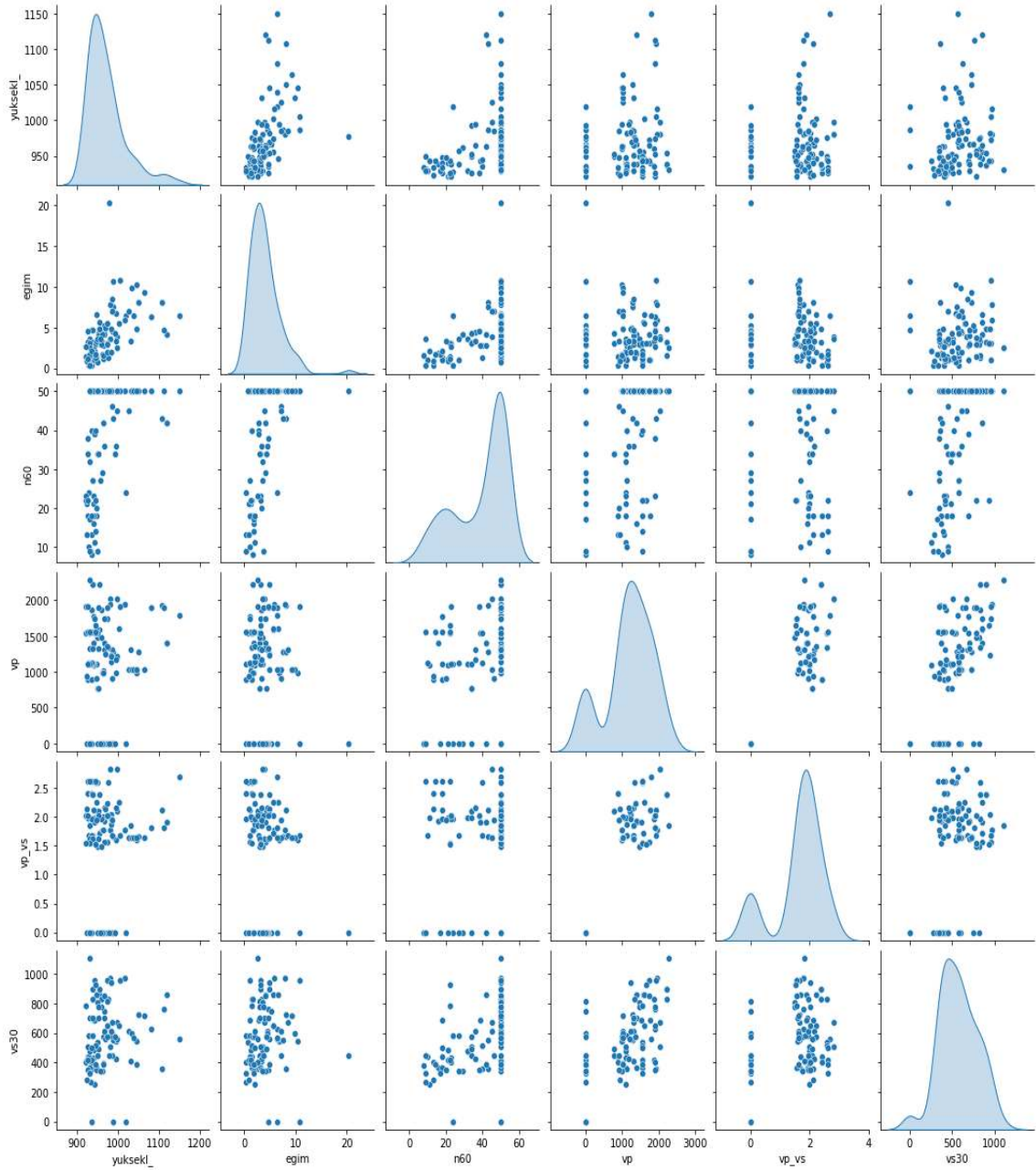


Şekil 4.11. V_{S30} Dağılımı (A) boxplot ve (B) histogram gösterimi

Kutu grafiği (Şekil 4.11.a), Kütahya Merkez İlçesi’nde tanımlanan önemli alan sınıflarına (ÖA 1–4) göre V_{S30} değerlerinin değişim aralığını göstermektedir. Bu grafikte, 1. Sınıf alanlardaki düşük V_{S30} hızları zayıf, gevşek ve yüksek deformasyon potansiyeline sahip zeminleri; 2. Ve 3. Sınıflardaki orta düzey hızlar yarı sıkı ve orta dayanımlı zeminleri; 4. Sınıf alanlarda gözlenen yüksek ve dar aralıklı V_{S30} değerleri ise rijit, dayanıklı ve düşük deformasyonlu zemin karakterini ifade etmektedir.

Her iki grafik birlikte değerlendirildiğinde, V_{S30} parametresinin zemin dayanımını ve rijitlik özelliklerini güçlü biçimde temsil eden belirleyici bir değişken olduğu görülmektedir. KNN algoritması, önceden tanımlanmış ÖA sınıflarındaki gözlemleri temel alarak öğrenme sürecini gerçekleştirmiş ve yüksek V_{S30} değerlerini bu sınıflarla istatistiksel olarak doğru biçimde eşleştirmiştir. Bu durum, modelin zemin rijitliğini

temsil eden V_{s30} değişkenini güvenilir bir ayırt edici parametre olarak tanıdığını göstermektedir. Ayrıca bu eğilim, sismik dalga hızları ile zemin dayanımı arasındaki ilişkiyi ortaya koyan literatürdeki bulgularla (ör. (Kramer, 1996; Forte ve Pieri, 2020) de paralellik göstermektedir.



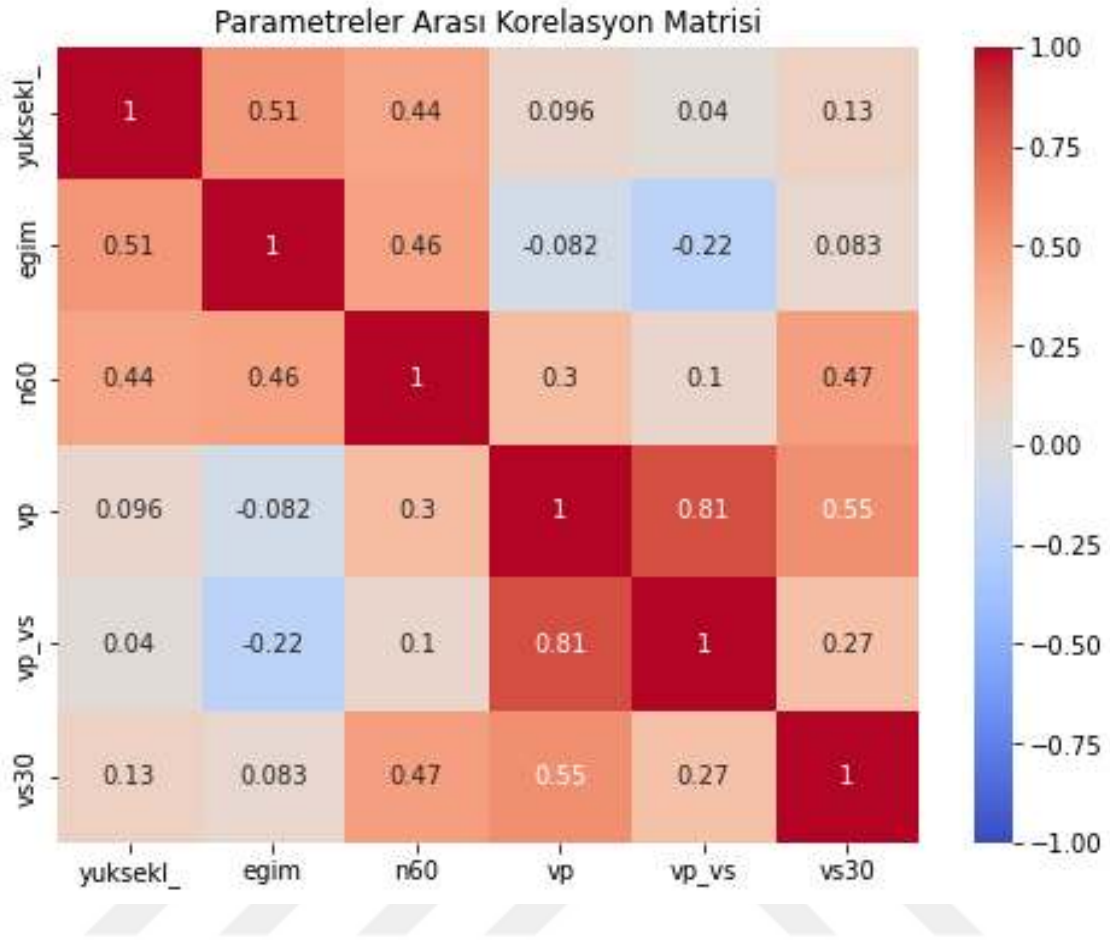
Şekil 4.12. Parametreler Arası İlişkiler – Pairplot Grafiği

Modelde kullanılan parametreler arasındaki istatistiksel ilişkilerin belirlenebilmesi amacıyla veriler pairplot (çoklu dağılım grafiği) yöntemiyle görselleştirilmiştir (Şekil 4.12). Bu grafiksel yaklaşım, eğim, yükseklik, N_{60} , V_p , V_p/V_s

ve V_{s30} gibi değişkenlerin birbiriyle olan korelasyon yapısını çok boyutlu olarak yorumlamayı mümkün kılmaktadır.

Grafiğin diyagonal bölümlerinde her bir parametrenin kendi iç dağılımı yer almakta olup, burada histogramlar ve yoğunluk eğrileri aracılığıyla verilerin ortalama, varyans ve çarpıklık özellikleri görsel olarak izlenebilmektedir. Bu diyagonal alanlar, veri setinin genel istatistiksel yapısını ortaya koyarak hangi değişkenlerin geniş, hangilerinin dar aralıkta dağıldığını tanımlamaktadır.

Diyagonal dışı bölümlerde ise iki değişken arasındaki ilişkiler saçılım grafikleri (scatter plots) şeklinde sunulmuştur. Noktaların konum ve yoğunluk düzeni, değişkenler arasındaki korelasyonun yönü ve gücünü görsel olarak yansıtmaktadır. Örneğin, V_p ile V_{s30} arasındaki noktaların pozitif eğimli bir doğrultuda kümelenmesi, bu iki parametre arasında güçlü ve doğrudan pozitif bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Buna karşılık eğim ile N_{60} arasında gözlenen dağınık ve yönsüz noktalar, bu iki parametrenin birbirinden bağımsız davrandığını ve modelde farklı jeoteknik süreçleri temsil ettiğini işaret etmektedir. Bu analiz, KNN algoritmasının parametreler arası ilişkileri veri uzayında doğru biçimde değerlendirdiğini ve yerleşime uygunluk sınıflarını oluştururken özellikle V_{s30} ve V_p/V_s oranını baskın ayırıcı değişkenler olarak kullandığını ortaya koymaktadır ((Benavente vd. 2022; Lee ve Kim, 2021).



Şekil 4.13. Parametreler arası korelasyon matrisi

Elde edilen sonuçlara göre, Vp ile Vp/Vs oranı ($r = 0.81$) arasında oldukça güçlü bir pozitif korelasyon bulunmaktadır. Bu iki parametre arasındaki korelasyon katsayısının yüksek olması, bu iki değişkenin aynı fiziksel sürecin etkisi altında birlikte davrandığını gösterir. Bu durum özellikle jeoteknik ve sismik parametrelerde, zeminin mühendislik özelliklerinin ortak bir kök nedene bağlı olduğunu ortaya koyar. Örneğin Vp ile Vs₃₀ arasındaki yüksek korelasyon, zeminin sıkılık/sertlik derecesinin her iki hız parametresini de aynı yönde kontrol ettiğini; yani tane temasının, su içeriğinin ve sıkışabilirliğin dalga yayılım karakteristiklerinde belirleyici rol oynadığını gösterir. Benzer şekilde N₆₀ ile eğim arasındaki anlamlı korelasyon, topoğrafik gelişim ile zemin direnci arasında bölgesel bir ilişki olduğunu, yani jeomorfolojik süreçlerin sahadaki zemin oturmuşluğunu etkilediğini düşündürür.

Bu nedenle yüksek korelasyon, parametrelerin bağımsız olmadığını, ortak bir jeolojik–jeoteknik süreç tarafından şekillendirildiğini ve modelde birlikte

değerlendirildiklerinde zemin davranışını daha tutarlı biçimde temsil ettiklerini ifade eder.

Bununla birlikte, yükseklik ile eğim ($r = 0.51$) arasında orta düzeyde bir pozitif ilişki gözlenmiştir. Bu durum, yüksek kotlarda eğimin genellikle arttığını, dolayısıyla topoğrafik faktörlerin birbirini desteklediğini göstermektedir. Buna karşın V_p/V_s ile eğim ($r = -0.22$) arasındaki zayıf negatif korelasyon, zemin elastisite oranının eğimden bağımsız şekilde değiştiğini, morfolojik koşulların jeoteknik davranış üzerinde sınırlı etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Genel olarak matristeki sıcak renk dağılımı, parametrelerin büyük çoğunluğunun pozitif yönde birbiriyle ilişkili olduğunu ve KNN algoritmasının bu ilişkileri etkili biçimde öğrenerek uygunluk sınıflarını ayırabildiğini göstermektedir. Bu korelasyon yapısı, modelin çok değişkenli veri setinde jeoteknik, jeofizik ve morfolojik değişkenler arasındaki etkileşimleri başarıyla yorumladığını, dolayısıyla elde edilen sınıflandırma sonuçlarının bilimsel güvenilirliğini artırdığını ortaya koymaktadır.

4.6.2 Genel değerlendirme

Yapılan istatistiksel analizler, KNN algoritmasının mekânsal verilerle entegrasyonu sonucunda, Kütahya Merkez İlçesi'nde yerleşime uygunluk açısından güvenilir ve tekrarlanabilir sınıflandırmalar ürettiğini ortaya koymuştur. Kutu ve histogram grafikleri, KNN modelinin parametreler arasındaki farkları başarıyla ayırt edebildiğini ve mekânsal uygunluk analizinde güçlü bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Analiz sonucunda elde edilen haritalar, çalışma alanındaki mühendislik jeolojisi temelli risklerin mekânsal dağılımını göstermektedir. Her bir harita, belirli bir jeoteknik soruna (örneğin stabilite veya şişme–oturma potansiyeli) ilişkin olasılık değerlerini renk skalasıyla temsil etmektedir. Yeşil tonlar düşük risk olasılığına, sarı ve turuncu tonlar orta düzey risklere, kırmızı tonlar ise yüksek risk potansiyeline sahip bölgeleri göstermektedir. Bu haritalar, alanların doğrudan yerleşime uygunluğunu değil, önlem alınması gereken mühendislik risklerinin yoğunluk ve dağılımını ifade etmektedir. Dolayısıyla bu haritalar, planlama, yapılaşma stratejisi ve afet risk yönetimi süreçlerinde karar destek aracı olarak değerlendirilebilir.

4.7. Avantajlar ve Sınırlamalar

Bu çalışmada Kütahya Merkez İlçesi'nin yerleşime uygunluk durumunun değerlendirilmesinde kullanılan CBS tabanlı K-En Yakın Komşular (KNN) yöntemi, çoklu veri kaynaklarının bütünleştirilebilmesi, mekânsal analizlerin objektif biçimde yürütülmesi ve karar verme süreçlerinde sayısal bir temel oluşturması açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Yöntemin temel üstünlükleri, aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Avantajlar:

- KNN algoritması, karmaşık veri yapılarıyla çalışabilme ve etiketlenmiş örneklerden öğrenerek yeni verileri doğru biçimde sınıflandırabilme yeteneğine sahiptir.
- Model, önceden belirlenmiş fonksiyonel bir form gerektirmediğinden, zemin ve jeoteknik parametreler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri başarıyla temsil edebilmektedir.
- CBS entegrasyonu sayesinde, jeolojik, jeoteknik ve topografik verilerin mekânsal olarak üst üste getirilmesi kolaylaşmakta; bu da bölgesel ölçekte detaylı yerleşim uygunluk haritalarının üretimini mümkün kılmaktadır.
- KNN yöntemi, diğer istatistiksel sınıflandırıcılara göre basit, yorumlanabilir ve esnek bir yapıya sahiptir; parametre sayısının değişimine duyarlı olup küçük veri setlerinde bile güvenilir sonuçlar verebilmektedir.
- Analiz süreci, yeni verilerin eklenmesine olanak tanıdığı için modelin dinamik olarak güncellenebilmesine imkân sağlar.
- Sınırlamalar:
- KNN algoritmasının performansı, veri yoğunluğu, örnekleme dağılımı ve ölçek farklarından etkilenmektedir. Düşük yoğunluklu bölgelerde sınıflandırma hataları artabilir.
- Mesafe temelli bir yöntem olduğundan, farklı birimlerdeki parametrelerin etkilerini dengelemek için doğru normalizasyon yapılmadığında sonuçlar yanıltıcı olabilir.
- KNN'in optimum komşuluk sayısı (k değeri) sabit bir formüle bağlı değildir; bu değer deneme-yanılma veya istatistiksel testlerle belirlenmelidir. Yanlış seçilen k değeri sınıflandırma doğruluğunu düşürebilir.

- IDW interpolasyonu, verilerin mekânsal sürekliliğini sağlamada pratik bir yöntem olmakla birlikte, ölçüm noktalarının seyrek olduğu alanlarda belirsizlik oluşturabilir.
- Yöntem, tamamen girdi verilerinin kalitesine bağlıdır; hatalı veya eksik veri, modelin genel performansını doğrudan etkiler.

Sonuç olarak, KNN algoritması CBS ile bütünleştirildiğinde yerleşime uygunluk analizleri için etkili ve güvenilir bir araç sunmaktadır. Ancak yöntemin doğru uygulanabilmesi için veri kalitesi, normalizasyon süreci ve parametre seçimi konularında dikkatli olunması gerekmektedir.



5. UYGULAMA VE ANALİZLER

5.1. Model Parametrelerinin Belirlenmesi

KNN algoritmasının performansı, büyük ölçüde “k” komşu sayısı, mesafe ölçütü ve veri ağırlıklandırması gibi parametrelerin doğru seçilmesine bağlıdır (Cover & Hart, 1967). Bu nedenle analiz öncesinde farklı parametre kombinasyonları test edilerek en uygun değerler belirlenmiştir.

- Komşu sayısı (k): Modelde, farklı “k” değerleri (örneğin k=3, 5, 7, 9) kullanılarak sınıflandırma doğruluğu karşılaştırılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda, orta düzeyde bir “k” değeri optimum sonuç vermiştir.
- Mesafe ölçütü: Çalışmada Öklid mesafesi temel alınmıştır (Han, Kamber ve Pei, 2012). Bu yöntem, mekânsal olarak yakın olan noktaların benzer özellikler göstermesi ilkesine dayanır ve jeolojik analizlerde sıklıkla tercih edilir.
- Parametre ağırlıkları: KNN modelinde kullanılan yükseklik, eğim, SPT- N_{60} , V_p , V_p/V_s oranı ve V_{S30} parametrelerine, zemin dayanımı, topoğrafik denge ve sismik davranış üzerindeki etkileri dikkate alınarak farklı ağırlık katsayıları atanmıştır. Özellikle SPT- N_{60} ve V_{S30} değerleri, zemin rijitliği ve taşıma gücünü doğrudan yansıttığı için modele daha yüksek etki katsayısıyla dâhil edilmiştir. V_p ve V_p/V_s oranı, zeminlerin elastik özelliklerini ve doyumluk koşullarını temsil ederken; eğim ve yükseklik değişkenleri, topoğrafik istikrarsızlıkların belirlenmesinde tamamlayıcı faktörler olarak değerlendirilmiştir. Bu şekilde, parametrelerin yalnızca istatistiksel anlamda değil, jeolojik ve jeoteknik açıdan da tutarlı bir etki dağılımı sağlanmış; modelin sınıflandırma performansı hem mühendislik temeline hem de saha gerçekliğine uygun biçimde güçlendirilmiştir.

5.2. KNN Sınıflandırmasının Uygulanması

Model parametrelerinin belirlenmesinin ardından, CBS tabanlı veri katmanları KNN algoritması ile analiz edilmiştir. Bu aşamada, her hücre (piksel) için mekânsal parametre değerleri değerlendirilmiş ve en yakın komşulara göre yüzdesel olasılık dağılımları üzerinden mekânsal olarak başarıyla ayrıştırıldığını göstermektedir.

Sınıflandırma süreci şu adımlarla yürütülmüştür:

1. CBS ortamındaki raster veri setleri, her hücreye ait sayısal değerleri içeren bir veri matrisine dönüştürülmüştür.

2. KNN algoritması, her hücre için en yakın “k” komşu verisini belirlemiş ve bu komşuların uygunluk sınıfına göre ağırlıklı ortalama almıştır.
3. Her bir hücre, ö.a-1, ö.a-2, ö.a-3, ö.a-4 sınıflarından birine atanmıştır.
4. Sonuç olarak, çalışma alanındaki her bir nokta, jeolojik, topoğrafik ve jeoteknik parametrelerin birleşik etkisiyle sınıflandırılmıştır.

Bu yaklaşım sayesinde, veri temelli, nesnel ve mekânsal olarak tutarlı bir uygunluk dağılımı elde edilmiştir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın 28.09.2011 tarihli ve 102732 sayılı genelgesi, jeolojik–jeoteknik etütlerde yapılaşmaya uygunluk alanlarının Ö.A 1.1, Ö.A 2.1, Ö.A 5.1 ve U.O.A 2.1 gibi genel sınıflar altında tanımlanmasını öngörmektedir (T.C. ÇŞİDB, 2011). Ancak bu yaklaşım, geniş alanların tek sınıf içinde değerlendirilmesi nedeniyle zemin davranışındaki yerel farklılıkların göz ardı edilmesine yol açabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, bu sınıflandırmanın daha ayrıntılı ve veri temelli biçimde ele alınması amacıyla K-En Yakın Komşular (KNN) algoritması kullanılmıştır. KNN yöntemi, V_{s30} , N_{60} , V_p/V_s oranı, V_p , topoğrafik eğim ve kot verilerinin çok boyutlu uzayda birbirleriyle olan benzerlik ilişkilerini değerlendirerek, her pikselin en uygun yerleşim sınıfına atanmasını sağlamıştır. Böylece klasik tanımlar yerine mikro ölçekte ayrıştırılmış alt uygunluk zonları oluşturulmuştur.

Kütahya Merkez İlçesi genelinde yapılan analizler sonucunda, önceki çalışmalarda tanımlanan dört ana yerleşim sınıfı dikkate alınarak her bir hücre, belirli bir jeoteknik risk türünün olasılık değeri üzerinden değerlendirilmiştir. Bu olasılıklar, yüzdesel dağılımlar aracılığıyla mekânsal olarak analiz edilmiş ve farklı risk türleri harita üzerinde net biçimde ayrıştırılmıştır. Elde edilen sınıflar, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın sisteminde kullanılan Ö.A (Önemli Alan) ve U.O.A (Uygun Olmayan Alan) kodlarıyla eşleştirilmiştir. Her bir sınıf, baskın jeoteknik özelliği ve mühendislik riski temel alınarak aşağıda özetlenmiştir.

ÖA-1 (Önemli Alan 1.1 – Sıvılaşma Potansiyeli): Sıvılaşma potansiyel verileri daha önce yapılmış mikrobölgeleme çalışmalarından alınmış ve modelde ÖA-1.1 sınıfı altında değerlendirilmiştir (İlbank, 2025). V_{s30} ve N_{60} değerlerinin düşük, V_p/V_s oranlarının yüksek olduğu, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın bulunduğu gevşek, suya doygun zeminlerden oluşan alanlardır. Bu bölgelerde deprem sırasında pore suyu basıncının

artması ve taşıma gücünün azalması beklenmektedir. Bu nedenle yapılaşma öncesinde sıvılaşma analizi ve zemin iyileştirme zorunludur.

ÖA-2 (Önemli Alan 2.1 – Stabilite Sorunu): Topografik eğimin yüksek (%15 ve üzeri) olduğu, zemin birimlerinin kohezyonsuz veya ayrılmış kaya karakteri gösterdiği alanlardır. Eğim stabilitesi, yüzey akışı ve erozyon etkileri bu bölgelerde belirleyici faktörlerdir. Bu alanlarda şev stabilitesi açısından mühendislik önlemleri (istinat yapıları, drenaj sistemleri vb.) gereklidir.

ÖA-3 (Önemli Alan 5.1 – Oturma ve Şişme Sorunu): Orta–yüksek plastisiteli kil ve silt tabakalarının yayılım gösterdiği, düşük N_{60} ve V_{s30} değerleriyle tanımlanan alanlardır. Bu bölgelerde konsolidasyon oturması ve hacim değişimine bağlı şişme potansiyeli yüksektir. Yapılaşma öncesi zeminlerin drenaj koşulları iyileştirilmeli ve zemin–temel etkileşimi analizleri ayrıntılı yapılmalıdır.

ÖA-4 (Uygun Olmayan Alan 2.1 – Heyelan Riski): Eğim değerlerinin yüksek, litolojinin zayıf ayrılmış kaya veya kilitli–marn geçişli birimler olduğu sahalardır. Bu alanlarda kütle hareketi potansiyeli belirgin olup, aktif veya potansiyel heyelan zonları mevcuttur. Zemin stabilitesi açısından yüksek risk taşıdığından, yapılaşmaya uygun olmayan alan olarak değerlendirilmiştir.

KNN algoritmasının kullanılmasıyla, bu dört uygunluk sınıfı istatistiksel olarak belirlenmiş veri kümeleri üzerinden tanımlanmış; klasik “önemli alan” yaklaşımına kıyasla daha hassas, ölçülebilir ve mühendislik temelli bir sınıflandırma elde edilmiştir. Sonuç olarak, Kütahya Merkez İlçesi’nde zemin koşulları ve topoğrafik faktörler birlikte değerlendirilerek, sıvılaşma, stabilite, oturma–şişme ve heyelan temelli risk zonları yüksek mekânsal doğrulukla ortaya konmuştur.

5.3. CBS Ortamında Uygunluk Haritalarının Üretimi

Sınıflandırma sonuçları, CBS tabanlı yazılımlar (ArcGIS ve QGIS) kullanılarak mekânsal olarak görselleştirilmiş ve KNN algoritmasıyla elde edilen sınıflar raster formatında uygunluk ve risk değerlendirme haritalarına dönüştürülmüştür. Bu sayede, her bir hücreye ait jeoteknik ve topoğrafik özellikler konumsal olarak analiz edilerek, yerleşime uygunluk ve risk dağılımı detaylı biçimde ortaya konmuştur. Harita üretim süreci:

Her uygunluk sınıfı için KNN algoritması, 5 katlı çapraz doğrulama yöntemiyle test edilerek en yüksek doğruluğa sahip model belirlenmiş; ardından her grid hücresi için

hesaplanan olasılık değerleri, risk düzeylerine göre farklı renk tonlarıyla görselleştirilmiştir. Yeşil tonlar düşük olasılıklı ve güvenli zeminleri, sarı tonlar orta düzey risk potansiyelini, turuncu tonlar artan risk eğilimini, kırmızı tonlar ise yüksek risk olasılığına sahip bölgeleri göstermektedir. Haritalar, koordinat sistemine (UTM WGS84) göre referanslandırılmıştır.

Haritaların analitik değeri:

Uygunluk haritaları; jeoteknik risklerin dağılımını, yerleşime elverişli alanların konumlarını ve yapılaşma açısından öncelikli bölgeleri açık biçimde ortaya koymuştur.

Bu haritalar, kentsel planlama, afet yönetimi ve arazi kullanımına yönelik karar süreçlerinde yol gösterici bir analiz aracı olarak değerlendirilmektedir.

5.4. Sonuçların Doğrulanması

Modelin doğruluğu, hem istatistiksel hem de mekânsal karşılaştırmalar yoluyla değerlendirilmiştir.

İstatistiksel doğrulama: KNN modelinin tahmin ettiği  A sınıfları (sıvılaşma, stabilite, şişme–oturma, uygun olmayan alan), test veri setindeki gerçek gözlemlerle karşılaştırılarak modelin performansı değerlendirilmiştir. Doğruluk matrisi kullanılarak genel sınıflandırma başarısı hesaplanmış, ayrıca Kappa istatistiği yardımıyla modelin rastlantısal sınıflandırmalara kıyasla tutarlılık ve güvenilirlik düzeyi belirlenmiştir. Sonuçlar, modelin özellikle iyi temsil edilen zemin tiplerinde yüksek doğruluk oranı ürettiğini göstermiştir.

Mekânsal doğrulama: CBS ortamında, KNN algoritmasından elde edilen sınıflandırma sonuçları mevcut yerleşim alanları ve jeoteknik gözlem noktaları ile çakıştırılarak hem görsel hem analitik doğrulama yapılmıştır. Analizler sonucunda, düşük olasılıklı sınıfların genellikle zemin dayanımı yüksek ve stabil alanlarla, buna karşılık yüksek olasılıklı sınıfların alüvyon dolgu sahaları, yüksek eğimli yamaçlar ve fay zonlarıyla çakıştığı belirlenmiştir. Bu bulgular, KNN modelinin Kütahya Merkez İlçesi'nin jeoteknik gerçekliğini yüksek düzeyde yansıttığını ve mekânsal açıdan güvenilir sonuçlar ürettiğini ortaya koymaktadır.

Genel Değerlendirme

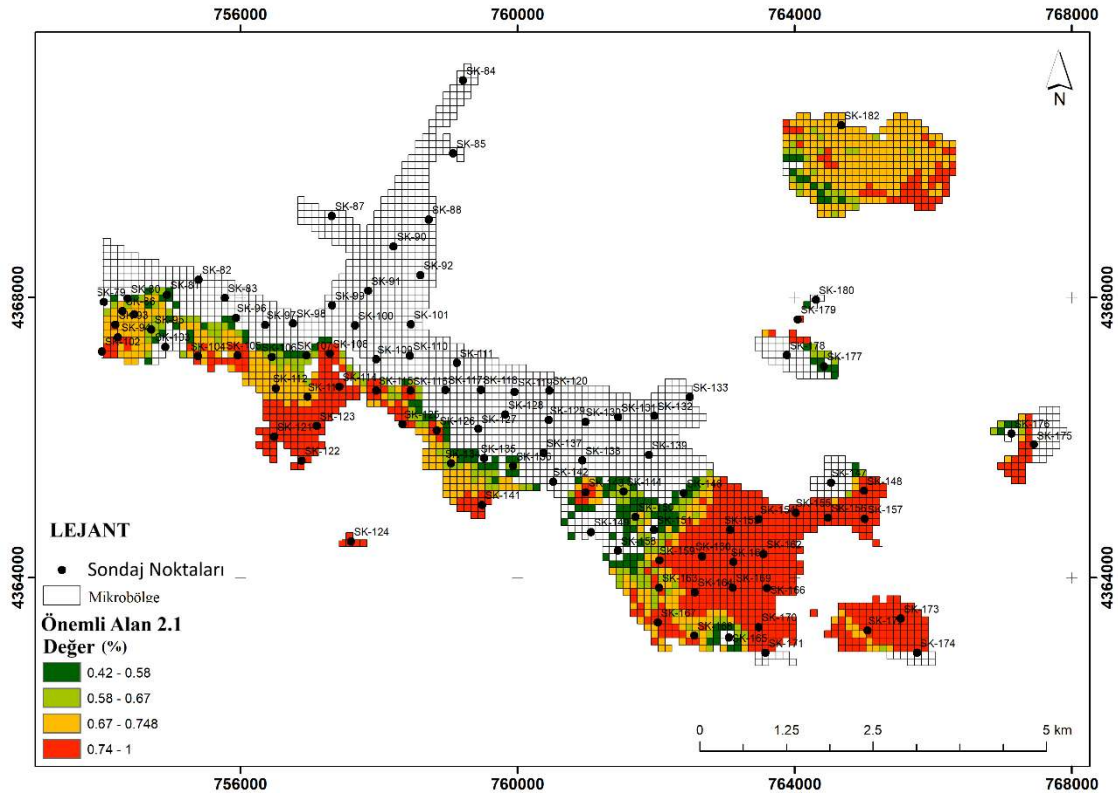
KNN tabanlı yerleşime uygunluk analizi, CBS'nin mekânsal gücüyle birleştiğinde, Kütahya Merkez İlçesi'nde jeolojik, jeoteknik ve topoğrafik faktörlerin birlikte değerlendirilebildiği bütüncül bir yaklaşım sunmuştur.

Model, özellikle parametre ağırlıklarının optimize edilmesi ve uygun “k” değerinin seçilmesi sayesinde, alanın zemin koşullarıyla uyumlu ve bilimsel olarak güvenilir sonuçlar üretmiştir. Bu kapsamda elde edilen uygunluk haritaları, kentsel gelişim planlarında, yeni yerleşim alanlarının seçiminde ve afet risklerinin azaltılmasında doğrudan kullanılabilir niteliktedir.

5.5. Uygunluk Sonuçlarının Mekansal Bazlı Değerlendirilmesi

Bu bölümde, KNN algoritması ile elde edilen sonuçlar önemli alan (ÖA) sınıfları temelinde değerlendirilmiştir. Elde edilen haritalar, sıvılaşma, stabilite, şişme–oturma ve uygun olmayan alan gibi farklı jeoteknik risk türlerinin mekânsal dağılımını ortaya koymaktadır. Bu haritalar, zemin özellikleri, jeolojik yapı, eğim ve morfolojik faktörlerin risk olasılığı üzerindeki etkilerini göstermekte; böylece Kütahya Merkez İlçesi'nin mühendislik jeolojisi açısından farklı risk zonlarının konumsal olarak belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

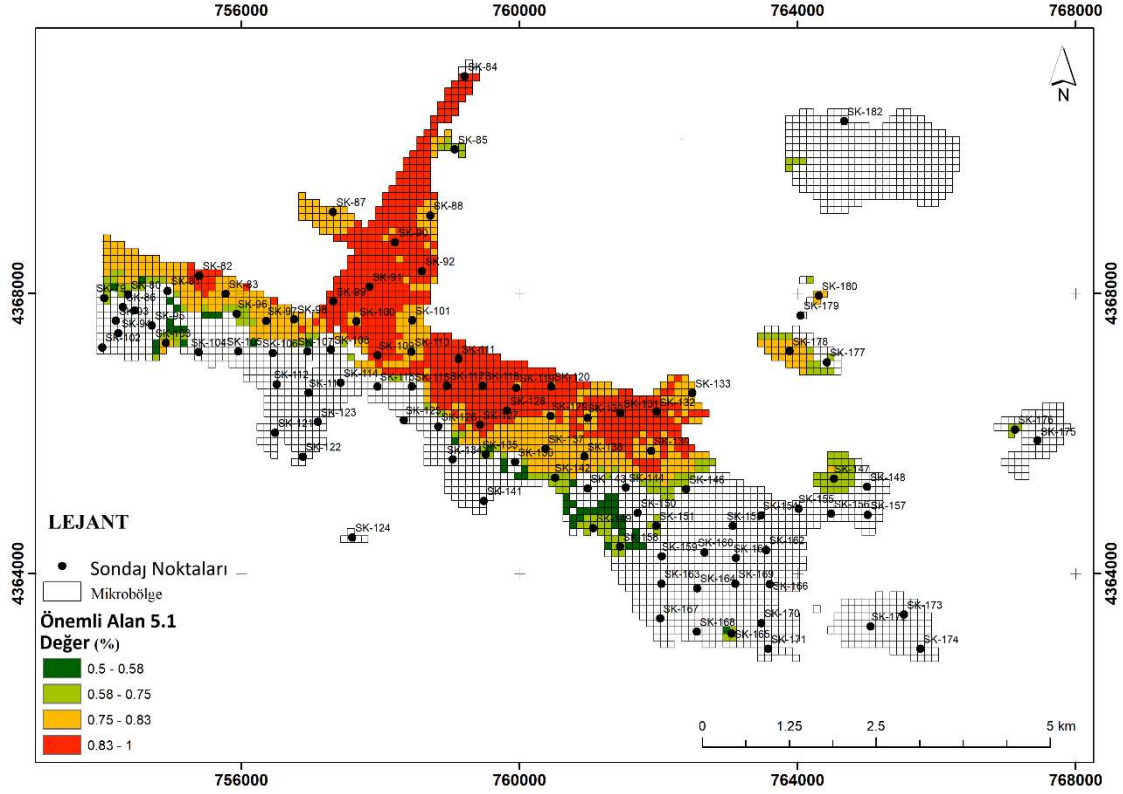
5.5.1. Stabilité sorunu açısından önemli alan 2.1



Şekil 5.1. Kütahya Merkez İlçesin' de stabilite sorunu açısından belirlenen Önemli Alan 2.1'in mekânsal dağılımı

Haritada, yüksek olasılıklı (0.74–1) alanlar kırmızı tonlarla gösterilmiş olup, bu bölgeler eğimin fazla, zemin dayanımının düşük ve birimlerin ayrışma derecesinin yüksek olduğu sahaları temsil etmektedir. Özellikle SK-122, SK-123, SK-141, SK-173 sondaj noktaları çevresinde bu eğilim belirgindir. Yeşil tonlu alanlar ise daha stabil ve yerleşime uygun bölgeleri ifade eder. Bu sonuçlar, stabilite açısından riskli alanların genellikle yamaç morfolojisine sahip birimlerle çakıştığını göstermektedir.

5.5.2. Şişme ve oturma sorunu açısından önemli alan 5.1



Şekil 5.2. Kütahya Merkez İlçesi'nde şişme ve oturma potansiyeli açısından belirlenen Önemli Alan 5.1'in mekânsal dağılımı

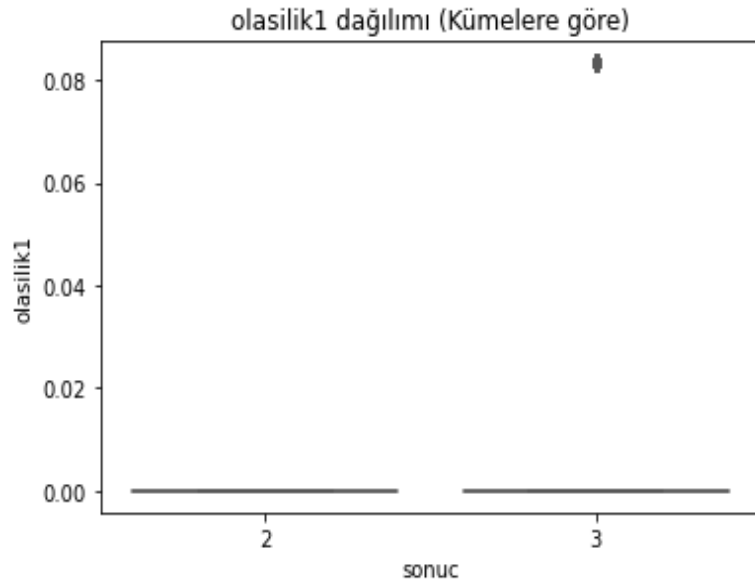
Kırmızı tonlar, zemin stabilitesinin düşük, oturma ve şişme potansiyelinin ise yüksek olduğu alanları temsil etmektedir. Bu bölgeler genellikle alüvyon dolgu, gevşek yapılı ve ince taneli zeminlerin bulunduğu sahalardır. Buna karşılık yeşil tonlar, zeminlerin daha sıkı, düşük plastisiteli ve taşıma gücü yüksek özellikler sergilediği, yerleşime daha uygun alanları göstermektedir. Renklerin bu dağılımı, modelin saha verileriyle uyumlu sonuçlar ürettiğini ve KNN algoritmasının zemin özelliklerini başarıyla yansıttığını ortaya koymaktadır.

6. BULGULAR

6.1. KNN Model Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

KNN modelinden elde edilen sonuçların genel dağılımı incelendiğinde, modelin orta ve yüksek uygunluk sınıflarını (2. ve 3. sınıflar) istikrarlı biçimde tanımladığı; buna karşın düşük uygunluk sınıflarında (1. ve 4. sınıflar) belirsizliklerin daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu durum, modelin özellikle veri yoğunluğu yüksek ve iyi temsil edilen zemin tiplerinde daha yüksek doğrulukla çalıştığını; ancak örneklem sayısının az olduğu alanlarda olasılık dağılımlarının genişleyerek kararsızlaştığını göstermektedir. Olasılık değeri, her bir noktanın ilgili sınıfa ait olma ihtimalini ifade etmekte olup, modelin güven düzeyini temsil eder. Olasılığın 1'e yaklaşması modelin o sınıfa ilişkin tahmininde yüksek güveni, düşük olması ise sınıflar arası belirsizlikleri yansıtmaktadır. Bu sonuçlar, Kütahya Merkez İlçesi'nde yerleşime uygunluk durumunun zemin koşullarıyla güçlü bir ilişki içinde olduğunu ortaya koymaktadır. Modelin sınıflar arasındaki davranışını daha ayrıntılı değerlendirmek amacıyla oluşturulan çubuk grafikler ve histogramlar, hem sınıf oranlarını hem de olasılık değerlerinin frekans dağılımlarını görsel olarak ortaya koymuştur.

6.1.1. Kutu grafikleri ile sınıflara göre olasılık dağılımı



Şekil 6.1. KNN sonucu tahmin edilen 1 nolu sınıfın tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı kutu grafiği ile gösterimi

Grafikte yatay eksen “sonuç” sınıflarını (2 ve 3), dikey eksen ise “olasılık1” değerlerini göstermektedir. Görüldüğü üzere:

Her iki kümede de (sınıf 2 ve 3) olasılık1 değerleri neredeyse sıfır düzeyindedir.

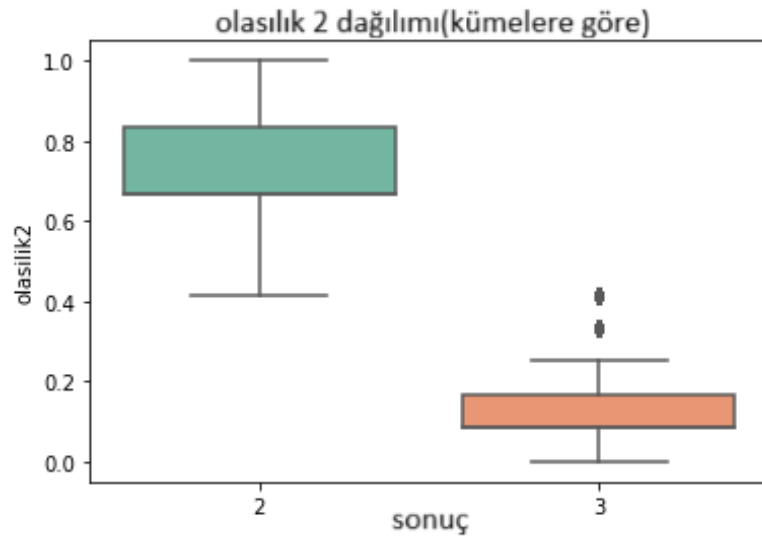
Sadece birkaç aykırı değer (outlier) 0.08 civarında gözlenmiştir; bu, modelin nadiren de olsa bazı hücrelerde sınıf 1’e ait düşük bir olasılık ataması yaptığını gösterir.

Bu durum, modelin sınıf 1’i güçlü biçimde dışladığını ve bu sınıfa ait örneklerin ya veri setinde çok az bulunduğunu ya da diğer sınıflardan net biçimde ayrılmadığını ortaya koymaktadır.

Dolayısıyla, sınıf 1’in Kütahya Merkez çalışma alanı özelinde yerleşime uygunluk açısından düşük temsil edildiği, yani bu sınıfa karşılık gelen koşulların alanda yaygın olmadığı söylenebilir.

Sonuç olarak:

Modelin bu grafiğe göre sınıf 1 olasılıklarını genellikle 0’a yakın hesapladığı ve bu sınıfın KNN analizinde etkin bir rol oynamadığı anlaşılmaktadır. Bu bulgu, sonraki grafiklerde (olasılık2, olasılık3 ve olasılık4) görülecek daha belirgin sınıf ayrımlarının öncüsüdür.



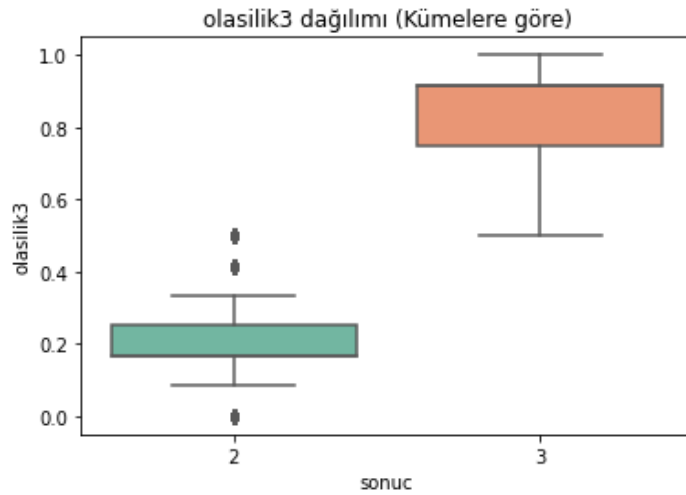
Şekil 6.2. KNN sonucu tahmin edilen 2 nolu sınıfının tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı kutu grafiği ile gösterimi

Sınıf 2’de (yeşil kutu) olasılık değerleri 0.6–0.9 aralığında yoğunlaşmakta olup, medyan yaklaşık 0.8 civarındadır. Bu, modelin sınıf 2’yi yüksek güvenle doğru sınıflandırdığını göstermektedir. Başka bir deyişle, bu kümedeki gözlemler yüksek olasılıkla gerçekten 2. sınıfa aittir.

Sınıf 3'te (turuncu kutu) ise olasılık değerleri 0.0–0.3 aralığında kalmış ve medyan yaklaşık 0.15 düzeyindedir. Bu, modelin sınıf 3'teki örneklerin 2. sınıfa ait olma olasılığını düşük hesapladığını, yani iki sınıf arasında belirgin bir ayrım olduğunu ortaya koyar.

Grafikte birkaç aykırı değer (outlier) gözlenmektedir; bunlar modelin bazı noktaları yanlış sınıflandırma eğiliminde olduğunu, ancak genel dağılımın oldukça tutarlı olduğunu gösterir.

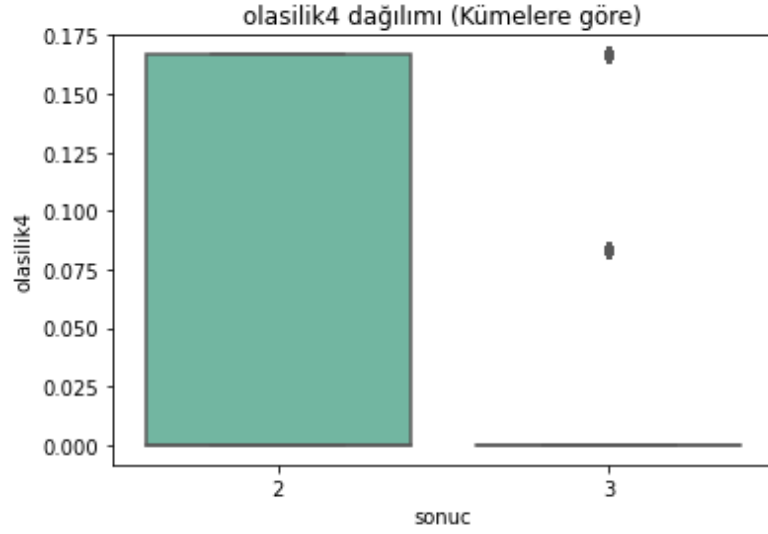
Bu kutu grafiği, KNN modelinin sınıf 2 ile sınıf 3 arasında güçlü bir ayrım yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Sınıf 2'ye ait bölgelerde model yüksek güvenle tahmin yaparken, sınıf 3 bölgelerinde bu olasılık belirgin şekilde düşmektedir. Bu durum, modelin sınıf 2 gösteren alanları doğru biçimde tespit ettiğini, ancak sınıf 3 gösteren alanları daha temkinli tahminler ürettiğini göstermektedir.



Şekil 6.3. KNN sonucu tahmin edilen 3 nolu sınıfının tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı kutu grafiği ile gösterimi

Bu grafik, KNN modelinin 3. sınıfa ait örnekleri tanımlama performansını göstermektedir. Kutu grafiği, olasılık değerlerinin 0.7–1.0 aralığında yoğunlaştığını ve modelin bu sınıfa ait tahminlerde yüksek güven düzeyine ulaştığını ortaya koymaktadır. Sınıf 2'ye ait örneklerde olasılıkların 0.3'ün altında yoğunlaşması, bu iki grup arasında belirgin bir sınırlama ve ayrım yeteneğini işaret etmektedir. Birkaç aykırı değer bulunması, veri setinde nadir jeoteknik özelliklere sahip örneklerin varlığını göstermektedir. Bu sonuçlar, KNN modelinin özellikle sınıf 3 alanlarını belirgin şekilde

tanıyabildiğini ve jeolojik bakımdan kararlı bölgeleri doğru şekilde sınıflandırdığını göstermektedir.



Şekil 6.4. KNN sonucu tahmin edilen 4 nolu sınıfının tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı kutu grafiği ile gösterimi

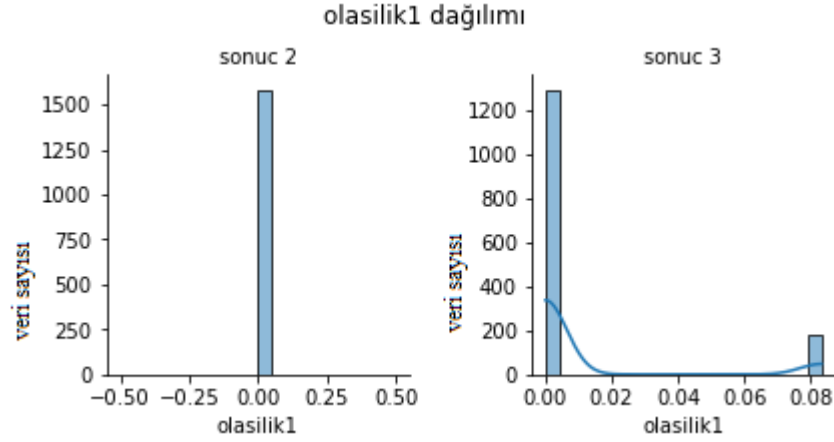
Şekil 6.4'te modelin 4. sınıfa ait olasılık değerlerinin genel olarak düşük düzeylerde yoğunlaştığı görülmektedir. Sınıf 2'deki örneklerin 0.15 civarında sınırlı bir yoğunlaşma göstermesi, modelin bu sınıfı zayıf bir güvenle tanımladığını göstermektedir. Sınıf 3'te değerlerin sıfıra yaklaşması, 4. sınıfın veri setinde nadir ve spesifik zemin özelliklerini temsil ettiğine işaret etmektedir. Kütahya Merkez özelinde, bu sınıfın muhtemelen kısıtlı alanlarda gözlenen, özgün jeoteknik karakteristikleri olan bölgeleri yansıttığı değerlendirilmektedir. Modelin bu sınıfa temkinli yaklaşımı, aşırı uyumdan kaçınarak daha genel bir kararlılık sağladığını gösterir.

Sonuç olarak; KNN modeline ait kutu grafikler, tahmin edilen olasılık değerlerinin sınıflar arasındaki farklılıkları açık biçimde ortaya koymuştur. Özellikle olasılık2 ve olasılık3 değişkenlerinde gözlenen belirgin ayrım, modelin bu iki sınıfı yüksek doğrulukla ayırabildiğini göstermektedir. Olasılık1 ve olasılık4 ise genel olarak düşük olasılık değerleriyle temsil edilmiş, bu sınıfların veri kümesinde sınırlı dağılıma sahip olduğu anlaşılmıştır.

Genel olarak, kutu grafikler modelin orta ve yüksek uygunluk sınıflarını güçlü biçimde tanımladığını, sınıflar arası varyansın düşük olmasıyla da kararlı ve güvenilir tahminler ürettiğini ortaya koymuştur. Bu durum, Kütahya Merkez İlçesi özelinde KNN

algoritmasının mekânsal olarak tutarlı ve anlamlı bir uygunluk ayrımı sağladığını göstermektedir.

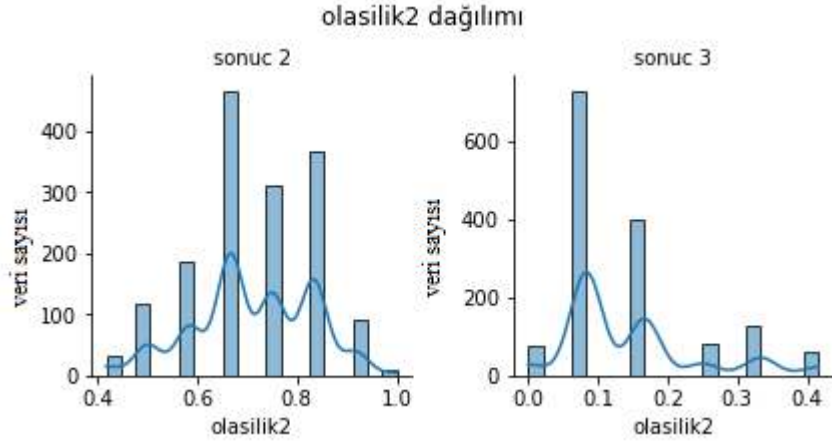
6.1.2. Histogramlar ile olasılık yoğunluklarının dağılımı



Şekil 6.5. KNN sonucu tahmin edilen 1 nolu sınıfının tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı histogram grafiği ile gösterimi

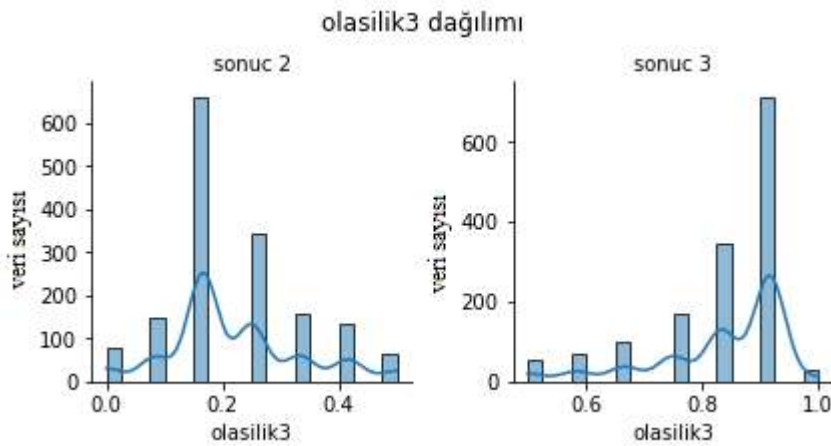
Bu histogramda, 1. sınıfa ait olasılık değerlerinin her iki sınıfta da neredeyse sıfıra yakın şekilde yoğunlaştığı görülmektedir. Sınıf 2’de örnekler 0 değeri çevresinde toplanmış, sınıf 3’te yalnızca bazı örneklerde 0.08 seviyesinde küçük varyasyonlar gözlenmiştir. Bu durum, modelin 1. sınıf için düşük güven düzeyinde tahminler yaptığını ve veri setinde bu sınıfın zayıf temsil edildiğini göstermektedir. Kütahya Merkez özelinde, bu sınıf yerleşime en az uygun veya nadir gözlenen zemin koşullarını temsil

etmekte olup, KNN algoritması bu durumu kümelenme oluşturamama şeklinde yansıtmıştır.



Şekil 6.6. KNN sonucu tahmin edilen 2 nolu sınıfın tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı histogram grafiği ile gösterimi

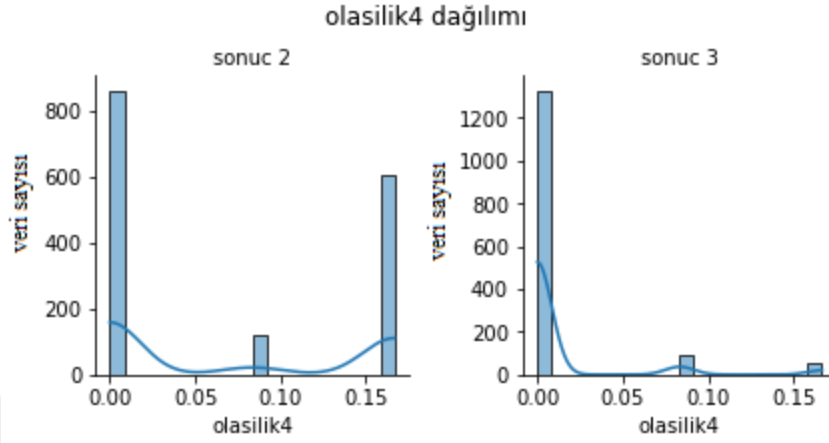
Grafikte olasılık2 değerlerinin sınıf 2 ve 3 arasında belirgin şekilde ayrıştığı görülmektedir. Sınıf 2 örneklerinde 0.6–0.9 aralığındaki yoğunluk, modelin bu sınıfı yüksek güvenle tanımladığını gösterirken, sınıf 3'te dağılımın 0.1–0.3 aralığında kaldığı belirlenmiştir. Bu bulgu, modelin özellikle orta–yüksek yerleşime uygunluk gruplarını jeoteknik ve topoğrafik açıdan kararlı şekilde tanımlayabildiğini göstermektedir. Ayrıca bu sınıfın sismik ve zemin parametreleri açısından denge özellikleri taşıdığı yorumlanabilir.



Şekil 6.7. KNN sonucu tahmin edilen 3 nolu sınıfın tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı histogram grafiği ile gösterimi

Grafikte olasılık3 değerlerinin sınıf 3'te 0.8–1.0 aralığında yoğunlaştığı ve modelin bu sınıfa ait tahminlerde yüksek güven düzeyi sağladığı görülmektedir. Sınıf

2’de değerlerin 0.1–0.3 aralığında yoğunlaşması, sınıflar arasında net bir ayrımın bulunduğunu göstermektedir. Bu durum, KNN modelinin sınıf 3 alanlarını güçlü şekilde tanıdığını ve özellikle rijit, taşıma kapasitesi yüksek zeminleri sınıflandırmada üstün performans sergilediğini belirtmektedir.



Şekil 6.8. KNN sonucu tahmin edilen 4 nolu sınıfın tahmin olasılığı değerlerinin sınıflara göre dağılımı histogram grafiği ile gösterimi

Bu grafikte, olasılık4 değerlerinin genel olarak düşük yoğunlukta dağıldığı görülmektedir. Değerlerin çoğu 0–0.2 aralığında yoğunlaşmış olup, modelin bu sınıfa ait örneklerde belirsizlik seviyesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Bu sınıfın veri setinde az temsil edilmesi nedeniyle model bu bölgelere daha düşük güvenle yaklaşmıştır. Kütahya Merkez’de bu durum, jeoteknik olarak nadir gözlenen ve daha heterojen zemin koşullarını yansıtan alanların varlığını ifade etmektedir.

KNN modeliyle elde edilen histogramlar, her sınıf için tahmin olasılıklarının dağılımını açıkça ortaya koymaktadır. Grafiklerde özellikle 3. sınıfa ait olasılıkların 0.8–1.0 aralığında yoğunlaştığı, yani modelin sınıf 3 alanlarını yüksek güvenle tanımladığı görülmektedir. 2. sınıfta dağılım biraz daha geniştir ve orta düzey güvenle yapılan tahminleri yansıtırken, 1. ve 4. sınıflarda olasılıklar genellikle düşük kalmış, bu da modelin bu sınıflarda kararsız davrandığını göstermektedir.

Genel olarak histogramlar, modelin veri setinde güçlü temsil edilen sınıfları net biçimde ayırt ettiğini, ancak nadir görülen zemin tiplerinde tahmin gücünün zayıfladığını göstermektedir. Bu durum, Kütahya Merkez’deki yerleşime uygunluk dağılımının hem jeoteknik çeşitliliği hem de veri dengesizliğini yansıtan önemli bir göstergedir.

6.2. Genel Değerlendirme ve Bulguların Anlamı

Bu çalışmada, Kütahya Merkez İlçesi'ne ait jeolojik, jeoteknik ve topoğrafik veriler KNN algoritması kullanılarak bütüncül bir yerleşime uygunluk analizi gerçekleştirilmiştir. Modelin çıktıları hem istatistiksel (kutu ve histogram grafikler) hem de mekânsal (uygunluk haritaları) yöntemlerle değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, KNN algoritmasının bölgesel ölçekte doğal çevre koşulları ile mühendislik parametrelerini uyumlu biçimde yorumlayabildiğini ortaya koymuştur.

Kutu grafik analizleri, modelin özellikle 2. ve 3. sınıfları güçlü biçimde ayırt edebildiğini göstermiştir. Bu durum, KNN'nin jeoteknik verilerdeki varyasyonu istikrarlı biçimde yansıttığını ve saha koşullarına uygun bir sınıflandırma ürettiğini doğrulamaktadır. Histogramlar ise olasılık değerlerinin büyük bölümünün 0.6–1.0 aralığında yoğunlaştığını, yani modelin yüksek güven düzeyinde tahminler gerçekleştirdiğini göstermiştir. Bu dağılım, algoritmanın hem istatistiksel hem mekânsal açıdan tutarlı ve güvenilir bir yapı sergilediğini kanıtlamaktadır.

Mekânsal analizlerden elde edilen uygunluk haritaları, Kütahya Merkez İlçesi'nin zemin özellikleri bakımından heterojen bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur.

- Önemli Alan 2.1 (stabilite sorunu) haritası, güneydoğu kesimlerde eğimin artması ve ayrılmış birimlerin bulunması nedeniyle yüksek stabilite riski taşıyan alanların yoğunlaştığını göstermiştir.
- Önemli Alan 5.1 (şişme ve oturma riski) haritası ise kuzey ve kuzeydoğu kesimlerdeki kilce zengin formasyonlarda yüksek deformasyon potansiyelinin bulunduğunu ortaya koymuştur.
- Her iki harita birlikte değerlendirildiğinde, çalışma alanında zemin davranışı ve topoğrafik eğim faktörlerinin yerleşim uygunluğu üzerinde belirleyici rol oynadığı sonucuna varılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, Kütahya Merkez İlçesi'nde mevcut yerleşimlerin büyük oranda jeoteknik olarak uygun bölgelerde konumlandığını, ancak bazı yeni yapılaşma alanlarının orta–yüksek riskli zonlarla çakışma eğiliminde olduğunu göstermektedir. Bu durum, KNN tabanlı modelin planlama ve risk azaltma süreçlerinde karar destek aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu çalışma Kütahya özelinde geliştirilmiş CBS tabanlı KNN modelinin jeolojik–jeoteknik verilerin mekânsal entegrasyonu için etkili bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır. Model hem mühendislik hem planlama ölçeğinde

bilimsel, nesnel ve tekrarlanabilir sonuçlar üretmiştir. Bulgular, bölgesel ölçekte mikrobölgeleme, yerleşim planlaması ve afet risk yönetimi çalışmalarına doğrudan katkı sağlayabilecek niteliktedir.



7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

7.1. Kütahya Merkez’de Yerleşime En Uygun ve En Riskli Bölgelerin Değerlendirilmesi

Kütahya Merkez İlçesi’nde gerçekleştirilen KNN temelli analiz sonuçları, yükseklik, eğim, SPT-N₆₀, P dalgası hızı (Vp), Vp/Vs oranı ve kayma dalgası hızı (V_{S30}) gibi jeoteknik ve topoğrafik parametrelerin birlikte değerlendirilmesiyle yorumlanmıştır. Bu parametrelerin ortak analizi, bölgedeki zemin dayanımı, rijitlik ve topoğrafik farklılıkların mekânsal dağılımını ortaya koymuş; böylece yerleşime uygun ve riskli alanların belirlenmesine olanak sağlamıştır. Analizler sonucunda özellikle Çokköy ve Emet formasyonları üzerinde gelişmiş alanlar düşük eğim değerleri ve yüksek zemin dayanımı nedeniyle yerleşime daha uygun olarak tanımlanırken, Gediz Grabenine yakın alüvyonal dolgu alanları ve Kütahya Çayı çevresi yüksek yeraltı su seviyesi, düşük SPT değerleri ve sıvılaşma potansiyeli nedeniyle riskli bölgeler olarak belirlenmiştir.

Bununla birlikte, KNN modelinin sınıflandırma çıktıları incelendiğinde ÖA-1.1 (sıvılaşma riski yüksek alanlar) ve UOA-2.1 (heyelan riski yüksek alanlar) sınıflarının model tarafından sınırlı düzeyde tanımlandığı görülmüştür. Bu durumun temel nedeni, çalışma alanında bu iki sınıfa ait örneklem sayısının azlığı ve jeolojik olarak sınırlı yayılım göstermeleridir. Özellikle sıvılaşma potansiyeli taşıyan gevşek alüvyon zeminlerin ve aktif heyelan bölgelerinin küçük yüzey alanlarına sahip olması, modelin bu sınıflarda istatistiksel öğrenme gücünü düşürmüştür. Buna karşılık, örneklem yoğunluğu yüksek olan ÖA-2.1 (stabilite riski) ve ÖA-5.1 (şişme-oturma riski) sınıfları model tarafından daha kararlı biçimde tanımlanmıştır.

Sonuç olarak, KNN modeli Kütahya Merkez İlçesi genelinde yerleşime uygunluk durumunu başarılı biçimde ortaya koymuş; jeoteknik ve topoğrafik parametreler arasındaki mekânsal ilişkileri yüksek doğrulukla tanımlayabilmiştir. Model, bu farklılıkları mekânsal olarak ayırt ederek bölge için risk temelli yerleşim öncelik haritalarının oluşturulmasına olanak sağlamıştır. Böylece, Kütahya Merkez’de mikro ölçekte karar verme süreçlerine katkı sağlayacak yüksek çözünürlüklü uygunluk haritaları elde edilmiştir. Bununla birlikte, düşük örneklem yoğunluğuna sahip sınıflarda (özellikle ÖA-1.1 ve UOA-2.1) belirsizliklerin arttığı gözlenmiştir. Bu durum, modelin performansının doğrudan veri temsili ve sınıf dengesiyle ilişkili olduğunu göstermekte; gelecekte yapılacak çalışmalarda az temsil edilen risk sınıflarına yönelik ek sondaj ve jeofizik veri toplanmasının önemini ortaya koymaktadır.

7.2. Yöntemin güçlü ve sınırlı yönleri

Bu çalışmada kullanılan KNN (K-En Yakın Komşular) algoritması, basit yapısına rağmen karmaşık mekânsal ilişkileri ortaya çıkarma potansiyeline sahip güçlü bir sınıflandırma yöntemidir. Yöntemin en önemli avantajlarından biri, veri dağılımı hakkında önsel bir varsayım gerektirmemesi ve öğrenme sürecinin doğrudan verilerden türetilmesidir. Bu özellik, özellikle jeoteknik ve jeolojik değişkenlerin heterojen dağılım gösterdiği Kütahya gibi bölgelerde oldukça etkilidir.

Bununla birlikte, yöntemin bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. KNN, veri boyutu arttıkça işlem maliyeti yükselen, ayrıca veri ölçeklendirmesine duyarlı bir algoritmadır. Ayrıca, K değeri ve uzaklık metriği seçiminde yapılan tercihler, sonuçların doğruluğu üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bu nedenle, optimum parametrelerin belirlenmesi için deneme-yanılma ve istatistiksel testlerin dikkatle yürütülmesi gerekmektedir. Yöntemin bir diğer kısıtı, veri kalitesine bağımlılığıdır; eksik, hatalı veya dengesiz veriler, modelin genelleme gücünü azaltabilir.

7.3. Uygulayıcılara Öneriler (Belediyeler, Planlamacılar, Afet Yönetimi Birimleri İçin)

Bu çalışma sonucunda elde edilen uygunluk haritaları, belediyeler, şehir plancıları, mühendislik firmaları ve afet yönetimi birimleri için önemli bir karar destek aracı olarak kullanılabilir. Yerleşim planlaması yapılırken, KNN analiziyle belirlenen uygunluk sınıflarının risk oranları dikkate alınarak, riskli bölgelerde yapılaşmanın sınırlandırılması, daha uygun alanlarda kontrollü gelişim stratejilerinin benimsenmesi önerilmektedir.

Afet yönetimi açısından, özellikle deprem ve zemin sıvılaşması riski taşıyan bölgeler öncelikli olarak incelenmeli ve bu alanlarda mikrobölgeleme çalışmaları detaylandırılmalıdır. Belediyeler, KNN sonuçlarını imar planı revizyonlarına, altyapı yatırımlarına ve acil durum eylem planlarına entegre edebilir. Ayrıca, bu tür analizlerin düzenli aralıklarla güncellenmesi, iklim değişikliği ve nüfus artışının etkileri dikkate alınarak planlama sürecine sürekli veri girişi sağlanması önerilmektedir.

7.4. Literatürdeki Benzer Çalışmalarla Karşılaştırma

Bu çalışmanın sonuçları, Türkiye ve dünyada yapılan benzer yerleşime uygunluk analizleriyle karşılaştırıldığında, KNN algoritmasının tutarlı ve yüksek doğruluk düzeylerine ulaştığını göstermektedir. Örneğin Yoshida ve Iai (2003), Japonya’da

sıvılaşma riski değerlendirmelerinde mekânsal veri temelli yaklaşımlar kullanmış; Demirtaş (2020) ise Eskişehir bölgesinde jeoteknik ve morfolojik parametreler üzerinden zemin uygunluk haritaları üretmiştir. Bu çalışmalarla paralel olarak Kütahya örneğinde de jeoteknik verilerin mekânsal değişimi, jeolojik birimlerin mühendislik davranışı ve topoğrafik faktörlerin etkisi başarılı bir şekilde modellenmiştir.

KNN'nin en belirgin farkı, öğrenme tabanlı ama parametrik olmayan bir yaklaşım sunmasıdır. Bu sayede, klasik ağırlıklandırma yöntemlerinden farklı olarak veriye dayalı, esnek ve tekrar edilebilir bir analiz süreci elde edilmiştir. Bu yönüyle çalışma, yerleşim uygunluğu konusunda hem bilimsel hem de uygulamalı düzeyde önemli bir katkı sağlamaktadır.

7.5. Jeoteknik Verilerin Karar Sürecine Etkisi

Yerleşime uygunluk değerlendirmelerinde jeoteknik veriler, karar sürecinin en kritik bileşenlerinden biridir. SPT- N_{60} , V_p , V_{s30} , V_p/V_s oranı, eğim ve yükseklik gibi parametreler, hem yerleşim güvenliği hem de mühendislik yapılarının sürdürülebilirliği açısından belirleyici rol oynamaktadır. Kütahya Merkez'de yapılan sondaj çalışmalarına göre, kil, silt ve kumtaşı litolojilerinden oluşan formasyonlar, özellikle düşük dayanımlı zeminler üzerinde yapılaşmanın riskli olduğunu ortaya koymuştur.

KNN modelinde bu jeoteknik parametrelerin sayısallaştırılarak kullanılması, zemin özelliklerinin uygunluk üzerindeki etkisini mekânsal olarak modellemeyi mümkün kılmıştır. Böylece, sadece yüzey verilerine dayalı değil, derinlik kontrollü bir uygunluk analizi gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, hem mühendislik hem de şehir planlama disiplinleri arasında güçlü bir köprü kurarak jeoteknik verilerin planlama kararlarına entegre edilmesi açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir.

8. ÖNERİLER

8.1. Tezin Ana Bulguları

Bu çalışma kapsamında, Kütahya Merkez İlçesi'nin yerleşime uygunluk durumu, jeolojik, jeoteknik, morfolojik ve yapısal verilerin bütünlük olarak değerlendirilmesi ile analiz edilmiştir. KNN (K-En Yakın Komşular) algoritmasının mekânsal sınıflandırma gücü kullanılarak, çalışma alanındaki farklı zemin türleri, N_{60} , V_p , V_{s30} , V_p/V_s oranı, eğim ve yükseklik gibi parametreler dikkate alınmıştır.

Analiz sonuçlarına göre, merkez ilçenin kuzeydoğu ve doğu kesimleri özellikle Çökköy ve Emet formasyonlarının hâkim olduğu bölgelerin düşük eğimli topoğrafyası, yüksek SPT değerleri ve dayanımı yüksek zemin özellikleri nedeniyle yerleşime en uygun alanlar olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, alüvyon zeminlerin yoğunlaştığı kesimler yüksek yeraltı suyu seviyesi, düşük taşıma gücü ve sıvılaşma potansiyeli nedeniyle yüksek riskli alanlar olarak sınıflandırılmıştır.

KNN algoritması, mekânsal veriler arasındaki karmaşık ilişkileri başarılı şekilde modelleyerek yerleşim uygunluğunu nicel olarak değerlendirme imkânı sağlamıştır. Bu yönüyle, çalışma alanında mekânsal karar destek sistemlerinin geliştirilmesi için sağlam bir zemin oluşturulmuştur.

8.2. Planlama ve Afet Yönetimi Açısından Çıkarımlar

Elde edilen sonuçlar, şehir planlaması ve afet risk yönetimi açısından doğrudan kullanılabilir niteliktedir. Özellikle yerleşim sınırlarının belirlenmesi, imar planlarının revizyonu ve yeni yapılaşma alanlarının seçimi süreçlerinde, uygunluk haritaları bilimsel bir altlık olarak değerlendirilebilir.

Afet yönetimi açısından, Kütahya Merkez'in özellikle fay hatlarına yakın güney ve güneybatı kesimleri yüksek deprem riski taşımaktadır. Bu bölgelerde zemin sıvılaşması, oturma ve taşıma gücü yetersizlikleri gibi mühendislik sorunları sıkça görülmektedir. Bu nedenle, afet öncesi planlamalarda bu alanların öncelikli risk bölgeleri olarak ele alınması, mikrobölgeleme çalışmalarının daha detaylı yapılması gerekmektedir.

Ayrıca, KNN yöntemiyle üretilen haritalar, afet senaryolarının mekânsal dağılımını simüle etme ve risk azaltma planlarına entegre etme potansiyeline sahiptir. Böylece, afet sonrası müdahale yerine afet öncesi risk azaltma stratejileri geliştirmek mümkün hale gelmektedir.

8.3. Kütahya Özelinde ve Genelde Uygulanabilirlik Önerileri

Kütahya özelinde, bu çalışma jeolojik ve jeoteknik temelli mekânsal planlamanın gerekliliğini açık biçimde ortaya koymuştur. Yerleşime uygunluk haritalarında belirtilen risk oranları, sadece mevcut durumun tespiti için değil, aynı zamanda gelecekteki kentsel gelişim yönlerinin belirlenmesi için de yol gösterici niteliktedir. Özellikle yüksek eğim, zayıf zemin ve aktif fay zonları üzerinde yeni yapılaşmaların sınırlandırılması; buna karşılık, jeoteknik açıdan güvenli bölgelerde planlı ve kontrollü gelişim politikalarının teşvik edilmesi önerilmektedir.

Genel ölçekte ifade edilirse, KNN algoritmasının benzer analizlerde Türkiye'nin diğer kentlerinde, özellikle jeoteknik riski yüksek bölgelerde uygulanabilirliği oldukça yüksektir. Modelin basit, tekrarlanabilir ve veri odaklı yapısı sayesinde ulusal ölçekte CBS tabanlı yerleşim uygunluk değerlendirme sistemleri oluşturulabilir ve bu sistemler afet yönetimi stratejilerine entegre edilebilir.

8.4. Gelecekteki Araştırmalara Katkı Sağlayacak Tavsiyeler

Bu çalışmada geliştirilen yöntem ve analizler, ilerleyen dönemlerde daha kapsamlı araştırmalar için temel teşkil etmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda:

- KNN modeline makine öğrenmesi tabanlı optimizasyon tekniklerinin (örneğin Grid Search, Genetic Algorithm veya Random Forest hibritleri) entegre edilmesi, model doğruluğunu artırabilir.
- Dinamik verilerin (örneğin zaman içinde değişen yeraltı suyu seviyesi, yağış verileri veya arazi kullanımı değişimi) modele dahil edilmesi, zamansal uygunluk analizlerinin yapılmasını sağlayabilir.
- Mikrobölgeleme verileri ve laboratuvar tabanlı zemin parametreleri ile modelin doğrulama gücü artırılabilir.
- Kütahya özelinde, deprem tehlike senaryoları ve sınırlama potansiyeli modelleri ile birlikte entegre edilerek risk tabanlı planlama modelleri geliştirilebilir.
- Son olarak, belediyeler ve üniversiteler arasında ortak veri paylaşım platformları kurulması, yerleşim uygunluk analizlerinin düzenli olarak güncellenmesini ve bilgiye dayalı planlama kültürünün güçlenmesini sağlayacaktır.

8.5. Son Değerlendirme

Bu çalışma kapsamında, Kütahya Merkez İlçesi'nin jeoteknik özellikleri KNN algoritması ve CBS tabanlı analizler kullanılarak ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir. Kullanılan parametreler yükseklik, eğim, SPT- N_{60} , V_p , V_{s30} ve V_p/V_s oranı zemin dayanımı, deformasyon potansiyeli ve topoğrafik dengeyi temsil eden temel mühendislik göstergeleri olarak modele entegre edilmiştir. Analiz sonuçları, bu değişkenlerin birlikte değerlendirilmesiyle zemin davranışının mekânsal olarak güvenilir biçimde sınıflandırılabilirdiğini ortaya koymuştur.

KNN modelinden elde edilen olasılık haritaları stabilite, şişme-oturma risklerinin mekânsal dağılımını başarıyla yansıtmış; özellikle kırmızı tonlu alanlarda zemin dayanımının düşük, taşıma gücünün zayıf ve yeraltı suyu seviyesinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın yeşil tonlu alanlar, daha sıkı, homojen ve yapılaşmaya elverişli zeminleri temsil etmektedir.

Bu sonuçlar, jeoteknik verilerin karar destek sürecine doğrudan katkı sunduğunu ve KNN algoritmasının karmaşık zemin koşullarını anlamada etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Elde edilen haritalar, mikro-bölgeleme, kentsel planlama ve risk yönetimi çalışmalarında bilimsel bir temel oluşturarak, Kütahya Merkez İlçesi'nin güvenli ve sürdürülebilir yerleşim planlamasına yönelik önemli bir kaynak niteliği taşımaktadır.

KAYNAKÇA

- AFAD. (2018). Türkiye deprem tehlike haritası ve parametreleri raporu. *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Yayınları*.
- AFAD. (2021). *Türkiye’de Afet Risk Azaltma Planı (TARAP)*. ANKARA: Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Altman, N. S. (1992). An introduction to kernel and nearest-neighbor nonparametric regression. *The American Statistician*, 46(3), 175–185.
- Ansal, A. (2004). Recent Advances in Earthquake Geotechnical (Geotechnical, Geological, and Earthquake Engineering). *Springer-Kluwer Academic Publishers*.
- Arik, A. ve Temur, S. (2003). Afyon-Sandıklı yöresi metamorfik kayaların petrolojik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 46(1), 13–28.
- Arik, M., ve Temur, S. (2003). *Kütahya yöresindeki volkanitlerin petrografik ve jeokimyasal özellikleri*. 47(4), 210-225: Türkiye Jeoloji Dergisi.
- Arslan, H., ve Çetin, M. (2020). CBS tabanlı arazi kullanım uygunluk analizi: Konya ve Kayseri örnekleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44(3), 215–232.
- Aytun, A. (2001). *Kütahya İli, Gediz İlçesi, Yumrutaş Köyü Güneş Paneli Alanı: Paleosismolojik ve Yüzey Faylanması Tehlike Zonunun Değerlendirilmesi*. MTA.
- Bakanlığı, T.C. Çevre ve Şehircilik. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. *Resmî Gazete*, Sayı: 30364.
- Barberi, F. M. (1990). Mapping the tephra fallout risk: An example from Vesuvius, Italy. *Nature*, 142-144.
- Baş, H. (1986). Kütahya çevresinin stratigrafisi üzerine jeolojik gözlemler. *MTA Dergisi*, 25–40.
- Baş, S. (1983). *Kütahya ve çevresinin stratigrafisi ve jeolojisi*. Ankara: Jeoloji Araştırma Merkezi .
- Baş, S. (1986). Kütahya bölgesi jeolojisi ve stratigrafik özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 29(3), 45-67.
- Benavente, R. M. (2022). Geotechnical and geomorphological assessment for urban planning and land-use management using GIS-based multicriteria analysis. *Engineering Geology*, 301, 106598.
- Bilgin, A. Z. (1967). Gediz Grabeninin jeolojik yapısı. *İstanbul Üniversitesi Yayınları*.
- Blodgett and Keller . (2006). Geotechnical Earthquake Engineering. *Pearson Prentice Hall*.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey: a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14(1–3), 3–30.
- Brunsdon, D. (2002). Geologically controlled slope failure. In R. G. McInnes & J. Jakeways (Eds.), *Instability Planning and Management*. *Thomas Telford Publishing*, 1–17.

- Burrough, P. A., ve McDonnell, R. A. (1998). Principles of geographical information systems. *Oxford University Press*.
- C. Aydöner ve D. Maktav. (2013). Deprem Açısından Yerleşim Yeri Uygunluk Analizleri. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*.
- California Geological Survey. (2008). Guidelines for Evaluating and Mitigating Seismic Hazards in California. California Department of Conservation.
- Catani, F. L. (2013). Landslide susceptibility estimation by random forests technique: Sensitivity and scaling issues. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(11), 2815–2831.
- Chen, W. L. (2020). Integrating GIS and machine learning for land suitability assessment: A case study of urban development in China. *Computers, Environment and Urban Systems*, 82, 101486.
- Cover, T. and Hart, P. (1967). Nearest neighbor pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(1), 21–27.
- Çelik, H., ve Kaya, S. (2019). CBS tabanlı yerleşime uygunluk analizi: Kayseri örneği. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(1), 45–60.
- Çelik, N. (1999). Beke Formasyonu’nun petrolojik ve sedimentolojik özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 25(2), 101-115.
- Çetin, H. (2009). Zemin mekaniği ve temel mühendisliği açısından Türkiye’nin jeoteknik sorunları. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 33(1), 27–40.
- Deltares. (2015). Flood risk in the Netherlands: An overview. *Deltares*.
- Demirtaş, M. (2020). Eskişehir İli için M-AHP tabanlı yerleşim alanı uygunluk analizi. *Jeoloji ve Yer Bilimleri Dergisi*, 12(2), 101–117.
- Duda, R. O. (2001). Pattern classification. *Wiley-Interscience*.
- Eastman, J. R. (2011). IDRISI Selva tutorial: Guide to GIS and image processing. *Clark University, Clark Labs*.
- Emre, Ö. D. (2013). Active fault map of Turkey. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)*.
- Emre, Ö. D. (2018). Active fault map of Turkey with explanatory text (General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series). *MTA*.
- Ergün, H. (2021). Jeoteknik risk analizlerinde makine öğrenmesi yöntemlerinin uygulanabilirliği. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 64(2), 147–165.
- Forte, G., and Pieri, L. (2020). Relationships between seismic wave velocity and soil mechanical properties: A review and case applications. *Engineering Geology*, 276, 105753.
- Gersonius, B. R. (2015). Adaptive Delta Management: Flood Risk and Land Use Planning in the Netherlands. 201-206.

- Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211–221.
- Göncüoğlu, M. C. (2010). Geology of the Kütahya region and its surroundings. *Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Yayınları*.
- Han, J. K. (2012). Data mining: Concepts and techniques(3rd ed.). *Morgan Kaufmann*.
- İlbank. (2025). *Kütahya Merkez İlçesi Mikrobölgeleme Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu*.
- Jóhannesson, H. and Sæmundsson, K. (2009). Geological Map of Iceland: Bedrock Geology. *Reykjavík: Icelandic Institute of Natural History*.
- Kalafatçıoğlu, R. (1964). Batı Anadolu'nun metamorfik yapıları. *Türkiye Jeoloji Kurumu Yayınları*.
- Kanai, K., and Tanaka, A. T. (1961). On Microtremors. *Bulletin of the Earthquake Research Institute of the University of Tokyo*, 39, 97–114.
- Kaya, E. Ş. (2018). Bursa ve Sakarya illerinde heyelan risk analizi: CBS destekli KNN uygulaması. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 43(2), 101–119.
- Kaya, O. (1972). Gediz grabeni ve civarının jeolojisi. *Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi*, 19, 211–230.
- Koçyiğit Ali, B. E. (1997). Kütahya-Tavşanlı çöküntü alanının neotektonik özellikleri. *ODTÜ METU*.
- Koçyiğit, A. e. (1991). Ovacık Melanjı ve Batı Anadolu Tektonik Sistemi. *Türkiye Jeoloji Dergisi*, 35(1), 23-45.
- Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. *Upper Saddle River: Prentice Hall*.
- Lebküchner, R. F. (1959). *Seyitömer/Kütahya Neojen sahasında jeoloji ve linyit yatakları ile ilgili olarak yapılan etütler hakkında rapor*. MTA .
- Lee, C. K. (2021). Land suitability evaluation for wild-simulated ginseng cultivation in South Korea. *Land*, 10(2), 94.
- Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. *John Wiley & Sons*.
- Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, 62(1), 3–65.
- McHarg, I. L. (1969). Design with nature. *Natural History Press*.
- MTA. (2020). Türkiye jeoloji haritası. *MTA Yayınları*.
- Nefeslioğlu, H. A. (2019). Değiştirilmiş AHP (M-AHP) Yöntemi Kullanılarak Ankara İçin Taşkın Duyarlılık Haritası Üretimi . *Harita Dergisi*, 162: 12-24 .
- Okay, A. İ. (1981). Ofiyolit ve mavişist metamorfizması üzerine petrografik çalışmalar. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 10(1), 12-29.
- Okay, A. İ. (1984). Batı Anadolu'nun jeolojik evrimi ve mavişist kuşağı. *Türkiye Bilimsel Araştırmalar Enstitüsü Yayını*.

- Okay, A. I. (1986). High-pressure/low-temperature metamorphic rocks of Turkey. In Blueschists and eclogites. *Geological Society of America*, 333-347.
- Özburun, A. (2009). Yerleşime uygunluk analizlerinde coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi yöntemi kullanımı. *Yüksek Lisans Tezi*.
- Özburun, M. (2009). *Kütahya ve çevresi jeoloji haritası*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı.
- Özcan, A. D. (1989). İhsaniye (Afyon) dolayının jeolojisi ve stratigrafisi. *MTA Dergisi*, 109, 1–18.
- Özcan, H. Y. (1989). Afyon-İhsaniye ve çevresinin jeolojik özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 34, 23–34.
- Özdemir, A., ve Kaya, A. (2020). Analitik hiyerarşi süreci ile yerleşime uygunluk analizi: Eskişehir örneği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 44(2), 87–104.
- Rossi, M. G. (2010). Optimal landslide susceptibility zonation based on multiple forecasts. *Geomorphology*, 114(3), 129–142.
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. *McGraw-Hill*.
- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, priority setting, resource allocation. *McGraw-Hill*.
- Seed, H. B. (1982). Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. *Earthquake Engineering Research Institute*.
- Şengör, A. M. C., and Yılmaz, Y. (1981). Tectonics of the Tethysides in Turkey: A synthesis. *Tectonophysics*, 75(3–4), 181–241.
- Şengüler, S. (1999). Tunçbilek Formasyonu’nun litolojisi ve stratigrafisi. *Anadolu Üniversitesi Yayını*.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2011). Yerleşime uygunluk haritalarının hazırlanmasına ilişkin teknik esaslar. *Mekânsal Planlama Genel Müdürlüğü Yayınları*.
- T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2023). Yerleşime uygunluk ve jeoteknik etüt rehberi. *ÇŞİDB Yayınları*.
- Türkiye Diri Fay Haritası*. (2012). AFAD. adresinden alındı
- Vıcıl, H. (1982). Kütahya ve çevresinin jeolojisi üzerine araştırmalar. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*. 21, 15–26.
- Witten, I. H. (2016). Data mining: Practical machine learning tools and techniques (4th ed.). *Morgan Kaufmann*.
- Xu, Z., and Wang, J. (1999). Some thoughts on the theory of fuzzy AHP and its application. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 170-175.
- Yalçın, A., ve Bulut, F. (2007). Heyelan duyarlılık analizinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ve çok kriterli karar verme yöntemlerinin birlikte kullanımı. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31(2), 85–98.

- Yalçın, A., ve Ekinçi, Y. L. (2019). Kütahya ilinde zemin sıvılaşma potansiyelinin jeoteknik ve sismik verilerle değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 43(1), 65–82.
- Yiğitgüden, A. (1984). Kütahya-Altıntaş arasındaki bölgenin stratigrafisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*.
- Yıldırım, C., ve Özkaymak, Ç. (2020). Active tectonics and morphotectonic evolution of the Kütahya Fault Zone, Western Anatolia. *Tectonophysics*, 790, 228565.
- Yılmaz, M., ve Demir, A. (2015). İstanbul için deprem riski analizinde KNN ve AHP yöntemlerinin karşılaştırılması. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 48(2), 121–137.
- Yoshida N. and Iai, S. (2003). Nonlinear site response and its evaluation. *Proceedings of the 12th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, (s. 49-72). Singapur.
- Yürekli, A. (2019). Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, 1-12.
- Zhang, Y., Zhang, C., and Li, W. (2019). A machine learning approach to urban land-use suitability analysis: Integrating KNN with GIS. *Sustainability*, 11(21), 6090.

EKLER

EK-1 PYTHON 3 KODU

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Thu Oct 9 11:39:50 2025

@author: murat h.
"""

import numpy as np
import pandas as pd
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
from sklearn.model_selection import GridSearchCV

# Model öğren verisini oku
path="C:/veri/dersler/_Danismani_oldugum_ogrenciler/_YL/_Murat_Hasturk/__tez_ic
in__/_duzeltme/_model/"
df = pd.read_csv(path+"model_ogren_.txt")

# Parametrelerin kume bazli dagilimlarinin boxplot grafigi ve histogram ile gosterimi
params = ['yuksekl_', 'egim', 'n60', 'vp', 'vp_vs', 'vs30']

for p in params:
    plt.figure(figsize=(6,4))
    sns.boxplot(x='oa_sinif', y=p, data=df, palette="Set2")
    plt.title(f'{p} dağılımı (Kümelere göre)')
    plt.show()

for p in params:
    g = sns.FacetGrid(df, col="oa_sinif", sharex=False, sharey=False)
    g.map_dataframe(sns.histplot, x=p, bins=20, kde=True)
```

```
g.set_titles(col_template="oa_sinif {col_name}")
g.fig.suptitle(f'{p} dağılımı', y=1.05)
plt.show()
```

Parametreler arasi korelasyon matrisinin hesaplanmasi ve heatmap ve pairplot ile gorsellestirilmesi

```
corr_matrix = df[params].corr()
print(corr_matrix)
```

```
plt.figure(figsize=(8,6))
sns.heatmap(corr_matrix, annot=True, cmap="coolwarm", vmin=-1, vmax=1)
plt.title("Parametreler Arası Korelasyon Matrisi")
plt.show()
```

```
sns.pairplot(df[params], diag_kind="kde")
plt.show()
```

Tanımlayıcı istatistiklerin tüm veri ve küme bazında hesaplanması ve CSV dosyasına yazdırılması

```
all_stats = df[params].describe().T # T transpoz yapar
print(all_stats)
```

```
class_stats = df.groupby("oa_sinif")[params].describe()
print(class_stats)
```

```
all_stats.to_csv(path+"_mh_tum_veri_stats.csv")
class_stats.to_csv(path+"_mh_kumebazli_stats.csv")
```

Veriyi örneklem uzayı için normalize et

```
df["norm_yuksekl_"] = ((df["yuksekl_"] - 912) / (1194 - 912))
df["norm_egim"] = ((df["egim"] - 0) / (30.68 - 0))
df["norm_n60"] = ((df["n60"] - 8) / (50 - 8))
df["norm_vp"] = ((df["vp"] - 0) / (2280 - 0))
```

```
df["norm_vp_vs"] = ((df["vp_vs"] - 0) / (2.82 - 0))
df["norm_vs30"] = ((df["vs30"] - 0) / (1109 - 0))
```

```
# Bagimsiz degiskenleri ve bagimli degiskeni tanımla
```

```
X = df[["norm_yuksekl_", "norm_egim", "norm_n60", "norm_vp", "norm_vp_vs",
"norm_vs30"]]
y = df["oa_sinif"]
```

```
# En iyi sonucu verecek k (n_neighbors) degerini bul
```

```
grid_parameter={"n_neighbors":np.arange(1,30)}
en_yakin=KNeighborsClassifier()
en_yakin_cv=GridSearchCV(en_yakin, grid_parameter, cv=5)
en_yakin_cv.fit(X,y)
k = en_yakin_cv.best_params_
```

```
# En yakin k komşu kestirimi
```

```
en_yakin_k=KNeighborsClassifier(n_neighbors=k['n_neighbors'])
en_yakin_k.fit(X,y)
```

```
# Model tahmin verisini oku kestirimi yap ve sonucu sonuc csv dosyasına yaz
```

```
# (tahmin verisinde bagimsiz degiskenlerin yukaridaki araliklarda normalize edilmesi
gerektigini unutma)
```

```
df_ = pd.read_csv(path+"model_tahmin_.txt")
X_ = df_[["norm_yuksekl_", "norm_egim", "norm_n60", "norm_vp", "norm_vp_vs",
"norm_vs30"]]
tahmin=en_yakin_k.predict(X_)
tahmin_olasilik=en_yakin_k.predict_proba(X_)
df_['sonuc'] = np.array(tahmin)
df_[['olasilik1', 'olasilik2', 'olasilik3', 'olasilik4']] = tahmin_olasilik
df_.to_csv(path+'sonuc2_.csv', index=False, encoding='utf-8')
```

```
# Tahmin edilen sinifların tahmin olasiliklari ile birlikte degerlendirilmesi
```

```
params2 = ['olasilik1', 'olasilik2', 'olasilik3', 'olasilik4']
```

```
for p in params2:
    plt.figure(figsize=(6,4))
    sns.boxplot(x='sonuc', y=p, data=df_, palette="Set2")
    plt.title(f'{p} dağılımı (Kümelere göre)')
    plt.show()
```

```
for p in params2:
    g = sns.FacetGrid(df_, col="sonuc", sharex=False, sharey=False)
    g.map_dataframe(sns.histplot, x=p, bins=20, kde=True)
    g.set_titles(col_template="sonuc {col_name}")
    g.fig.suptitle(f'{p} dağılımı', y=1.05)
    plt.show()
```

EK-2 HAM VERİLER

Sondaj No	X	Y	Yükseklik	Eğim	N ₆₀	V _p	V _p /V _s	V _{S30}	Ö.A. Sınıfı
SK-79	495787.051200	4365529.786000	993	4.26	34	0	0.00	578	2
SK-80	496129.390200	4365568.400000	994	3.35	36	1178	2.15	427	2
SK-81	496698.196700	4365602.399000	985	7.06	46	915	1.95	450	2
SK-82	497163.778900	4365803.223000	948	3.28	20	915	1.95	349	2
SK-83	497530.425700	4365528.812000	950	3.67	9	0	0.00	450	3
SK-84	501069.958700	4368519.617000	921	2.63	23	1906	2.02	403	3
SK-85	500892.426800	4367483.562000	926	4.59	38	1906	2.02	347	3
SK-86	496049.542100	4365393.030000	1025	7.07	45	1029	1.64	610	4
SK-87	499112.019200	4366647.622000	930	1.77	17	0	0.00	327	3
SK-88	500510.392000	4366551.717000	923	0.93	13	935	2.13	285	3
SK-89	496219.749700	4365338.357000	1032	9.89	50	1029	1.64	600	2
SK-90	499987.472300	4366185.098000	926	1.18	22	1557	2.61	418	3
SK-91	499600.660900	4365563.787000	934	2.08	18	1557	2.61	498	3
SK-92	500363.697100	4365760.728000	930	0.33	9	1557	2.61	330	1
SK-93	495944.119500	4365200.507000	1039	6.45	50	1029	1.64	570	4
SK-94	495972.169300	4365021.546000	1064	9.26	50	1029	1.64	720	2
SK-95	496456.369500	4365115.450000	1045	4.87	50	1029	1.64	390	2
SK-96	497684.479400	4365240.086000	977	20.39	50	0	0.00	446	3
SK-97	498100.924300	4365124.731000	962	4.15	29	0	0.00	340	3
SK-98	498501.848300	4365134.986000	957	3.55	27	0	0.00	343	3
SK-99	499072.634000	4365372.847000	944	1.77	14	1557	2.61	389	3
SK-100	499395.472600	4365075.649000	943	2.08	11	1091	1.99	250	3
SK-101	500199.920200	4365062.184000	932	0.33	9	0	0.00	270	1
SK-102	495737.636600	4364826.318000	1108	8.06	43	1926	2.12	357	2
SK-103	496652.862800	4364858.872000	1019	6.45	24	0	0.00	0	3
SK-104	497117.027000	4364711.406000	997	3.95	45	2024	2.82	670	3
SK-105	497691.875300	4364704.280000	981	3.62	50	2024	2.82	506	3
SK-106	498181.605600	4364663.980000	995	6.71	50	989	1.59	543	3
SK-107	498681.493400	4364671.971000	987	7.52	43	1283	1.65	550	3
SK-108	499017.420500	4364687.459000	981	7.86	50	1946	1.78	971	3
SK-109	499686.050700	4364580.914000	940	1.18	21	1091	1.99	487	3
SK-110	500170.790200	4364615.155000	934	1.64	8	0	0.00	377	3
SK-111	500843.994200	4364491.537000	926	1.39	18	892	2.41	437	3
SK-112	498221.736300	4364216.053000	1046	10.34	50	989	1.59	543	2
SK-113	498673.628400	4364077.623000	1051	8.08	50	1283	1.65	725	2
SK-114	499139.446800	4364206.972000	1016	5.90	50	1946	1.78	971	2
SK-115	499672.223900	4364135.314000	955	5.60	50	1584	1.71	857	2
SK-116	500162.402300	4364115.810000	946	6.57	50	1610	2.24	857	3
SK-117	500666.447600	4364111.670000	939	1.91	16	1398	1.92	367	3
SK-118	501179.936400	4364095.077000	934	0.33	13	892	2.41	399	3
SK-119	501664.708300	4364047.919000	928	0.33	24	1108	1.97	580	3
SK-120	502163.757800	4364053.382000	929	1.04	10	1121	1.68	443	3
SK-121	498174.821600	4363524.487000	1120	4.15	42	1398	1.91	857	2
SK-122	498560.963800	4363169.908000	1112	4.66	50	1905	1.81	764	2

Sondaj No	X	Y	Yükseklik	Eğim	N ₆₀	Vp	Vp/Vs	VS ₃₀	Ö.A. Sınıfı
SK-123	498796.490800	4363660.189000	1080	6.32	50	1905	1.81	625	2
SK-124	499232.283400	4361994.184000	1150	6.44	50	1789	2.68	561	2
SK-125	500034.749800	4363643.472000	1003	5.57	50	1610	2.24	647	2
SK-126	500524.306000	4363536.336000	966	3.03	50	1398	1.92	705	2
SK-127	501123.018200	4363540.186000	948	1.35	18	1108	1.97	367	3
SK-128	501515.832900	4363731.084000	939	3.10	23	1108	1.97	430	3
SK-129	502140.581900	4363629.813000	938	0.99	27	1121	1.68	580	3
SK-130	502672.887200	4363588.504000	936	2.79	40	1121	1.68	354	3
SK-131	503144.444300	4363638.083000	930	3.55	32	1112	1.98	480	3
SK-132	503668.058600	4363641.418000	926	3.23	34	1112	1.98	505	3
SK-133	504188.518200	4363890.003000	922	0.93	21	0	0.00	416	3
SK-134	500715.617600	4363059.150000	985	8.47	50	1305	1.67	673	2
SK-135	501193.397100	4363117.804000	967	5.28	50	0	0.00	750	3
SK-136	501610.989200	4362991.842000	964	1.18	50	1012	2.00	398	3
SK-137	502053.902300	4363164.802000	950	3.03	34	772	2.09	449	3
SK-138	502608.709200	4363038.580000	952	4.28	34	772	2.09	489	3
SK-139	503567.916000	4363083.935000	940	0.99	18	1773	2.12	687	3
SK-141	501142.655900	4362452.196000	1005	10.79	50	1918	1.67	956	2
SK-142	502176.259300	4362749.433000	963	2.79	42	0	0.00	384	3
SK-143	502638.736800	4362582.965000	976	1.35	50	1338	2.60	830	3
SK-144	503189.742600	4362576.100000	961	1.77	50	986	1.77	340	3
SK-146	504056.605500	4362523.092000	943	2.80	39	1538	1.90	685	3
SK-147	506180.253400	4362603.452000	936	4.69	50	0	0.00	0	3
SK-148	506652.914100	4362468.674000	935	3.11	50	1873	1.97	420	2
SK-149	502697.705400	4362012.841000	987	10.72	50	0	0.00	0	2
SK-150	503348.280000	4362207.758000	964	1.64	50	986	1.77	573	3
SK-151	503608.346600	4362014.273000	965	4.46	36	1317	2.15	610	3
SK-153	504706.445400	4361978.779000	973	3.11	50	1738	1.56	956	2
SK-154	505119.705600	4362114.397000	954	4.87	50	2228	2.39	896	2
SK-155	505660.742300	4362191.282000	937	3.23	50	2228	2.39	896	2
SK-156	506123.259700	4362102.767000	938	1.64	50	2228	2.39	830	2
SK-157	506648.465100	4362069.226000	960	3.28	50	1873	1.97	830	2
SK-158	503077.020500	4361734.413000	986	4.57	50	0	0.00	599	2
SK-159	503672.058700	4361574.836000	969	4.96	50	1253	2.14	563	2
SK-160	504285.893700	4361613.101000	982	4.87	50	1227	2.04	943	2
SK-161	504736.680700	4361517.402000	965	4.15	50	1738	1.56	850	2
SK-162	505174.282900	4361616.131000	943	1.04	50	1738	1.56	956	2
SK-163	503656.323700	4361186.592000	982	2.00	50	1138	1.87	580	2
SK-164	504165.479500	4361104.644000	973	1.97	50	1359	2.23	572	2
SK-165	504636.646800	4360442.997000	974	2.95	50	0	0.00	812	2
SK-166	505208.511900	4361128.189000	949	3.55	50	1476	1.49	811	2
SK-167	503620.757500	4360690.728000	998	2.50	50	1215	2.10	562	2
SK-168	504140.737600	4360484.587000	984	2.00	50	1220	1.97	614	2
SK-169	504716.193400	4361151.069000	958	2.94	50	1476	1.49	780	2
SK-170	505069.830800	4360576.488000	952	3.74	50	1891	2.01	780	2

Sondaj No	X	Y	Yükseklik	Eğim	N ₆₀	V _p	V _p /V _s	V _{S30}	Ö.A. Sınıfı
SK-171	505155.518300	4360204.516000	974	5.58	50	1891	2.01	650	2
SK-172	506638.413600	4360476.616000	951	3.99	50	1323	1.61	701	2
SK-173	507122.374600	4360630.731000	930	2.94	50	1323	1.61	701	3
SK-174	507340.928300	4360133.909000	938	4.66	50	1323	1.61	701	3
SK-175	509123.675600	4363053.612000	950	0.73	50	1544	2.59	536	2
SK-176	508804.415900	4363218.470000	945	1.35	40	1544	2.59	515	2
SK-177	506133.263800	4364267.468000	930	3.11	50	1550	1.55	362	2
SK-178	505606.336200	4364442.968000	921	1.47	22	1550	1.55	782	2
SK-179	505781.534200	4364948.882000	931	2.50	50	2280	1.84	1109	2
SK-180	506050.473400	4365218.126000	944	3.10	22	1650	1.52	927	2
SK-182	506500.435400	4367696.690000	1031	3.30	50	1309	1.84	413	2



ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0009-0002-8769-3817

Ad Soyad : MURAT HASTÜRK

Yabancı Dil : İNGİLİZCE

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2013, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği
- 2021, Mühendis, İlbank

