



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TEMİZ SU ŞEBEKESİNDE ARIZA POTANSİYELİNİN ÇOK
KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV) YÖNTEMLERİ İLE
TESPİTİ: MERSİN YENİŞEHİR ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ganime Melike KANUN

DANIŞMAN

Doç.Dr. Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU

İKİNCİ DANIŞMAN

Doç. Dr. Muzaffer Can İBAN

AKSARAY, 2025

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 222306739 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Ganime Melike KANUN tarafından hazırlanan “**TEMİZ SU ŞEBEKESİNDE ARIZA POTANSİYELİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV) YÖNTEMLERİ İLE TESPİTİ: MERSİN YENİŞEHİR ÖRNEĞİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Cemil GEZGİN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Tarık TORUN

Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 24/04/2025

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Fazliye KARABÖRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Ganime Melike KANUN

TEŞEKKÜR

Lisans öğrenimimde Coğrafi Bilgi Sistemleri konusunda verdiği ufuk açıcı eğitimlerle kendimi yetiştirmemde fayda sağlayan ve bu alana yönelmemi sağlayan kıymetli Doç. Dr. Süleyman Sefa Bilgilioğlu hocama, materyal ve verileri toplamamda yardımcı olan Doç. Dr. Muzaffer Can İban hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışması uygulamasında kullanılan su iletim hatlarına ait arıza verilerini tarafıma ileten Mersin Su ve Kanalizasyon İdaresi Başkanlığına teşekkür ederim.

Tezin çalışması sürecinde desteğini benden esirgemeyen eşim Engin Kanun'a ve gösterdikleri büyük emek, sabır ve fedakârlıkla bugünlere gelmemizin en büyük mimarları olan başta annem ve babam olmak üzere aile bireylerimin her birine ayrı ayrı teşekkür ederim.

Bu çalışmanın oluşmasında katkısı olan herkese teşekkür ederken, özellikle Cumhuriyetimizin kurucusu Gazi Mustafa Kemal Atatürk'e en derin şükranlarımı sunmak isterim. Türk kadınına eğitim hakkı tanıyarak onun birey olma yolunda ilerlemesini sağlayan, düşüncelerini özgürce ifade etmesine, bilim ve kültür alanında varlık göstermesine öncülük eden Atatürk'ün bu vizyonu olmasaydı, bugün bu tez çalışmasını gerçekleştirmek belki de mümkün olmayacaktı.

Kadınların okuyabilen, düşünebilen, üretebilen bireyler olarak toplumda yer almasının yolunu açtığı için sonsuz teşekkürler.

Ganime Melike KANUN

AKSARAY, 2025

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1 Çok Kriterli Karar Destek Sistemleri (ÇKKDS).....	5
2.2 İstatistiksel Yöntemler.....	7
2.3 Makine Öğrenmesi Yöntemleri	9
2.4 Hidrolik Yaklaşım Yöntemleri.....	10
2.6 Birden Fazla Yöntemin Entegrasyonu	11
3. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS).....	13
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
4.1 Çalışma Metodolojisi	15
4.2 Çalışma Alanı	16
4.3 Su Arıza Envanteri	17
4.4 Su Arıza Koşullandırma Kriterleri	18
4.4.1 Yükseklik.....	19
4.4.2 Eğim.....	20
4.4.3 Bakı.....	22
4.4.4 Toprak türleri	24
4.4.5 Litoloji	26
4.4.6 Nüfus yoğunluğu	27
4.4.7 Bina yoğunluğu.....	28
4.4.8 Yollara uzaklık.....	30
4.4.9 Çizgisellik.....	31
4.5 AHP	32
4.6 Frekans Oranı	37
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	39
5.1 Frekans Oranı Yöntemiyle Kriterlerin Alt Sınıflarının Analizi	39
5.2 AHP ile Kriter Ana Sınıflarının Ağırlıklarının Belirlenmesi	41
5.3 Su Arıza Duyarlılık Haritasının Üretilmesi.....	43
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	46
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ.....	70

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMİZ SU ŞEBEKESİNDE ARIZA POTANSİYELİNİN ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV) YÖNTEMLERİ İLE TESPİTİ: MERSİN YENİŞEHİR ÖRNEĞİ

Ganime Melike KANUN

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU
İkinci Danışman: Doç.Dr. Muzaffer Can İBAN

ÖZET

Türkiye, 2000’li yıllardan önce su bakımından zengin bir ülke olarak değerlendirilebilmesine rağmen, günümüzde su sıkıntısı yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır. Yanlış su yönetimi, uygulanmakta olan su politikalarındaki eksiklikler, hızla artan nüfusun tüm sektörlerdeki su talebini artırması ve küresel iklim değişikliğinin etkileri, su sorunlarının başlıca nedenleri arasında gösterilmektedir. Dağıtım şebekelerindeki su kayıpları, dünyadaki birçok şehir ve ülke için ortak bir sorundur. Türkiye de dahil olmak üzere birçok ülkede, ortalama yıllık su kayıpları %50’yi aşmaktadır. Suya olan talebin hızla artması ve iklim koşullarının değişmesi nedeniyle, dünyanın birçok yerinde su temini sorunları yaşanmaktadır. Dolayısıyla, su kayıplarını azaltmak ve kontrol altına almak kritik öneme sahiptir. Bu nedenle su kaynaklarımızı daha verimli kullanmak için kayıp-kaçak oranlarını belirlemek ve bunları azaltmaya yönelik yöntem ve teknolojiler geliştirmek önemlidir. Su borusu arızalarını meydana gelmeden önce tahmin edebilmek büyük önem taşımaktadır. Bu tezde, çalışma alanı olarak Akdeniz Bölgesi, Mersin ili, Yenişehir ilçesi seçilmiştir. Su borusu arızalarını tahmin etmek için, öncelikle boruları etkileyen çevresel kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler arasında toprak tipi, jeoloji, eğim, yükseklik, bakı, bina yoğunluğu, nüfus yoğunluğu, doğrusallık ve yollara olan uzaklık yer almaktadır. 9 kriter Frekans Oranı (FO) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemleri birlikte uygulanarak önem sırasına göre ağırlıklandırılmış, literatüre yenilikçi bir yaklaşım sunulmuş ve elde edilen model gerçek arıza verileriyle karşılaştırılarak %92.40 doğruluğa ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: AHP, Frekans Oranı, CBS, Su Yönetimi, Su İletim Hattı Arızaları.

Nisan, 2025; 70 sayfa

M.Sc. THESIS

DETECTION OF FAILURE POTENTIAL IN THE CLEAN WATER NETWORK USING MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM) METHODS: THE CASE OF YENİŞEHİR, MERSİN

Ganime Melike KANUN

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatic Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU
Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Muzaffer Can İBAN**

ABSTRACT

Turkey, which was considered a water-rich country before the 2000s, is now among the countries facing water scarcity. The primary causes of water issues include poor water management, deficiencies in water policies, increasing water demand across all sectors due to population growth, and the impacts of global climate change. Water losses in distribution networks are a common problem for many cities and countries worldwide. In Turkey, as in many other nations, the average annual water losses exceed 50%. Due to the rapid increase in water demand and changing climatic conditions, water supply problems are becoming more frequent globally. Therefore, reducing and controlling water losses is of critical importance. To use our water resources more efficiently, it is essential to identify water loss rates and develop methods and technologies to reduce them. Predicting water pipe failures before they occur is particularly crucial. In this thesis, the study area was selected as Yenışehir district in Mersin province, located in the Mediterranean Region. To predict water pipe failures, the environmental criteria affecting the pipes were first identified. These criteria include soil type, geology, slope, elevation, aspect, building density, population density, lineament, and distance to roads. The nine criteria were weighted according to their importance using the Frequency Ratio (FR) and Analytic Hierarchy Process (AHP) methods. This approach introduced an innovative method to the literature, and the resulting model was validated against actual failure data, achieving an accuracy of 92.40%.

Keywords: AHP, Frequency Ratio, GIS, Water Management, Water Main Failures.

April, 2025; 70 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1.	Çalışma adımları ve metodoloji.....	15
Şekil 4.2.	Çalışma alanı haritası.....	17
Şekil 4.3.	Çalışma alanının yükseklik haritası.....	20
Şekil 4.4.	Çalışma alanının eğim haritası.....	22
Şekil 4.5.	Çalışma alanının bakı haritası.....	24
Şekil 4.6.	Çalışma alanının toprak türleri haritası.....	26
Şekil 4.7.	Çalışma alanının litoloji haritası	27
Şekil 4.8.	Çalışma alanının nüfus yoğunluğu haritası.....	28
Şekil 4.9.	Çalışma alanının bina yoğunluğu haritası.	29
Şekil 4.10.	Çalışma alanının yollara uzaklık haritası.....	31
Şekil 4.11.	Çalışma alanının çizgisellik haritası.....	32
Şekil 5.1.	Kriterlerin önem ağırlıkları.....	42
Şekil 5.2.	Çalışma alanının arıza duyarlılık haritası.....	43
Şekil 5.3.	Duyarlılık sınıflarının çalışma alanındaki dağılım yüzdeleri.....	44
Şekil 5.4.	Test verisinin risk sınıfları içerisindeki dağılımı.....	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Koşullandırma kriterlerine ait bilgiler.....	18
Çizelge 4.2. Kriterler arası ikili karşılaştırma ölçeği.....	33
Çizelge 4.3. Rastgele Endeks.....	36
Çizelge 5.1. Kriterlerin frekans oranlarının hesaplanması.....	40
Çizelge 5.2. İkili karşılaştırma matrisi.	41
Çizelge 5.3. Tutarlılık indeksi, rastgele tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranı.....	42
Çizelge 5.4. Duyarlılık sınıflarının çalışma alanındaki dağılımı.....	44



SİMGELER VE KISALTMALAR

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
ANP	Analitik Ağ Süreci
BÇS	Bulanık Çıkarım Sistemi
BWPHM	Bayesian Weibull Proportional Hazard Model
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CGIS	Kanada Coğrafi Bilgi Sistemi
CWM	Birleşik Ağırlıklandırma Yöntemi
ÇKKDS	Çok Kriterli Karar Destek Sistemi
DIME	Çift Bağımsız Harita Kodlama
EMW	Entropi Ağırlıklandırma Yöntemi
EPR	Evrimsel Polinom Regresyon
FOS	Factor of Safety
FR	Frekans Oranı
GA	Genetik Algoritma
GML	Lojistik genelleştirilmiş lineer modeller
HDPE	High Density Polyethylene
HFES	Hiyerarşik Bulanık Uzman Sistemi
KDS	Karar Destek Sistemleri
MAGI	Maryland Otomatik Coğrafi Bilgi Sistemi
MÖ	Makine Öğrenmesi
MTA	Maden Tetkik ve Arama
PFA	Pixels in Failure Area
PIF	Pixels in Factor Class
PVC	Poli Vinil Clorür
RMSE	Ortalama Karekök Hatası
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TOPSIS	İdeal Çözüme Benzerlik Temeline Dayalı Sıralama Tekniği
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
VIM	Kırılgenlik Belirleme Yöntemi
VİKOR	Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşık Çözüm
YSA	Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler verilerine göre Dünya genelinde, 2020 yılı itibarıyla yaklaşık 2 milyar insanın güvenli içme suyuna erişimi yoktur. Küresel su tüketimi ise son 50 yılda iki katına çıkmıştır ve 2030 yılına kadar su talebinin %40 oranında artması beklenmektedir. Bu durum, su altyapı sistemlerinin sağlıklı işleyişinin önemini vurgulamaktadır (UNESCO, 2020). Türkiye, su kaynakları açısından zengin bir ülke iken, iklim değişikliği, su kaynaklarının azalması ve nüfus artışı nedeniyle suya olan talebin arttığı bir dönemden geçmektedir. Ülke genelinde su altyapısının büyük bir kısmı eski ve yetersiz durumdadır. Su kayıpları %25-40 arasında değişmektedir; bu da yıllık milyarlarca metreküp suyun israfı anlamına gelmektedir (Akıllı ve Özaslan, 2017; Fırat vd., 2021).

Türkiye’de içme suyu şebekelerindeki kayıp kaçakların kontrolü amacıyla 2014 yılında İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğe göre kayıp kaçak oranı büyükşehir ve il belediyelerinde 2023 yılına kadar %30, 2028 yılına kadar ise %25 düzeyine; diğer belediyelerde 2023 yılına kadar %35, 2028 yılına kadar ise %30, 2033 yılına kadar ise %25 düzeyine indirmekle yükümlü kılınmıştır (URL-1). Yönetmeliğin uygulanması amacıyla 2015 yılında İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği yürürlüğe girmiştir (AKATED, 2023; Tuna vd., 2023; TÜİK, 2023).

Su altyapı sistemleri, çağdaş toplumların temel gereksinimlerini sağlamak için hayati öneme sahip unsurlardır. Suyun güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde dağıtımını sağlamak, yalnızca sağlık ve yaşam kalitesi açısından değil, aynı zamanda ekonomik gelişim açısından da hayati bir rol oynamaktadır. Ancak, bu sistemler zamanla çeşitli nedenlerle arızalanabilir; boru sızıntıları, aşınma, dış etkenler ve yetersiz bakım gibi sorunlar, su kaynaklarının israfına ve hizmet kalitesinin düşmesine neden olabilir. Bu bağlamda, su altyapısındaki arızaların erken tespiti ve yönetimi, sistemin verimliliğini artırmak ve kaynakların etkin kullanımını sağlamak için büyük bir önem taşımaktadır (Karabuğa vd., 2021). Su altyapı sistemlerinde meydana gelen arızaların sıklığı, çeşitli kriterlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu arızalar, su kesintilerine ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bir çalışmada, ABD ve Kanada’daki toplam su altyapı uzunluğunun %12.9’unda arıza kayıt verisi olduğu ve bunun da ilgili ülkelerdeki

etkilenen toplam nüfusun %14.5'ine tekabül ettiği aktarılmıştır. Aynı çalışmada, arıza oranlarının son 6 yıla göre %27 yükseldiği ve altyapı sistemindeki boruların büyük bölümünün 50 yaşın üzerinde olduğu ve bu durumun arızaları %46 arttırdığı aktarılmıştır (Folkman, 2018). İçme suyu dağıtım ağları, su temin sistemlerindeki toplam harcamanın %80'ine kadar olan kısmını oluşturmaktadır. Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri'nde her gün 700 su ana borusu arızası meydana gelmekte ve bu yüzyılın başından beri 2 milyondan fazla arıza yaşanmakta, onarım maliyetleri ise 6 milyar Kanada dolarını aşmaktadır. Su borularının arıza riskinin yönetimi, su borularının uzun süreli sağlıklı ve kullanılabilir koşullarda tutmak için düzenleyici önlemler almayı içermektedir (Fares ve Zayed, 2008; Kleiner ve Rajani, 2001).

Son yıllarda, boru altyapı sistemlerinde teknolojik gelişmeler yaşanmaktadır. Akıllı su yönetimi sistemleri, sensörler ve uzaktan izleme teknolojileri sayesinde, arızaların erken tespiti ve su kayıplarının minimize edilmesi hedeflenmektedir (K-water ve IWRA, 2018). Birçok ülke, su altyapısının iyileştirilmesi için çeşitli stratejiler ve politikalar geliştirmektedir.

Literatürde su altyapı sistemlerindeki arızalar konulu çalışmalar incelendiğinde araştırmaların büyük bölümünün Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı/destekli uygulamalarla gerçekleştirildiği görülmüştür. Literatürdeki bu çalışmalarla ilgili detaylı bilgi ve örnekler “Kaynak Özetleri” başlığı altında sunulmuştur. Su altyapı sistemlerindeki arızaların tespiti ve analizi konulu çalışmalarda CBS kullanımı farklı başlıklar altında gerçekleştirilmektedir. Çalışmaların bir kısmı veri toplama ve haritalama başlığı altında yürütülmektedir. Su altyapısına ait boru hatları, vanalar, pompalar vd. altyapı unsurlarının haritaları oluşturulur. Bu haritalar, arızaların yerinin hızlıca belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Garaci ve Zhang, 2009; Zhao vd., 2019). Analiz ve modelleme çalışmaları bünyesinde CBS ile, su akışı ve basıncı simüle edilerek potansiyel arıza noktaları analiz edilebilmektedir (Hariri vd., 2012; Kadhim vd., 2021). Böylece bakım ve onarım ihtiyaçları önceden tespit edilebilmektedir. Arıza yönetimi ise CBS tabanlı/destekli su altyapı arızaları konulu çalışmaların bir diğer dalıdır. Bir arıza meydana geldiğinde CBS, arızanın yerini ve etkilediği alanları belirlemek için kullanılabilmektedir. Bu durum müdahale süresini kısaltmakta ve kaynakların daha etkili bir şekilde dağıtılmasını sağlamaktadır (Bozkurt vd., 2022; Hedi vd., 2022). CBS sayesinde su altyapı sistemlerinin durumu izlenerek bakım zamanlaması tespit

edilmektedir (Christodoulou vd., 2006; Moreno, 2003). CBS, tüm bunlara ek olarak, arıza durumunda farklı ekiplere (mühendisler, teknisyenler, yöneticiler vb.) hızlı bir şekilde bilgi paylaşımı sağlayarak koordinasyonu arttırmaktadır (Baird vd., 2018; Halfawy vd., 2002; Tuhovčák ve Ručka, 2009). Tüm bu yönleriyle CBS, su altyapı sistemlerindeki arızaların tespiti, analizi ve arızalara müdahale çalışmalarının daha etkin bir şekilde yürütülmesine fayda sağlamaktadır.

Su ana borusu arızaları, su temininde kesintiler, su israfı, yakınlardaki altyapılara zarar, trafik sıkışıklıkları ve vergi mükelleflerinin parasıyla yüksek bakım masrafları gibi birçok probleme yol açmaktadır (Ahmad vd., 2023). 2023 yılında yedincisi düzenlenen “Su Kayıp ve Kaçakları Forumu ve Sergisi” raporu; Türkiye’de kayıp-kaçak su oranının istatistiklere göre yüzde 35 civarında olduğunu belirtmektedir (AKATED, 2023). Mersin de ki su idarelerince yapılan araştırmalarda su kayıp kaçak oranı 2014 yılında %46,79 iken 2016 yılında %44,93 olarak tespit edilmiştir (Akıllı ve Özaslan, 2017).

Temiz su altyapı sistemlerinde meydana gelebilecek arızalar hem kentleri yönetenleri zor durumda bırakır hem de kent sakinlerinin yaşamını olumsuz yönde etkiler. Su dağıtım borularının bulunduğu arazi ve diğer birçok çevresel kriter arıza oluşabilme potansiyelini içinde barındırmaktadır.

Belirlenen 9 kriterin temiz su altyapısında arıza oluşturma potansiyelleri bu çalışma kapsamında araştırılmıştır. Bağımsız kriterlerin (bina yoğunluğu, nüfus, yükseklik, eğim, bakı, litoloji, toprak türü, çizgisellik) elde edilen sonuca hangi derecede katkı yaptığı irdelenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, çalışma alanı olarak seçilen Mersin ili Yenişehir ilçesinde Frekans Oranı (FO) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemleri kullanılarak arıza duyarlılık haritasının oluşturulmasıdır. Literatürde su boru arıza tahminleri üzerine yapılan çalışmalarda FO ve AHP yöntemlerinin birlikte kullanılarak oluşturulduğu hem ülkemizde hemde dünyada benzer bir çalışma bulunmamaktadır. Başka alanlarda ve araştırmalarda, örnek vermek gerekirse heyelan duyarlılığı gibi çalışmalarda FO ve AHP yöntemleri birlikte kullanılmıştır (Demirel ve Hastaoğlu, 2022; Yalçın vd., 2011). Bu nedenle literatüre su arıza duyarlılık haritalarının üretilmesi konusunda yeni bir yaklaşım getirilmiştir. Su arıza duyarlılık haritasının üretilmesi için literatür

araştırması sonucunda 9 kriter belirlenmiştir. Bu kriterler; toprak türü, yola uzaklık, eğim, yükseklik, jeoloji, nüfus yoğunluğu, çizgisellik, bakı, bina yoğunluğudur. Bu kriterlerin önem dereceleri AHP yöntemi ile belirlenmiş ve duyarlılık haritası üretilmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında kaynak araştırmaları başlığı altında literatürdeki benzer çalışmalar incelenmiştir. Su borusu arızalarının tespiti ve analizinde kullanılan yöntemler tanıtılmıştır. Çok kriterli karar destek sistemleri, istatistiksel yöntemler, makine öğrenmesi yaklaşımları, hidrolik yaklaşımlar, olasılıksal yaklaşımlar ve birden fazla yöntemin entegrasyonu başlıkları altında ve ek olarak bu çalışma kapsamında kullanılan FO ve AHP yöntemleri hakkında daha detaylı bir literatür özeti sunulmuştur.

Çalışmanın üçüncü bölümünde arıza duyarlılık haritası elde etmek için kullanılan materyal ve yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Çalışmada kullanılan kriterlerin hem literatürdeki başka çalışmalardaki kullanım şekillerine değinilmiş hem de bu tez çalışması dahilinde kullanım sebepleri ve etkileri aktarılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde elde edilen bulgular analizleri ile birlikte sunulmuştur. Çalışma alanındaki gerçek arıza verileri ile elde edilen duyarlılık haritası mukayese edilmiştir. Son olarak benzer çalışmalardaki sonuçlar ile bu çalışmada elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Ayrıca, bu bölümde çalışmanın literatüre sağladığı katkılar ve sahip olduğu sınırlamalar ele alınmıştır.

Çalışmanın son bölümünde ise elde edilen bulgular hakkında genel bir değerlendirme yapılmıştır. Kullanılan yöntemin başka lokasyonlarda uygulanabilirliği hakkında yorumlar yapılmıştır. Aynı zamanda bu çalışmanın devamı niteliğinde ileriye dönük gerçekleştirilmesi planlanan araştırma konularına değinilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Boru arızaları ile ilgili literatürdeki çalışmalar detaylı incelendiğinde, farklı yöntemler ve yaklaşımlarla analizlerin gerçekleştirildiği görülmektedir. Yapay sinir ağları, regresyon analizleri, istatistiksel metotlar, makine öğrenmesi, hidrolik yaklaşımlar, karar ağaçları, analitik hiyerarşi süreci vb. birçok metot kullanılmış, su arızaları ile ilgili detaylı analizler yapılmıştır.

2.1 Çok Kriterli Karar Destek Sistemleri (ÇKKDS)

Karar Destek Sistemleri (KDS), modelleri, veri tabanlarını ve diğer karar verme araçlarını bir araya getirip entegre eden, bu kaynakları karar vericilerin kullanımına sunan, etkileşimli, esnek ve uyarlanabilir bir yazılım sistemini ifade eder. Bu sistemler, karmaşık karar problemlerinin çözümüne yardımcı olmayı amaçlar (Çağlayan, 2022). Literatürde çok kriterli karar destek sistemlerine örnek olarak AHP, Analitik Ağ Süreci (ANP - Analytic Network Process), Bulanık AHP (Fuzzy AHP - FAHP), Bayesian karar teorisi vb. yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Vladeanu ve Matthews (2019) çalışmalarında AHP yönteminden faydalanan risk tabanlı bir boru arıza potansiyeli modeli oluşturmuştur. Çalışmada 14 kriterin (boru yaşı, uzunluğu, çapı, derinliği, toprak türü, sismik özellik, trafik, yapı uzaklığı, arazi kullanım türü vb.) arızalara olan etkisi incelenmiş ve kriterler arasında ağırlıklandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çıkarılan modelin su borusu bozulma modelleri ile entegrasyonu, kamu hizmeti yöneticilerinin kritik yatırım ihtiyaçlarını daha verimli bir şekilde önceliklendirmelerine yardımcı olabileceği aktarılmıştır. Ekonomik, sosyal ve çevresel kriterlerin araştırıldığı çalışmada, ekonomik kriterlerin diğer kriterlere göre daha etkili olduğu çıkarımı yapılmıştır.

Mesalie vd. (2021) çalışmalarında Etiyopya'daki bir üniversite kampüsü için AHP yöntemiyle boru yaşı, materyali, basıncı, çapı, uzunluğu gibi kriterleri incelemiş ve 2473 metrelik boru hattı verisini analiz etmiştir. AHP yöntemi ile değerlendirilen sonuçlara göre, yapısal risk en yüksek ağırlıklı puanı (yüzde 76) almıştır, bu da tüketici noktası riskinden (yüzde 24) daha öncelikli olduğunu göstermektedir.

Taiwo vd. (2023) yayınladıkları bir çalışmada, su dağıtım ağlarının (Water Distribution Networks- WDN) AHP ve Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis –

FTA) yöntemlerinden faydalananak sistematik bir incelemesini yapmışlardır. Su borusu arıza nedenleri üç ana kategoriye ayrılmıştır: boruya bağlı nedenler, çevreye bağlı nedenler ve işletme ile ilgili nedenler. Bu çalışmada, bu alanda çalışan akademisyenler ve uygulayıcılar için su borularının arızasına katkıda bulunan çeşitli kriterler (boru yaşı, çapı, uzunluğu, malzemesi, kalınlığı, derinliği, toprak özellikleri, iklim özellikleri vb.) hakkında görüşler sunulmuş ve ek olarak, sürdürülebilir ve dayanıklı bir WDN tasarımı için faydalı olacağı aktarılmıştır.

AHP ve Bulanık AHP (FAHP) yöntemlerinin ikisi de ÇKKDS kümesinde yer almaktadır, ancak belirsizliğin nasıl ele alındığı ve verilerin nasıl işlendiği açısından farklıdır. FAHP, AHP yöntemine bulanık mantık unsurlarını entegre eder. Bu, belirsizlikle ve net olmayan verilerle başa çıkmak için kullanılır. AHP yönteminde net sayılarla ifade edilen karşılaştırmalar; FAHP yönteminde bulanık sayılar ve dilsel ifadelerle gerçekleştirilebilir (Mikhailov ve Tsvetinov, 2004).

Özetle; FAHP, AHP'nin bulanık mantıkla uzantısı olarak düşünülebilir. AHP'ye göre daha esnek yapıdadır. Bulanık sayılar veya dilsel ifadeler (belirsiz veriler) kullanılır. Karşılaştırmalar bulanık verilerle yapılır. Bu yönüyle AHP'ye göre daha karmaşık hesaplamalar gerektirir.

Pouri ve Heidarmozaaffar (2022) yaptıkları çalışmada, geçmiş arızaların mekansal bilgisine dayanan Bulanık Çıkarım Sistemi (BÇS) kullanılarak boru ağlarında mekansal analiz ve arıza riskinin değerlendirilmesi için FAHP tabanlı bir çerçeve sunmuşlardır. Daha önce gözlemlenen boru kırılma sayısı, malzeme, yaş, uzunluk ve çap gibi parametreler, kentsel su dağıtım şebekelerinde arıza risk alanlarının belirlenmesi için kriterler olarak seçilmiştir. Sonuçlar, malzeme kriterinin boru arızasında en önemli kriter olduğunu (yüzde 22 pay ile) göstermekte, ardından uzunluk, yaş ve çap gelmektedir. İran'ın Tuyserkan şehrine ait test verileri üzerinde uygulanan yöntemin Ortalama Karekök Hatası (RMSE) 0.38 olarak hesaplanmıştır.

Karasneh ve Moqbel (2024) yayınladıkları bir makalede, su dağıtım ağı rehabilitasyon projelerini önceliklendiren, sağlamlık, maliyet yönünden etkin ve uyumlu bir model sunmayı amaçlamış ve FAHP yöntemi kullanmışlardır. Çalışma, büyük ölçekli su ağının (Ürdün'ün Jordan şehri için) rehabilitasyonunda önceliği olan ana kriterleri incelemiştir. Çalışmaya dahil edilen kriterleri; fiziksel kriterler (boru yaşı, malzemesi,

montaj şekli vb.), operasyonel kriterler (basınç, sızıntı/kırılma verisi, kullanım tipi vb.), sosyoekonomik kriterler, toprak özelliklerini de içeren çevresel kriterler oluşturmaktadır. Bu kategorilerin her biri uzmanlar ve idareciler tarafından değerlendirilmiş ve ağırlıklandırılmıştır. Sonuçlar, fiziksel kriterlerin karar verme sürecinde en yüksek ağırlığa sahip olduğunu göstermiştir. Tersine, sosyoekonomik ve çevresel kriterler, karar verme sürecinde en düşük ağırlığa sahiptir. Test sonuçları, modelin karar vericiye sağlam bir öncelik listesi sunmada başarılı olduğunu göstermiştir.

Su altyapı sistemlerindeki arızaların tespiti ve analizleri konulu çalışmaların istatistiksel yöntemlerle yapılması 1980'li yıllara dayanmaktadır. Andreou vd. (1987), ABD'nin Philadelphia ve Buffalo şehirleri için iki farklı istatistiksel model ile (Orantılı Risk Modeli ve Poisson Regresyonu) (Proportional Hazards Model ve Poisson-type Model) boru arıza riskine, çeşitli boru özellikleri (boru uzunluğu, çapı, malzemesi, basıncı vb.), daha önceki arıza verileri ve çevresel özellikleri (toprak geçirgenliği, stabilitesi, arazi kullanım türü vb.) içeren kriterlere bağlı olarak, her bir boru düzeyinde büyük bir ayrıntıyla odaklanmıştır. Çalışmada boru yaşının beklenen aksine arıza riski ile doğru orantılı olmadığı çıkarımı yapılmıştır. Orantılı Risk Modeli'nin uzun vadede arızalanması beklenen boruları tahmin etmede daha başarılı; Poisson Regresyonu'nun ise kısa vadedeki boru arıza risklerini tahmin etmede daha uygun olduğu sonucu çıkarılmıştır. Poisson Regresyonu'nun çalışma bazında diğer yöntemlere göre daha anlamlı sonuçlar verdiği de eklenmiştir.

2.2 İstatistiksel Yöntemler

Günümüzde endüstri, yönetim, üniversiteler ve ilgili araştırma merkezlerinde, "Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz Teknikleri" geniş bir kullanım alanı bulmakta ve giderek artan bir şekilde uygulanmaktadır. Bu teknikler, farklı sektörlerde veri analizi, karar destek ve problem çözme süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır.

İstatistiksel analizlerin amacı, bir konuda yapılan çalışmaların sayısal olarak ifade edilebilir sonuçlarını özetlemek, yorumlamak ve bu sonuçları karar verme süreçlerinde kullanmaktır (Tatlıdil, 2002). Bu analizlerde, birbiriyle ilişkili ya da bağımsız olan çok sayıda değişken dikkate alınarak, aralarındaki bağımlılık yapıları incelenir ve analiz edilir.

FO yöntemi, yoğunluk analizini baz alır. Temel prensip, tüm parametrelerin CBS'ye aktarılması ve envanter haritaları ile yoğunluk analizinin yapılmasına dayanmaktadır (Başara vd., 2020; Lee ve Talib, 2005).

FO, heyelan duyarlılık haritaları, sel risk haritaları, orman yangın risk analizleri ve deprem duyarlılık analizlerinde kullanılmaktadır (Ayazi vd., 2010; Choi vd. 2012; Lee ve Pradhan, 2007; Mohammady vd. 2012; Pradhan ve Lee, 2010a, 2010b; Park vd. 2013; Vakhshoori ve Zare, 2016). FO, heyelan duyarlılık haritalaması için de sıklıkla ve etkili bir şekilde kullanılmaktadır (Chen vd., 2014; Khan vd., 2019; Wu vd., 2016).

Bağımlı kriterler arasındaki mekansal ilişkiler, iklimsel, topoğrafik ve yerel kriterler gibi sel oluşturan belirleyiciler için seçilen eğitim noktalarına dayanarak belirlenmiştir. Bu kriterler, bu araştırmada analiz edilen bağımsız kriterler olarak eklenmiştir. FO modeli, dünya genelindeki çeşitli sel riski altındaki bölgelerde sel duyarlılığı ve güvenlik konularının incelenmesinde başarıyla kullanılmıştır (Clerici vd., 2002; Khosravi vd., 2016; Kılıçoğlu, 2020; Termeh vd., 2018; Vijith ve Madhu 2008; Waqas vd., 2021).

Lojistik genelleştirilmiş lineer modeller (GLM), altyapı sistemlerindeki arızalar gibi sayım verilerinin regresyon analizi için yaygın olarak kullanılan bir genelleştirilmiş doğrusal modeldir. Lojistik GLM, belirli bir boru segmentinde kırılma olasılığını tahmin etmek için sağlam bir temel sağlayabileceğini göstermektedir. Lojistik genelleştirilmiş doğrusal modeller, boru güvenilirliği için iyi tahminler sağlamakta ve su idareleri için boru inceleme ve bakım planlamasında yararlı olabilmektedir. Bu model sıfır sayıları açıkça modellediğinden, birçok durumda bir kırılma sayısını tam olarak tahmin etmektense, en az bir kırılma olasılığını tahmin etmek su hizmet sağlayıcıları için daha faydalıdır; çünkü burada bir kırılma olması, genellikle bir onarım çalışması yapılması için yeterli bir gerekçedir. Lojistik GLM'nin, su hizmeti yöneticilerinin boru ağlarında boru kırılma riski tahminlerine dayalı olarak denetim rejimleri seçmelerine yardımcı olabilecek faydalı sonuçlar sağlayabileceğini gösterilmiştir (Yamijala vd., 2009).

2.3 Makine Öğrenmesi Yöntemleri

Makine öğrenmesi, insan zekasını taklit etme yaklaşımı ile üretilmiş hesaplamalı algoritmaların gelişen bir dalıdır (Özdemir, 2023). Yapay zeka uygulamalarının bir alt kümesinde olan makine öğrenmesi, derin öğrenmenin bir üst katmanında konumlanmaktadır. Makine öğrenmesi uygulamaları birtakım sayısal algoritmalar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Kullanılan algoritmalar, girdi olarak tanımlanan büyük veri kümelerindeki kalıpları ve korelasyonları bulmak ve veriler üzerindeki analizler neticesinde en iyi kararları ve tahminleri yapabilmek için eğitilirler. Algoritmaların eğitilmesinde kullanılan veri kümesi yeterince fazla veriye sahip olduğunda makine öğrenmesi uygulamaları da daha doğru sonuçlar üretirler (Gökalp, 2022). Su arıza tahmini çalışmalarında makine öğrenmesi yönteminin kullanılabilmesi için boru hattı verilerine (uzunluğu, yaşı, çap) ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü makine öğrenmesi algoritmalarına arıza olan noktaların tanımlandığı gibi arıza olmayan noktaların da tanımlanması gerekmektedir. Aksi halde algoritma sadece arıza olma durumunu öğrenecek ve her durum için çıktı olarak yalnızca arıza olacağı sonucunu verecektir. Ek olarak, literatürdeki çalışmalar incelendiğinde makine öğrenmesi yöntemlerinin kullanıldığı çok sayıda çalışma mevcut olması da bu yöntemlerin tercih edilmemesinin bir başka nedenidir.

Kumar vd. (2018) çalışmalarında; makine öğrenmesi algoritmaları [Karar Ağaçları, Lojistik Regresyon, Adaptif Artan Güçlendirme (AdaBoost), Rastgele Orman, Gradyan Artırmalı Karar Ağaçları (Gradient Boosted Decision Trees)] kullanarak modellerin hangi ana boruların arızalandığına yönelik kırılma tahmin etme yetenekleri değerlendirilmiştir. ABD'nin New York eyaletinde yer alan Syracuse şehrine ait geçmişteki arıza envanteri verileri, boruların tanımlayıcı özellikleri (boyut, malzeme, dayanıklılık, sınıflandırma vb.) ve diğer veri kaynakları kullanılarak, bahsedilen modellerin üç yıl sonrasına yönelik kırılma tahmin etme yetenekleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar, Gradyan Artırmalı Karar Ağaçları kullanan sistemin, birkaç algoritma ve uzman görüşlerine kıyasla en iyi performansı sergilediğini, %1'lik verinin 0.62 doğruluk değerine ulaştığını göstermektedir.

Su arıza analizlerinde boru çapı, uzunluğu, yaşı, malzemesi, kalınlığı, toprak türü, yol tipi, basınç kriterlerinin kullanıldığı bir başka çalışmada ise YSA yaklaşımı ile boru arızaları 14 yıllık bir veri seti kullanılarak incelenmiştir (Jafar vd., 2010). Çalışma,

boru tiplerine göre kullanılan 6 farklı YSA yaklaşımının, kentsel su şebekesinin bakım ve yenilenmesi için optimal yatırım stratejisinin oluşturulmasında karar vericilere etkili bir şekilde yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Aşırı öğrenme makine modeli kullanılarak gerçekleştirilen bir başka çalışmada (Sattar vd., 2019), 9508 arıza verisi; 7131 eğitim ve kalanı da test verisi olmak üzere ayrılmıştır. Modelin sağladığı çıktılar; su ana hattı muayenesi, bakımı ve yenilenmesi için planlama ve bütçeleme yapılırken faydalı bilgiler sunmaktadır. RMSE (Root Mean Squared Error - Kök Ortalama Kare Hatası) değerleri, hem eğitim hem de test veri setleri için benzer seviyelerde olup 0.09 ile 0.17 arasında değişmektedir. Yapay sinir ağları, boru arızalarının incelenmesi ve tahmin çalışmalarında sıklıkla kullanılmıştır (Christodoulou vd., 2010; Fan vd., 2022; Giraldo-González ve Rodríguez, 2020; Harvey vd., 2014; Konstantinou ve Stoianov, 2020).

Literatür incelendiğinde boru arızalarının tahmini çalışmalarında makine öğrenmesi yöntemleri sıklıkla kullanılmış ve arızalara sebebiyet veren kriterler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur (Fitchett vd., 2020; Jafar vd., 2010; Kumar vd., 2018; Liu vd., 2022; Snider ve McBean, 2020; Zhang vd., 2018; Zhang ve Ye, 2021; Zhou vd., 2017).

2.4 Hidrolik Yaklaşım Yöntemleri

2014 yılında yayınlanan bir çalışmada, Ortalama Aşınma Hızı (Average Corrosion Rate) ve Normalleştirilmiş Kırılma Derinliği (Normalised Pit Depth at Failure) metodları kullanılarak boru arızaları analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan etken kriterler: boru çapı, malzemesi, uzunluğu, önceki kırılma sayısı ve kırılma türüdür. 6181 tane arıza verisi içeren çalışmanın sonucunda, en çok arızaya sebebiyet veren boru malzemeleri ve arıza türleri belirlenmiştir. En etkili kriterin boru yıpranmaları olduğu, onu takip eden kriterlerin ise basınç değişimleri ve trafik yükü olduğu aktarılmıştır (Rajeev vd., 2014).

Boru uzunluğu, boru çapı, tamir süresi, basınç gibi kriterlerin boru arızalarına olan etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmada, EPANET yazılımı aracılığıyla simülasyon gerçekleştirerek arıza riski analizi gerçekleştirilmiştir. İki bölge üzerinde gerçekleştirilen simülasyonda 158 km uzunluktaki boru verisi ve 5 pompa istasyonu verisi simüle edilmiştir. Çalışmanın bulguları boruların arızalanması sonucu su

temininde basınç dalgalanmalarına en fazla maruz kalan bölgeleri tespit etmekte kullanılmıştır (Pietrucha-Urbanik ve Studziński, 2019). Bu çalışmanın akabinde yayınlanan benzer bir çalışmada ise, 4 ana boru hattı aynı şekilde EPANET yazılımı aracılığıyla hidrolik yaklaşımlarla simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçları, su temininde aksama sonucu ana boruların su arıtma tesisine yakın bölgelerdeki arızalar nedeniyle etkilenen nüfus (tüketici) sayısını belirleyerek arızaların sonuçlarını tespit etmeyi mümkün kılmıştır. Bu veriler, arıza oranıyla birlikte, su temininde aksama riski haritalarını hazırlamak için kullanılmıştır (Boryczko vd., 2021). Literatürde hidrolik yaklaşımlarla gerçekleştirilen benzer simülasyonlar ve ampirik çözümler, su dağıtım ağında meydana gelen basınç değişiklikleri de dahil olmak üzere su temin sisteminin özelliklerini belirlemeyi sağlamıştır (Boryczko ve Tchórzewska-Cieślak, 2014; Choi ve Koo, 2015; Pietrucha-Urbanik ve Studziński, 2017; Piratla vd., 2015).

EPANET uygulaması basit uygulamalar için uygundur fakat çok ayrıntılı ve karmaşık sistemlerde sınırlı kalabilir. Bazı durumlarda modelleme sonuçları gerçek sistemle uyuşmayabilir, ince ayar gerekebilmektedir. Yine bu uygulamayı kullanabilmek için su borusu hattı verilerine de ihtiyaç duyulmaktadır.

2.6 Birden Fazla Yöntemin Entegrasyonu

Çevresel kriterlerle karşılaştırıldığında, fiziksel kriterlerin boru arıza oranını önemli ölçüde etkilediği bulunmuştur. Bir şehrin boru ağı, boru malzemesi, yaş gibi özellikler açısından sürekli değiştiğinden, tek bir model bu karmaşık sistemin arıza oranı hakkında yeterli içgörü sağlayamaz. Bu nedenle, boru ağının bozulma oranı ve malzeme türüne dayalı olarak ağın durumunu değerlendirmek için tek bir model yerine model kombinasyonlarının kullanılması önerilmektedir (Kimutai vd., 2015).

Bu konuda literatürdeki çalışmalar genellikle istatistiksel ya da fiziksel temelli kriterlere dayanmaktadır. 2022 yılında yayınlanan bir çalışmada hem istatistiksel hem de fiziksel temelli kriterleri entegre eden bir bozulma modeli geliştirilmiştir. Bu bağlamda, bu makale, su dağıtım borularının arıza oranı, iç basınç ve gömme derinliğini bir endekse, 'bozulma oranı' olarak adlandırılan bir göstergeye dönüştüren bulanık tabanlı bir bozulma modeli sunmaktadır. Önerilen modelin sonuçları, su hizmetleri sağlayıcılarının maliyet etkin yenileme ve rehabilitasyon planları geliştirmelerine olanak tanımaktadır (Zarghami, 2022). Su altyapı arızalarının

sebeplerini araştırmak için literatürde birçok çalışmada farklı yaklaşım ve metotlar birlikte kullanılmıştır. Modellerin performansları karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır (Christodoulou vd., 2010; Dawood vd., 2020; Konstantinou ve Stoianov, 2020; Kleiner ve Rajani, 2001).

Kendi alışmamızda elde ettiğimiz veriler kullanarak en iyi sonuçları nasıl elde edilebileceğine dair analizler ve çalışmalar yapılmıştır. Verilerin durumu göz önüne alındığında AHP ve FO yöntemlerinin çalışmamız için uygun yöntemler olabileceğine karar verilmiştir.



3. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS)

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve coğrafyadaki nicel devrimin etkisiyle, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) 1960'larda ortaya çıkmıştır.

CBS, coğrafi dünyanın fiziksel ve mantıksal özelliklerini tanımlayan bilgileri toplamak, analiz etmek ve sunmak için kullanılır. Coğrafi referanslı veriler, yeryüzündeki bir konuma ait mekânsal verilerdir (Burrough, 1986; Shekhar vd., 1997).

CBS; verilerin girilmesi, işlenmesi, analizi ve sunulmasını sağlayan yazılım, donanım, veri ve personelin bir bütünüdür. Bu sistem, dünya yüzeyindeki belirli bir konuma ilişkin bilgilere erişim imkanı tanımaktadır. Yazılım, donanım, veri ve uzman kadrodan oluşan bu yapı; bu bilgilere ulaşmayı, düzenlemeyi, analiz etmeyi ve görüntülemeyi mümkün kılmaktadır. CBS için farklı tanımlar bulunmaktadır; bu tanımlar, farklı bakış açıları veya disiplinlerden kaynaklanmaktadır. Bazıları harita bağlantısına odaklanırken, bazıları veri tabanı ya da yazılım araç setini vurgulamakta, diğerleri ise karar destek gibi uygulamalara önem vermektedir. CBS'yi tanımlamak, ya ne yapabileceğini (fonksiyonlar) açıklamakla ya da bileşenlerine bakmakla mümkündür. Her iki yaklaşım da CBS'yi gerçekten anlamak ve onu en iyi şekilde kullanmak için önemlidir (Ali, 2020).

CBS, farklı verileri genel coğrafya temelinde birleştirerek, kolayca fark edilemeyen gizli ilişkileri, desenleri ve eğilimleri ortaya çıkarabilir ve bilinçli karar vermeyi destekleyen yeni bilgiler oluşturabilir (Farroukh ve Farroukh, 2019).

Bu nedenledir ki su kaynaklarının doğru yönetilebilmesi için belli sınıflandırmalarla tahmin ve kontrol edilebilmesini sağlayan Coğrafi Bilgi Sistemlerine ihtiyaç vardır. Dünya genelindeki su sektörü, suyun kalite ve miktarıyla ilgili çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Nüfus artışı hızla devam ederken, su kaynakları giderek azalmaktadır. Dünya çapındaki su hizmetleri, suyu korumak ve su kayıplarını azaltmak için su temin sistemlerinin operasyonel ve verimli yönetimi konusunda etkili bir plan geliştirmeye çalışmaktadır (Obaid, 2013).

Su kaynakları analizinde ilk CBS'nin kullanımı 1974 yıllarına dayanmaktadır. 1974 yılında, ESRI, Maryland Eyalet Planlama Departmanı ve Maryland Üniversitesi, Maryland Otomatik Coğrafi Bilgi Sistemi'ni (MAGI) geliştirmiştir (Antenucci, 1982).

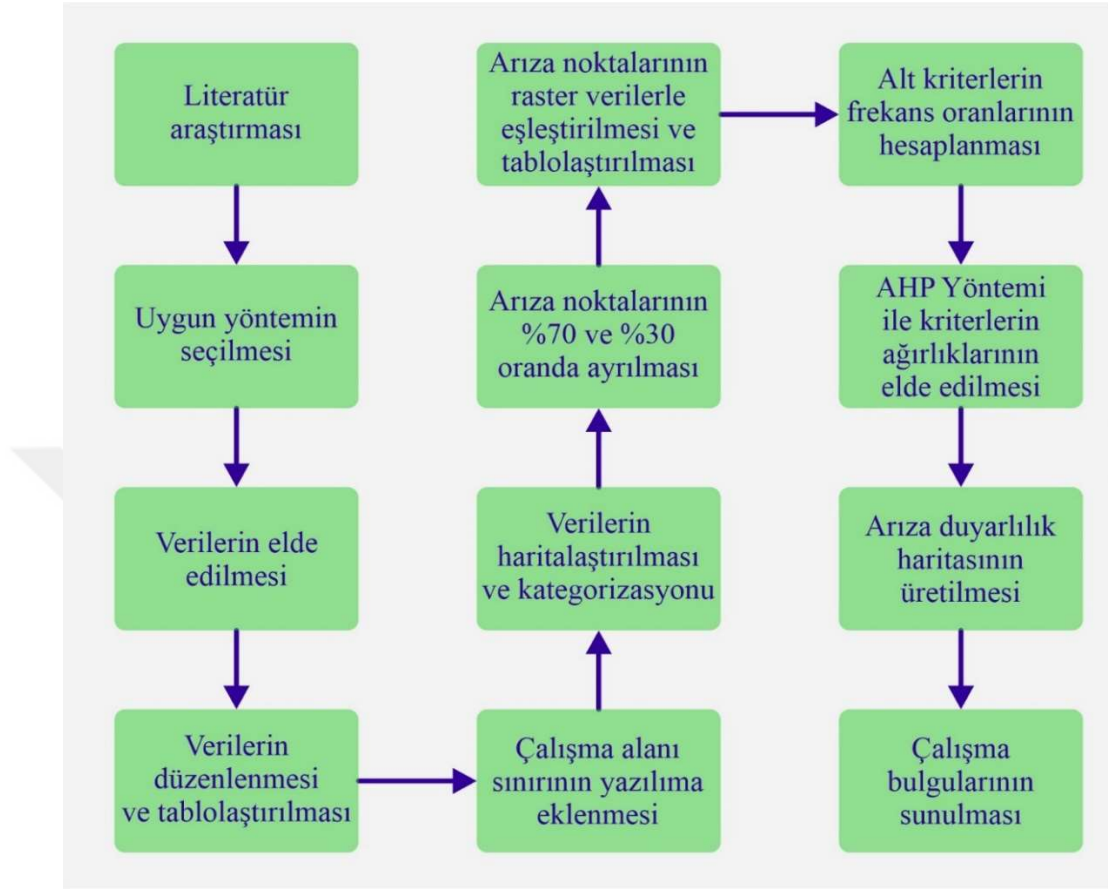
MAGI'nin uygulandığı projeler arasında tarımsal alan haritalaması, eyalet genelinde açık alan planlaması, kıyı kullanımı analizleri, enerji santrali yerleştirme, su kalitesi değerlendirmeleri, petrol sızıntısı acil durum planları ve habitat araştırmaları bulunmaktaydı.

1983 yılında ARC/INFO'nun piyasaya sürülmesi, su kaynakları uzmanları ve mühendislerin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçlarıyla daha fazla etkileşim kurmasının önünü açtı. 1984'te, ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) ve Connecticut Çevre Koruma Departmanı, otomatik CBS kullanımını ve mekânsal doğal kaynak verilerinin oluşturulması, saklanması, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi yeteneklerini ilerletmek amacıyla iş birliği yaptı. ESRI tarafından geliştirilen ARC/INFO yazılımı, temel CBS aracı olarak tercih edilmiştir. Dört farklı “model” uygulama geliştirildi: Sanayi Alanı Seçim Modeli, Kamuya Ait Su Kaynakları için Yeraltı Suyu Araştırma Modelini, Endüstriyel saha seçimi, 7 günlük, 10 yıllık düşük akış modeli oluşturmuştur. Bu çalışma, muhtemelen su kaynakları için tam anlamıyla geliştirilmiş ilk bütünleşik CBS ve modelleme uygulamalarının temelini attı. Projenin temel hedefi, eğim, toprak yapısı, sulak alanlar, taşkın riski, çevresel açıdan hassas bölgeler, su kalitesi, arazi kullanımı ve altyapı hizmetlerinin erişilebilirliği gibi faktörleri dikkate alarak işletmelere Connecticut bölgesine taşınma süreçlerinde rehberlik etmektir (Dixon ve Uddameri, 2016; Tona vd., 2022).

Coğrafi Bilgi Sistemleri ile geniş alanlarda ve devamlı algılama yapan uydu görüntüleri, su arızalarına sebep olabilecek fiziksel kriterlerin analizinin yapılmasını kolaylaştırmaktadır. Uzaktan algılama ile uydu görüntülerinden gerekli olan veriler elde edilerek ve su arıza risk analizi yapılarak, meydana gelebilecek arızalar önceden tahmin edilmesini sağlayabilir. Ayrıca beşeri kriterler (Nüfus, Bina) ve insanlar tarafından kullanılan yollar, boruları içerisinde barındıran toprak, jeoloji özellikleri de eklenerek daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1 Çalışma Metodolojisi



Şekil 4.1. Çalışma adımları ve metodoloji.

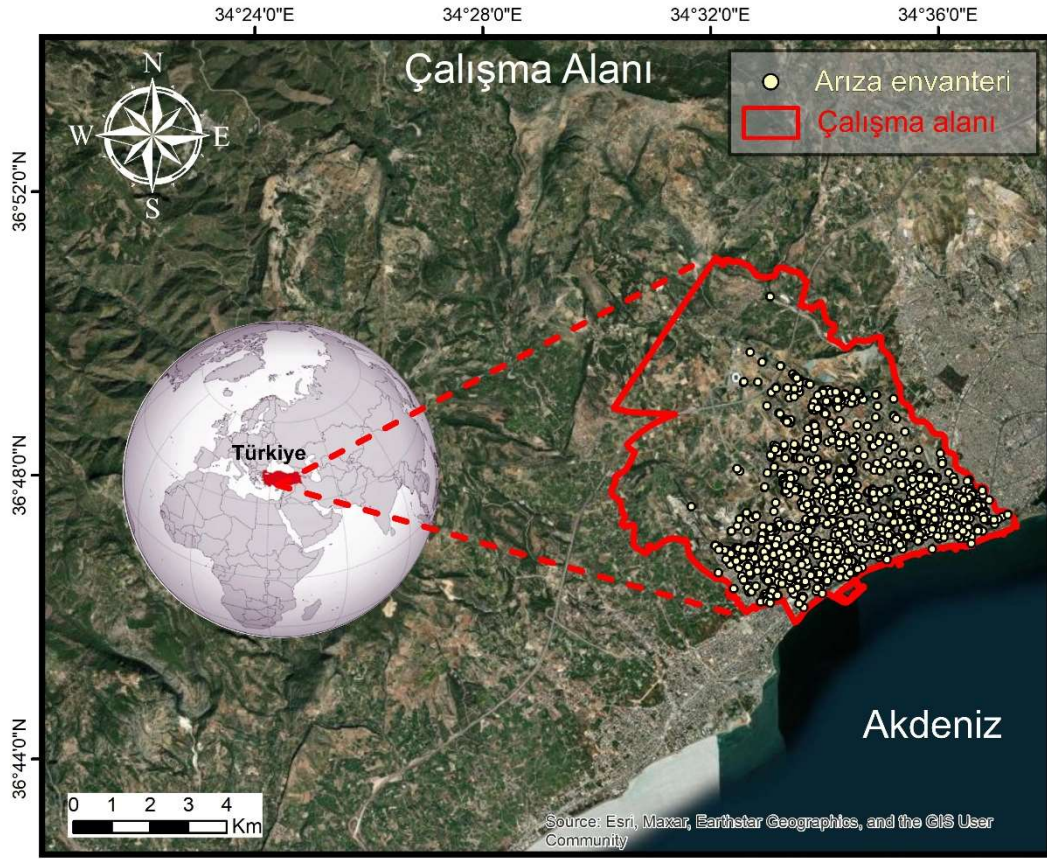
Su arızalarıyla alakalı olarak kullanılan tüm yöntemler, kriterler kaynak özetlerinde incelenen birçok ulusal ve uluslararası yayın analiz edilerek tespit edilmiştir. Literatürde bulunan yöntemler incelenerek çalışma alanı; elde edilen verilere uygun olacak bir şekilde ise seçilecek yöntemlere karar verilmiştir. Şekil 4.1, çalışma adımlarını özetlemektedir.

Çalışmadaki duyarlılık haritalarının üretilmesinde ve görüntü analizlerinde birçok çalışmada olduğu gibi CBS yazılımlarından ArcGIS/ArcMap 10.3 paket programından faydalanılmıştır. Çalışma alanına ait topoğrafik ve tematik haritalar kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanında parametre haritaları üretilmiştir.

Elde edilen tüm veriler sınıflandırılıp, ArcGIS programında analizlere uygun hale getirilmiştir. Duyarlılık haritası AHP ve FO yöntemleri kullanılarak gerçek arıza verileri ile karşılaştırılmış ve analiz sonuçları elde edilmiştir.

4.2 Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Mersin ili Yenişehir ilçesi seçilmiştir. Çalışma alanı, 34°30'-34°38' doğu boylamları, 36°45'-36°51' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Çalışma alanı 56 km² yüzölçümüne sahip olup Akdeniz iklim kuşağında yer almaktadır. Mersin ilinin Yenişehir ilçesinin yüzölçümü diğer ilçelere nazaran küçük olmasına rağmen merkez ilçelerdendir ve nüfus yoğunluğu hızla artmaktadır. Sahil bandından kuzeye doğru dağlık alanları ve bazı yaylaları da içinde barındıran bu ilçe farklı tipte arazi kullanım çeşitlerini içermektedir. Arazi ve toprak tiplerindeki değişimlere ek olarak, yerleşim tarihleri açısından da farklı bölgeler içermekte ve bu durum da temiz su altyapı borularının niteliklerindeki farklılıkları beraberinde getirmektedir. Bu alan için su arıza tahminleri yapılması, belediyeler için gereksiz su kayıplarının önlenmesi, kuraklığın azaltılması ve mali kayıpların azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. İlçenin 2020 yılında %44,24 su kayıp oranı bulunmaktadır (URL-2). Bu oran normal su şebeke hatları için çok yüksek bir orandır. Şekil 4.2'de çalışma alanı görülmektedir. Kırmızı sınırlarla çevrili bölge çalışma alanını gösterirken, sarı noktalar ise arıza envanterindeki her bir arıza noktasının konumunu temsil etmektedir.



Şekil 4.2. Çalışma alanı haritası.

4.3 Su Arıza Envanteri

Su arızaları birçok çevresel ve fiziksel kriterle bağlantılı olarak ortaya çıkmaktadır. Toprağın geçirgenliliği, nemliliği, nüfusun yoğunluğu, bina yoğunluğu, yükseklik, boruların yollara uzaklığı gibi birçok çevresel kriter boru hatlarını etkileyebilmektedir. Mersin Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğünden (MESKİ) alınan 1354 su arıza verisi noktası analizlerde kullanılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında öncelikli olarak arıza noktalarının %70 i rastgele olarak seçilip duyarlılık haritası oluşturulması için ayrılmıştır. Geri kalan %30 luk arıza noktaları duyarlılık haritasının doğrulaması için ayrılmıştır.

Tüm çevresel kriterlerin analizlerinin yapılması sonucunda doğrulama analizleri ve arıza verilerinin karşılaştırması yapılmıştır.

4.4 Su Arıza Koşullandırma Kriterleri

Bu çalışmada 9 ana kriter analizleri gerçekleştirmek için belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de yükseklik, eğim, bakı, litoloji, jeoloji, nüfus, yapı, yola uzaklık ve çizgisellik olmak üzere incelenen dokuz koşullandırma kriterleriyle ilgili veri kaynakları ve açıklamalı istatistiki bilgiler sunulmuştur.

Yükseklik, eğim ve bakı verileri Alos Palsar (Gelişmiş Kara Gözlem Uydusu (ALOS) L Bantlı Faz Dizinli Sentetik Açıklıklı Radar Sensörü) uydusundan alınan 12.5 m × 12.5 m çözünürlüklü uydu görüntülerinden ArcGIS yazılımı aracılığıyla üretilmiştir.

Çizelge 4.1. Koşullandırma kriterlerine ait bilgiler.

Kriter Grubu	Veri Kaynağı	Kriterin Adı	Min.	Max.	Veri Türü
Topoğrafik	ALOS PALSAR (12,5*12,5 m)	Yükseklik (m)	24	474	Sayısal
		Eğim (derece)	0	41	Sayısal
		Bakı (derece)	0	360	Sayısal
Toprak türü	Tarım Orman Bakanlığı TAD Portal	Toprak türü	-	-	Kategorik
Litoloji	MTA yer bilimleri görüntüleyicisi	Litoloji	-	-	Kategorik
Beşeri	TÜİK(Türkiye İstatistik Kurumu)	Nüfus (kişi)	0	32000	Sayısal
	Open Street Map	Bina Yoğunluğu	0	139	Sayısal
Çizgisel	Open Street Map	Yola Uzaklık(m)	0	1750	Sayısal
	ALOS PALSAR (12,5*12,5 m)	Çizgisellik	0	35	Sayısal

Mersin Yenişehir ilçesinin su borusu arıza verileri Mersin Su ve Kanalizasyon İdaresinden alınmıştır. Yol verileri ve çalışma alanının sınırları Open Street Maps'ten alınarak hazırlanmıştır. Yenişehir ilçesine ait olan toprak verileri Tarım Orman Bakanlığının oluşturduğu TAD portaldan sayısallaştırılmıştır. Litoloji verileride Maden Tetkik Araştırma tarafından oluşturulan yer bilimleri görüntüleyicisinden sayısallaştırılmıştır. Analizi yapılan bina verileri de Open street mapten alınmıştır.

Bölgeye ait olan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ise Alos Palsar uydu verileri indirilerek elde edilmiştir. ArcGIS kullanılarak bu veriden bakı, eğim ve yükseklik haritaları elde edilmiştir. SYM kullanarak Geomatica programıyla çizgisellik verisi elde edilmiştir. Otomatik çizgisellik çıkarımı, PCI Geomatica 10.3 yazılımında LINE seçeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Özgen, 2004). Bölgeye ait olan nüfus verileri ise TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu)'ten alınmıştır.

ArcGIS; verilerin sınıflandırılması, düzenlenmesi, analizlerde kullanılması ve hazır hale getirilmesi için kullanılmıştır. Verilerin analizi için sınıflandırma aşamaları da gerçekleştirilmiştir. Density aracı ile nüfus yoğunluğu, bina yoğunluğu, çizgisellik yoğunluk haritaları çıkarılmıştır. Yola uzaklık haritası ise Euclidean Distance aracı ile oluşturulmuştur. Bir sonraki aşamada ise düzenlenen verilerin sınıflandırma (reclassify) işlemleri gerçekleştirilmiştir.

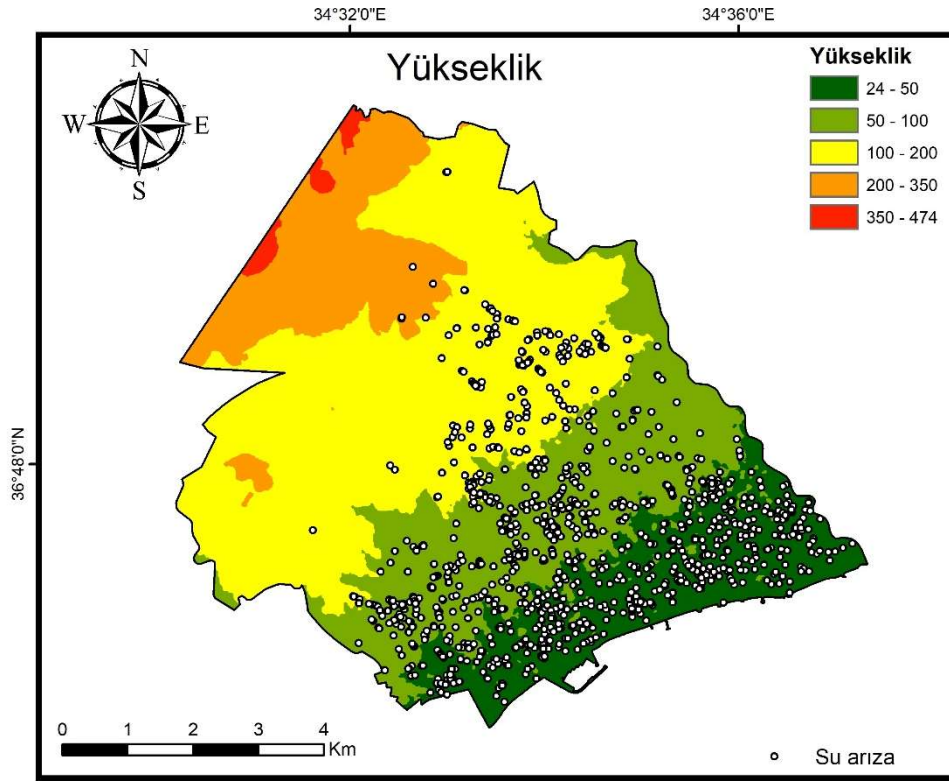
4.4.1 Yükseklik

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), arazinin yüzeyinin üç boyutlu (3B) temsili olarak tanımlanmakta olup, her bir hücrede (veya pikselde) yer alan yükseklik değerleri aracılığıyla arazi topografyasının dijital bir ızgara yapısında modellenmesini sağlar. Bu yükseklik değerleri, arazinin deniz seviyesine göre yüksekliğini ifade eder (Nguyen vd., 2023; Pike, 1988; Skidmore, 1990). SYM verilerinin elde edilmesinde çok çeşitli veri kaynakları kullanılabilir. Bunlar arasında zemin ölçümleri, topoğrafik kontur haritalarının sayısallaştırılması, geleneksel hava fotogrametrisi, uzaktan algılama görüntülerine dayalı dijital fotogrametri, insansız hava araçları (İHA) ile elde edilen dijital görüntüler, uydu kaynaklı sentetik açıklıklı radar (SAR) verileri gibi yöntemler yer almaktadır (Gupta, 2018).

Sayısal Yükseklik Modelleri, çok çeşitli disiplinlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulama alanları arasında; coğrafi analizler (Orlandini vd., 2014; Oksanen, 2006; Polidori ve El Hage, 2020; Warren vd., 2004; Wood, 1996; Xiong vd., 2021), haritalama ve arazi modelleme çalışmaları (Çelik vd., 2020), kentsel planlama (Lohr, 1998; Zhang vd., 2019), jeolojik araştırmalar (Kakavas ve Nikolakopoulos, 2021; Millot vd., 2023), kriz yönetimi ve afet planlaması (Hein vd., 2017; Song vd., 2020; Salmoral vd., 2020) ile tarım ve su kaynakları yönetimi (Garbrecht ve Martz, 2000) gibi alanlar bulunmaktadır.

Literatürde, yükseklik verisinin çeşitli mühendislik uygulamalarında belirleyici bir faktör olduğu ifade edilmektedir. Özellikle su şebekesi altyapısında, yüksek kotlarda bulunan boruların daha düşük su basıncına maruz kalması nedeniyle kırılma olasılıklarının daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Fan vd., 2022). Ayrıca, yükseklik verilerinin, eğim verilerine kıyasla daha etkili sonuçlar sağladığı da belirtilmiştir (Tye vd., 2017).

Bu çalışmada, yükseklik verileri ALOS PALSAR uydu görüntülerinden elde edilmiş ve ArcGIS yazılımı kullanılarak raster tabanlı sınıflandırma yöntemleriyle analiz edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, çalışma alanının topografik özelliklerini yansıtan yükseklik haritası Şekil 4.3'te sunulmaktadır.



Şekil 4.3. Çalışma alanının yükseklik haritası.

4.4.2 Eğim

Eğim, bir yüzeyin yatay düzleme göre ne kadar dik olduğunu ifade eden temel bir topografik parametredir ve genellikle bir pikselin komşu piksellerle olan yükseklik farkları dikkate alınarak hesaplanmaktadır (Raimondi, 2023). Bu hesaplama sürecinde Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) veri setleri temel alınmakta olup, arazi yüzeyine ait

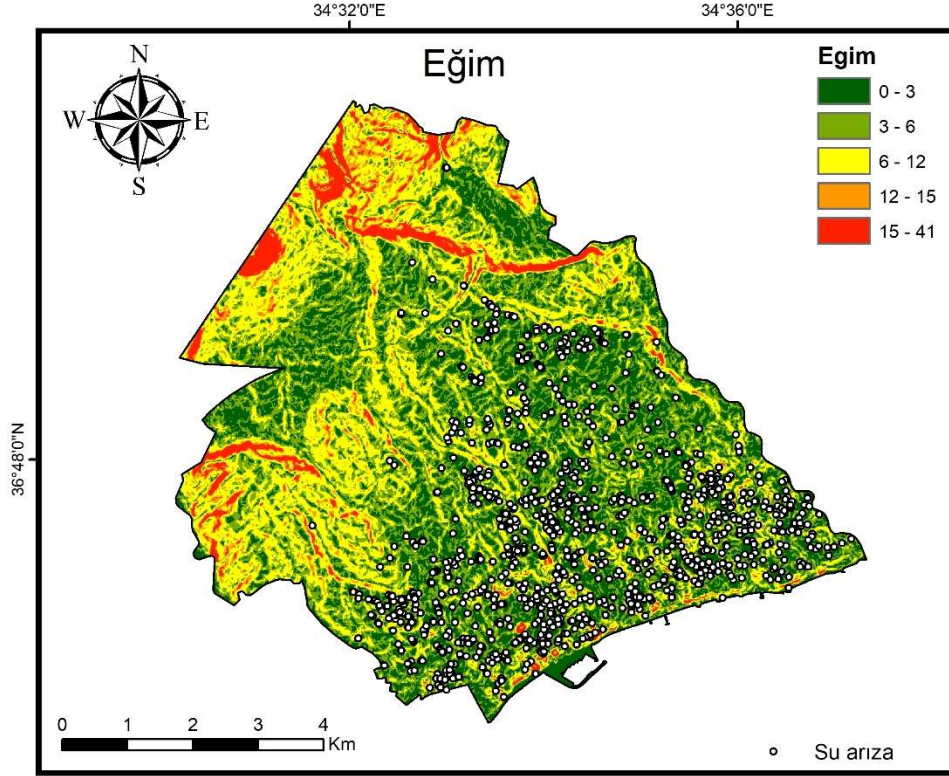
yükseklik bilgilerini içeren raster veri kümeleri üzerinden gerçekleştirilir. Eğim hesaplamalarında yaygın olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımları kullanılmaktadır. Bu kapsamda, literatürde sıkça kullanılan yazılımlar arasında QGIS, ArcGIS ve GRASS GIS gibi platformlar yer almakta; bu yazılımlarda eğim analizine yönelik çeşitli analiz araçları bulunmaktadır (Chen vd., 2014; Jiang vd., 2024; Jones, 1998).

Eğim verisi, pek çok coğrafi ve çevresel analizde kritik bir role sahiptir. Bu bağlamda; su yönetimi ve akış yönü analizleri (Demir ve Keskin, 2020; He vd., 2018; Patel vd., 2013), doğal afet risk değerlendirmeleri (Liu vd., 2020; Wang vd., 2015; Wang vd., 2024), CBS tabanlı mekânsal analizler (Ashraf vd., 2012; Dunn ve Hickey, 1998; Guth ve Kane, 2021; Mallick ve Rudra, 2021) gibi çok çeşitli disiplinlerde eğim verisinden yararlanılmaktadır.

Eğim, özellikle su şebekesi arızalarının tespitinde ve analizinde sıklıkla başvurulanan bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Fan vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, makine öğrenmesi tabanlı bir boru arızası tahmin modeli geliştirilmiş ve modelde DEM verisinden türetilen eğim bilgileri önemli bir kriter olarak kullanılmıştır. Söz konusu çalışmada eğim, zemin özelliklerinden biri olarak ele alınmış; boruların zemine gömülü olması nedeniyle, toprak-boru etkileşiminin boru arızalarında belirleyici bir faktör olduğu, mevcut literatürle de desteklenmiştir (Engelhardt vd., 2000; Najafi, 2005; Toprak vd., 2019). Benzer şekilde, Zhang vd. (2023) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, toprak-boru etkileşimi detaylı olarak analiz edilmiş ve eğim, boru sistemlerinin yapısal bütünlüğünü etkileyen önemli bir parametre olarak değerlendirilmiştir. Indiketiya vd. (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise, kanalizasyon borularında meydana gelen iç erozyon, zemin deformasyonlarıyla ilişkilendirilmiş ve eğim verisi bu sürecin değerlendirilmesinde temel kriterlerden biri olarak kullanılmıştır. Su altyapı sistemlerine ilişkin yapılan CBS tabanlı risk analizlerinde de eğim verisi belirleyici değişkenlerden biri olarak ele alınmıştır (Dixon vd., 2020). Ayrıca drenaj oranı, zemin stabilitesi, boru yer değiştirmeleri gibi birçok etkenin eğim ile doğrudan ilişkili olduğu, önceki çalışmalar tarafından da ortaya konulmuştur (Muddassir vd., 2024; Tye vd., 2017).

Şekil 4.4'te çalışma alanına ait eğim alt sınıflarını gösteren harita sunulmaktadır. Bu çalışmada eğim verileri, ALOS PALSAR uydu görüntülerinden elde edilmiş; ArcGIS

yazılımında Slope aracı kullanılarak raster tabanlı analiz yöntemleriyle işlenmiş ve sınıflandırılmıştır. Bu harita, sahadaki eğim dağılımının mekânsal olarak görselleştirilmesi açısından önemli bir referans niteliğindedir.



Şekil 4.4. Çalışma alanının eğim haritası.

4.4.3 Bakı

Bakı, literatürde farklı araştırmacılar tarafından çeşitli şekillerde tanımlanmıştır. En genel tanımıyla bakı, bir yüzeyin yöneldiği istikameti ifade etmektedir. Ağakay (1959), bakıyı bir yüzeyin yöneldiği yön olarak tanımlarken; Erinç (2001), özellikle dağlık alanlarda yamaçların güneş ışıınımına ve kuzey-güney yönelimine göre konumunu vurgulamaktadır. Kızılcıaoğlu (2009) ise bakı kavramını, bir dağın farklı yönlerde bakan yamaçlarının güneşlenme süresi ve yağış alma miktarları açısından gösterdiği farklılıklar üzerinden tanımlamıştır.

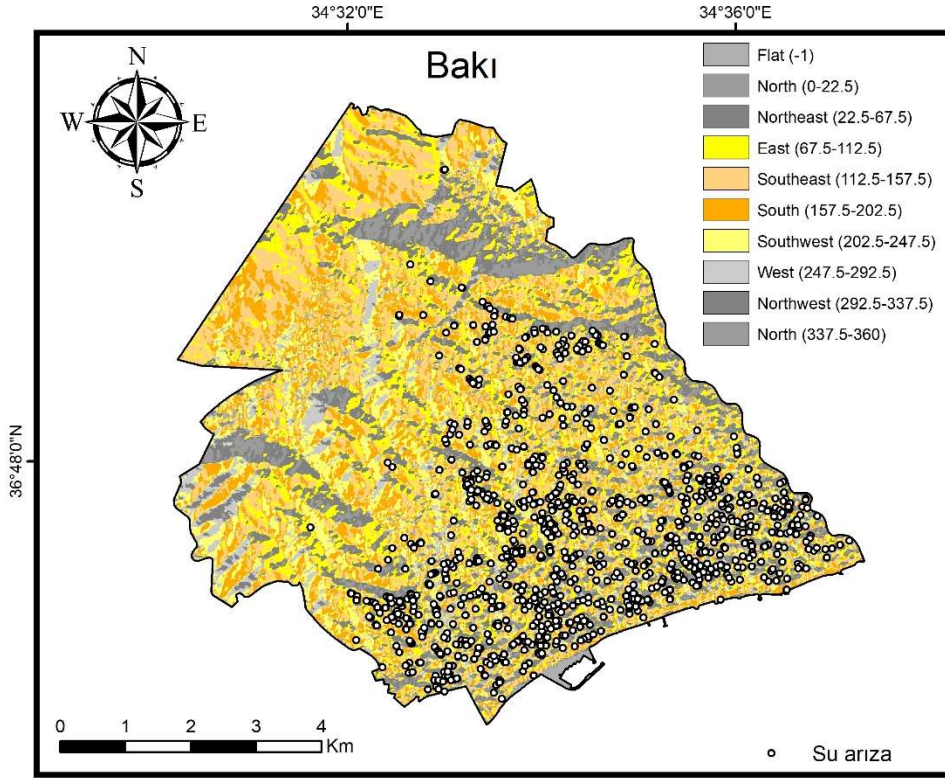
Bakı, mekânsal karar destek sistemleri içerisinde önemli analiz girdilerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Özellikle çevresel analizler (Akbari vd., 2014; Conforti vd., 2011; Kocabaldır ve Yücel, 2020), iklimsel değerlendirmeler (Ait Lamqadem vd., 2018; Kanga vd., 2017), ulaşım ve altyapı projeleri (Alexakis vd., 2014; Liu vd., 2010),

afet yönetimi (Osti, 2008; Rahman vd., 2021; Tavoularis, 2020) gibi çok çeşitli çalışma alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Toprağın termal rejimlerini ve nem içeriğini etkileyerek çeşitli çevresel süreçler üzerinde bakı doğrudan etkili olmaktadır (Tye vd., 2017). Bu bağlamda, boru hattı güzergâhlarının planlanmasında bakı analizinin dikkate alınması, eğim kaynaklı arızaların önlenmesi açısından koruyucu bir önlem niteliğindedir (Raj ve Bansal, 2024).

Su altyapı sistemleri ile ilgili birçok çalışmada bakı verisi temel analiz parametrelerinden biri olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmalarda, çalışma alanlarına ait bakı haritaları detaylı şekilde analiz edilerek, yamaç yöneliminin altyapı üzerindeki etkileri irdelenmiştir (Ali vd., 2024; Cevik ve Topal, 2003; Raj ve Bansal, 2024).

Alanda güney yönlü yamaçlarda konumlanan boruların, güneş ışınlamına daha yoğun şekilde maruz kalmaları nedeniyle termal genleşmeye uğradığı, bu durumun ise boru malzemelerinde stres oluşumuna ve dolayısıyla arıza riskinin artmasına yol açtığı tespit edilmiştir (Tye vd., 2017). Çalışma kapsamında eğim verileri, ALOS PALSAR uydu görüntülerinden elde edilmiş ve ArcGIS yazılımı bünyesindeki 'aspect' (bakı) aracı kullanılarak raster tabanlı mekânsal analiz yöntemleriyle analiz edilerek sınıflandırılmıştır. Şekil 4.5'te çalışma alanına ait bakı haritası sunulmuştur. Harita, boru altyapısının yer aldığı alanların yönelimine ilişkin görsel bir değerlendirme sağlamaktadır.



Şekil 4.5. Çalışma alanının bakı haritası.

4.4.4 Toprak türleri

Toprak türü, mekânsal karar destek sistemlerinde çeşitli uygulamalarda temel analiz kriterlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Toprak özelliklerinin doğru ve detaylı şekilde analiz edilmesi; başta tarım, çevresel sürdürülebilirlik ve altyapı projeleri olmak üzere birçok farklı alanda stratejik öneme sahiptir (Kılıç, 2022; Şenöz, 2013).

Toprak türü verisi; çevresel koruma ve yönetim (Aranda vd., 2011; Montanarella, 2003; Walton vd., 2020), inşaat ve altyapı projelendirme (Ching, 2020; Li vd., 2020; Parkin ve Sharma, 1999) ile kentsel ve bölgesel planlama (Fossey vd., 2020; Gray vd., 2011; Salata ve Uzelli, 2022) gibi çeşitli disiplinlerde sıklıkla kullanılan bir parametredir.

Altyapı sistemleri özelinde değerlendirildiğinde, dolgu malzemesi olarak kullanılan toprak, borular üzerinde oluşan yüklerin taşınmasında önemli bir rol oynamakta ve aynı zamanda yapısal destek sağlamaktadır. Toprak özelliklerine bağlı olarak, boru üzerine etkiyen dış yükler zamanla toprak sıkışması, kabarma, çökme, donma derinliği gibi değişkenlere bağlı olarak artabilmektedir (Mackey vd., 2014). Özellikle topraktaki çekilme nedeniyle hacim azalması meydana geldiğinde, borular üzerinde ek

gerilmeler oluşmakta ve bu durum yataklamanın sağlıklı yapılmasını engelleyerek, yüksek eğilme momentleriyle sonuçlanabilmektedir. Ayrıca, değişken toprak hareketleri boru kesitlerinde kesme kuvvetleri oluşmasına neden olmaktadır (Hu ve Hubble, 2007).

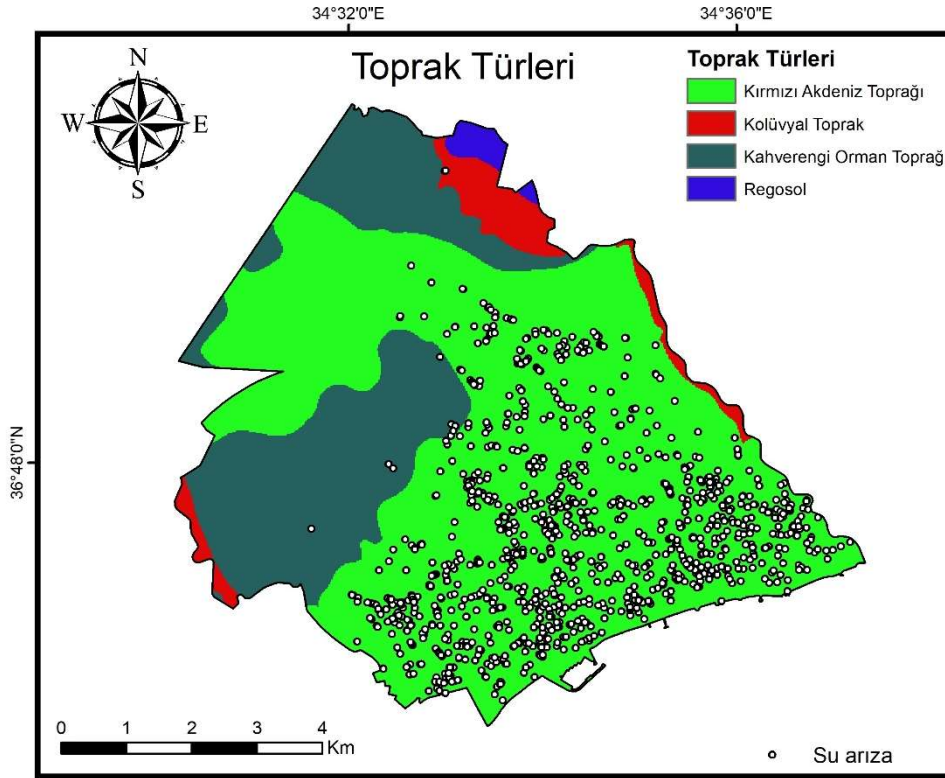
Toprak türünün boru arızalarındaki etkisi üzerine yapılan çalışmalarda, yumuşak yapılı toprakların yüksek nem tutma kapasitesi ve düşük taşıma gücü nedeniyle altyapı sistemleri için uygun olmadığı vurgulanmaktadır (Pritchard vd., 2013). Buna karşın, kumlu topraklar yüksek drenaj kapasitesi ve geçirgenlik özellikleri sayesinde daha düşük arıza oranları ile ilişkilendirilmektedir (Doyle vd., 2003). Singh (2011) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, en düşük arıza sayısının kumlu topraklarda (722 kırılma) gözlemlendiği, buna karşılık çamur içerikli topraklarda daha yüksek arıza oranları (1080 ve 1423 kırılma) rapor edilmiştir. Bununla birlikte, kumlu toprakların aşırı erozyona eğilimli bölgelerde kullanımı durumunda dikkatli olunması gerektiği belirtilmektedir (Pritchard vd., 2013; Taiwo vd., 2023).

Borular, topraktaki yük veya su varlığı nedeniyle deformasyona uğrayabilmekte; özellikle çok yumuşak kil gibi zeminlerde bu durum daha belirgin hale gelmektedir. Yoğunlaşabilir zeminler ile daha az yoğunlaşabilir zeminler arasındaki hareket farklılıkları, borular üzerinde gerilme ve deformasyon oluşturabilmektedir (Tye vd., 2017). Literatürde yer alan çeşitli araştırmalarda, toprak türü kriterinin su altyapı sistemlerindeki arıza oluşumuna olan etkisi, istatistiksel analizler ve mühendislik tabanlı modeller aracılığıyla kapsamlı şekilde ele alınmıştır (Almheiri vd., 2020; Fares ve Zayed, 2010; Huang vd., 2022; Jafar vd., 2010; Kabir vd., 2016; Najjaran vd., 2006; Rajani ve Tesfamariam, 2005; Rezaei vd., 2015; Taiwo vd., 2023; Tesfamariam vd., 2006). Örneğin, Karasneh ve Moqbel (2024), toprak içerisindeki taş ve çakıl oranının artması durumunda arıza riskinin de paralel olarak arttığını belirtmektedir.

Toprakların davranışları, özellikle kil içeriği ile doğrudan ilişkilidir. Kil oranı arttıkça su tutma kapasitesi de artmakta ve buna bağlı olarak büzülme-şişme gibi zemin hareketleri oluşabilmektedir (Tye vd., 2017). Bu bağlamda, büzülme ve şişme eğilimli toprak türleri, altyapı sistemleri için daha yüksek risk oluşturmaktadır (Bozyigit, 2020). Regosol ve kolüvyal topraklar yüksek geçirgenlik özellikleri nedeniyle kırılmalara daha yatkınken; kırmızı Akdeniz toprağı, yüksek kil içeriği ile dikkat çekmektedir. Öte yandan, kahverengi orman toprağı, nispeten daha düşük kil oranına sahiptir (Bozyigit

ve Güngör, 2011). Toprak türü kriterinin, diğer kriterlerle kıyaslandığında daha yüksek etkiye sahip olduğu da farklı çalışmalarla desteklenmiştir (Kılınç vd., 2018).

Çalışmada kullanılan toprak türü verisi, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından oluşturulan TAD Portal üzerinden sayısallaştırılmıştır (Fan vd., 2022). Şekil 4.6’da, çalışma alanına ait toprak türlerinin alt sınıflarını gösteren harita sunulmaktadır.

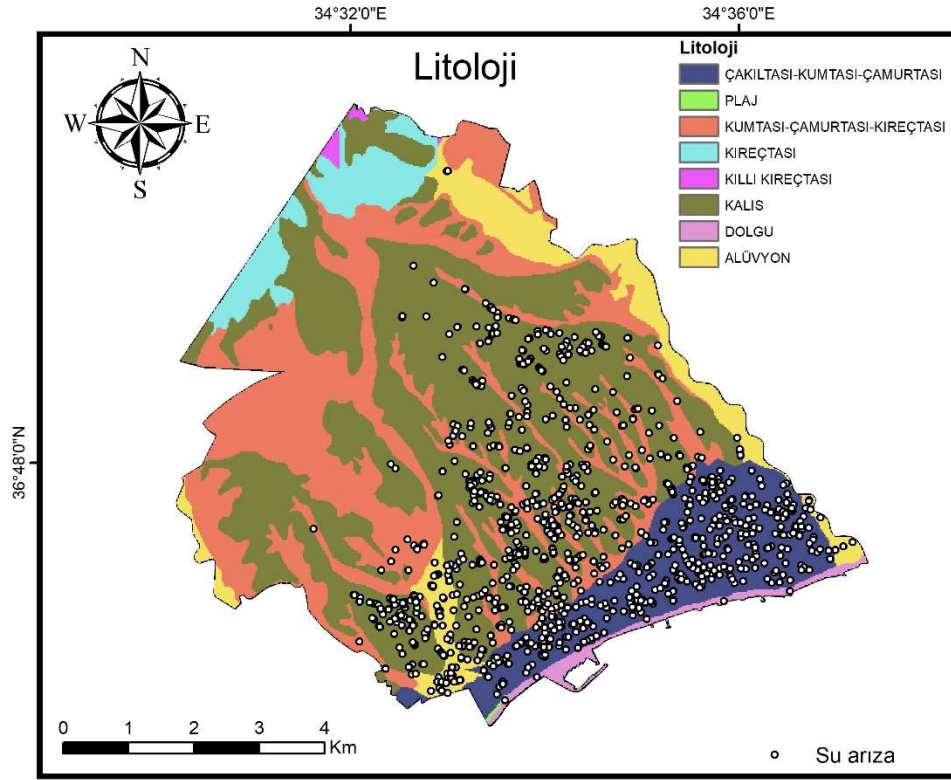


Şekil 4.6. Çalışma alanının toprak türleri haritası.

4.4.5 Litoloji

Litoloji verisi, su altyapı sistemlerinde meydana gelen boru arızalarının analizinde sıkça başvurulan önemli bir parametre olarak literatürde yer almaktadır (Arsénio vd., 2015; Eskandari vd., 2017; Fan vd., 2022; Kumar vd., 2018; Taiwo vd., 2023; Toprak vd., 2024; Yamijala vd., 2009; Xu ve He, 2024). Yer altı jeolojik yapısının borular üzerindeki potansiyel etkilerinin anlaşılması açısından litolojik bileşimin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada kullanılan litoloji verileri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından sunulan Yer Bilimleri Görüntüleyicisi üzerinden elde edilmiş ve ArcGIS programında sayısallaştırılarak analiz sürecine dahil

edilmiştir. Şekil 4.7’de, çalışma alanına ait litolojik birimlerin dağılımını gösteren litoloji haritası sunulmaktadır.

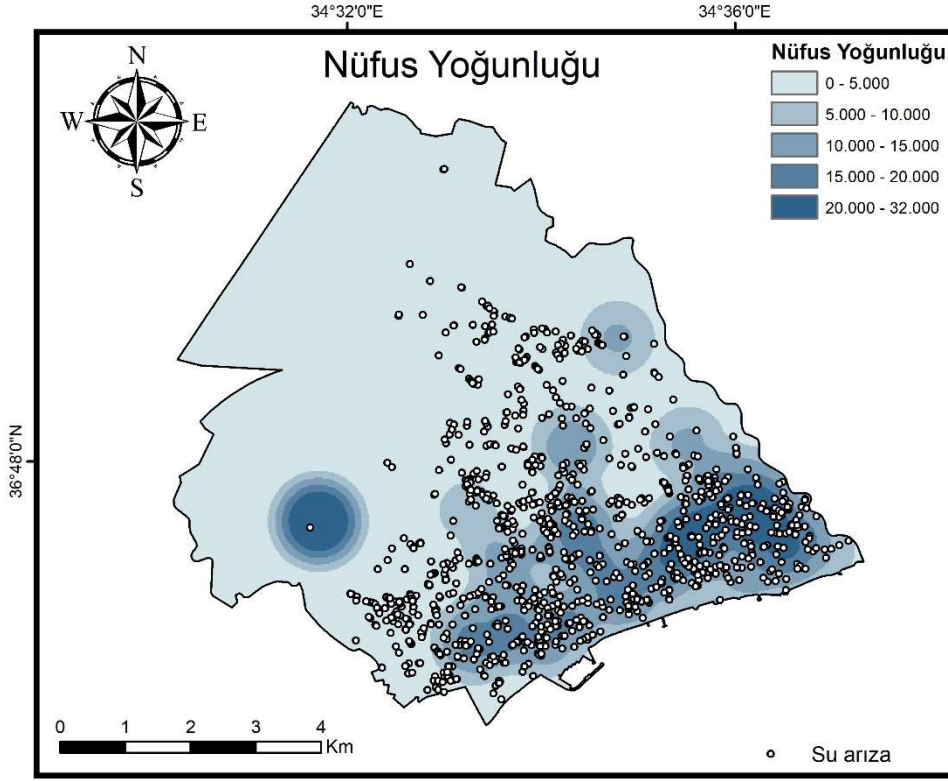


Şekil 4.7. Çalışma alanının litoloji haritası.

4.4.6 Nüfus yoğunluğu

Nüfus yoğunluğu, belirli bir yüzey alanı üzerinde yaşayan kişi sayısını ifade eden bir ölçüttür ve genellikle birim alana düşen kişi sayısı şeklinde hesaplanmaktadır. Bu hesaplama, belirli bir bölgenin toplam nüfusunun, o bölgenin yüzey alanına bölünmesiyle elde edilir (Cramer ve Kringlen, 2004). Mekansal karar destek sistemlerinde, nüfus yoğunluğu verisi çeşitli disiplinlerde yaygın olarak kullanılmakta olup; şehir planlaması ve kentsel gelişim (Ratcliffe vd., 2021; Yeh ve Li, 2002), altyapı ve hizmet dağılımı (Prieto vd., 2015), acil durum yönetimi (Freire, 2010), çevresel analizler (Chen vd., 2020; Rahman ve Alam, 2021), kamu politikalarının oluşturulması ve sosyal hizmetlerin planlanması (Winsborough, 1965) ile ulaşım planlaması (Aljoufie, 2021; Sanghi, 1976) gibi pek çok alanda karar alma süreçlerine katkı sağlamaktadır.

Su altyapı sistemlerine ilişkin arıza tespiti ve analizine yönelik yapılan araştırmalarda da nüfus yoğunluğu önemli bir değişken olarak ele alınmıştır (Ahmad vd., 2023; Francis vd., 2014; Mazumder vd., 2021; Yerri vd., 2017). Bu çalışmada kullanılan nüfus yoğunluğu verisi, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından sağlanan veriler temel alınarak ArcGIS programında analiz edilmiş ve Şekil 4.8’de çalışma alanına ait nüfus yoğunluğu dağılımını gösteren harita sunulmuştur.



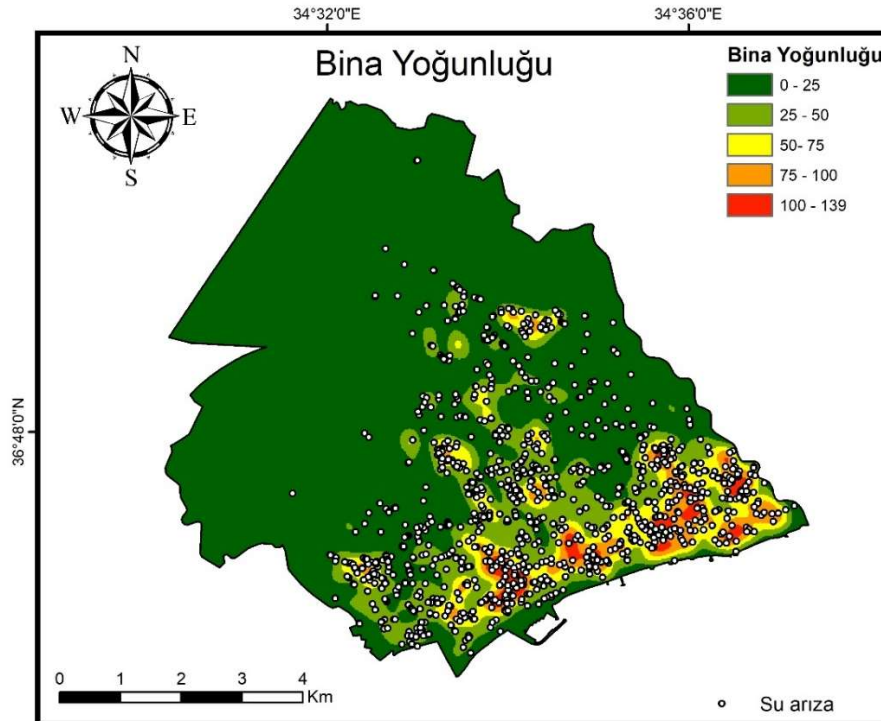
Şekil 4.8. Çalışma alanının nüfus yoğunluğu haritası.

4.4.7 Bina yoğunluğu

Bina yoğunluğu, belirli bir alandaki yapıların sayısını veya kapladığı alanı ifade eden mekânsal bir ölçüttür ve farklı alanlardaki analizler ile karar verme süreçlerinde önemli bir rol oynamaktadır (Lwin ve Murayama, 2009; Ural vd., 2011). Bu kriter, şehir planlaması ve kentsel gelişim (Çetin vd., 2019; Steemers, 2003; Yu vd., 2010), altyapı ve hizmet planlaması (Álvarez vd., 2014; Kurvinen ve Saari, 2020), risk yönetimi ve afet planlaması (Berse vd., 2011; Ghaffarian vd., 2018; Tenerelli vd., 2015), çevresel etki analizleri (Li vd., 2019; Yang vd., 2020; Wang vd., 2023) gibi çok çeşitli disiplinlerde sıklıkla kullanılmaktadır.

Literatürde, bina yoğunluğunun artmasının, su altyapı sistemlerinde basınç yüklerini artırabileceği ve bu durumun borular üzerinde yapısal stres oluşturarak arıza riskini artırabileceği ifade edilmiştir (Kaur vd., 2020; Mikovits vd., 2014). Basınç değişkeni, su şebekesindeki boru arızalarının tespiti ve analizi konulu çalışmalarda yaygın olarak kullanılan fiziksel bir parametre olduğundan (Al-Barqawi ve Zayed, 2008; Fares ve Zayed, 2010; Jafar vd., 2010; Rajani ve Tesfamariam, 2005; Tesfamariam vd., 2006; Yannopoulos ve Spiliotis, 2013), bu çalışmada bina yoğunluğu kriteri de etkili bir değişken olarak değerlendirilmiştir.

Bina yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde, su borularının kullanım sıklığının da artmasıyla birlikte, bu altyapıların daha kısa sürede yıpranma ve arıza gösterme ihtimali yükselmektedir. Nitekim bazı çalışmalarda, bina yoğunluğunun, nüfus yoğunluğuna kıyasla su arızaları üzerinde daha belirleyici bir etkisi olduğu ortaya konmuştur (Fan vd., 2022; Taiwo vd., 2023). Çalışma kapsamında, OpenStreetMap veri tabanından elde edilen bina verileri ArcGIS yazılımı aracılığıyla yoğunluk analizine tabi tutulmuş; analiz sonuçlarına göre oluşturulan bina yoğunluğu haritası Şekil 4.9’da verilmiştir.

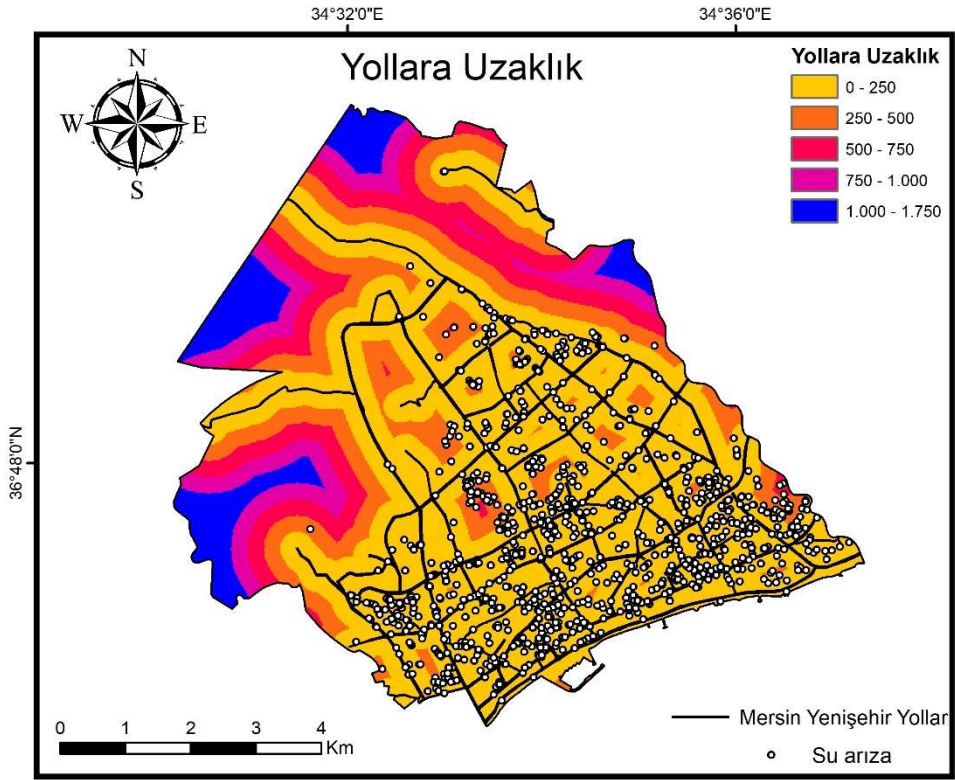


Şekil 4.9. Çalışma alanının bina yoğunluğu haritası.

4.4.8 Yollara uzaklık

Yol, özellikle yoğun trafik akışına sahip güzergâhlarda, taşıt hareketlerinin oluşturduğu basınç etkisiyle su borularında arıza oluşumunu tetikleyen önemli bir kriterdir (Zhang vd., 2022). Yol bakım ve onarım süreçlerinde gerçekleştirilen kazı ve dolgu işlemleri, zemin yapısını önemli ölçüde etkileyebilmekte; bu değişimler ise yer altı altyapı elemanları üzerinde ek yük oluşmasına yol açarak borularda deformasyon ve kırılmalara neden olabilmektedir (Robert vd., 2016). Özellikle yoğun trafik koşulları, borular üzerinde titreşim oluşturarak zamanla çatlakların meydana gelmesine zemin hazırlamaktadır (Zhang vd., 2022). Ayrıca, yol yüzeylerindeki su yalıtımı ve drenaj sistemlerinin yetersiz ya da hatalı tasarımı, yer altı su hareketliliğini artırarak boruların yüksek su basıncı altında kalmasına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, asfalt kaplamaların sıcak hava ve güneş ışığına maruz kalarak çevresindeki zemin sıcaklığını artırması, su borularında genleşmeye ve yapısal deformasyonlara yol açabilmektedir (Al-Barqawi ve Zayed, 2006).

Yağış sonrası yüzeyde biriken suyun boru sistemine sızması ya da doğrudan borular üzerine baskı uygulaması, yapısal arızalara sebep olabilmektedir (Alzabeebee vd., 2017; Bardet vd., 2014; Butler vd., 2018; Chen ve Guikema, 2020; Tse vd., 2020). Bazı su altyapı arızalarının, çevresel titreşim kaynaklı yüklemelerle ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Kumar vd., 2018; Tye vd., 2017). Bu bağlamda, yüzey yüklerinin borular üzerinde gerilme oluşturabileceği ve bu gerilmelerin yapısal bütünlüğü bozarak kırılmalara yol açabileceği öne sürülmektedir. Söz konusu yükler, tek seferlik bir inşaat faaliyeti sonucu oluşabileceği gibi, trafik gibi düzenli olarak tekrarlanan periyodik yüklemelerden de kaynaklanabilmektedir (De Oliveira vd., 2011). Trafik yoğunluğu ile su altyapı arızaları arasındaki ilişki literatürde çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur. Trafik yükünün fazla olduğu bölgelerde, boru arızalarının daha yüksek oranda görüldüğü belirlenmiştir. Bu kapsamda, “trafik yoğunluğu” kriterinin diğer etkenlere kıyasla daha yüksek ağırlığa sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Kılınç vd., 2018). Şekil 4.10’da sunulan harita, çalışma alanının ana yollara olan uzaklığını göstermektedir. Bu harita, OpenStreetMap’ten temin edilen yol verileri kullanılarak ArcGIS yazılımında 'Euclidean Distance' aracı yardımıyla oluşturulmuştur. Literatürde belirtilen trafik yükü etkileri doğrultusunda, ana yolların yüksek taşıt yoğunluğu nedeniyle çalışmaya yola uzaklık kriteri dâhil edilmiştir.



Şekil 4.10. Çalışma alanının yola uzaklık haritası.

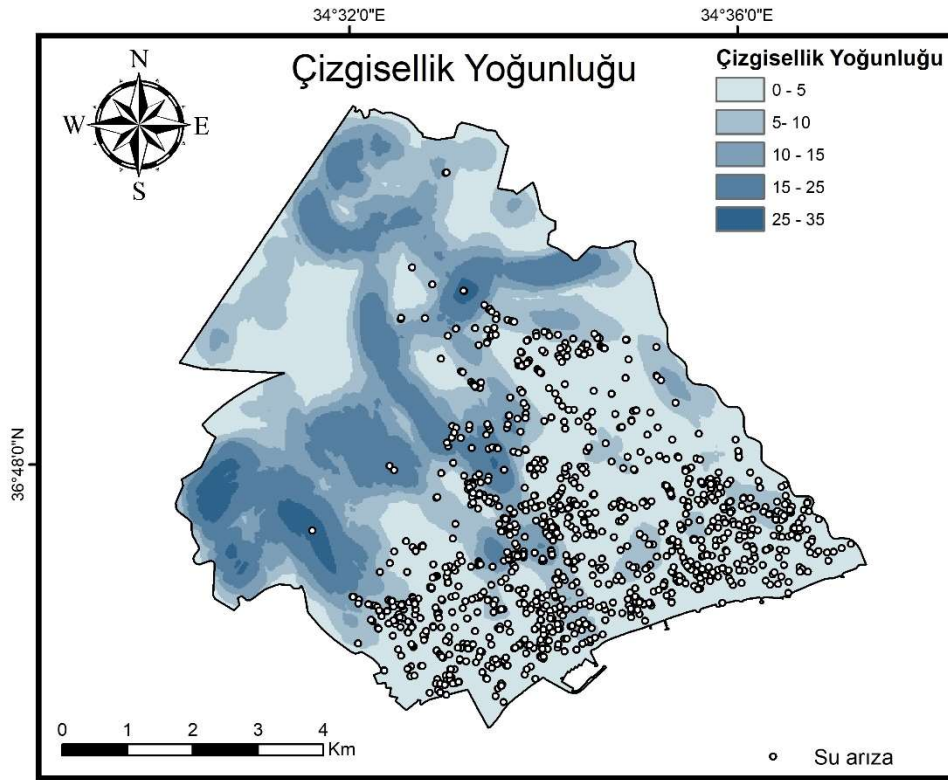
4.4.9 Çizgisellik

Çizgisellik, O'Leary ve arkadaşları (1976) tarafından yüzeyde haritalanabilir nitelikte, basit ya da bileşik bir çizgisel özellik olarak tanımlanmıştır. Bu yapılar, genellikle dikdörtgen ya da hafif eğrisel doğrultuda hizalanmış olup, çevresindeki diğer jeolojik unsurlardan farklı bir desen sergilerler ve çoğu zaman yer altındaki yapısal özellikleri yansıttıkları düşünülmektedir. Uzaktan algılama teknikleri, bu tür çizgisel yapıları, arka plan piksellerine göre daha açık ya da daha koyu yoğunlukta görülebilen çizgiler şeklinde ortaya koymaktadır (Vassilas vd., 2002). Çizgisellik analizleri çoğunlukla hava fotoğrafları ya da uydu görüntüleri gibi uzaktan algılama verilerine dayanılarak gerçekleştirilir (Ahmadi ve Pekkan, 2021; Corgne vd., 2010; Ramli vd., 2010).

Özellikle fay hatlarının tanımlanması ve karakterizasyonu, doğal afet risklerinin azaltılması, güvenli şehir altyapılarının inşası, büyük ölçekli mühendislik projelerinin dayanıklılığı ile yer altı su kaynakları ve mineral zonlarının belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Faylar, genellikle yüzeyde belirgin çizgisel yapılar oluşturur ve bu nedenle uzaktan algılama verileriyle kolaylıkla tespit edilebilirler (Kaya vd., 2023).

Arazi kullanım planlamasına (Kkarasu ve Kumar, 2017; Taha vd., 2013), doğal afet risk analizlerinden (Ayazi vd., 2010; Demirkesen, 2012; Pachauri ve Pant, 1992; Ramli vd., 2010) çevresel etki değerlendirmesine (Campos vd., 2015; Enoh vd., 2021; Fernandes-da-Silva vd., 2010; Sarikhani vd., 2014), su kaynaklarının yönetiminden (Akinluyi vd., 2018; Embaby vd., 2024; Prabu ve Rajagopalan, 2013; Sander, 2007) şehir planlamasına (Ahmadi ve Pekkan, 2021; El-Monsef vd., 2022; Ioane vd., 2014) kadar pek çok alanda çizgisellik analizlerinin önemi vurgulanmaktadır.

Bu çalışmada çizgisellik analizi, ALOS PALSAR uydu görüntüleri kullanılarak Geomatica yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiş olup, elde edilen çizgisellik yoğunluğu haritası Şekil 4.11’de sunulmuştur.



Şekil 4.11. Çalışma alanının çizgisellik haritası.

4.5 AHP

Thomas L. Saaty, 1977 yılında çok kriterli ve karmaşık karar problemlerini çözmek için AHP yöntemini keşfetmiştir. AHP yöntemindeki tüm karar problemleri hiyerarşik bir yapı olarak kullanmıştır (Çağlayan, 2022). AHP, karar vericilere hedeflerine ulaşmalarını ve sorunlarını çözmelerini sağlayacak en uygun kararı belirlemede

rehberlik eder. Bu yöntem, bireysel uzmanların deneyimlerinden yararlanarak çiftli karşılaştırmalar aracılığıyla kriterlerin göreceli önemlerini tahmin etmeyi amaçlar. Her çift kriterin göreceli önemi, katılımcılar tarafından bir anket yardımıyla değerlendirilir (Saaty, 1999). AHP, karar problemini yapılandırmak, karar üzerinde etkili olabilecek kriterlerin önemini belirlemek, bu kriterleri kararın hedefleriyle ilişkilendirmek ve alternatif seçenekleri analiz etmek için kapsamlı ve sistematik bir çerçeve sunar. AHP, çeşitli bileşenlerin daha iyi yapılandırılmasına olanak tanıdığı için en iyi sonuçları vermektedir. Bu bileşenler, su arızası için farklı kriterlerin katkılarının mantıklı ve kapsamlı bir yöntemle, matris tabanlı çift karşılaştırma yoluyla mukayesesini içerir (Saaty ve Vargas, 2012). AHP, kullanıcıların alternatifler setinden bir tercih ölçeğine ulaşmasını sağlayan çok kriterli bir karar verme yaklaşımıdır (Saaty, 1994). AHP, alan seçimi, uygunluk analizi, bölgesel planlama ve arıza duyarlılık analizi gibi birçok alanda geniş bir uygulama bulmuştur (Ayalew vd. 2005; Bilgilioglu ve Bilgilioglu, 2023). Ayrıca, farklı ve birbirleriyle doğrudan karşılaştırılamayan kriterlerin karar sürecindeki etkilerini tutarlı ve mantıklı bir şekilde analiz etme imkanı sağlar ve bu özelliğiyle diğer karar verme yöntemlerinden ayrışır. Sürecin sonunda, her bir alternatif için sayısal bir öncelik değeri hesaplanır. Bu değerler, alternatiflerin belirli bir hedefi gerçekleştirme yeteneklerini göreceli olarak değerlendirmek için kullanılır.

Boruların rehabilitasyonu için teknolojileri seçmek amacıyla AHP yöntemi kullanılmaktadır (Aşchilean vd. 2017). Karar vericiler, ikili karşılaştırmaları öznel olarak yapar (başlangıçta “eşit derecede önemli”, “biraz daha önemli”, “kesinlikle daha önemli” gibi sözlü değerlendirmelere dayalı olarak ve ardından bir niteliğin başka bir niteliğe göre önem derecesini 1 ile 9 arasında bir ölçek üzerinde değerlendirir). İki kriter arasındaki karşılaştırma ters çevrilirse, önem değeri, doğrudan karşılaştırma değerinin tersi olur. Bu amaçla Thomas L. Saaty ölçeği kullanılır. İkili karşılaştırma ölçeği ve açıklamaları Çizelge 4.2'de sunulmuştur (Aşchilean vd. 2017).

Çizelge 4.2. Kriterler arası ikili karşılaştırma ölçeği (Saaty, 1977).

Değerler/Oranlar Açıklaması:
1: Eşit derecede tercih edilir veya fark etmez (eşit önem).
2: Eşit derecede tercih edilir, ancak belirli ölçüde ılımlı farklılaşma eğilimleriyle.
3: Orta derecede tercih edilir.
4: Tercih edilir, ancak güçlü bir şekilde tercih edilene doğru.

Çizelge 4.2. (devam) Kriterler arası ikili karşılaştırma ölçeği (Saaty, 1977).

5: Güçlü bir şekilde tercih edilir.
6: Güçlü bir şekilde tercih edilir ve bariz şekilde tercih edilir.
7: Bariz şekilde tercih edilir.
8: Bariz şekilde tercih edilir ve aşırı şekilde tercih edilene doğru.
9: Aşırı şekilde tercih edilir.

Ardından, karar kriterlerinin sayısı olan “n” elemanlı kare bir matrise veriler doldurulur. Tablo, kriterler arasındaki karşılaştırmalardan elde edilen değerleri içerir. Daha sonra, 1/2...1/9 oranları için yapılan hesaplamalarla, kriterler arasındaki ikili karşılaştırmaların yer aldığı yeni bir matrise veriler doldurulur.

Kriterleri ağırlıklandırmak için tüm karşılaştırılmış kriter çiftleri çapraz olarak $n \times n$ boyutlu ikili karşılaştırma matrisine (A) aktarılır. Denklem (4.1)’de verilmiştir.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

a_{ij} değeri, i kriterinin j kriterine göre daha önemli olduğu düzeyi ifade eder. Karşılaştırma matrisinin köşegenindeki elemanlar ($i = j$ durumu), ilgili kriterin kendisiyle karşılaştırılması sonucunda 1 değerini alır. Kriterlerin karşılaştırılması, Çizelge 4.2’de belirtilen değerler baz alınarak birebir ya da ikili şekilde yapılır. Karşılaştırmalar, matrisin köşegeninin üst kısmında bulunan ve değeri 1 olan elemanlar ile köşegenin alt kısmında yer alan elemanlar için aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır (4.2).

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (4.2)$$

A matrisinin j sütunundaki her bir eleman, o sütundaki elemanların toplamına bölünerek, sütun toplamlarının 1 olmasını sağlayan yeni bir A_w matrisi elde edilir. Bu işlem sonucunda, normalleştirilmiş bir ikili karşılaştırma matrisi (4.3) numaralı denklemde oluşturulmuş olur.

$$Aw = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum a_{i2}} & \frac{a_{1n}}{\sum a_{in}} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{n2}}{\sum a_{i2}} \dots & \frac{a_{nn}}{\sum a_{in}} \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Aw matrisinin i sütunundaki değerlerin ortalaması alınarak c_i değerleri hesaplanmakta ve C sütun vektörü (öncelik vektörü) ortaya çıkmaktadır (4.4).

$$C = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum a_{i2}} & \frac{a_{1n}}{\sum a_{in}} \\ n & n & n \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum a_{i1}} & \frac{a_{n2}}{\sum a_{i2}} \dots & \frac{a_{nn}}{\sum a_{in}} \\ n & n & n \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Bu c_i değerleri, i kriterinin göreceli ağırlığını (önem derecesini) belirler. Bu değerler, ağırlıkların yüzde cinsinden gösterimidir.

AHP yöntemi, kendi içinde tutarlı bir yapıya sahiptir. Ancak, elde edilen sonuçların doğruluğu, karar vericilerin kriterler arasındaki birebir karşılaştırmaların tutarlılığına bağlıdır. Bu nedenle, AHP yöntemi, karşılaştırmaların tutarlılığını ölçen bir süreç sunmaktadır. Tutarlılığın belirlenebilmesi için tutarlılık vektörü (Consistency vector) olarak bilinen $A \times C$ matrisi aşağıdaki denklem (4.5)'te hesaplanmaktadır (Yılmaz, 2022).

$$A \times C = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Daha sonrasında, karşılaştırma çiftleri matrisinin özdeğeri olan λ_{max} , denklem (4.6)'daki şekilde hesaplanır.

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{c_i} \quad (4.6)$$

Sonrasında ‘Tutarlılık Endeksi’ (CI) hesaplanır. CI, öncelik vektörünün tutarlılığının test edilmesini sağlamaktadır. AHP yönteminde CI’nin hesaplaması kriter sayısı ile λ_{max} katsayısının karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Aşağıda denklem (4.7)’de yer almaktadır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4.7)$$

Son olarak, n değerlerinin yeterli tutarlılığa sahip olup olmadığını değerlendirmek için ‘Rastgele Endeks’ (RI – Random Index) ve CI birlikte puanlanarak, ‘Tutarlılık Oranı’ (CR – Consistency Ratio) hesaplanır (4.8). RI, Saaty tarafından belirlenen standart bir değere dayanır. Çizelge 4.3’te, kriter sayısına bağlı olarak değişen bu değerler sunulmaktadır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.8)$$

Çizelge 4.3. Rastgele Endeks (Saaty, 2000).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

Eğer $CR \leq 0.10$ ise, yapılan karşılaştırmalar tutarlı olarak kabul edilir. Ancak, $CR > 0.10$ olduğunda sonuçlar tutarsızdır. Bu durumda, AHP yöntemi geçerli sonuçlar üretmeyebilir ve ikili karşılaştırma matrislerinin yeniden gözden geçirilmesi gerekebilir.

Özet olarak AHP, karşılaştırmada kesin sayısal verilerin kullanıldığı, tek seviyeli ve deterministik bir yöntemdir. Belirsizlikler bu yöntemde dikkate alınmaz. Karar verme süreci, net ve kesin verilere dayanılarak karşılaştırmalarla yapılır. Genel olarak hızlı hesaplama özelliğine sahiptir.

Kriterlerin su borusu arızaları üzerindeki etkisinin önem sırası literatürde benzer yöntemleri kullanan çalışmaların detaylı araştırmaları yapılarak belirlenmiştir. İlgili çalışmalar: (Fares, 2008; Karasneh ve Moqbel, 2024; Kılınç vd., 2018; Taiwo vd., 2023; Tye vd., 2017).

4.6 Frekans Oranı

FO, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki öngörücü ilişkiyi ölçmek için iki değişkenli popüler bir yöntemdir (Khosravi vd., 2016). FO yöntemi, kolayca anlaşılabilir ve uygulanabilir bir olasılık modelidir ve bu özelliklerinden dolayı literatürde geniş bir şekilde kullanılmaktadır.

$$FO = \frac{(Np(LXi)/(\sum_{i=1}^m Np(LXi)))}{(Np(Xj)/(\sum_{j=1}^n Np(Xj)))} \quad (4.9)$$

FO formülünde (4.9), j kriterinin i sınıfının frekans oranını ifade eder; $Np(LXi)$, X kriter değişkeninin i sınıfı içinde su arıza riski olan piksellerin sayısını gösterir; $Np(Xj)$, X_j kriter değişkeni içindeki piksellerin sayısını ifade eder; m, X kriter değişkeninin i sınıfındaki sınıf sayısını belirtir; n, çalışma alanındaki kriter sayısını temsil eder. (Costache ve Zaharia, 2017).

FO, (b) / (a) olarak da tanımlanır; burada (a), parametre alt grubunda yer alan arızalı piksellerin sayısının toplam arızalı piksellerin sayısına oranını ifade eder. (b) ise, ilgili alanda parametre alt grubuna ait piksellerin sayısının toplam alan piksel sayısına oranını temsil eder (Başara vd., 2020; Lee ve Talib, 2005).

Eğer değer 1'den büyükse, daha yüksek bir korelasyon anlamına gelirken, 1'den küçük bir değer daha düşük bir korelasyon anlamına gelir. FO, bir olayın meydana gelme olasılığının meydana gelmeme olasılığına oranı olarak tanımlanır (Demir vd. 2015). FO yöntemi, gözlemlenen ve bağımsız kriterler arasındaki ilişkiyi belirler (Lad vd. 2019; Oh vd. 2017). Frekans oranını hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır (4.10).

$$FO = \frac{PFA}{PIF} \quad (4.10)$$

PFA (Pixels in Failure Area), su arıza bölgesindeki her bir kriterin arızayı tetikleyen alt kriter yüzdesi iken, PIF (Pixels in Factor Class), her bir kriterin su arızasını tetikleyen kriter yüzdesidir. FO, bir kriterin sınıfındaki su arızası kriterlerine sahip piksel sayısı ile çalışma alanının tamamındaki arıza kriterlerine sahip toplam piksel

sayısı arasındaki oran hesaplanmıştır (Lee ve Pradhan, 2007). Her parametreye, hesaplanan frekans oranlarına bağlı olarak ağırlıklı bir değer verilmiştir.

Hesaplanan frekans oranlarının 1'den büyük olması, güçlü bir ilişkiyi; 1'den küçük olması ise zayıf bir ilişkiyi göstermektedir. Son olarak, frekans oranı değerlerinden elde edilen Normalleştirilmiş Frekans Oranı Değerleri (NFO), aşağıda verilen denklem (4.11) kullanılarak hesaplanmıştır (Taşkanat, 2022).

$$NFO = \frac{FO - MIN_{FO}}{MAX_{FO} - MIN_{FO}} \quad (4.11)$$

Burada MIN_{FO} ve MAX_{FO} , bir parametredeki sınıflar arasında sırasıyla en küçük frekans oranını ve en büyük frekans oranını temsil etmektedir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Alınmış olan arıza noktaları veri setinin doğrulama işlemlerinde kullanılması için %70 eğitim ve %30 test verisi olarak ikiye ayrılmıştır. Eğitim verisi ile kriterlere ait raster verileri eşleştirilerek tablo haline getirilmiştir. Kriterlere ait sınıflandırmalarla elde edilen alt sınıflara ait sayısal veriler FO yöntemiyle tablolaştırılmıştır. Bir sonraki aşamada FO verileri normalize edilerek tabloya eklenmiştir. AHP için ise genel kriterlere literatür araştırması sonucunda skorlar verilerek ağırlıklandırma matrisi oluşturulmuştur.

5.1 Frekans Oranı Yöntemiyle Kriterlerin Alt Sınıflarının Analizi

Bölüm 4.6’da bahsedildiği üzere, verilerin haritalama sürecinde, her bir kriter için ilişkili alt kriterlerin toplam piksel sayıları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda elde edilen frekans oranı (FO) bulguları, daha tutarlı ve doğru sonuçlar elde edebilmek amacıyla normalize edilmiştir. Normalizasyon işlemi, verilerin karşılaştırılabilirliğini artırarak, farklı kriterler arasında daha sağlam ve doğru bir analiz yapılmasını sağlamıştır.

FO sonuçlarını içeren tablo incelendiğinde (Çizelge 5.1) yükseklik arttıkça su arıza noktası frekansında azalma gözlemlenmektedir. Eğim kriteri incelendiğinde ise en çok FO 0-3° aralığında gözükmemektedir. Litoloji kriterinde ise en çok arıza frekansı çakıлтаşı-kumтаşı-çamurтаşı alt sınıfında gözükmemektedir.

Nüfus yoğunluğu alt sınıflarında ise en çok arıza frekansı 15000-20000 arasında bulunmaktadır. Toprak türü olarak, kırmızı akdeniz toprağında en çok arıza frekansı görülmektedir. Yola uzaklık tablosunda ise yola en yakın olan 0-250 m aralığının en yüksek arıza frekansına sahip olduğu görülmektedir. Çizgisellik kriteri incelendiğinde, çizgisellik yoğunluğu en az olan sınıfın en yüksek arıza frekansına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bakıda ise genel olarak birbirine yakın değerler göze çarpmış ve en çok batı sonrasında ise düz olan kısımlarda en yüksek arıza frekansları bulunmaktadır. Yapı yoğunluğunda ise en yüksek arıza frekansı değeri bina yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde görülmektedir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Kriterlerin frekans oranlarının hesaplanması.

Kriterler	Sınıf	Sınıf (%)	Arıza (%)	FO	NFO
Yükseklik [m]	24-50	0.171836	0.422833	2.460675	0.99
	50-100	0.258932	0.426004	1.645234	0.668611
	100-200	0.427241	0.147992	0.346389	0.14077
	200-350	0.132802	0.003171	0.02388	0.009704
	350-474	0.009188	0	0	0.01
Eğim [°]	0-3	0.298722	0.45666	1.528714	0.99
	3-6	0.348507	0.378436	1.085878	0.70534
	6-12	0.273349	0.158562	0.580073	0.368781
	12-15	0.038521	0.005285	0.137209	0.074101
	15-41	0.040902	0.001057	0.025844	0.01
Litoloji	Çakıltası-Kumtaşı-Çamurtaşı	0.128406	0.340381	2.65082	0.99
	Plaj	0.000391	0	0	0.01
	Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı	0.27612	0.109937	0.398148	0.150198
	Kireçtaşı	0.043783	0	0	0.01
	Killi Kireçtaşı	0.002551	0	0	0.01
	Kalis	0.460247	0.475687	1.033548	0.389897
	Dolgu	0.012251	0.002114	0.172564	0.065098
	Alüvyon	0.076252	0.071882	0.942687	0.355621
Nüfus [kişi]	0-5000	0.675476	0.325581	0.482003	0.01
	5000-10000	0.114734	0.17019	1.483343	0.423209
	10000-15000	0.107168	0.241015	2.248939	0.746783
	15000-20000	0.063839	0.181818	2.848067	0.99
	20000-32000	0.038782	0.081395	2.098774	0.683317
Toprak türü	M-Kahverengi orman toprağı	0.242718	0.006342	0.026131	0.018675
	R-Regosol	0.008866	0	0	0.01
	K-Kolüvyal toprak	0.039812	0.002114	0.053103	0.03795
	E-Kırmızı Akdeniz Toprağı	0.708603	0.991543	1.399293	0.99
Yola Uzaklık [m]	0-250	0.619111	0.926004	1.495699	0.99
	250-500	0.160257	0.070825	0.441943	0.295476
	500-750	0.092679	0.003171	0.034218	0.022877
	750-1000	0.062001	0	0	0.01
	1000-1750	0.065951	0	0	0.01
Çizgisellik	0-5	0.456209	0.688161	1.508432	0.99
	5-10	0.231515	0.230444	0.995375	0.630797
	10-15	0.148842	0.056025	0.376408	0.18538
	15-25	0.145638	0.023256	0.159682	0.01
	25-35	0.017796	0.002114	0.118798	0.01
Bakı	düz	0.038987	0.044397	1.13877	0.549239

Çizelge 5.1. (devam) Kriterlerin frekans oranlarının hesaplanması.

Bakı	kuzey	0.042875	0.04334	1.010852	0.3628
	kuzeydoğu	0.113765	0.086681	0.76193	0.01
	doğu	0.149558	0.153277	1.024868	0.383228
	güneydoğu	0.218055	0.214588	0.984098	0.323806
	güney	0.173571	0.168076	0.968344	0.300846
	güneybatı	0.141049	0.132135	0.936802	0.254873
	batı	0.063511	0.091966	1.448043	0.99
	kuzeybatı	0.043105	0.05074	1.177113	0.605123
	kuzey	0.015524	0.014799	0.953318	0.278945
Yapı yoğunluk	0-25	0.741077	0.257928	0.348045	0.01
	25-50	0.136445	0.294926	2.161501	0.474341
	50-75	0.069011	0.247357	3.584313	0.846503
	75-100	0.038768	0.138478	3.571951	0.843269
	100-139	0.014699	0.061311	4.171148	0.99

5.2 AHP ile Kriter Ana Sınıflarının Ağırlıklarının Belirlenmesi

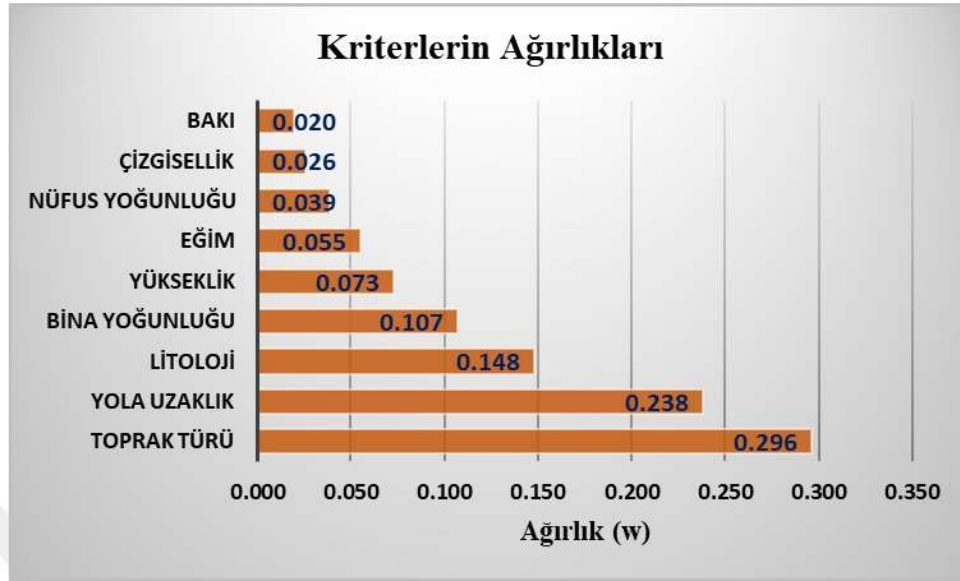
Literatürde diğer çalışmalarda kullanılan kriterlerin önem dereceleri dikkate alınarak, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kapsamında belirlenen dokuz kriter arasındaki ikili karşılaştırmalarla oluşturulan karşılaştırma matrisi Çizelge 5.2’de sunulmaktadır (Mokhtari vd., 2023; Tanış ve Çelik, 2024).

Çizelge 5.2. İkili karşılaştırma matrisi.

Kriterler	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Toprak türü (A)	1	2	3	5	5	6	7	7	7
Yola uzaklık (B)	1/2	1	3	4	5	5	7	7	7
Litoloji (C)	1/3	1/3	1	2	4	4	5	6	6
Bina yoğunluğu (D)	1/5	1/4	1/2	1	2	4	4	5	6
Yükseklik (E)	1/5	1/5	1/4	1/2	1	2	3	4	5
Eğim (F)	1/6	1/5	1/4	1/4	1/2	1	2	3	5
Nüfus yoğunluğu (G)	1/7	1/7	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	4
Çizgisellik (H)	1/7	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
Bakı (I)	1/7	1/7	1/6	1/6	1/5	1/5	1/4	1/2	1

Duyarlılık haritaları üretilmeden önce, arıza kriterlerinin önem puanlarının hesaplanması gerekmektedir. En önemli arıza kriteri toprak türleri (0.296) olarak hesaplanmıştır. Ardından yola uzaklık (0.238), litoloji (0.148), bina yoğunluğu (0.107), yükseklik (0.073), eğim (0.055), nüfus yoğunluğu (0.039), çizgisellik (0.026) ve son

olarak en az etkileyen kriter bakı (0.02) olarak belirlenmiştir. Şekil 5.1'de kriterlerin önem ağırlıklarını gösteren sütun grafiği mevcuttur.



Şekil 5.1. Kriterlerin önem ağırlıkları.

Çizelge 5.3. Tutarlılık indeksi, rastgele tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranı.

λ_{max}	CI	RI	CR
10.101	0.138	1.45	0.095

Tutarlılık indeksi (CI), rastgele tutarlılık indeksine (RI) oranlanarak tutarlılık oranı (CR) 0.09 olarak hesaplanmıştır. AHP analizlerinde $CR < 0.1$ olduğu durumlarda kriter ağırlıklandırma işlemi tutarlı kabul edilmektedir (Çizelge 5.3).

İkili karşılaştırma matrisinden elde edilen sonuçlar, literatürdeki bulgularla uyumlu şekilde, en etkili kriterin toprak türü olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle kriter ağırlıklandırmasının en başında yer almaktadır. Yola uzaklık da toprak türünden sonra en önemli etkenlerden biridir. Zeminde basınç oluşması, borular üzerinde sürekli değişken akışın olması vb. birçok etkenden dolayı su arıza riskini arttırmaktadır. Çizgisellik ise nehir yataklarını, birden derinleşen toprak kısımlarını göstermektedir. Bu durum da arıza risklerinin artmasına boruların daha kolay çürümesine sebep olmaktadır. Bina yoğunluğu da keza basınç oluşturmaya, boruların yoğun kullanımı sebebiyle arıza oranlarını arttırmaktadır. Bina yoğunluğundan sonra en çok arızayı etkileyen kriter eğimdir. Ek olarak, yükseklik verisi de su arıza riskinde nispeten daha

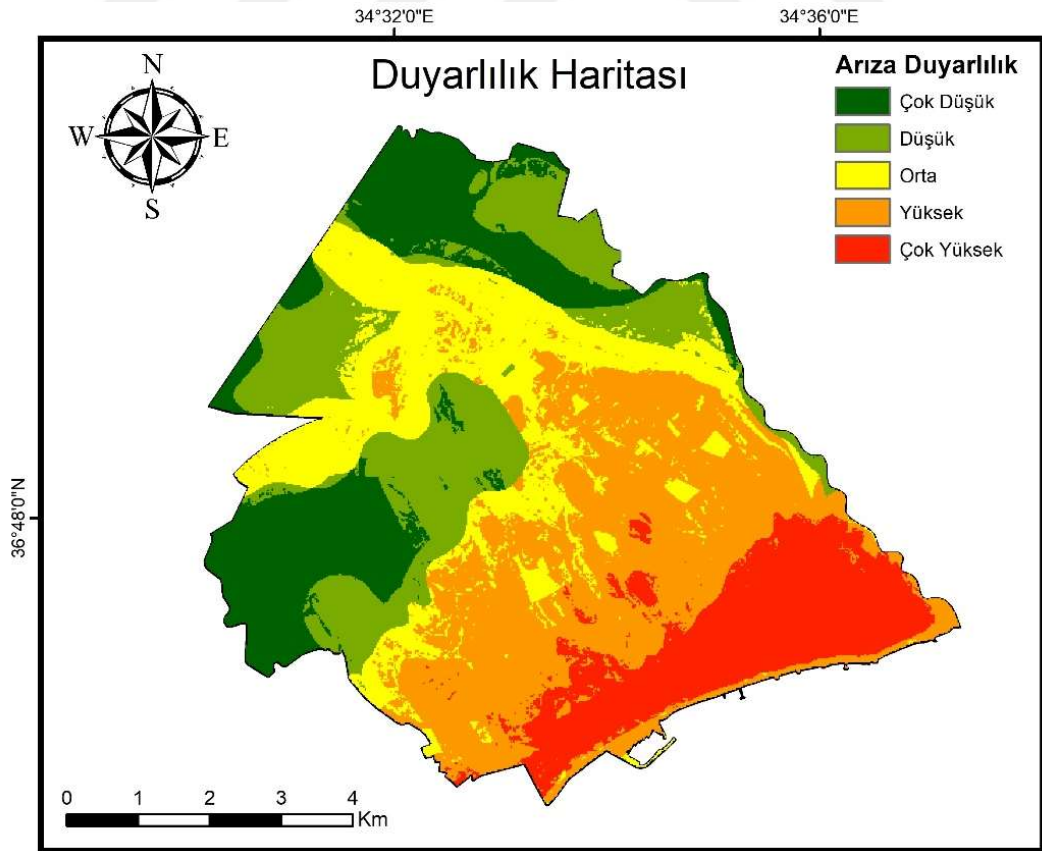
az etkili bir başka kriterdir. Sırasıyla azalarak nüfus, litoloji ve en son olarak bakı etkisi su arızalarını etkilemektedir.

5.3 Su Arıza Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

Çalışmanın bu aşamasında öncelikli olarak arıza noktalarının %70 i rastgele olarak seçilip duyarlılık haritası oluşturulması için ayrılmıştır. Geri kalan %30 luk arıza noktaları duyarlılık haritasının doğrulaması için ayrılmıştır.

Duyarlılık haritası için önceden oluşturulmuş olan toprak türü, eğim, çizgisellik, bina yoğunluğu, yükseklik, litoloji, bakı, yollara uzaklık, nüfus yoğunluğu gibi haritalarla ayrılmış olan arıza noktaları eşleştirilmiştir. Hangi arıza bu kriterlerin hangi alt sınıfına düştüğü tespit edilmiştir. Bu verilerle eşleştirme tablosu oluşturulmuştur.

Önceden AHP yöntemi ile ağırlıklandırılan ana kriterler ile FO yöntemi ile analizleri yapılmış olan alt kriterler için ayrı sınıflandırma yapılarak üretilen veri haritaları ArcGIS programında bulunan Raster Calculator aracı ile hesaplanarak su arıza duyarlılık haritaları üretilmiştir. Üretilen arıza duyarlılık haritası Şekil 5.2'de sunulmuştur.

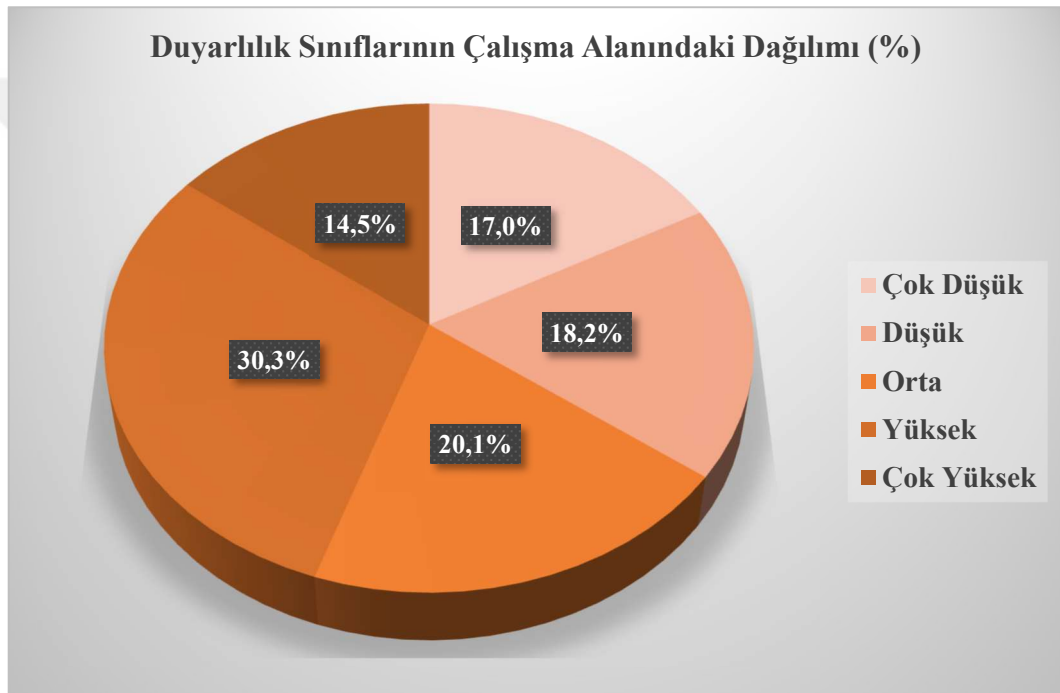


Şekil 5.2. Çalışma alanının arıza duyarlılık haritası.

Arıza haritasına göre alan karşılaştırması, alanlara düşen piksel sayıları ve piksel yüzdesi de eklenmiştir (Çizelge 5.4; Şekil 5.3).

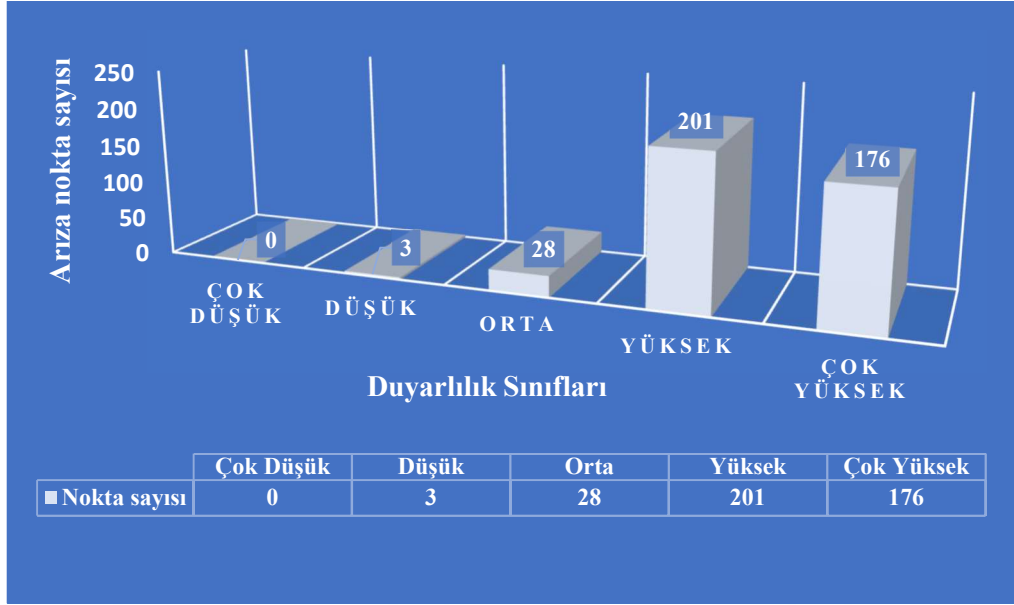
Çizelge 5.4. Duyarlılık sınıflarının çalışma alanındaki dağılımı.

Arıza Duyarlılığı	Piksel Sayısı	Piksel Yüzdesi
Çok Düşük	23800	17.0%
Düşük	25486	18.2%
Orta	28183	20.1%
Yüksek	42448	30.2%
Çok Yüksek	20385	14.5%



Şekil 5.3. Duyarlılık sınıflarının çalışma alanındaki dağılım yüzdeleri.

Yüksek ve çok yüksek duyarlılık alanına düşen toplam nokta sayısı 377'tür. Bu sayı toplam nokta sayısına oranı %92.40'dir. Çok düşük duyarlılık olan alana düşen nokta bulunmamaktadır. Şekil 5.4'te test verisinin duyarlılık sınıfları içerisindeki dağılımı sunulmaktadır. Bu durum ağırlıklandırmaların doğru bir şekilde yapıldığının göstergesi olarak kabul edilmektedir.



Şekil 5.4. Test verisinin duyarlılık sınıfları içerisindeki dağılımı.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Su boru arızaları, modern altyapı sistemlerinin en yaygın ve zorlu problemlerinden biri olarak bilinmektedir. Bu sorun, sadece yerel ölçekte sınırlı kalmaz; dünya genelinde, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde farklı nedenlerle ve etkilerle karşımıza çıkmaktadır (Taiwo vd., 2023). Bu çalışmada, su boru arızalarının temel nedenleri, küresel etkileri ve çözüm yollarına dair özgün bir bakış sunulmuştur.

Su boru arızalarının nedenleri genellikle coğrafi, teknolojik ve sosyal kriterlerle ilişkilidir. Gelişmiş ülkelerde, altyapının büyük bir kısmı 20. yüzyılın ortalarında inşa edilmiştir. Paslanma, aşınma ve malzeme yorgunluğu sık sık boru arızalarına yol açmaktadır (Cullin vd., 2015).

Küresel ısınma nedeniyle meydana gelen aşırı sıcaklık değişimleri, boruların genişmesine veya çatlamasına neden olabilir. Özellikle soğuk bölgelerde boruların donması ve patlaması yaygın görülmektedir. Hindistan ve Bangladeş gibi ülkelerde, muson yağmurları sırasında toprak kaymaları boru hatlarını ciddi şekilde hasara uğratabilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde, hızlı kentleşme sonucunda su şebekeleri planlamadan yoksun şekilde genişletilmekte, bu da yetersiz bağlantılar ve arızalara yol açmaktadır (Kamal vd.,2022).

Su boru arızaları, sadece su kaybına değil, aynı zamanda ekonomik ve çevresel sorunlara da neden olmaktadır. Patlayan borular nedeniyle su kirliliği ve tarım alanlarının zarar görmesi sık görülen sorunlardır. Örneğin, Çin'deki yoğun sanayi bölgelerinde boru arızaları, kimyasal maddelerin su kaynaklarına karışmasına neden olabilmektedir (Wu vd., 1999). Japonya ve Almanya gibi ülkelerde, IoT (Nesnelerin interneti) sensörleriyle boru hatları izlenmekte ve erken sızıntı tespiti yapılmaktadır. Bu sistemler, arızaların meydana gelmeden önce tespit edilmesini sağlar.

Bu çalışmanın amacı; frekans oranı ve AHP yöntemleri kullanarak Akdeniz kıyısında bulunan Mersin ili Yenişehir ilçesindeki su arızalarını oluşmadan tahmin edebilmek, su kayıp oranlarını azaltmak, sürdürülebilir su kaynak yönetimini sağlamak, çevresel faktörlerin su arızalarına ne kadar etki ettiğini tespit edebilmektir. Birden fazla yöntemin kullanıldığı çalışmalar daha güçlü ve daha doğru sonuçların alınabilmesine yardımcı olmaktadır. Nicel bulgulara göre Mersin İli Yenişehir ilçesinde su arızasına karşı yüksek duyarlılığı ve çok yüksek duyarlılığı olan büyük alanlar bulunmaktadır.

Hesaplanan frekans oranlarına bağılı olarak her kritere bir ağırlık değeri verilmiş, kriterler frekans oranlarına göre yeniden sınıflandırılmış ve bir arıza duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Arıza duyarlılık haritası, CBS'de eşit aralık yöntemi kullanılarak yeniden sınıflandırılmış ve sonuç olarak çalışma alanı beş duyarlılık sınıfına ayrılmıştır: çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek. Yenişehir ilçesi için yüksek ve çok yüksek duyarlılık olan alan yüzdesi %48,5 olarak hesaplanmıştır.

Su arıza tespiti için yapılan literatür araştırmasında AHP çalışmaları bulunmaktadır. Fakat su arıza tahmini için Frekans Oranı ve AHP yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada her iki yöntem birlikte uygulanmıştır.

Literatürde de birçok makale ve tez çalışmalarında su ana iletim hattı verileri işlenerek birçok makine öğrenmesi yöntemiyle analizler yapılmıştır. Bu tez çalışmasında makine öğrenmesi yönteminin kullanılabilmesi için boru hattı verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gerçekte olan arıza verileri ile boru hattı verileri analiz edilerek ileride olabilecek arızaların tahmin edilme imkanı bulunmaktadır. Fakat yine de birbirine entegre edilerek uygulanan bu iki yöntemin sonucu arıza noktaları ile %92,40 oranında eşleşme sağlamıştır. Diğer çalışmalarda çok fazla kullanılmayan bakı, çizgisellik gibi veriler de bu çalışmaya eklenmiştir.

Yola uzaklık kriteri, trafik yoğunluğu etkisinde göz önünde bulundurularak incelendiği Bölüm 4.8'de aktarılmıştır. İlgili kriterin haritası (Şekil 4.10) incelendiğinde arıza noktalarının çoğunun trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgelere düştüğünü görmekteyiz (%90). Literatürde de su arızasıyla ilgili benzer çalışmalar incelendiğinde trafik yoğunluğunun etkili bir kriter olduğunu görmekteyiz (Kılınç vd., 2018). Trafik yüklerinden kaynaklanan enine çekme gerilmeleri (Farewell vd., 2012), zemin yükleri nedeniyle enine yüklerin gelişimi gibi durumlar borularda boyuna çatlaklara neden olabilmektedir (Mora-Rodríguez vd., 2014; Taiwo vd., 2023).

Litoloji kriterinin kullanıldığı literatürdeki diğer çalışmalar incelendiğinde, içerisinde taş bulunan topraklarda, killi ve kumlu topraklardan daha fazla su borusu kırılması gözlemlenmiştir (Karasneh ve Moqbel, 2024). Oluşturduğumuz haritada (Şekil 4.7) çakıltaşı olan bölgeye yüksek oranda arıza noktası düşmektedir (%81), (çakıltaşı ve kaliş); bu durumda çalışma sonuçlarının literatürle uyumlu olduğu görülmektedir.

Nüfus yoğunluğu ile ilgili olarak, genelde nüfus yoğunluğu ne kadar yüksekse, boru arızalarının sonuçları o kadar ciddi olur (Fan vd., 2022). Çalışmamızda nüfus yoğunluğunu (Şekil 4.8) analiz ettiğimizde de literatürle orantılı olarak nüfusun fazla olduğu bölgelere yüksek oranda (%66) arıza noktası düşmektedir (Ahmad vd., 2023).

Literatür incelendiğinde bina yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde arıza oranlarının yüksek seyrettiği görülmektedir (Kaur vd., 2020). Bina yoğunluğu haritası ile arıza noktaları karşılaştırıldığında %73'lük eşleşme görülmektedir (Şekil 4.9). Bu sebeple çalışmamız literatürdeki çalışmalarla uyumluluk sağlamaktadır (Mikovits vd., 2014).

Literatürde bakı için güney yamaçlarda daha çok su arızası bulunmuşken bu çalışmada (Şekil 4.5) batıya düşen kısımlarda daha çok su arızası düştüğü tespit edilmiştir (Tye vd., 2017).

Literatürde yükseklik verilerinin eğim verisinden daha etkili olduğu belirtilmiştir (Tye vd., 2017). Yaptığımız çalışmada da buna benzer olarak yükseklik verisi eğim verisinden daha önemli olarak kategorilendirilmiştir (Şekil 5.1).

Bu tez çalışmasında olduğu gibi birçok kriter su arızalarını etkileyebilmektedir. Tezde kullanılan 9 kriter, FO ve AHP yaklaşımları ile entegre edilerek literatüre farklı bir yaklaşım kazandırılmış ve gerçekte olan arıza verileriyle karşılaştırılarak doğrulaması yapılmıştır. Önerilen yöntemler, en güncel koşullandırma unsurlarını göz önünde bulundurarak her bölgeye uyarlanabilir ve karar alıcıların çalışmalarına destek sağlayabilir. Ek olarak günümüzde kullanılan kent bilgi sistemlerine su arızaları ile ilgili altlık oluşturabilir, arıza üretebilecek alanlar önceden belirlenebilir ve buna göre önlemler alınması sağlanabilir. Ayrıca, ulusal kaynakların gereksiz yere harcanmasının önlenmesi ve planlanan altyapı projelerinde ortaya çıkabilecek sorunların önceden tespit edilerek gerekli önlemlerin alınabilmesi açısından önem taşımaktadır. Dolayısıyla, şehircilik hizmetlerinin yürütülmesinde çok fazla kolaylık sağlanacaktır (Yomralıoğlu, 2000). Bu çalışmanın devamı niteliğinde kullanılan kriterlere ek olarak meteorolojik veriler, boru öznitelikleri (yaş, tür, boru çizgisel verileri), fiziksel veriler (sıcaklık, basınç, debi) eklenerek bu kriterlerin arızalara olan etkileri araştırılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ağakay, M. A., 1959. Türkçe Sözlük, Türk Dil Kurumu Yayınları. Ankara, 175.
- Ahmad, T., Shaban, I. ve Zayed, T., 2023. Watermain breaks in hong kong: Causes and consequences. 2nd International Conference on Civil Infrastructure and Construction. Qatar University, Doha, Qatar.
- Ahmadi, H. ve Pekkan, E., 2021. Fault-based geological lineaments extraction using remote sensing and GIS—a review. *Geosciences*, 11, 5, 183.
- Ait Lamqadem, A., Pradhan, B., Saber, H. ve Rahimi, A., 2018. Desertification sensitivity analysis using MEDALUS model and GIS: a case study of the Oases of Middle Draa Valley, Morocco. *Sensors*, 18, 7, 2230.
- Akbari, A., Yahaya, F. B. M., Azamirad, M. ve Fanodi, M., 2014. Landslide susceptibility mapping using logistic regression analysis and GIS tools. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 19, 1687-1696.
- Akıllı, H. ve Özaslan, R., 2017. Su kayıplarının önlenmesinde teknoloji kullanımı: Büyükşehir belediyelerinde scada uygulaması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22, Kayfor 15 Özel Sayısı, 1599-1618.
- Akinluyi, F. O., Olorunfemi, M. O. ve Bayowa, O. G., 2018. Investigation of the influence of lineaments, lineament intersections and geology on groundwater yield in the basement complex terrain of Ondo State, Southwestern Nigeria. *Applied water science*, 8, 1-13.
- Al-Barqawi, H. ve Zayed, T., 2006. Condition rating model for underground infrastructure sustainable water mains. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 20, 2, 126-135.
- Al-Barqawi, H. ve Zayed, T., 2008. Infrastructure management: Integrated AHP/ANN model to evaluate municipal water mains' performance. *Journal of Infrastructure Systems*, 14, 4, 305-318.
- Alexakis, D. D., Agapiou, A., Tzouvaras, M., Themistocleous, K., Neocleous, K., Michaelides, S. ve Hadjimitsis, D. G., 2014. Integrated use of GIS and remote sensing for monitoring landslides in transportation pavements: the case study of Paphos area in Cyprus. *Natural Hazards*, 72, 119-141.
- Ali, E., 2020. Geographic information system (GIS): definition, development, applications & components. Department of Geography, Ananda Chandra College. India.
- Ali, J. A., Khodakarami, L., Khudadad, Z. J., Rustam, J. M., Shawkat, A. B., Ali, S. S. ve Faqe, B. A., 2024. Investigating the Influence of Environmental Factors on Corrosion in Pipelines Using Geospatial Modeling. *UHD Journal of Science and Technology*, 8, 1, 1-12.

- Aljoufie, M., 2021. The impact assessment of increasing population density on Jeddah road transportation using spatial-temporal analysis. *Sustainability*, 13, 3, 1455.
- Almheiri, Z., Meguid, M. ve Zayed, T., 2020. Intelligent approaches for predicting failure of water mains. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 11, 4, 04020044.
- Altyapı ve Kazısız Teknolojiler Derneği (AKATED), 2023, 7. Su kayıp ve kaçakları forumu ve sergisi, Sonuç Raporu. İstanbul, Türkiye.
- Álvarez, I. C., Prieto, Á. M., ve Zofío, J. L., 2014. Cost efficiency, urban patterns and population density when providing public infrastructure: A stochastic frontier approach. *European Planning Studies*, 22, 6, 1235-1258.
- Alzabeebee, S., Chapman, D., Jefferson, I. ve Faramarzi, A., 2017. The response of buried pipes to UK standard traffic loading. *Proceedings of the institution of civil engineers-geotechnical engineering*, 170, 1, 38-50.
- Andreou, S. A., Marks, D. H. ve Clark, R. M., 1987. A new methodology for modelling break failure patterns in deteriorating water distribution systems: Theory. *Advances in Water Resources*, 10, 1, 2-10.
- Antenucci, J. C., 1982. A GIS generation gap: MAGI and KNRIS. *Computers, Environment and Urban Systems*, 7, 4, 269-273.
- Aranda, V., Ayora-Cañada, M. J., Domínguez-Vidal, A., Martín-García, J. M., Calero, J., Delgado, R. ve González-Vila, F. J., 2011. Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park, S Spain. *Geoderma*, 164, 1-2, 54-63.
- Arsénio, A. M., Dheenathayalan, P., Hanssen, R., Vreeburg, J. ve Rietveld, L., 2015. Pipe failure predictions in drinking water systems using satellite observations. *Structure and Infrastructure Engineering*, 11, 8, 1102-1111.
- Ashraf, M. I., Zhao, Z., Bourque, C. P. A., Meng ve F. R., 2012. GIS-evaluation of two slope-calculation methods regarding their suitability in slope analysis using high-precision LiDAR digital elevation models. *Hydrological Processes*, 26, 8, 1119-1133.
- Aşchilean, I., Badea, G., Giurca, I., Naghiu, G. S. ve Iloaie, F. G., 2017. Choosing the optimal technology to rehabilitate the pipes in water distribution systems using the AHP method. *Energy Procedia*, 112, 19-26.
- Ayalew L., Yamagishi H., Marui H. ve Kanno T., 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Eng Geol* 81, 432-445

- Ayazi, M. H., Pirasteh, S., Arvin, A. K. P., Pradhan, B., Nikouravan, B. ve Mansor, S., 2010. Disasters and risk reduction in groundwater: Zagros Mountain Southwest Iran using geoinformatics techniques. *Disaster Adv*, 3, 1, 51-57.
- Baird, G. M., Sanchez, D. G. ve Tamashasky, B., 2018. Water main criticality scoring and GIS Centric Risk Mitigation: Applying GIS spatial analysis tools and apps for greater insight for high risk underground infrastructure. In *pipelines 2018*, 124-132. Reston, VA, American Society of Civil Engineers.
- Bardet, J. P., Fu, T. S. ve Davis C. A., 2014. Failure of street pavements resulting from underground water pipeline breaks. *Journal-American Water Works Association*, 106, 12.
- Başara, A. C., Tabar, M. E. ve Şişman, Y., 2020. GIS-Based landslide susceptibility mapping using frequency ratio and AHP methods. *Intercontinental Geoinformation Days*, 1, 223-226.
- Berse, K. B., Bendimerad, F. ve Asami, Y., 2011. Beyond geo-spatial technologies: promoting spatial thinking through local disaster risk management planning. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 21, 73-82.
- Bilgiliöğlu, S. S. ve Bilgiliöğlu, H., 2023. Aksaray ili obruk duyarlılık haritasının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemleri ile oluşturulması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12, 2, 1-1.
- Birleşmiş Milletler, 2024. Report of the secretary-general on the work of the organization.
- Boryczko, K. ve Tchórzewska-Cieślak, B., 2014. Analysis of risk of failure in water main pipe network and of delivering poor quality water. *Environment Protection Engineering*, 40, 4, 77-92.
- Boryczko, K., Piegoń, I., Szpak, D. ve Żywiec, J., 2021. Risk assessment of lack of water supply using the hydraulic model of the water supply. *Resources*, 10, 5, 43.
- Bozkurt, C., Firat, M. ve Ateş, A., 2022. Development of a new comprehensive framework for the evaluation of leak management components and practices. *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 71, 5, 642-663.
- Bozyigit, R., 2020. Seydikemer ilçesi (Muğla) topraklarının özellikleri ve kullanımı üzerine bir değerlendirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 695-706.
- Bozyigit, R. ve Güngör, Ş., 2011. Konya ovasının toprakları ve sorunları. *Marmara coğrafya dergisi*, 24, 169-200.
- Burrough, P. A., 1986. Principles of geographical. Information systems for land resource assessment. Clarendon Press, Oxford.

- Butler, D., Digman, C. J., Makropoulos, C. ve Davies, J. W., 2018. Urban drainage. Crc Press.
- Campos, S. J. A., Azevedo, A. A., Gallardo, A. L. F., Martins, P. R., Dehira, L. K. ve Siqueira, A. G., 2015. Integrated geological, geotechnical and hydrogeological model applied to environmental impact assessment of road projects in Brazil. In Engineering Geology for Society and Territory-Volume 6: Applied Geology for Major Engineering Projects, 1071-1075. Springer International Publishing.
- Cevik, E. ve Topal, T., 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek, Turkey. Environmental geology, 44, 949-962.
- Chen, J., Wang, B., Huang, S., ve Song, M., 2020. The influence of increased population density in China on air pollution. Science of the Total Environment, 735, 139456.
- Chen, N., Tang, G. A., Guo, D., ve Chen, C., 2014. Influence of DEM orientation on the error of slope calculation. Earth Science Informatics, 7, 277-285.
- Chen, T. Y. J. ve Guikema, S. D., 2020. Prediction of water main failures with the spatial clustering of breaks. Reliability Engineering ve System Safety, 203, 107108.
- Ching, F. D., 2020. Building construction illustrated. John Wiley & Sons.
- Choi, T. ve Koo, J., 2015. A water supply risk assessment model for water distribution network. Desalination and Water Treatment, 54, 4-5, 1410-1420.
- Choi, J., Oh, H. J., Lee, H. J., Lee, C., ve Lee, S., 2012. Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS. Engineering geology, 124, 12-23.
- Christodoulou, S., Agathokleous, A., Charalambous, B. ve Adamou, A., 2010. Proactive risk-based integrity assessment of water distribution networks. Water resources management, 24, 3715-3730.
- Christodoulou, S., Aslani, P. ve Deligianni, A., 2006. Integrated GIS-based management of water distribution networks. In Proceedings of the International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, Montreal, QC, Canada, 14-16.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. ve Vescovi, P., 2002. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. Geomorphology, 48, 4, 349-364.
- Conforti, M., Aucelli, P. P., Robustelli, G. ve Scarciglia, F., 2011. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment, Northern Calabria, Italy. Natural hazards, 56, 881-898.

- Corgne, S., Magagi, R., Yergeau, M. ve Sylla, D., 2010. An integrated approach to hydro-geological lineament mapping of a semi-arid region of West Africa using Radarsat-1 and GIS. *Remote Sensing of Environment*, 114, 9, 1863-1875.
- Costache, R., ve Zaharia, L., 2017. Flash-flood potential assessment and mapping by integrating the weights-of-evidence and frequency ratio statistical methods in GIS environment–case study: Bâsca Chiojdului River catchment (Romania). *Journal of Earth System Science*, 126, 4, 59.
- Cramer, V., Torgersen, S. ve Kringlen, E., 2004. Quality of life in a city: The effect of population density. *Social Indicators Research*, 69, 103-116.
- Cullin, M. J., Petersen, T. H. ve Paris, A., 2015. Corrosion fatigue failure of a gray cast iron water main. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 6, 2, 05014003.
- Çağlayan, İ., 2022. Çok Nitelikli Karar Verme. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi. Bitirme Tezi Poster Sunumu.
- Çelik, M. Ö., Alptekin, A., Ünel, F. B., Kuşak, L. ve Kanun, E., 2020. The effect of different flight heights on generated digital products: DSM and Orthophoto. *Mersin Photogrammetry Journal*, 2, 1, 1-9.
- Çetin, M., Adiguzel, F., Gungor, S., Kaya, E. ve Sancar, M. C., 2019. Evaluation of thermal climatic region areas in terms of building density in urban management and planning for Burdur, Turkey. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12, 1103-1112.
- Dawood, T., Elwakil, E., Novoa, H. M. ve Gárate Delgado, J. F., 2020. Water pipe failure prediction and risk models: state-of-the-art review. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 47, 10, 1117-1127.
- De Oliveira, D. P., Neill, D. B., Garrett Jr, J. H. ve Soibelman, L., 2011. Detection of patterns in water distribution pipe breakage using spatial scan statistics for point events in a physical network. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 25, 1, 21-30.
- Demir, G., Aytekin, M. ve Akgun, A., 2015. Landslide susceptibility mapping by frequency ratio and logistic regression methods: an example from Niksar–Resadiye, Tokat, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 1801-1812.
- Demir, V. ve Keskin, A. Ü., 2020. Obtaining the Manning roughness with terrestrial-remote sensing technique and flood modeling using FLO-2D: A case study Samsun from Turkey. *Geofizika*, 37, 2, 131-156.
- Demirel, Ş. C. ve Hastaoğlu, K. Ö., 2022. CBS tabanlı AHP yöntemi kullanılarak oluşturulan Sivas Koyulhisar heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliğinin araştırılması. *Afet ve Risk Dergisi*, 5, 2, 715-730.

- Demirkesen, A. C., 2012. Multi-risk interpretation of natural hazards for settlements of the Hatay province in the east Mediterranean region, Turkey using SRTM DEM. *Environmental Earth Sciences*, 65, 1895-1907.
- Dixon, K., Blakey, G., Whiter, J. ve Hope, V., 2020. GIS-based risk analysis of ferrous water mains. In *Underground Infrastructure Research*, 395-402.
- Dixon, B. ve Uddameri, V., 2016. *GIS and geocomputation for water resource science and engineering*. John Wiley & Sons.
- Doyle, G., Seica, M. V. ve Grabinsky, M. W., 2003. The role of soil in the external corrosion of cast iron water mains in Toronto, Canada. *Canadian geotechnical journal*, 40, 2, 225-236.
- Dunn, M. ve Hickey, R., 1998. The effect of slope algorithms on slope estimates within a GIS. *Cartography*, 27, 1, 9-15.
- El-Monsef, A., Hesham, M., Shendi, E. A. H., Mohamed, E. F., Smith, S. E. ve Hany, S. M., 2022. Developing a Master Urban Plan for the west Bitter Lakes Region, Ismailia, Egypt, using geology considerations and the analytic hierarchy process (AHP). *Catrina: The International Journal of Environmental Sciences*, 25, 1, 1-10.
- Embaby, A., Youssef, Y. M. ve Abu El-Magd, S. A., 2024. Delineation of lineaments for groundwater prospecting in hard rocks: inferences from remote sensing and geophysical data. *Environmental Earth Sciences*, 83, 2, 62.
- Engelhardt, M. O., Skipworth, P. J., Savic, D. A., Saul, A. J. ve Walters, G. A., 2000. Rehabilitation strategies for water distribution networks: a literature review with a UK perspective. *Urban Water*, 2, 2, 153-170.
- Enoh, M. A., Okeke, F. I. ve Okeke, U. C., 2021. Automatic lineaments mapping and extraction in relationship to natural hydrocarbon seepage in Ugwueme, South-Eastern Nigeria. *Geodesy and Cartography*, 47, 1, 34-44.
- Erinç, S., 2001. *Lise Coğrafya ders kitabı*. Altın Kitaplar.
- Eskandari, M., Omidvar, B., Modiri, M., Nekooie, M. A. ve Alesheikh, A. A., 2017. Geospatial analysis of earthquake damage probability of water pipelines due to multi-hazard failure. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6, 6, 169.
- Fan, X., Wang, X., Zhang, X. ve Yu, X. B., 2022. Machine learning based water pipe failure prediction: The effects of engineering, geology, climate and socio-economic factors. *Reliability Engineering & System Safety*, 219, 108185.
- Fares, H. A., 2008. Evaluating the risk of water main failure using a hierarchical fuzzy expert system, Doctoral dissertation, Concordia University.
- Fares, H., ve Zayed, T., 2008. Evaluating water main failure risk using a hierarchical fuzzy expert system. In *Proc. Annu. Conf. Can. Soc. Civ. Eng.*, Vol. 1, 510-520.

- Fares, H. ve Zayed, T., 2010. Hierarchical fuzzy expert system for risk of failure of water mains. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 1, 1, 53-62.
- Farewell, T. S., Hallett, S. H., Hannam, J. A., ve Jones, R. J., 2012. Soil impacts on national infrastructure in the United Kingdom. Cranfield University, Cranfield, UK.
- Farroukh, I. S., ve Farroukh, I. S., 2019. Creation of web-based application for earthquake hazard analysis by GIS and AHP, Yüksek Lisans Tezi, Bilişim Enstitüsü.
- Fernandes-da-Silva, P. C., Vedovello, R., Ferreira, C. J., Cripps, J. C., Brollo, M. J., ve Fernandes, A. J., 2010. Geo-environmental mapping using physiographic analysis: constraints on the evaluation of land instability and groundwater pollution hazards in the Metropolitan District of Campinas, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, 61, 8, 1657-1675.
- Fırat, M., Yılmaz, S. ve Orhan, C., 2021. Su kayıp yönetimi için temel hesaplama araçlarının geliştirilmesi ve temel su kayıp bileşenlerinin analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 2, 405-416.
- Fitchett, J. C., Karadimitriou, K., West, Z. ve Hughes, D. M., 2020. Machine learning for pipe condition assessments. *J. AWWA*, 112, 5, 50-55.
- Folkman, S., 2018. Water main break rates in the USA and Canada: A comprehensive study.
- Fossey, M., Angers, D., Bustany, C., Cudennec, C., Durand, P., Gascuel-Odoux, C. ve Walter, C., 2020. A framework to consider soil ecosystem services in territorial planning. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 28.
- Francis, R. A., Guikema, S. D. ve Henneman, L., 2014. Bayesian belief networks for predicting drinking water distribution system pipe breaks. *Reliability Engineering & System Safety*, 130, 1-11.
- Freire, S., 2010. Modeling of spatiotemporal distribution of urban population at high resolution—value for risk assessment and emergency management. *Geographic Information and Cartography for Risk and Crisis Management: Towards Better Solutions*, 53-67.
- Garaci, M., ve Zhang, J., 2009. Simplified GIS for Water Pipeline Management. In *Pipelines 2009: Infrastructure's Hidden Assets*, 412-419.
- Garbrecht, J., ve Martz, L. W., 2000. Digital elevation model issues in water resources modeling. *Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems*, 1-28.
- Ghaffarian, S., Kerle, N. ve Filatova, T., 2018. Remote sensing-based proxies for urban disaster risk management and resilience: A review. *Remote sensing*, 10, 11, 1760.

- Giraldo-González, M. M. ve Rodríguez, J. P., 2020. Comparison of statistical and machine learning models for pipe failure modeling in water distribution networks. *Water*, 12, 4, 1153.
- Gökalp, Ö. M., 2022. Makine öğrenmesi. Gazi Üniversitesi, Gazi BilişimEnstitüsü, Adli Bilişim Bölümü, 1-14.
- Gray, J., Chapman, G., Yang, X. ve Young, M., 2011. Soil and land constraint assessment for urban and regional planning. *Australian Planner*, 48, 1, 12-23.
- Gupta, R. P., 2018. Digital elevation model. *Remote Sensing Geology*, 101-106.
- Guth, P. ve Kane, M., 2021. Slope, aspect, and hillshade algorithms for non-square digital elevation models. *Transactions in GIS*, 25, 5, 2309-2332.
- Halfawy, M. R., Pyzoha, D. ve El-Hosseiny, T., 2002. An integrated framework for GIS-based civil infrastructure management systems. In *Proceedings of the Canadian Society for Civil Engineers (CSCE) Conference*, Montreal, Canada.
- Hariri Asli, K., Haghi, A. K., Hariri Asli, H. ve Sabermaash Eshghi, E., 2012. Water hammer modelling and simulation by GIS. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2012, 1, 704163.
- Harvey, R., McBean, E. A. ve Gharabaghi, B., 2014. Predicting the timing of water main failure using artificial neural networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140, 4, 425-434.
- He, Y., Bayly, A. E., Hassanpour, A., Muller, F., Wu, K. ve Yang, D., 2018. A GPU-based coupled SPH-DEM method for particle-fluid flow with free surfaces. *Powder technology*, 338, 548-562.
- Hedi, I., Ciriković, E. ve Jukić, O., 2022. Improving city infrastructure resilience capacity: resilience management guidelines in mobile network. In *2022 45th Jubilee International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO)*, 421-427.
- Hein, D., Bayer, S., Berger, R., Kraft, T. ve Lesmeister, D., 2017. An integrated rapid mapping system for disaster management. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 499-504.
- Hu, Y. ve Hubble, D. W., 2007. Factors contributing to the failure of asbestos cement water mains. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34, 5, 608-621.
- Huang, X., Rudolph, D. L. ve Glass, B., 2022. A coupled thermal-hydraulic-mechanical approach to modeling the impact of roadbed frost loading on water main failure. *Water Resources Research*, 58, 3, e2021WR030933.

- Indiketiya, S., Jegatheesan, P. ve Rajeev, P., 2017. Evaluation of defective sewer pipe–induced internal erosion and associated ground deformation using laboratory model test. *Canadian Geotechnical Journal*, 54, 8, 1184-1195.
- Ioane, D., Diaconescu, M., Chitea, F. ve Garbacea, G., 2014. Active fault systems and their significance for urban planning in Bucharest, Romania. *Earthquake hazard impact and urban planning*, 15-43.
- Jafar, R., Shahrour, I. ve Juran, I., 2010. Application of Artificial Neural Networks (ANN) to model the failure of urban water mains. *Mathematical and Computer Modelling*, 51, 9-10, 1170-1180.
- Jiang, J., Luo, M., Bai, L., Sang, Y., Yang, S. ve Yang, H., 2024. Study of slope length (L) extraction based on slope streamline and the comparison of method results. *Scientific Reports*, 14, 1, 6047.
- Jones, K. H., 1998. A comparison of algorithms used to compute hill slope as a property of the DEM. *Computers & Geosciences*, 24, 4, 315-323.
- Kabir, G., Tesfamariam, S., Loepky, J. ve Sadiq, R., 2016. Predicting water main failures: a Bayesian model updating approach. *Knowledge-Based Systems*, 110, 144-156.
- Kadhim, N. R., Abdulrazzaq, K. A. ve Mohammed, A. H., 2021. Hydraulic analysis and modelling of water distribution network using WATERCAD and GIS: AL-Karada area. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 318, p. 04004). EDP Sciences.
- Kakavas, M. P. ve Nikolakopoulos, K. G., 2021. Digital elevation models of rockfalls and landslides: a review and meta-analysis. *Geosciences*, 11, 6, 256.
- Kamal, A. M., Hossain, F., Ahmed, B. ve Sammonds, P., 2022. Analyzing the 27 July 2021 rainfall-induced catastrophic landslide event in the Kutupalong Rohingya Camp in Cox's Bazar, Bangladesh. *Geoenvironmental Disasters*, 9, 1, 17.
- Kanga, S., Kumar, S. ve Singh, S. K., 2017. Climate induced variation in forest fire using Remote Sensing and GIS in Bilaspur District of Himachal Pradesh. *International Journal of Engineering and Computer Science*, 6, 6, 21695-21702.
- Karabuğa, A., Beyhan, H., Tatar, C. Ö., Dabanlı, A. ve Eren, G., 2021. Coğrafi Bilgi Sistemleri (Cbs) ile içme suyu şebekesi analizleri ve planlanması: Akıllı su kayıp kaçak yönetim sistemi web uygulaması, 70.
- Karasneh, S. ve Moqbel, S., 2024. Priority-Based Decision Model for rehabilitation of water networks using FAHP. *Water Conserv. Manag*, 8, 37-46.
- Kaur, M., Hewage, K., ve Sadiq, R., 2020. Investigating the impacts of urban densification on buried water infrastructure through DPSIR framework. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120897.

- Kaya, A., Topaloğlu, S. ve Akyol, E., 2023. Uzaktan algılama ile fay çizgiselliklerinin belirlenmesi: Baklan Grabeni örneği. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 13, 1, 73-85.
- Khan, H., Shafique, M., Khan, M. A., Bacha, M. A., Shah, S. U. ve Calligaris, C., 2019. Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 22, 1, 11-24.
- Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E. ve Pourghasemi, H.R., 2016. A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: A comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. Nat. Hazards 2016, 83, 947–987.
- Kılıç, S., 2022. Konya ilinde ayçiçeği üretimine uygun alanların coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) analizleri ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kılıçoğlu, C., 2020. Frekans oranı metodu ve Bayesyen olasılık modeli kullanılarak Samsun ili Vezirköprü ilçesinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20, 1, 138-154.
- Kızılcıoğlu, A., 2009. Ortaöğretim öğrencilerinin bakı kavramını anlama düzeyi ve kavram yanılgıları. Education Sciences; Volume: 4, Number: 1, 99-114.
- Kılınç, Y., Özdemir, Ö., Orhan, C. ve Fırat, M., 2018. Evaluation of technical performance of pipes in water distribution systems by analytic hierarchy process. Sustainable Cities and Society, 42, 13-21.
- Kimutai, E., Betrie, G., Brander, R., Sadiq, R. ve Tesfamariam, S., 2015. Comparison of statistical models for predicting pipe failures: Illustrative example with the City of Calgary water main failure. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice, 6, 4, 04015005.
- Kleiner, Y. ve Rajani, B., 2001. Comprehensive review of structural deterioration of water mains: statistical models. Urban water, 3, 3, 131-150.
- Kkarasu, B. ve Kumar, S., 2017. Geological, geomorphological and lineament mapping using remote sensing and GIS a tool for land use planning in Tiruchchirappalli districts of Tamil Nadu. Int J Adv Technol Eng Res, 7, 6, 29–34.
- Kocabaldır, C. ve Yücel, M. A., 2020. GIS-based multi-criteria decision analysis of site selection for photovoltaic power plants in Çanakkale Province. International Journal of Environment and Geoinformatics, 7, 3, 347-355.
- Konstantinou, C. ve Stoianov, I., 2020. A comparative study of statistical and machine learning methods to infer causes of pipe breaks in water supply networks. Urban Water Journal, 17, 6, 534-548.

- Korea Water Resources Corporation (K-water) ve International Water Resources Association (IWRA), 2018. Smart water management case study report.
- Kumar, A., Rizvi, S. A. A., Brooks, B., Vanderveld, R. A., Wilson, K. H., Kenney, C. ve Ghani, R., 2018. Using machine learning to assess the risk of and prevent water main breaks. In Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining, 472-480.
- Kurvinen, A. ve Saari, A., 2020. Urban housing density and infrastructure costs. *Sustainability*, 12, 2, 497.
- Lad, S., Ayachit, R., Kadam, A. ve Umrikar, B., 2019. Groundwater vulnerability assessment using DRASTIC model: a comparative analysis of conventional, AHP, Fuzzy logic and Frequency ratio method. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5, 543-553.
- Lee, S. ve Pradhan, B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4, 1, 33-41.
- Lee, S. ve Talib, J. A., 2005. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental geology*, 47, 982-990.
- Li, C., Wang, Z., Li, B., Peng, Z. R. ve Fu, Q., 2019. Investigating the relationship between air pollution variation and urban form. *Building and Environment*, 147, 559-568.
- Li, L., Uyttenhove, P. ve Van Eetvelde, V., 2020. Planning green infrastructure to mitigate urban surface water flooding risk—A methodology to identify priority areas applied in the city of Ghent. *Landscape and Urban Planning*, 194, 103703.
- Liu, W., Wang, B. ve Song, Z., 2022. Failure prediction of municipal water pipes using machine learning algorithms. *Water Resources Management*, 36, 4, 1271-1285.
- Liu, X., Zhang, Y., Jiang, Y., Xu, J., Wu, Z. ve Hong, Z., 2010. Large-scale highway disaster assessment of earthquake using GIS and remote sensing. In 2010 Second IITA International Conference on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 2, 174-178. IEEE.
- Liu, Y., Lu, C., Yang, X., Wang, Z. ve Liu, B., 2020. Fine-scale coastal storm surge disaster vulnerability and risk assessment model: A case study of Laizhou Bay, China. *Remote Sensing*, 12, 8, 1301.
- Lohr, U., 1998. Digital elevation models by laser scanning. *The Photogrammetric Record*, 16, 91, 105-109.
- Lwin, K. ve Murayama, Y., 2009. A GIS approach to estimation of building population for micro-spatial analysis. *Transactions in GIS*, 13, 4, 401-414.
- Mackey, T., Cashman, A. ve Cumberbatch, R., 2014. Identification of factors contributing to the deterioration and losses in the water distribution system in

Barbados. Centre for Resource Management and Environmental Studies, The University of the West Indies., Barbados.

- Mallick, S. K. ve Rudra, S., 2021. Analysis of groundwater potentiality zones of Siliguri urban agglomeration using GIS-based fuzzy-AHP approach. *Groundwater and Society: Applications of Geospatial Technology*, 141-160.
- Mazumder, R. K., Salman, A. M., Li, Y. ve Yu, X., 2021. Asset management decision support model for water distribution systems: impact of water pipe failure on road and water networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 147, 5, 04021022.
- Mesalie, R. A., Aklog, D. ve Kiflew, M. S., 2021. Failure assessment for drinking water distribution system in the case of Bahir Dar institute of technology, Ethiopia. *Applied Water Science*, 11, 8, 138.
- Mikhailov, L. ve Tsvetinov, P., 2004. Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process. *Applied Soft Computing*, 5, 1, 23-33.
- Mikovits, C., Rauch, W. ve Kleidorfer, M., 2014. Dynamics in urban development, population growth and their influences on urban water infrastructure. *Procedia Engineering*, 70, 1147-1156.
- Millot, C., Quantin-Nataf, C., Leyrat, C., Lherm, V. ve Volat, M., 2023. Assessing slope uncertainties of martian Digital Elevation Models from numerical propagation of errors on synthetic geological surfaces. *Icarus*, 391, 115341.
- Mohammady, M., Pourghasemi, H. R. ve Pradhan, B., 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of-evidence models. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, 221-236.
- Mokhtari, E., Mezali, F., Abdelkebir, B. ve Engel, B., 2023. Flood risk assessment using analytical hierarchy process: A case study from the Cheliff-Ghrib watershed, Algeria. *Journal of Water and Climate Change*, 14, 3, 694-711.
- Montanarella, L., 2003. The EU thematic strategy on soil protection. In *Contributions International Workshop "Land degradation*, 15-29.
- Mora-Rodríguez, J., Delgado-Galván, X., Ramos, H. M., ve López-Jiménez, P. A., 2014. An overview of leaks and intrusion for different pipe materials and failures. *Urban water journal*, 11, 1, 1-10.
- Moreno, L. M., 2003. Assessment of water loss and pipe failures in water distribution systems using GIS technology. The University of Texas at Arlington.
- Muddassir, M., Zayed, T., Taiwo, R. ve Ben Seghier, M. E. A., 2024. Advancing the analysis of water pipe failures: a probabilistic framework for identifying significant factors. *Scientific Reports*, 14, 1, 19218.

- Najafi M., 2005. Trenchless technology: pipeline and utility design, construction, and renewal. McGraw-Hill Education.
- Najjaran, H., Sadiq, R. ve Rajani, B., 2006. Fuzzy expert system to assess corrosion of cast/ductile iron pipes from backfill properties. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 21, 1, 67-77.
- Nguyen, B. Q., Vo, N. D., Le, M. H., Nguyen, Q. D., Lakshmi, V. ve Bolten, J. D., 2023. Quantification of global Digital Elevation Model (DEM)—A case study of the newly released NASADEM for a river basin in Central Vietnam. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 45, 101282.
- Obaid, B., 2013. Sustainable improvement of water networks: to achieve best decisions for rehabilitation plans using advanced GIS and statistical techniques, Doctoral dissertation, Mainz, Univ.
- Oh, H. J., Lee, S. ve Hong, S. M., 2017. Landslide susceptibility assessment using frequency ratio technique with iterative random sampling. *Journal of Sensors*, 2017, 1, 3730913.
- Oksanen, J., 2006. Digital elevation model error in terrain analysis. Finnish Geodetic Institute.
- O'leary, D. W., Friedman, J. D. ve Pohn, H. A., 1976. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, 87, 10, 1463-1469.
- Orlandini, S., Moretti, G. ve Gavioli, A., 2014. Analytical basis for determining slope lines in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 50, 1, 526-539.
- Osti, R., Tanaka, S. ve Tokioka, T., 2008. Flood hazard mapping in developing countries: problems and prospects. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 17, 1, 104-113.
- Özdemir, A., 2023. Makine öğrenmesi algoritmaları ile aritmilerin sınıflandırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 39, 3, 394-402.
- Özgen, C., 2004. Approval of the Graduate School of Natural and Applied Sciences, Doctoral dissertation, Middle East Technical University.
- Pachauri, A. K. ve Pant, M., 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Engineering geology*, 32, 1-2, 81-100.
- Park, S., Choi, C., Kim, B. ve Kim, J., 2013. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area, Korea. *Environmental earth sciences*, 68, 1443-1464.
- Parkin, J. V. ve Sharma, D., 1999. Infrastructure planning. Thomas Telford.

- Patel, D. P., Gajjar, C. A. ve Srivastava, P. K., 2013. Prioritization of Malesari mini-watersheds through morphometric analysis: a remote sensing and GIS perspective. *Environmental earth sciences*, 69, 8, 2643-2656.
- Pietrucha-urbanik, K. ve Studziński, A., 2017. Case study of failure simulation of pipelines conducted in chosen water supply system. *Eksploracja i Niezawodność*, 19, 3, 317-323.
- Pietrucha-Urbanik, K. ve Studziński, A., 2019. Qualitative analysis of the failure risk of water pipes in terms of water supply safety. *Engineering Failure Analysis*, 95, 371-378.
- Pike, R. J., 1988. The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models. *Mathematical geology*, 20, 491-511.
- Piratla, K. R., Yerri, S. R., Yazdekhashti, S., Cho, J., Koo, D. ve Matthews, J. C., 2015. Empirical analysis of water-main failure consequences. *Procedia engineering*, 118, 727-734.
- Polidori, L. ve El Hage, M., 2020. Digital elevation model quality assessment methods: A critical review. *Remote sensing*, 12, 21, 3522.
- Pouri, Z. ve Heidarimozaffar, M., 2022. Spatial analysis and failure management in water distribution networks using fuzzy inference system. *Water Resources Management*, 36, 6, 1783-1797.
- Prabu, P. ve Rajagopalan, B., 2013. Mapping of lineaments for groundwater targeting and sustainable water resource management in hard rock hydrogeological environment using RS-GIS. *Climate change and regional/local responses*, 235-247.
- Pradhan, B. ve Lee, S., 2010a. Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models. *Environmental Earth Sciences*, 60, 1037-1054.
- Pradhan, B. ve Lee, S., 2010b. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling & Software*, 25, 6, 747-759.
- Prieto, Á. M., Zofío, J. L. ve Álvarez, I., 2015. Cost economies, urban patterns and population density: The case of public infrastructure for basic utilities. *Papers in Regional Science*, 94, 4, 795-817.
- Pritchard, O., Hallett, S. H. ve Farewell, T. S., 2013. Soil corrosivity in the UK—Impacts on Critical Infrastructure. ITRC—Infrastructure Transition Research Consortium, Cranfield University.

- Rahman, M. M. ve Alam, K., 2021. Clean energy, population density, urbanization and environmental pollution nexus: Evidence from Bangladesh. *Renewable Energy*, 172, 1063-1072.
- Rahman, M., Chen, N., Islam, M. M., Dewan, A., Pourghasemi, H. R., Washakh, R. M. A. ve Ahmed, N., 2021. Location-allocation modeling for emergency evacuation planning with GIS and remote sensing: A case study of Northeast Bangladesh. *Geoscience frontiers*, 12, 3, 101095.
- Raimondi, L., Pepe, G., Firpo, M., Calcaterra, D. ve Cevasco, A., 2023. An open-source and QGIS-integrated physically based model for Spatial Prediction of Rainfall-Induced Shallow Landslides (SPRIn-SL). *Environmental Modelling & Software*, 160, 105587.
- Raj, S. ve Bansal, V. K., 2024. Use of GIS for selection of optimal route for water pipelines in hill areas. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9, 1, 13.
- Rajani, B. ve Tesfamariam, S., 2005. Estimating time to failure of ageing cast iron water mains under uncertainties, *ICE Water Manag. J*, 160, 2, 83-88.
- Rajeev, P., Kodikara, J., Robert, D., Zeman, P. ve Rajani, B., 2014. Factors contributing to large diameter water pipe failure. *Water asset management international*, 10, 3, 9-14.
- Ramli, M. F., Yusof, N., Yusoff, M. K., Juahir, H. ve Shafri, H. Z. M., 2010. Lineament mapping and its application in landslide hazard assessment: a review. *Bulletin of engineering Geology and the Environment*, 69, 215-233.
- Ratcliffe, J., Stubbs, M. ve Keeping, M., 2021. *Urban planning and real estate development*. Routledge.
- Rezaei, H., Ryan, B. ve Stoianov, I., 2015. Pipe failure analysis and impact of dynamic hydraulic conditions in water supply networks. *Procedia Engineering*, 119, 253-262.
- Robert, D. J., Rajeev, P., Kodikara, J. ve Rajani, B., 2016. Equation to predict maximum pipe stress incorporating internal and external loadings on buried pipes. *Canadian Geotechnical Journal*, 53, 8, 1315-1331.
- Saaty, T. L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J Math Psychol* 15, 234–281
- Saaty, T. L., 1994. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24, 6, 19-43.
- Saaty, T. L., 1999. Basic theory of the analytic hierarchy process: how to make a decision. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Fisicas y Naturales*, 93, 4, 395-423.

- Saaty, T. L., 2000. Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process, RWS Publications.
- Saaty, T. L. ve Vargas, L. G., 2012. Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process, Vol. 175. Springer Science & Business Media.
- Salata, S. ve Uzelli, T., 2022. Are soil and geology characteristics considered in urban planning? An empirical study in Izmir, Türkiye. *Urban Science*, 7, 1, 5.
- Salmoral, G., Rivas Casado, M., Muthusamy, M., Butler, D., Menon, P. P. ve Leinster, P., 2020. Guidelines for the use of unmanned aerial systems in flood emergency response. *Water*, 12, 2, 521.
- Sander, P., 2007. Lineaments in groundwater exploration: a review of applications and limitations. *Hydrogeology journal*, 15, 1, 71-74.
- Sanghi, A. K., 1976. The relationship between population density, automobile ownership and automobile use: Its role in transportation planning. *The Annals of Regional Science*, 10, 118-127.
- Sarikhani, R., Kamali, Z., Dehnavi, A. G. ve Sahamieh, R. Z., 2014. Correlation of lineaments and groundwater quality in Dasht-e-Arjan Fars, SW of Iran. *Environmental earth sciences*, 72, 2369-2387.
- Sattar, A. M., Ertuğrul, Ö. F., Gharabaghi, B., McBean, E. A. ve Cao, J., 2019. Extreme learning machine model for water network management. *Neural Computing and Applications*, 31, 157-169.
- Shekhar, S., Coyle, M., Goyal, B., Liu, D. R. ve Sarkar, S., 1997. Data models in geographic information systems. *Communications of the ACM*, 40, 4, 103-111.
- Singh, A., 2011. Bayesian analysis for causes of failure at a water utility. *Built Environment Project and Asset Management*, 1, 2, 195-210.
- Skidmore, A. K., 1990. Terrain position as mapped from a gridded digital elevation model. *International Journal of Geographical Information Systems*, 4, 1, 33-49.
- Snider, B. ve McBean, E. A., 2020. Improving urban water security through pipe-break prediction models: Machine learning or survival analysis. *Journal of Environmental Engineering*, 146, 3, 04019129.
- Song, X., Zhang, H., Akerkar, R., Huang, H., Guo, S., Zhong, L. ve Culotta, A., 2020. Big data and emergency management: concepts, methodologies, and applications. *IEEE Transactions on Big Data*, 8, 2, 397-419.
- Steemers, K., 2003. Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and buildings*, 35, 1, 3-14.
- Şenöz, E., 2013. Kaynak envanter ve analizinde CBS desteği: Geotasarım kuramının deneyimlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi.

- Taha, A. H. A., Ibrahim, E. H., Shalaby, A. S. ve Shawky, M., 2013. Evaluation of geological hazards for landuse planning in Nabq Protectorate, southeastern Sinai using GIS techniques. *International Journal of Geosciences*, 4, 4, 21.
- Taiwo, R., Ben Seghier, M. E. A. ve Zayed, T., 2023. Toward sustainable water infrastructure: the state-of-the-art for modeling the failure probability of water pipes. *Water Resources Research*, 59, 4.
- Taiwo, R., Shaban, I. A. ve Zayed, T., 2023. Development of sustainable water infrastructure: A proper understanding of water pipe failure. *Journal of Cleaner Production*, 398, 136653.
- Tanış, E. ve Çelik, R., 2024. CBS Tabanlı AHP Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi (ÇKKY) Kullanılarak Van Gölü Güzelsu Alt Havzası Taşkın Risk Haritalarının Çıkarılması ve Değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 15, 4, 941-950.
- Taşkanat, T., 2022. Frekans oranı Ve Kanit ağırlığı metotları kullanılarak heyelan duyarlılık analizi, Kayseri Küpeli mahallesi örneği.
- Tatlıdil, H., 2002. Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel analiz, Cem Web Ofset Ltd., Ankara, 424.
- Tavoularis, N., 2020. Towards the development of an updated GIS-based landslide hazard map in Attica Region, Greece; Dias Project. In *Safegreece Conference Proceedings*.
- Tenerelli, P., Gallego, J. F. ve Ehrlich, D., 2015. Population density modelling in support of disaster risk assessment. *International journal of disaster risk reduction*, 13, 334-341.
- Termeh, S. V. R., Kornejady, A., Pourghasemi, H. R. ve Keesstra, S., 2018. Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. *Science of the Total Environment*, 615, 438-451.
- Tesfamariam, S., Rajani, B. ve Sadiq, R., 2006. Possibilistic approach for consideration of uncertainties to estimate structural capacity of ageing cast iron water mains. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 33, 8, 1050-1064.
- Tona, A. U., Demir, V., Kuşak, L. ve Yakar, M., 2022. Su kaynakları mühendisliğinde CBS'nin kullanımı. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4, 1, 23-33.
- Toprak, S., Nacaroglu, E., van Ballegooy, S., Koc, A. C., Jacka, M., Manav, Y. ve O'Rourke, T. D., 2019. Segmented pipeline damage predictions using liquefaction vulnerability parameters. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 125, 105758.
- Toprak, S., Wham, B. P., Nacaroglu, E., Ceylan, M., Dal, O. ve Senturk, A. E., 2024. Impact of Seismic Geohazards on water supply systems and pipeline

performance: Insights from the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes. *Engineering Geology*, 340, 107681.

- Tse, K. M., Toh, W., Tan, L. B., Lee, H. P. ve Tan, V. B. C., 2020. Will a buried composite pipeline system fail at its joints under the effects of overburden soil, pipe operating pressurization, and traffic loads. *Journal of Composite Materials*, 54, 18, 2433-2448.
- Tuhovčák, L. ve Ručka, J., 2009. Hazard identification and risk analysis of water supply systems. *Strategic Asset Management of Water Supply and Wastewater Infrastructures*, London UK, 287-298.
- Tuna, M., Armut, S. ve Tombul, M., 2023. İçme Suyu Şebekelerinde Kayıp Kaçak Seviyesinin Belirlenmesi: Merzifon İlçesi Örneği. *Kent Akademisi*, 16, 1, 1-17.
- Türkiye İstatistik Kurumu, TÜİK, 2023. Su ve atıksu istatistikleri, 2022.
- Tye, A. M., Kirkwood, C., Dearden, R., Rawlins, B. G., Lark, R. M., Lawley, R. L. ve Mee, K., 2017. Environmental factors influencing pipe failures. *British Geological Survey Baseline Products Programme Open Report OR*, 17, 09.
- UNESCO, UN-Water, United Nations World Water Development Report: Water and Climate Change, UNESCO, 7, Place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France, 2020.
- Ural, S., Hussain, E. ve Shan, J., 2011. Building population mapping with aerial imagery and GIS data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 6, 841-852.
- Vakhshoori, V. ve Zare, M., 2016. Landslide susceptibility mapping by comparing weight of evidence, fuzzy logic, and frequency ratio methods. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7, 5, 1731-1752.
- Vassilas, N., Perantonis, S., Charou, E., Tsenoglou, T., Stefouli, M. ve Varoufakis, S., 2002. Delineation of lineaments from satellite data based on efficient neural network and pattern recognition techniques. In *Proc. Second Hellenic Conference on AI*, 355-365. Citeseer.
- Vijith, H. ve Madhu, G., 2008. Estimating potential landslide sites of an upland sub-watershed in Western Ghat's of Kerala, India through frequency ratio and GIS. *Environmental Geology*, 55, 1397-1405.
- Vladeanu, G. J. ve Matthews, J. C., 2019. Consequence-of-failure model for risk-based asset management of wastewater pipes using AHP. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 10, 2, 04019005.
- Walton, C. R., Zak, D., Audet, J., Petersen, R. J., Lange, J., Oehmke, C. ve Hoffmann, C. C., 2020. Wetland buffer zones for nitrogen and phosphorus retention: Impacts of soil type, hydrology and vegetation. *Science of the Total Environment*, 727, 138709.

- Wang, J., Liu, W., Sha, C., Zhang, W., Liu, Z., Wang, Z. ve Du, X., 2023. Evaluation of the impact of urban morphology on commercial building carbon emissions at the block scale—A study of commercial buildings in Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 408, 137191.
- Wang, K., Yin, F., Li, Z. ve Xie, D., 2024. Research on grid disaster risk mapping based on meteorological and geographical factors. In *Fifth International Conference on Geology, Mapping, and Remote Sensing (ICGMRS 2024)*, Vol. 13223, 357-361. SPIE.
- Wang, Z., Lai, C., Chen, X., Yang, B., Zhao, S. ve Bai, X., 2015. Flood hazard risk assessment model based on random forest. *Journal of Hydrology*, 527, 1130-1141.
- Waqas, H., Lu, L., Tariq, A., Li, Q., Baqa, M. F., Xing, J. ve Sajjad, A., 2021. Flash flood susceptibility assessment and zonation using an integrating analytic hierarchy process and frequency ratio model for the Chitral District, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Water*, 13, 12, 1650.
- Warren, S. D., Hohmann, M. G., Auerswald, K. ve Mitsova, H., 2004. An evaluation of methods to determine slope using digital elevation data. *Catena*, 58, 3, 215-233.
- Winsborough, H. H., 1965. The social consequences of high population density. *Law and Contemporary problems*, 30, 1, 120-126.
- Wood, J., 1996. The geomorphological characterisation of digital elevation models. University of Leicester, United Kingdom.
- Wu, C., Maurer, C., Wang, Y., Xue, S. ve Davis, D. L., 1999. Water pollution and human health in China. *Environmental Health Perspectives*, 107, 4, 251-256.
- Wu, Y., Li, W., Wang, Q., Liu, Q., Yang, D., Xing, M. ve Yan, S., 2016. Landslide susceptibility assessment using frequency ratio, statistical index and certainty factor models for the Gangu County, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-16.
- Xiong, L., Tang, G., Yang, X. ve Li, F., 2021. Geomorphology-oriented digital terrain analysis: Progress and perspectives. *Journal of Geographical Sciences*, 31, 456-476.
- Xu, Y. ve He, Z., 2024. Pipe Failure Prediction in the Water Distribution System Using a Deep Graph Convolutional Network and Temporal Failure Series. *ACS ES&T Engineering*.
- Yalçın, A., Reis, S., Aydınoglu, A. C. ve Yomralıoglu, T., 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 85, 3, 274-287.

- Yamijala, S., Guikema, S. D. ve Brumbelow, K., 2009. Statistical models for the analysis of water distribution system pipe break data. *Reliability Engineering & System Safety*, 94, 2, 282-293.
- Yang, J., Shi, B., Shi, Y., Marvin, S., Zheng, Y. ve Xia, G., 2020. Air pollution dispersal in high density urban areas: Research on the triadic relation of wind, air pollution, and urban form. *Sustainable Cities and Society*, 54, 101941.
- Yannopoulos, S. ve Spiliotis, M., 2013. Water distribution system reliability based on minimum cut-set approach and the hydraulic availability. *Water resources management*, 27, 1821-1836.
- Yeh, A. G. O. ve Li, X., 2002. A cellular automata model to simulate development density for urban planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 29, 3, 431-450.
- Yerri, S. R., Piratla, K. R., Matthews, J. C., Yazdekhashti, S., Cho, J. ve Koo, D., 2017. Empirical analysis of large diameter water main break consequences. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 242-248.
- Yılmaz, E., 2022. Çok ölçütlü karar verme analizleri için açık kaynak kodlu eklenti geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yomralıoğlu, T., 2000. Coğrafi bilgi sistemleri. Yüksek lisans ders notları, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yu, B., Liu, H., Wu, J., Hu, Y. ve Zhang, L., 2010. Automated derivation of urban building density information using airborne LiDAR data and object-based method. *Landscape and urban planning*, 98, 3-4, 210-219.
- Zarghami, S. A., 2022. A Fuzzy-Based deterioration model for water main pipes. In 2022 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU) 1-4. IEEE.
- Zhang, B., Guo, T., Zhang, L., Lin, P., Wang, Y., Zhou, J. ve Chen, F., 2018. Water pipe failure prediction: A machine learning approach enhanced by domain knowledge. *Human and Machine Learning: Visible, Explainable, Trustworthy and Transparent*, 363-383.
- Zhang, C. ve Ye, Z., 2021. Water pipe failure prediction using AutoML. *Facilities*, 39, 1/2, 36-49.
- Zhang, D., Liu, X., Yang, Y., Shi, N., Jiang, J., Chen, P. ve Zhang, H., 2022. Field experiment and numerical investigation on the mechanical response of buried pipeline under traffic load. *Engineering Failure Analysis*, 142, 106734.
- Zhang, R., Gomaa, S. M., Hussein, M., Zayed, T. ve Meguid, M., 2023. Review of numerical approaches used in soil-pipe interaction analysis of water mains. *Transportation Geotechnics*, 42, 101008.

Zhang, Z., Lu, X., Zhou, M., Song, Y., Luo, X. ve Kuang, B., 2019. Complex spatial morphology of urban housing price based on digital elevation model: A case study of Wuhan city, China. Sustainability, 11, 2, 348.

Zhao, L., Liu, Z. ve Mbachu, J., 2019. An integrated BIM–GIS method for planning of water distribution system. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8, 8, 331.

Zhou, J., Sun, J., Wang, Y. ve Chen, F., 2017. Wrapping practical problems into a machine learning framework: using water pipe failure prediction as a case study. International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications, 16, 3, 191-207.

URL-1 <<https://www.tarimorman.gov.tr/Duyuru/1056/Icme-Suyu-Temin-Ve-Dagitim-Sistemlerindeki-Su-Kayiplarinin-Kontrolu-Yonetmeliginde-Degisiklik-Yapilmasina-Dair-Yonetmelik-Yayimlandi>>, Erişim tarihi: 03.09.2019.

URL-2 <<https://www.meski.gov.tr/pages/HaberMansetDetay>>, Erişim tarihi: 15.11.2021

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Ganime Melike Kanun

EĞİTİM BİLGİLERİ

Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 2012-2017

Yüksek Lisans: Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 2022-2025

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Akdeniz Belediyesi Kurumu / Yaz Stajı
2. Geotechmaps Kurumu / 2018 Haziran - 2019 Ocak
3. ESC Mühendislik Kurumu / 2021 Ekim - 2024 Şubat
4. EFA Mühendislik Kurumu / 2025 Ocak-2025 Mayıs

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLE

Kongrelerde Sunulan Makaleler

1. Kanun, G. M., Bilgilioğlu, S. S. ve İban, M. C., 2024. Investigation of potential failures in clean water networks using AHP and frequency ratio methods: the case of Mersin Yenişehir, 3. Uluslararası Ege Bilimsel Araştırmalar Kongresi, İzmir, Özetler Kitabı, 145.