

# GEOmatik

Geomatik Dergisi  
Cilt 8 / Sayı 2 - Ağustos 2023

ISSN:2564-6761



<b>Dergi Hakkında</b>	Geomatik Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak harita mühendisliği alanında yeni gelişmelerle ilgili yapılan çalışmalarını yayınlayan bir dergidir. Geomatik dergisi Tubitak Ulakbim TR Dizin’de Dizinlenmektedir.
<b>Amaç &amp; Kapsam</b>	<p>Geomatik Dergisi 2016 yılından beri yayın hayatını sürdüren uluslararası hakemli TÜRKÇE yayın yapan bir dergi olup hakem değerlendirme sistemi mevcuttur. Harita Mühendisliğine ait kuramsal ve uygulamalı araştırma, tarama-inceleme, bildiri, vaka çalışması, kısa rapor ve editöre mektup niteliklerinden birine uygun eserler hakem değerlendirmesinden yayınlanabilir olduğuna dair karar verildikten sonra yayımlanır. Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan eser, dergi editörlüğünce değerlendirme için hakemlere gönderilir. Geomatik Dergisinde KÖR HAKEMLİK uygulaması mevcuttur. Yayımlanmasına, hakemlerin görüşü doğrultusunda Dergi Editör ve Yayın Kurulu karar verir. Gönderilen makaleler yayımlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Dergimizde yayınlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik v.b.) yazarlara aittir. Yayımlanan yazıların telif hakkı dergiye aittir ve referans gösterilmeden aktarılamaz. Araştırmacılar arasındaki bilimsel iletişimi oluşturmak amacıyla aşağıda nitelikleri açıklanan, başka bir yerde yayımlanmamış makaleler Türkçe olarak kabul edilmekte ancak özetinin İngilizce de basılması zorunluluğu vardır.</p> <p>GEOMATİK dergisinin kapsamı;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Fotogrametri ve Uzaktan Algılama,</li><li>✓ Lidar, Yersel lazer tarama, Mobil lazer tarama,</li><li>✓ GPS ve uygulamaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları</li><li>✓ Ölçme teknikleri - endüstriyel ölçmeler, deformasyon ölçmeleri,</li><li>✓ Jeodezi</li><li>✓ Hidrografik ölçmeler, navigasyon, madencilik ölçmeleri</li><li>✓ Mühendislik ölçmeleri, Jeodezi, dengeleme,</li><li>✓ Kartografik uygulamalar,</li><li>✓ Arazi Toplulaştırma ve uygulamaları, Kadastro ve uygulamaları</li><li>✓ İmar Bilgisi ve uygulamaları ve</li><li>✓ Geomatik mühendisliği ve yerbilimleri ile bağlantılı multi disiplinler çalışmaları.</li></ul>
<b>Yayımlanma Sıklığı</b>	Yılda 3 sayı (Nisan, Ağustos, Aralık aylarında sayı çıkarılır.)
<b>e-ISSN</b>	2564-6761
<b>WEB</b>	<a href="https://dergipark.org.tr/geomatik">https://dergipark.org.tr/geomatik</a>
<b>İletişim</b>	geomatikdersisi@gmail.com



#### EDİTÖR

**Prof. Dr. Murat YAKAR**  
Mersin Üniversitesi,  
Mersin

#### EDİTÖR YARDIMCILARI

**Prof. Dr. Ekrem TUŞAT**  
Konya Teknik Üniversitesi,  
Konya

#### EDİTÖR KURULU

- Prof. Dr. Reha Metin ALKAN, Hitit Üniversitesi
- Prof. Dr. Fatmagül KILIÇ GÜL, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Haluk ÖZENER, Boğaziçi Üniversitesi
- Prof. Dr. Erkan BEŞDOK, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Gönül TOZ, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU, İstanbul Üniversitesi
- Prof. Dr. Fevzi KARSLI, Karadeniz Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ, Selçuk Üniversitesi
- Prof. Dr. Sebahattin BEKTAŞ, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
- Doç. Dr. Çiğdem GÖKSEL, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. Semra ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Doç. Dr. Tekin SUSAM, Gaziosmanpaşa Üniversitesi
- Doç. Dr. İ. Rakıp KARAS, Karabük Üniversitesi
- Doç. Dr. Mevlüt YETKİN, Katip Çelebi Üniversitesi
- Doç. Dr. Şinasi KAYA, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Doç. Dr. İbrahim YILMAZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- Doç. Dr. Ömer MUTLUOĞLU, Selçuk Üniversitesi
- Doç. Dr. Arzu ERENER, Kocaeli Üniversitesi
- Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
- Doç. Dr. Kemal Özgür HASTAOĞLU, Cumhuriyet Üniversitesi
- Doç. Dr. Yasemin ŞİŞMAN, Ondokuz Mayıs Üniversitesi
- Doç. Dr. Güler YALÇIN, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
- Yrd. Doç. Dr. Ayşe Yavuz ÖZALP, Artvin Çoruh Üniversitesi
- Yrd. Doç. Dr. Fatih TAKTAK, Uşak Üniversitesi
- Dr. Öğr. Üyesi Ali ULVİ, Mersin Üniversitesi

#### DANIŞMA KURULU

- Prof. Dr. Dursun Zafer Şeker, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ, Aksaray Üniversitesi
- Prof. Dr. Cengiz ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. Abdurrahman Geymen, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Ferruh YILDIZ, Selçuk Üniversitesi

# İÇİNDEKİLER

CİLT 8 / SAYI 2

## ARAŞTIRMA MAKALELERİ

<b>** Rastgele orman algoritması ve Sentinel-2 MSI ile fındık ekili alanların belirlenmesi: Piraziz Örneği</b> Seda Terzi Türk, Filiz Bektaş Balçık	91-98
<b>** Turistik amaçlı mekânsal sanal ortamların oluşturulması: Tarihi Yarımada Örneği</b> Sançar Buhur, Nesibe Necla Uluğtekin, Mustafa Ümit Gümüşay, Nebiye Musaoğlu	99-106
<b>** Coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesi kullanarak Mersin ilinde otomatik meteoroloji gözlem istasyonu yer seçimi</b> Fatma Bünyan Ünel, Lütfiye Kuşak, Murat Yakar, Hakan Doğan	107-123
<b>** Model-Ağacı (M5-tree) yaklaşımı ile HELIOSAT tabanlı güneş radyasyonu tahmini</b> Taha Demirgöl, Vahdettin Demir, Mehmet Faik Sevimli	124-135
<b>** Sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için bisiklet ve yürüyüş yolu yer seçimi: Ankara ili Mamak ilçesi Ege mahallesi örneği</b> Muhammed Yusuf Akbaba, Göktañ Atay, Murat Başeğmez, Cevdet Coşkun Aydın	136-151
<b>** Yersel lazer tarama yöntemi ve ortofotoların kullanımı ile kültür varlıklarının cephelerindeki malzeme bozulmalarının dokümantasyonu: Mardin Mungan Konağı örneği</b> Lale Karataş	152-162
<b>** PM10, SO<sub>2</sub> hava kirleticilerinin çoklu doğrusal regresyon ve yapay sinir ağları ile sezonsal tahmini</b> Burak Kotan, Arzu Erener	163-179
<b>** CBS destekli nominal taşınmaz değer haritasının 3 boyutlu sunumu: Berlin Eyaleti örneği</b> Mert Kayalık, Zeynel Abidin Polat	180-191
<b>İdari yargıda yol fazlalıklarının belediye lehine kullanımı gerekçesiyle iptal edilmiş imar uygulamalarında çözüm önerisi</b> Murat Selim Çepni	192-199
<b>Taşınır ve taşınmaz kültür varlıklarının yeni nesil LiDAR sensörlü tablet bilgisayar ile belgelenmesi</b> Adem Yurtsever	200-207



## Rastgele orman algoritması ve Sentinel-2 MSI ile fındık ekili alanların belirlenmesi: Piraziz Örneği

Seda Terzi Türk<sup>\*1,2</sup> , Filiz Bektaş Balçık<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Coğrafi Bilgi Teknolojileri, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Topkapı Üniversitesi, Plato MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama  
Rastgele Orman Sınıflandırması  
Sentinel-2 MSI  
Fındık Ekili Alanlar

### Araştırma Makalesi

Geliş: 08.06.2022  
Revize: 07.12.2022  
Kabul: 13.12.2022  
Yayınlanma: 15.02.2023



### Öz

Türkiye’de yetiştirilen sert kabuklu meyvelerin başında gelen fındık, özellikle Doğu Karadeniz bölgesi için ekonomik olarak büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, 22 Ekim, 2020 tarihli Sentinel-2 MSI uydu görüntüsü bantları ve hesaplanan indeksler ile oluşturulan farklı veri setleri kullanılarak fındık ekili tarım alanları belirlenmiştir. Çalışmaya dâhil edilen farklı bitki indekslerinin hesaplanması ile 5 veri seti üretilmiştir. Giresun ili Piraziz ilçesi çalışma bölgesi seçilmiştir. Sınıflandırma işlemi için rastgele orman (RO) görüntü sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Çalışma alanında 7 farklı Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü (AKAÖ) tipleri tanımlanmıştır. Birinci veri seti için; seçilen Sentinel-2 MSI bantları RO algoritması ile sınıflandırılmıştır. Diğer veri setlerinde sırasıyla; Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Yeşil Bant Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (GNDVI) ve Normalize Edilmiş Fark Kırmızı Kenar İndeksi (NDVIre) eklenmiştir. 5 veri setine ait sınıflandırma sonuçları hata matrisi kullanılarak karşılaştırılmıştır. McNemar testi sonuçlarına göre her veri seti için sınıflandırma doğruluğu arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür. Veri seti 1 için hesaplanan genel doğruluk %98.98 ve Kappa değeri 0,98 ile diğer dört veri setinden daha yüksek elde edilmiştir.

## Determination of hazelnut cropped areas by random forest algorithm and Sentinel-2 MSI: A case study of Piraziz

### Keywords

Remote Sensing  
Random Forest Classification  
Sentinel-2 MSI  
Hazelnut Planted Areas

### Research Article

Received: 08.06.2022  
Revised: 07.12.2022  
Accepted: 13.12.2022  
Published: 15.02.2023

### Abstract

Hazelnut, which is one of the leading hard-shelled fruits grown in Turkey, is of great economic importance especially for the Eastern Black Sea region. In this study, hazelnut cultivated agricultural areas were determined using different data sets created with Sentinel-2 MSI satellite image bands and calculated indices dated 22 October, 2020. 5 data sets were produced by calculating the different plant indices included in the study. Giresun province Piraziz district has been selected as the study area. Random forest (RO) image classification method was used for the classification process. 7 different Land Use/Land Cover (LULC) types have been defined in the study area. For the first data set; selected Sentinel-2 MSI bands were classified by RO algorithm. In other data sets, respectively; added Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) and Normalized Difference Red Edge Index (NDVIre). The classification results of the 5 data sets were compared using the error matrix. According to the McNemar test results, it was seen that the differences in classification accuracy for each data set were not statistically significant. The overall accuracy calculated for dataset 1 was 98.98% and Kappa value was 0.98, higher than the other four datasets.

## 1. Giriş

Türkiye’de fındık, yıl boyunca bol yağış alan iklim ve topoğrafik koşullarıyla zengin bitki örtüsüne sahip olan Karadeniz bölgesinde yetişmektedir (Kayalak, 2009). Genelde eğimi yüksek arazilerde ve diğer bitki örtüsü türleri ile bir arada bulunmaktadır. Ayrıca fındık, Türkiye’nin Karadeniz hattı boyunca yetişmekle birlikte Doğu Karadeniz’in Ordu ve Giresun ilçelerinde yoğunlaşarak, Türkiye’nin en yüksek zirai ihracat ürünlerinden birisidir. Dünya fındık üretiminin ortalama %70’ini gerçekleştiren Türkiye, fındık ihracatı ile yıllık yaklaşık 2 milyar dolar gelir elde ederek ekonomisine katkı sağlamaktadır (Doğru, 2020). Fındığın sağladığı hem yüksek eğimli arazilerin değerlendirilmesi hem de ekonomik faydası göz önüne alınırsa, fındık ekili alanlara ait güncel ve yüksek doğruluklu verilerin üretilmesi bu alanların sürdürülebilir olarak değerlendirilmesi açısından önemlidir.

Günümüzde dinamik yapıya sahip uydu teknolojileri ve uzaktan algılamaya tekniklerinden tarım arazilerinin kullanım durumunun belirlenmesinde sıklıkla faydalanılmaktadır. Uydu görüntülerinin çeşitli makine öğrenme algoritmaları ile sınıflandırılması sonucunda arazi kullanım ve arazi örtüsü (AK/AÖ) hakkında bilgi üretilmekte ve bu bilgiler de etkin olarak tarım alanlarının sürdürülebilir yönetim politikalarına altlık oluşturmaktadır (Delen & Balık Şanlı, 2017).

Literatürde uzaktan algılama verileri ile fındık ekili alanların tespiti için farklı çalışmalar mevcuttur. Kavzoğlu & Reis, (2008), Trabzon ilinde çay ve fındık alanlarının tespiti için yaptıkları çalışmada Landsat ETM+ uydu görüntüsü kullanmışlardır. Çalışmada yapay sinir ağları (YSA) ve en çok benzerlik (EÇB) kontrollü sınıflandırma algoritması uygulanmıştır. Sınıflandırma sonucu genel doğruluk %93.62, kappa 0.9263 olarak YSA yönteminde daha iyi sonuçlar vermiştir. Ünal ve ark., (2010), tarafından fındık ekili alanların belirlenmesi için yapılan çalışmada Giresun ili merkez ilçesinde SPOT, Quickbird-Pan ve IKONOS uydu görüntüleri kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırma yöntemi kullanılan çalışmada genel doğruluk %79.05, kappa değeri 0.75 olarak elde edilmiştir. Ayrıca sınıflandırma doğruluğunu farklı eğim ve bakı gruplarında uygulayarak eğim aralığının %10-30 olduğu yerlerde %85.71, bakı gruplandırmasında kuzey bakı yönünde %86.67 olarak belirlemişlerdir. Reis & Taşdemir, (2010), Trabzon ili Bengisu beldesinde yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip Quickbird uydu görüntüsü kullanarak fındık ekili alanların tespitini yapmışlardır. Çalışmada kendini örgütleyen eşlemler (Self Organizing Maps-SOM) sınıflandırma algoritması uygulanmıştır. SOM sınıflandırması, sadece görüntüye ait spektral bantlara uygulandığında genel doğruluk %82, kappa değeri 0.73 elde edilirken; çalışmaya Gabor öznitelik bilgisi dâhil edildiğinde genel doğruluk %89, kappa 0.84 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar kıyaslandığında Gabor öznitelik bilgisi ile fındık ekili alanların diğer odunsu bitkilerden ayırt edilmesinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Sakarya ilinde yapılan çalışmada ise 2007 yılına ait Landsat uydu görüntüsü kullanılarak en çok benzerlik sınıflandırma algoritması ile fındık ekili alanların tespiti yapılmıştır.

Sınıflandırma sonucu genel doğruluk %86, kappa 0.811 olarak elde edilmiştir. (Şener ve ark., 2013). Akar & Güngör, (2013), tarafından yapılan çalışmada Trabzon ili Sürmene ilçesinde çay ve fındık alanlarının yoğun bulunduğu yerde 8 bantlı multispektral (MS) ve pankromatik (PAN) WorldView-2 uydu görüntüleri kullanılarak sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. RO sınıflandırması sonucu genel doğruluk %79.05, kappa 0.75 olarak elde edilmiştir. Daha sonraki aşamada PAN görüntüsü üzerinde farklı filtre boyutlarının farklı yönlerde uygulanması ile eş dizimlilik matrisi (EDM) oluşturulmuş ve bu matris yardımıyla doku özellikleri çıkarılmıştır. Doku özellikleri kullanılarak yapılan sınıflandırmada genel doğruluk %84.08, kappa 0.81 değerlerine yükselmiştir. Bu da doku özelliğinin sınıflandırmadaki başarısını ortaya koymuştur. Bir başka çalışmada, Trabzon ili Beşikdüzü ilçesine ait fındık ekili alanlar 2019 yılına ait Sentinel-2 MSI uydu görüntüsünde 10m mekânsal çözünürlüğe sahip spektral bantlar kullanılarak belirlenmiştir. Sınıflandırmada destek vektör makineleri (DVM), rastgele orman (RO) ve K en yakın komşu (K-EYK) makine öğrenme algoritmaları kullanılarak bu üç algoritmanın fındık ekili alanların belirlenmesindeki performansı karşılaştırılmıştır. En yüksek genel doğruluk %91.09 ve 0.86 kappa değeri olarak DVM sonucu elde edilmiş ve bu yöntemi sırasıyla RO ve K-EYK takip etmiştir (Apaydın & Abdikan, 2021). Avustralya’nın Yeni Güney Galler’deki Riverina bölgesinin 6200 km<sup>2</sup>’lik alanında Sentinel-1 (SAR) ve Sentinel-2 MSI uydu görüntüleri kullanılarak fındığın da dahil olduğu 12 mahsul sınıfı haritası oluşturulmuştur. Sınıflandırma ve regresyon ağacı tekniği (SRAT), RO ve DVM makine öğrenme algoritmaları sınıflandırmada kullanılmış ve en yüksek genel doğruluk %97.7 ile DVM sonucu elde edilmiştir (Brinkhoff ve ark., 2019).

Bu çalışmada, RO kontrollü sınıflandırma algoritması Sentinel-2 MSI uydu görüntüleri kullanılarak uygulanmıştır. Giresun ili Piraziz ilçesi çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Çalışma bölgesinde çeşitli AK/AÖ kategorileri tanımlanmıştır. Beş farklı veri seti üretilmiş ve RO yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Birinci veri seti için Sentinel-2 MSI uydu görüntüsünün bantlar arasında korelasyonuna bakılarak belirlenen 6 bant (bant2, bant3, bant4, bant8a, bant11 ve bant12) seçilmiştir. Orijinal bantların yanı sıra Sentinel-2 MSI görüntüsü ile Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Yeşil Bant Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (GNDVI) ve Normalize Edilmiş Fark Kırmızı Kenar İndeksi (NDVI<sub>re</sub>) gibi farklı bitki indeksleri hesaplanmıştır. Bu hesaplanmış indeksler, seçilen bantlara eklenmiş ve diğer veri setleri olarak RO algoritması ile sınıflandırılmıştır. Üretilen beş farklı veri setinin sonuçları hata matrisi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, elde edilen sınıflandırma doğrulukları arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı McNemar testi kullanılarak analiz edilmiştir.

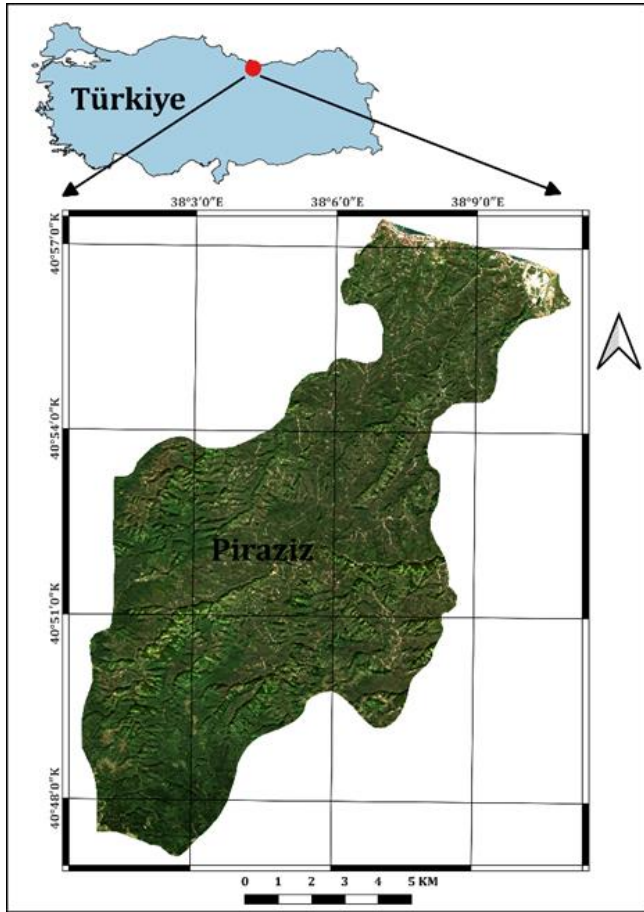
Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı; yardımcı veri seti olarak kullanılan bitki indekslerinin fındık ekili alanların tespitinde kullanımı ile sınıflandırma doğruluğunun etkisine katkısının araştırılmasıdır.

## 2. Çalışma alanı ve veri seti

Uzaktan algılama görüntüleri ile AK/AÖ hakkında elde edilen bilgiler ürün bazında detaylandırılarak fındık ekili alanlar için de bilgi üretir ve bu sonuçlar daha sonra kırsal alanların sürdürülebilir olarak planlanmasına katkı sağlar (Aydınoglu, 2010). Uzaktan algılama görüntülerinden doğru tematik bilgi üretmek için farklı sınıflandırma algoritmaları yaygın olarak kullanılmaktadır (Marangoz, 2009).

### 2.1 Çalışma Alanı

Fındık üretimi genellikle dik yamaçlardan ve engebeli arazi ortamlarından kaynaklanan düzensiz ekimler ve sabit olmayan yoğunluk ile karakterize edilir (Monarca ve ark., 2016). Bu çalışma kapsamında da fındığın yoğun olarak yetiştirildiği yaklaşık 128 bin metrekare yüzölçümüne sahip Giresun ili Piraziz ilçesi pilot bölge olarak seçilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma Alanı

Çalışmada veri seti olarak orman alanlarının canlılığını yitirdiği ve diğer ağaçların yapraklarının dökülmeye başlamasıyla fındık ağaçlarının ayırt edilebilirliğinin arttığı 22.10.2020 tarihine ait atmosferik düzeltmesi yapılmış Sentinel-2A uydu görüntüleri Copernicus Açık Erişim Merkezinden ücretsiz olarak <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> adresinden temin edilmiştir. Sentinel-2 MSI uydu sistemi Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından 2015 yılında fırlatılmıştır. Sentinel-2 MSI misyonunun amacı, arazi örtüsü/kullanımı izleme, iklim değişikliği ve afet izleme

için yüksek çözünürlüklü uydu verileri sağlamaktır (Gorton & Tregear, 2008). Sentinel-2 MSI, uydu görüntüleri özellikle zamansal ve mekânsal çözünürlükte gelişmiş veriler sunar (Pedrotti, 2004). Sentinel-2 MSI görüntüleri için 13 spektral bant, 10 ila 60 m arasında değişen mekânsal çözünürlüklere sahiptir (Taşdemir, 2012). Görünür ve yakın kızılötesi (NIR) bantlar 10 m mekânsal çözünürlüğe, kızılötesi bantlar 20 m mekânsal çözünürlüğe ve diğer bantlar 60 m'ye sahiptir (Tablo 1). 10 m mekânsal çözünürlük, Sentinel-2 MSI verilerinin Dünya yüzeyinin (örneğin, kentsel yayılmalar ve tarım) ayrıntılı olarak araştırılması için yüksek potansiyele sahip olmasını sağlar. Sentinel-2 verilerinin diğer bir özelliği, 5 günlük yüksek zamansal çözünürlüğüdür (Rivas-Martínez, 2005).

Sentinel-2 uydu görüntüsünün kırmızı-kenar ve yakın kızılötesi spektral bantları bünyesinde barındırması, AK/AÖ çalışmalarında son yıllarda sıklıkla tercih edilmesini sağlamakla birlikte başarılı sonuçlar üretmektedir (Immitzer ve ark., 2016; Yousefi ve ark., 2022; Balçık, 2018; Ahady & Kaplan, 2022)

Tablo 1. Sentinel-2 uydusunun teknik özellikleri

Sentinel-2 Bantlar	Çözünürlük (m)	Dalga Boyu (µm)
Bant 1- Kıyı	60	0,433-0,453
Bant 2 - Mavi	10	0,458-0,523
Bant 3 - Yeşil	10	0,543-0,578
Bant 4 - Kırmızı	10	0,650-0,680
Bant 5 - Kırmızı Kenar	20	0,698-0,173
Bant 6 - Kırmızı Kenar	20	0,734-0,748
Bant 7 - Kırmızı Kenar	20	0,765-0,785
Bant 8 - Kızılötesi	10	0,785-0,900
Bant 8A - Kırmızı Kenar	20	0,855-0,875
Bant 9 - Su buharı	60	0,930-0,950
Bant 10 - Kısa Dalga Kızılötesi	60	1,365-1,385
Bant 11 - Kısa Dalga Kızılötesi	20	1,565-1,655
Bant 12 - Kısa Dalga Kızılötesi	20	2,100-2,280

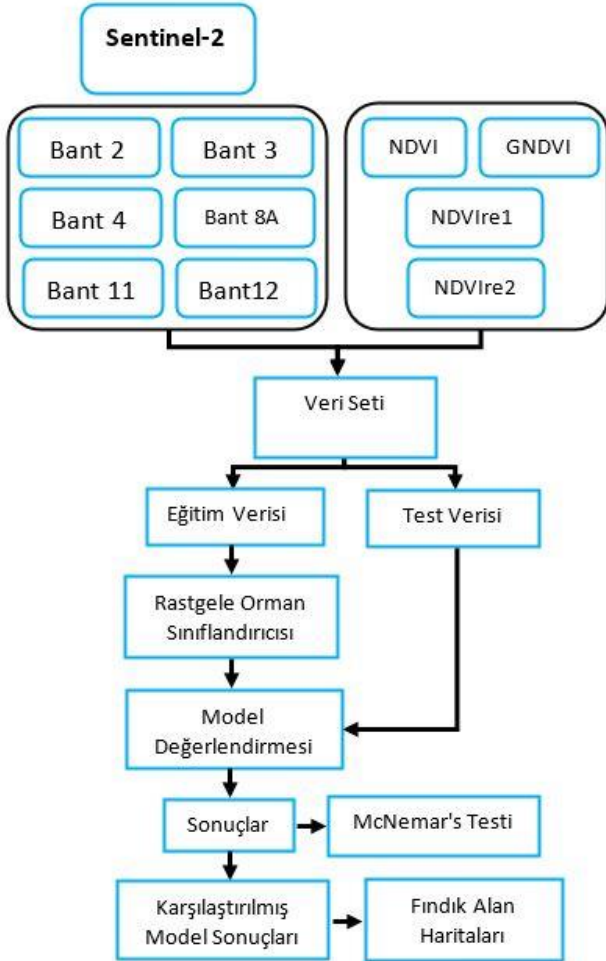
Çalışmada kullanılan bant2, bant3, bant4, bant8a, bant11 ve bant12 nolu bantlar, bantlar arasındaki korelasyon değerlerine göre belirlenmiştir. Bitki indekslerinin oluşturulması kısmında bant5 ve bant6 da çalışmaya dâhil edilmiştir.

## 3. Yöntem

Fındık ekili alanlara ait haritaların üretilmesi için piksel tabanlı rastgele orman kontrollü sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan iş akışı grafiği Şekil 2'de verilmiştir.

Görüntülerdeki yansıtım özelliklerinin dikkate alınarak piksellerin farklı sınıflara atanması olarak bilinen sınıflandırmanın en yaygın kullanım türü piksel tabanlı sınıflandırmadır. Bu yöntemde bilinmeyen piksel belirli bir sınıfa ait olma olasılığına sahiptir. Bundan dolayı, her bir pikselin olasılığı hesaplanır ve her piksel en yüksek olasılığa sahip olan sınıfa atanır (ENVI, 2005; Sunar ve ark., 2013; Karakuş ve ark., 2017). Ayrıca piksel tabanlı sınıflandırmalar Sentinel-2 MSI görüntüsü gibi orta mekânsal çözünürlüklü verilerde önemli avantajlar

sağlamaktadır (Bayburt, 2009; Efe & Algancı, 2023). Bu yöntemde öncelikle arazide tanımlayacağımız kategoriler belirlenmekte, belirlenen kategorilere ait eğitim ve test verileri toplanmakta ve seçilen bir sınıflandırma algoritmasına göre sınıflandırma işlemi yapılabilmektedir (Jensen, 2005). Bu çalışma için sınıflandırma algoritması olarak Rastgele Orman (RO) sınıflandırması seçilmiştir.



Şekil 2. Çalışmaya ait iş akış şeması

RO algoritması, toplu öğrenme yöntemleri arasında sınıflandırmada çok daha iyi performans sergilediği için daha çok tercih edilen karar ağacı tabanlı bir sınıflandırıcıdır. Bu yöntem rastgele seçilen örneklem kümesi ve bu örneklemden elde edilen değişkenler alt kümesini kullanarak birden çok karar ağacı üretir (Belgiu & Drăgut, 2016). Oluşan her karar ağacı için sınıflandırma sonucunda bir oy alması söz konusudur. En çok oya sahip olan karar ağacı belirlenerek sınıflandırmada ana ağaç yapısı belirlenir. Henüz sınıf etiketi belli olmayan yeni veri seti tüm ağaç tahminlerinde en fazla oy alan sınıfa atanarak sınıflandırılır. RO sınıflandırmasında önemli olan ve kullanıcı tarafından belirlenen iki parametre vardır. Bunlar ağaç sayısı ve değişken sayısıdır (Breiman, 2001; Archer & Kimes 2008). Bu iki parametre sınıflandırma doğruluğunu önemli derecede etkilemektedir. En uygun değerde parametrelerin belirlenmesi için bu çalışmada tekrarlı denemeler yapılmış ağaç sayısı 500, değişken sayısı 2 olarak alınmıştır.

Tarımsal ürün desenlerinin uzaktan algılanma yöntemi ile belirlenmesinde bitki indeksleri kullanılmaktadır. Bu veriler çalışmada kullanılan yardımcı elemanlardır. İndeksler her bir bitkinin spektral imzasına dayanarak üretilmiş ve bitkinin yaprak pigmentleri ile yapısını temsil etmekte kullanılmaktadır (Jackson ve Huete, 1991). Özellikle klorofile duyarlı olmaları sebebiyle yakın kızılötesi veya kırmızı kenar spektral bantları ile elde edilmiş bitki indeksleri tarım alanlarının izlenmesinde ve tespitinde sıklıkla tercih edilmekte ve verimli sonuçlar vermektedir (Amliana ve ark., 2016; Wang ve ark., 2018, Souza ve ark., 2020). Yapılan bu çalışmada sınıflandırma işlemlerine katkılarını değerlendirmek üzere NDVI, GNDVI ve NDRE indeksleri eklenmiştir. Kullanılan indekslere dair formüller Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Sınıflandırma aşamasında kullanılan indeksler

İndeksler	Sentinel-2 Formül	Kaynak
NDVI	$\frac{B8a - B4}{B8a + B4}$	Bigler ve ark., (2007)
GNDVI	$\frac{B8a - B3}{B8a + B3}$	Gitelson ve ark. (1996)
NDVIre1	$\frac{B8a - B5}{B8a + B5}$	Rouse (1973)
NDVIre2	$\frac{B8a - B6}{B8a + B6}$	Liu ve ark. (2018)

Doğruluk analizinde en sık kullanılan yöntem hata matrislerinin oluşturulması ve bu matrislerden elde edilen doğruluk ölçütlerinin analiz edilmesidir. Bu matris gerçek arazi örtüsünden referans alınarak belirli bir arazi örtüsü tipinde atanan piksellerin sayısını satırlar ve sütunlar halinde oluşmuş sayıların karesel bir sayı dizisidir. Genel sınıflandırma doğruluğu, doğru sınıflandırılmış piksel sayısının toplam piksel sayısına bölünmesiyle elde edilir. Hata matrisi yardımıyla hesaplanan kullanıcı ve üretici doğrulukları sınıf doğrulukları hakkında bilgi edinilmesinde kullanılan önemli doğruluk ölçütlerindedir. Ayrıca doğruluk değerlendirmelerinde kullanılan Kappa değeri hata matrisi kullanılarak hesaplanır. Kappa sayısı 1'e eşit olduğunda mükemmel sonuç verirken sifıra yaklaştığında iyi bir sınıflandırma olmadığını ifade eder. (Congalton ve ark., 2009).

Bu çalışmada oluşturulan veri setleri ile birlikte elde edilen genel doğruluklar arasındaki farkların istatistiksel olarak anlamlılığı McNemar testi kullanılarak analiz edilmiştir. Ki-kare dağılımını esas alan McNemar testi hesaplamalarda 2x2 boyutlu bir hata matrisi kullanılmaktadır (Foody, 2004).

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Sınıflandırma yöntemi ile tematik harita üretiminde çalışma amacına göre arazi örtüsü sınıflarının belirlenmesi çok önemlidir. Çalışma yapılacak bölgede uygulanacak kontrollü sınıflandırma işlemi için kullanılacak sınıflar; fındık, orman, tarım/mera, şehir yapısı, endüstriyel ve ticari alan, yol ve su yüzeyi olmak üzere 7'ye ayrılmaktadır. Sınıflandırmada kullanılacak sınıflar belirlendikten sonra sınıflandırma işlemi için



gerekli eğitim verisi Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından temin edilen 1/25000 ölçekli Arazi Kullanım Haritası referans alınarak toplanmıştır. Sınıfları doğru temsil etmek adına homojen olarak seçilmiş görüntü nesnelere ait toplanan eğitim verilerinin sayısı **Tablo 3**'de yer almaktadır.

**Tablo 3.** Sınıflar için belirlenen eğitim ve test piksel sayısı

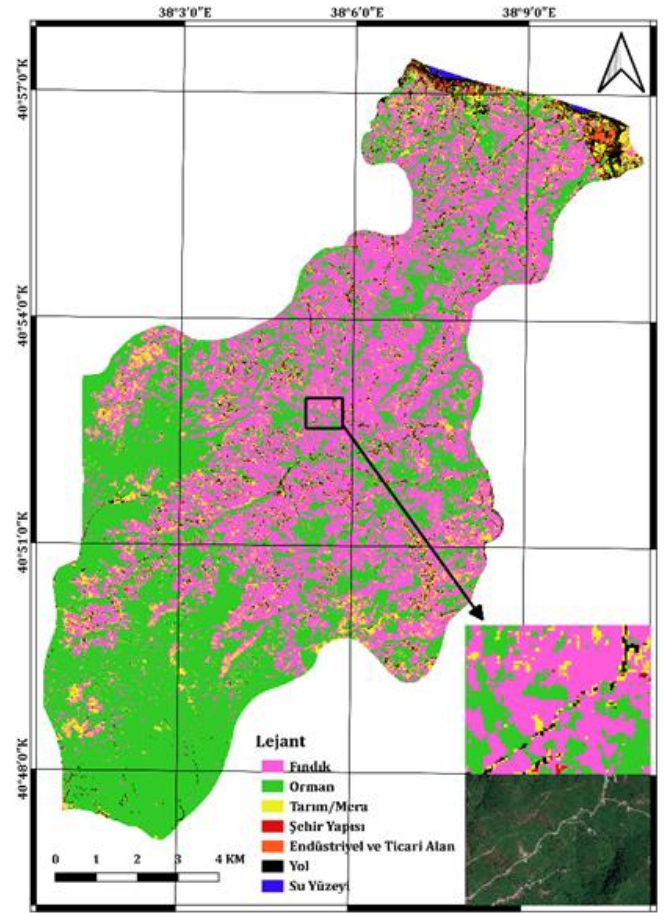
Sınıflar	Eğitim Verisi	Test Verisi
Fındık	2166	922
Orman	3059	1303
Tarım/Mera	940	397
Şehir Yapısı	560	240
Endüstriyel ve Ticari Alan	435	186
Yol	636	278
Su Yüzeyi	245	105
<b>Toplam</b>	<b>8041</b>	<b>3431</b>

Genel olarak çalışma alanının çoğunluğunun orman ve fındık alanı olmasından dolayı bu durum eğitim ve test veri sayılarına da yansımıştır. Eğitim verisi oluşturma aşamasından sonra toplanan veriler ile çalışma tarihine ait uydu görüntülerinde ilk senaryo seçtiğimiz 6 bantın RO sınıflandırması yapılarak oluşturulmuştur. Daha sonra kullanılan bantlara NDVI, GNDVI, NDVIre1 ve NDVIre2 ayrı ayrı eklenerek 5 senaryoda genel doğruluğa ve sınıf bazında doğruluğa katkısı analiz edilmiştir.

**Tablo 4.** Karşılaştırma için oluşturulan senaryolar. 6 bant: bant 2, bant 3, bant 4, bant 8a, bant 11, bant 12.

Senaryolar	Özellikler
S1	6 Bant
S2	6 Bant + NDVI
S3	6 Bant + GNDVI
S4	6 Bant + NDVIre1
S5	6 Bant + NDVIre2

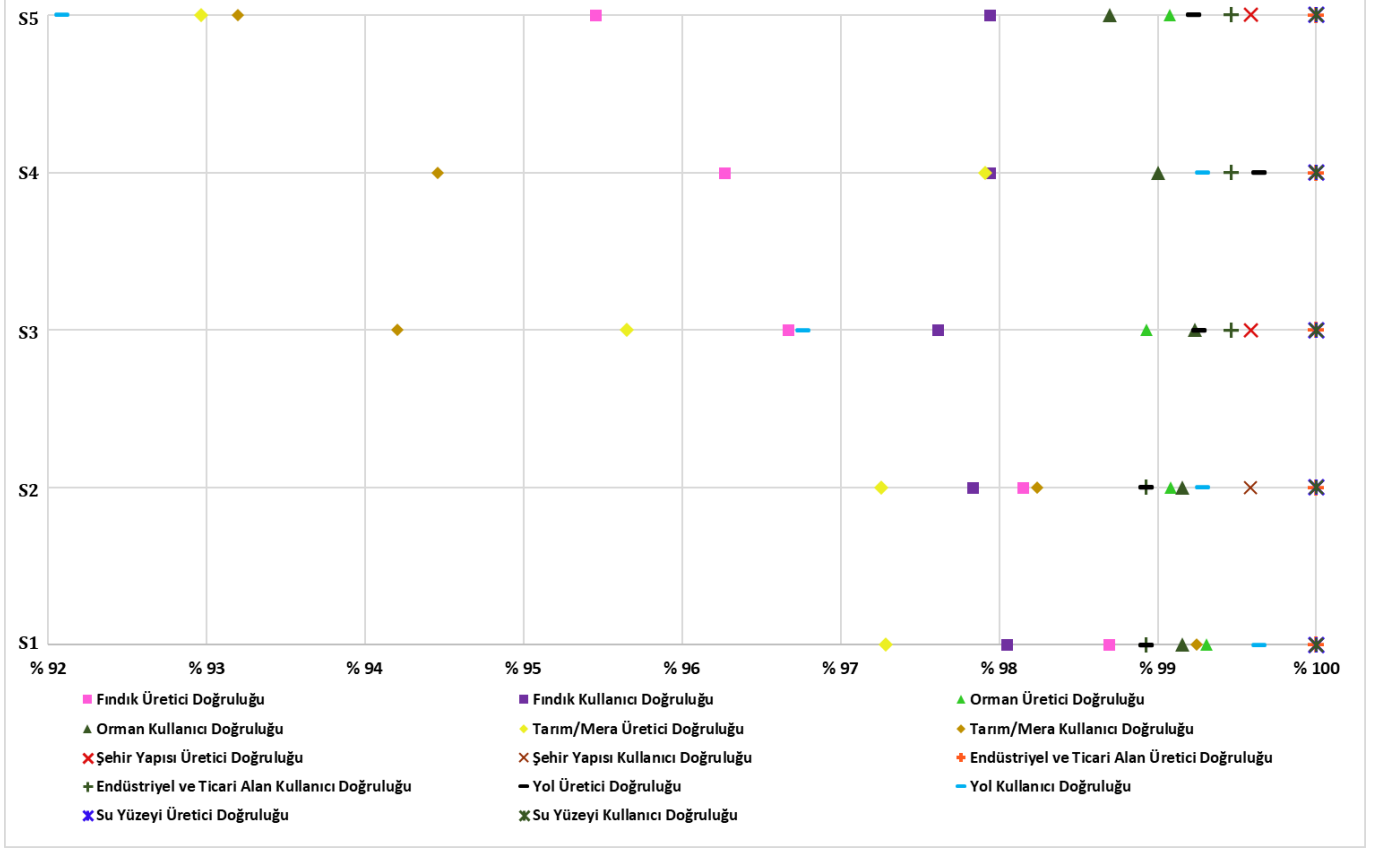
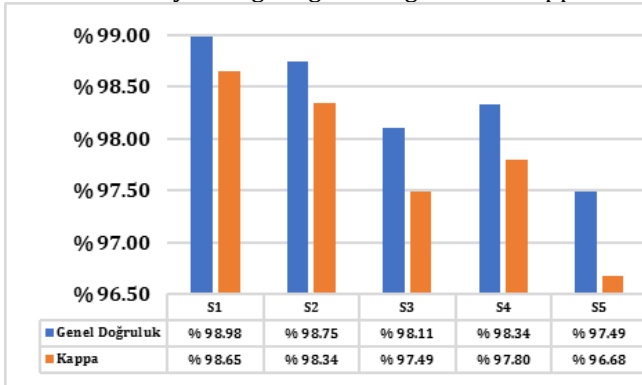
Sınıflandırma işlemine ilk olarak orijinal bantlar ile başlanmıştır. Daha sonra her görüntüye üretilen indeksler eklenerek her bir indeksin sınıflandırma doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda da en yüksek genel doğruluklu sonuç ve kapa değeri senaryo 1'de elde edilmiştir (**Şekil 3**). Dolayısıyla çalışmanın ana hipotezi olan yardımcı veri setlerinin sınıflandırma doğruluğuna pozitif etkisinin olmadığı görüldü. Ancak bütün veri setleri arasındaki sınıflandırma doğruluğu farklarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı McNemar testi ile incelendiğinde bu farkların istatistiksel olarak anlamlı olmadığı da görülmüştür. Hesaplanan istatistik değerler %95 güven aralığındaki kritik değerden ( $\chi^2=3.84$ ) küçük olduğundan aradaki farkın anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır (**Çölkesen & Yomraloğlu, 2014**). En düşük genel sınıflandırma doğruluğu ise NDVIre2 indeksi ile yapılan senaryo 5 de %97.49 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada genel doğruluk ile kapa istatistiğinin yanı sıra üretici ve kullanıcı doğruluk değerleri de sunulmuştur (**Tablo 5**).



**Şekil 3.** En yüksek sınıflandırma doğruluğu elde edilen senaryo 1 tematik haritası

**Tablo 5**'e göre fındık için üretici ve kullanıcı doğruluğu en yüksek değerleri S1'de almıştır. Orman sınıfı için üretici doğruluğu S1'de, kullanıcı doğruluğu S3'te en yüksek gelmiştir. Tarım/mera ve yol sınıflarının her ikisi de üretici doğruluğunda en yüksek değere S4'de, kullanıcı doğruluğunda S1'de ulaşmıştır. Şehir yapısı kullanıcı doğruluğu S2 hariç hepsinde tam gelmiştir. Üretici doğruluğu için bu durum S3 ve S5 haricinde %100 değerine ulaşmıştır. Endüstriyel ve ticari alan sınıfının üretici doğruluğu her senaryoda tam gelmiştir. Üretici doğruluğu için bu durum S1 ve S2 haricinde %100 değerine ulaşmıştır. Su yüzeyi sınıfı hem üretici doğruluğunda hem kullanıcı doğruluğunda da her senaryo için %100 olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında fındık alanlarının 22.10.2022 tarihinde RO makine öğrenme algoritmasının Sentinel-2 uydu görüntüleri ile tematik haritalanması gerçekleştirilmiştir. Yapılan sınıflandırma işlemi sonucunda elde edilen haritalar incelendiğinde her senaryoda az miktarda fındık ve tarım/mera alanlarının birbirine karıştığı gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak, kullanılan yersel referans verisinde tarım alanı olarak ayrılan bölgelere de fındık dikiminin yapıldığı tespit edilmiştir. Orijinal bantlarla yapılan senaryo 1 (S1) sınıflandırma işlemi sonrasında elde edilen genel doğruluk %98.98, kapa %98.65 olarak elde edilmiştir. Bitki indeksleri dâhil edilerek üretilen senaryo 2, 3, 4 ve 5'de genel doğruluk değeri ve kapa senaryo 1'e göre çok az miktarda azalmıştır (**Tablo 6**).

**Tablo 5.** Sınıfların senaryolara göre üretici ve kullanıcı doğruluğu**Tablo 6.** Senaryolara göre genel doğruluk ve kappa

Burada görüldüğü üzere en yüksek değerler orijinal bant olarak belirlenen 6 bant (band2, band3, band4, band8a, band11 ve band12) ile oluşturulan senaryo 1'de görülmektedir. Bu senaryoyu sırasıyla S2, S4, S3 ve S5 takip etmiştir.

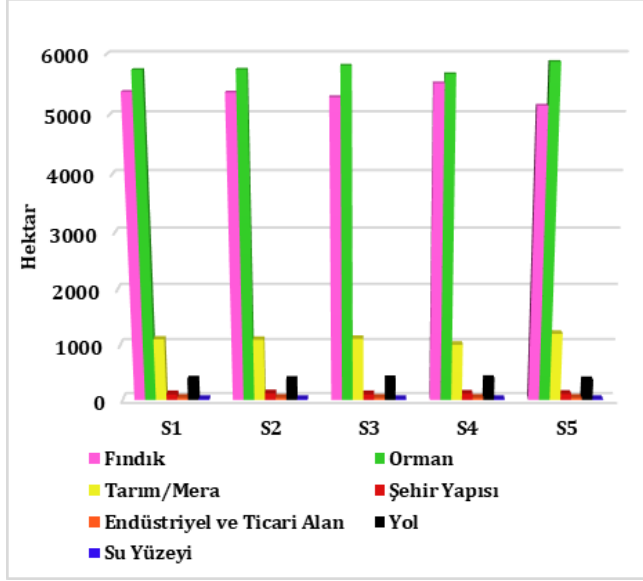
Çalışma alanı seçilen Piraziz ilçesinin sınıflara göre alan dağılımı da yapılmış ve ilçede en fazla alanı ormanların kapladığı belirlenmiştir (Tablo 7).

Orman alanını sırasıyla fındık, tarım/mera, yol, şehir yapısı, endüstriyel ve ticari alan takip etmiştir.

## 5.Sonuç

Bu çalışmada 2020 yılı ekim ayına ait Sentinel-2 MSI uydu görüntüsü piksel tabanlı olarak sınıflandırılmış ve ekonomik değere sahip olan fındık ekili alanları gösteren tematik harita oluşturulmuştur. Sınıflandırmada RO

algoritması kullanılmış ve sınıflandırma performansları doğruluk analizleri ile test edilmiştir. Sınıflandırmada oluşturulan 7 sınıf kendilerine ait spektral özelliklere göre sınıflandırılmıştır. RO sınıflandırıcısı ile indeks eklemeyen sınıflandırılma sonucunda %98.98 genel sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir. Daha sonra kullanılan orijinal bantlara NDVI, GNDVI, NDVIre1 ve NDVIre2 ayrı ayrı eklenerek sınıflandırma doğruluklarının etkilerine bakılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında en yüksek sınıflandırma doğruluğu senaryo 1 de elde edilmiş, en düşük genel sınıflandırma doğruluğu ise NDVIre2 indeksi ile yapılan senaryo 5 de %97.49 olarak elde edilmiştir. En yüksek iki sınıflandırma doğruluğu arasındaki farkın (1.49) istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı McNemar testi ile incelenmiştir. Hesaplanan istatistik değeri (0.8069) %95 güven aralığındaki kritik değerden ( $\chi^2=3.84$ ) küçük olduğundan dolayı yardımcı veri seti olarak NDVI, GNDVI, NDVIre1 ve NDVIre2 indekslerinin kullanımı ile sınıflandırma doğruluğunda anlamlı değişiklikler ortaya çıkmamıştır. Çalışmanın ana teması olan fındık sınıfı için en yüksek üretici doğruluğu ve kullanıcı doğruluğu sırasıyla %98.69 ve %98.05 olarak S1'de belirlenmiştir. Piraziz ilçesi belirlenen sınıflara göre alansal dağılım olarak incelendiğinde fındık, yol ve su yüzeyi senaryo 4'de; orman ve tarım/mera senaryo 5'de; endüstriyel ve ticari alan senaryo 1'de; şehir yapısı senaryo 2'de en yüksek alana sahip olduğu belirlenmiştir. Farklı tarihli ve farklı bir sınıflandırma algoritması kıyaslama çalışmaları devam etmektedir.

**Tablo 7.** Senaryolara göre sınıfların alansal dağılımı

### Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışmada Arazi Kullanım Haritası (Ölçek:1/25000) verisi Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından temin edilmiş ve eğitim verisi seçiminde kullanılmıştır. Tarım ve Orman Bakanlığı'na desteğinden dolayı teşekkür ederiz.

### Araştırmacıların katkı oranı

**Seda Terzi Türk:** Literatür taraması, Görüntü işleme, Makale yazımı, Düzenleme; **Filiz Bektaş Balçık:** Makale yazımı, Düzenleme

### Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Kaynakça

- Ahady, A. B., & Kaplan, G. (2022). Classification comparison of Landsat-8 and Sentinel-2 data in Google Earth Engine, study case of the city of Kabul. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(1), 24-31.
- Akar, Ö., & Güngör, O. (2013). Eş Dizimlilik Matrisi ve Rastgele Orman Sınıflandırıcısı ile Çay ve Fındık Alanlarının Sınıflandırılması.
- Amliana, D. R., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2016). Analisis Perbandingan Nilai Ndvı Landsat 7 Dan Landsat 8 Pada Kelas Tutupan Lahan (Studi Kasus: Kota Semarang, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 5(1), 264-274.
- Apaydın, C., & Abdikan, S. (2021). Fındık bahçelerinin Sentinel-2 verileri kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleriyle belirlenmesi. *Geomatik*, 6(2), 107-114.
- Archer, K. J., & Kimes, R. V. (2008). Empirical characterization of random forest variable importance measures. *Computational statistics & data analysis*, 52(4), 2249-2260.

- Aydinoglu, A. C. (2010). Examining environmental condition on the growth areas of Turkish Hazelnut (*Corylus Colurna* L.). *African Journal Of Biotechnology*, 9(39), 6492-6502.
- Balçık, F. B. (2018). Evaluation Of Sentinel-2 Msi Data for Land Use/Land Cover Classification Using Different Vegetation İndices. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6, 839-846.
- Bayburt, S. (2009). Uydu Görüntülerinin Piksel ve Nesne Tabanlı Sınıflandırma Sonuçlarının Karşılaştırılması (Doğu Trakya Bölgesi Örneği) (Doctoral Dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 114, 24-31.
- Bigler, C., Gavin, D. G., Gunning, C., & Veblen, T. T. (2007). Drought induces lagged tree mortality in a subalpine forest in the Rocky Mountains. *Oikos*, 116(12), 1983-1994.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
- Brinkhoff, J., Vardanega, J., & Robson, A. J. (2019). Land Cover Classification Of Nine Perennial Crops Using Sentinel-1 And-2 Data. *Remote Sensing*, 12(1), 96.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2009). *Assessing The Accuracy Of Remotely Sensed Data*, 2. Baskı, Crc Press, New York.
- Çölkesen, İ., & Yomralıoğlu, T. (2014). Arazi örtüsü ve kullanımının haritalanmasında WorldView-2 uydu görüntüsü ve yardımcı verilerin kullanımı. *Harita Dergisi*, 152(2), 12-24.
- Delen, A., Balık Şanlı, F., (2017), Determination of Cotton Fields By Object-Based Classification Method: A Case Study in Menemen District. *Journal Of New Results in Engineering and Natural Science*, 6, 1-8
- Doğru, B. (2020). Fındık, İklim Değişikliği ve Çevresel Etkiler Raporu. Rainforest Alliance <https://Www.Rainforest-Alliance.Org/> (Access Date: 09.09.2020)
- Efe, E., & Alganci, U. (2023). Çok zamanlı Sentinel 2 uydu görüntüleri ve makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar ile arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi. *Geomatik*, 8(1), 27-34.
- ENVI, (2005), ENVI's User Guide, [http://geol.hu/data/online\\_help/ApplyingMaximumLikelihoodClassification.html](http://geol.hu/data/online_help/ApplyingMaximumLikelihoodClassification.html)
- Footy, G. M. (2004). Thematic map comparison. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(5), 627-633.
- Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1996). Signature analysis of leaf reflectance spectra: algorithm development for remote sensing of chlorophyll. *Journal of plant physiology*, 148(3-4), 494-500.
- Gorton, M., & Tregear, A. (2008). Government Support To Regional Food Producers: An Assessment Of England's Regional Food Strategy. *Environment And Planning C: Government And Policy*, 26(6), 1047-1060.
- Immitzer, M., Vuolo, F., & Atzberger, C. (2016). First Experience With Sentinel-2 Data For Crop And Tree

- Species Classifications In Central Europe. *Remote Sensing*, 8(3), 166.
- Jackson, R. D., & Huete, A. R. (1991). Interpreting vegetation indices. *Preventive veterinary medicine*, 11(3-4), 185-200.
- Jensen, J. R. (2005). Thematic Information Extraction: Pattern Recognition. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, 337-406.
- Karakuş, P., Karabork, H., & Kaya, S. (2017). A comparison of the classification accuracies in determining the land cover of Kadirli Region of Turkey by using the pixel based and object based classification algorithms. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(2), 52-60.
- Kavzoglu, T., & Reis, S. (2008). Performance Analysis of Maximum Likelihood And Artificial Neural Network Classifiers For Training Sets With Mixed Pixels. *Giscience & Remote Sensing*, 45(3), 330-342.
- Kayalak, S. (2009). Türkiye Fındık Piyasasındaki Ekonomik Değişkenlerin Yapısal Değişimi ve Zaman Serisi Analizi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara.
- Liu, J., Zhang, Z., & Zhang, M. (2018). Impacts of forest structure on precipitation interception and run-off generation in a semiarid region in northern China. *Hydrological Processes*, 32(15), 2362-2376.
- Marangoz, A. M. (2009). Uydu Görüntülerinden Kentsel Ayrıntıların Nesne-Tabanlı Sınıflandırma Yöntemiyle Belirlenmesi ve CBS Ortamında Bütünleştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fbe Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı Uzaktan Algılama ve CBS Programında Hazırlanan Doktora Tezi, İstanbul, 53-65.
- Monarca, D., Cecchini, M., Colantoni, A., Bedini, R., Longo, L., Bessone, W., ... & Schillaci, G. (2016, May). Evaluation Of Safety Aspects for A Small-Scale Machine for Nuts Harvesting. In *Proceedings of The Mechtech 2016 Conference—Mechanization and New Technologies for The Control and Sustainability of Agricultural and Forestry Systems*, Alghero, Italy (Pp. 32-35).
- Pedrotti, F. (2004). *Cartografia Geobotanica*. Pitagora.
- Reis, S., & Taşdemir, K. (2010). Fındık Alanlarının Kendini Örgütleyen Eşlemlerle (Self Organizing Maps) Belirlenmesi.
- Rivas-Martinez, S. (2005). Notions On Dynamic-Catenal Phytosociology as A Basis of Landscape Science. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 139(2), 135-144.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351(1), 309.
- Sener, M., Altıntaş, B., & Kurc, H. C. (2013). Planning And Controlling Of Hazelnut Production Areas With The Remote Sensing Techniques. *Ksü Doğa Bilimleri Dergisi*, 16(1).
- Souza, J. B. C., De Brito Filho, A. L., Carneiro, F. M., Do Santos, A. F., & Da Silva, R. P. (2020). Avaliação Da Qualidade Dos Índices De Vegetação (Ndre E Ndvı) Para A Cultura Do Amendoim, Utilizando Cartas De Controle. *South American Sciences*, 1(1), E2095-E2095.
- Sunar, F., Özkan, C., & Osmanoğlu, B. (2013). Uzaktan Algılama (2.Baskı). T.C. Anadolu Üniversitesi, Yayın No: 2320, Açıköğretim Fakültesi Yayın No:1317, Eskişehir.
- Taşdemir, K. (2012). Exploiting Spectral and Spatial Information for the Identification of Hazelnut Fields Using Self-Organizing Maps. *International Journal of Remote Sensing*, 33(19), 6239-6253.
- Ünal, E., Aydoğdu, M., Ceylan, N., Sezer, A., Özenç, N., & Duyar, Ö. (2010). Giresun İlinde Fındık Alanlarının Uzaktan Algılama ile Tespit Edilmesinde Arazi Topografyasının Etkisinin İncelenmesi ve Alternatif Tarım Ürünlerine Uygunluğunun Belirlenmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 19(1-2), 1-10.
- Wang, Z., Yang, X., Liu, Y., & Lu, C. (2018). Extraction of Coastal Raft Cultivation Area with Heterogeneous Water Background by Thresholding Object-Based Visually Salient NDVI from High Spatial Resolution Imagery. *Remote Sensing Letters*, 9(9), 839-846.
- Yousefi, S., Mirzaee, S., Almohamad, H., Al Dughairi, A. A., Gomez, C., Siamian, N., ... & Abdo, H. G. (2022). Image Classification and Land Cover Mapping Using Sentinel-2 Imagery: Optimization of SVM Parameters. *Land*, 11(7), 993.






## Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



## Turistik amaçlı mekânsal sanal ortamların oluşturulması: Tarihi Yarımada Örneği

Sançar Buhur<sup>\*1</sup>, Nesibe Necla Uluğtekin<sup>2</sup>, Mustafa Ümit Gümüşay<sup>3</sup>, Nebiye Musaoğlu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup> Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

3B Kent Modelleme  
Oyun Motoru  
Genelleştirme  
Sanal Gerçeklik

### Araştırma Makalesi

Geliş: 30.06.2022  
Reviz: 07.09.2022  
Kabul: 14.09.2022  
Yayınlanma: 15.02.2023



### Öz

Üç boyutlu (3B) kent modellerinin yaygınlaşması, kentlere ilişkin mekânsal bilgilerin 3B olarak sunulmasını ve dolayısıyla kullanıcıların mekânsal algılarının artırılmasını mümkün hale getirmiştir. Bu bağlamda geliştirilen CityGML standardı ile birlikte geleneksel olarak haritalar için kullanılan ölçek kavramı yerine 3B mekânsal veriler için ayrıntı düzeyi (LoD-level of detail) kavramı kullanılmaya başlanmıştır. Böylelikle, farklı uygulama gereksinimlerine göre farklı ayrıntı düzeylerinde kent modellerinin üretimi için standartlar ortaya konmuştur. Bu çalışmada, hava LiDAR verileri kullanılarak İstanbul Tarihi Yarımada sınırları içerisinde yer alan Eminönü Meydanı ve çevresinin yüksek ayrıntı düzeyinde (LoD3) turistik amaçlı 3B kent modeli oluşturulmuştur. Model turistik amaçlı tasarlandığından, referans olarak seçilen yapıların bulunduğu bölge dışında kalan yapılar için 3B bina genelleştirme yöntemi kullanılarak bu yapıların ayrıntı düzeyi indirgenmiştir. Oyun motoru tabanlı yapılan sunumda, modelin OpenStreetMap (OSM) ile entegrasyonu sağlanarak kullanıcıların model içerisinde etkileşimli olarak gezerken konum ve adres bilgilerine ulaşmaları sağlanmış ve yapılara eklenen öznitelikler ile modelin bilgi içeriği zenginleştirilmiştir.

## Creation of spatial virtual environments for touristic purposes: A case study of Istanbul's Historical Peninsula

### Keywords

3D City Modelling  
Game Engine  
Generalization  
Virtual Reality

### Research Article

Received: 30.06.2022  
Revised: 07.09.2022  
Accepted: 14.09.2022  
Published: 15.02.2023

### Abstract

The spread of three-dimensional (3D) city models has made it possible to present spatial information about cities in 3D and thus to increase the spatial perceptions of users. With the CityGML standard developed in this context, the concept of level of detail (LoD) for 3D spatial data has started to be used instead of the concept of scale traditionally used for maps. Thus, standards have been set for the production of urban models at different levels of detail according to different application requirements. In this study, by using airborne LiDAR data, a 3D city model for touristic purposes at LoD3 is created for Eminönü Square and its surroundings within the borders of Istanbul Historical Peninsula. As the model is designed for touristic purposes, the level of detail of structures which are not located in the region where the buildings selected as references, is reduced by using the 3D building generalization method. In the game engine-based presentation, the integration of the model with OpenStreetMap (OSM) is provided so that users could access location and address information while interactively navigating within the model and the information content of the model is enriched with the attributes added to the structures.

### \*Sorumlu Yazar

<sup>\*</sup>(sancar.buhur@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-0166-7152  
(ulugtek@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-8823-595X  
(umit.gumusay@alanya.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-6464-919X  
(musaoglune@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-8022-8755

### Kaynak Göster (APA)

Buhur, S., Uluğtekin, N. N., Gümüşay, M. Ü., & Musaoğlu, N. (2023). Turistik amaçlı mekânsal sanal ortamların oluşturulması: Tarihi Yarımada Örneği. *Geomatik, 8(2)*, 99-106

## 1. Giriş

Yeni bir yer ilk kez ziyaret edilmeden önce, bölge hakkında bilgi edinmek için harita üzerinden konum, mesafe ve yön gibi bilgileri görmek yapılan en temel işlerdendir. Bilgisayar, mobil cihazlar ve video oyunları gibi çoklu ortamlar (multimedya) sektöründeki gelişmeler mekâna ait bilgileri sunmada klasik harita kullanımının çok ötesinde sunum imkanlarını sağlamıştır (Edler ve ark., 2018). Google Earth (Url-1), WebGLEarth (Url-2), Earth3D (Url-3), CesiumJS (Url-4) gibi Virtual Globe görsel ortamların kullanımının artması ile mekânsal bilgi ve 3B kent modellerine olan ilgi artmıştır.

3B kent modelleri, temelde arazi, bina, bitki örtüsü, yol ve kent aksesuarları modellerini içeren coğrafi referanslı kentsel verileri temsil ederler. Genel olarak bu modeller kentsel verileri sunmaya, keşfetmeye, analiz etmeye ve yönetmeye yararlar. 3B kent modellerini stereo hava fotoğrafları (Buhur ve ark., 2009), insansız hava araçları (Harwin ve Lucieer, 2012), yersel LiDAR (Şahin ve ark., 2012; Varlık ve ark., 2018), stereo uydu görüntüleri ve SAR verilerinden üretilen sayısal yükseklik modelleri (Azami ve ark., 2017), hava LiDAR (Büyüksalih ve ark., 2018) ve mobil tarama (Wang ve ark., 2019) yöntemlerini kullanarak üretmek mümkündür. Adı geçen bu yöntemlerin dışında 2B bina taban verileri, bina kat yükseklikleri ve OSM verileri gibi gönüllülük esasına dayanan verileri kullanarak 3B kent modeli oluşturulabilmektedir (Biljecki ve ark., 2017). Yersel LiDAR tarama daha çok tarihi eserlerin bulunduğu lokal alanlarda çalışılırken hava LiDAR ve hava fotogrametrisi teknikleri kent modelleri gibi daha büyük alanların modellenmesinde kullanılmaktadır.

Sanal gerçeklik (SG) bilgisayar ve yazılımlar aracılığıyla kullanıcılara gerçeklik hissi veren ortamların hazırlanmasıdır. Sanal gerçekliğin uygulamalı eğitimler, medya, eğlence, sağlık, mimari, turizm, pazarlama, film endüstrisi, müzecilik gibi uygulama alanları bulunmaktadır (Rainoldi ve ark., 2018; Cavallaro ve ark., 2021). Sanal gerçeklik tanımını coğrafi görselleştirme anlamında formüle etmek günümüz literatüründe bu konu hakkında terminolojik bir belirsizlik olduğundan zordur. Virtual landscape, virtual globes, VR-GIS ve Virtual Geographic Environment (VGE) gibi terimler her ne kadar farklı uygulama içeriklerine sahip olsalar da aynı isim altında kullanılmaktadır. Sanallık (virtuality), 3 boyutluluk (three-dimensionality) ve sürükleyicilik (immersion) arasında kesin bir ayırım yoktur. Bazı araştırmacılar 3B-SG üzerinde çalışırken bazıları için 3B görselleştirme SG'nin ön koşuludur. Benzer şekilde, bazı araştırmacılar sürükleyici sanal ortamları (Immersive Virtual Environment-IVE) araştırırken, sürükleyicilik diğerleri için sanallığın bir önkoşuludur (Hruby ve ark., 2019).

SG teknolojileri günümüzde özellikle turizm bölgelerinde pazarlama stratejisinin bir parçası olarak turistlerin oteller, yolcu gemileri ve turistik alanlar ile ilgili ön bilgiler almasında kullanılmaktadır. SG her ne kadar bilgisayar ortamında oluşturulmuş ortam olsa da son yıllarda 360 derecelik panorama fotoğrafları veya videoları turizm alanında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Fotoğraf tabanlı bu uygulamalar, bilgisayar ortamında üretilen modellere göre kısıtlı hareket ve

etkileşim imkânı verse de turizm alanında sanal gerçeklik adıyla yapılan çoğu çalışma bu yöntemlerle yapılmaktadır (Slater ve Sanchez -Vives, 2016).

Coğrafi görselleştirme teknikleri, coğrafi veri tabanları ile bütünleşik, zenginleştirilmiş ve SG ile desteklenme yeteneğine sahip etkileşimli ve uygulama, platform, ölçek ve içerik açısından esnek yöntemler kullanarak dinamik, üç ve dört boyutlu veri gösterimini kapsayacak biçimde harita ortamını genişletmiştir (Uluğtekin ve ark., 2019; Uyar ve Uluğtekin, 2016). Büyük hacimli 3B veri setlerinin kullanılmaya başlanmasıyla beraber karşılaşılan verilerin saklanması, paylaşılması, sunulması ve farklı uygulamalar için farklı ayrıntı düzeylerine ihtiyaç duyulması gibi sorunlar verilerin standartlaştırılması ve gereksiz verilerin elimine edilmesi gibi ihtiyaçları beraberinde getirmiştir. Veri paylaşım formatları arasındaki karışıklığı önlemek amacıyla Open Geospatial Consortium (OGC) tarafından geliştirilen XML tabanlı açık bir veri formatı olan CityGML, 3B kent modellerinin depolanması ve değişimi için veri formatı olarak kabul edilmiştir (Url-5).

3B kent modellerinde ayrıntı düzeyi, harita üretiminde olduğu gibi amaca uygun olmalıdır. Kartografik çalışmalarda önemli nesnelerin vurgulanması için gösterimler ister 2B ister 3B olsun genelleştirme işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Yücel ve Selçuk, 2009a). Genelleştirme, mekânsal bilginin toplanması, modellenmesi, sunumu ve kullanımı gibi harita üretim sürecinin tüm aşamalarında etkin olarak kullanılan bir yöntemdir. Genelleştirmenin temel amacı, var olan veriden farklı ölçek serilerindeki haritaların üretilmesidir (Uyar ve Uluğtekin, 2016). Kartograflar tarafından, farklı ölçeklerde harita üretimi için mekânsal verinin genelleştirilmesi amacıyla bir takım kurallar geliştirilmiştir. Bu kurallar objelerin semantik yönleri ile ilgili olsa da esas olarak geometrilerini göz önünde bulundurur (Sester, 2020).

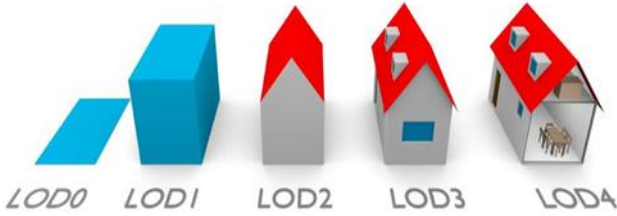
Bu çalışmada, hava LiDAR verileri kullanılarak Tarihi Yarımada'da yer alan Eminönü Meydanı ve çevresi için turizm amaçlı LoD3 ayrıntı düzeyinde kent modeli oluşturulmuştur. Çalışmaya LiDAR verisinin sınıflandırılması ile başlanmıştır. Sınıflandırma sonucu elde edilen zemin ve bina sınıfına ait nokta veriler kullanılarak zemin modeli ve yarı otomatik yöntemle CityGML yapısına uygun LoD2 ayrıntı düzeyinde bina modelleri üretilmiştir. Referans yapılar LoD3 olarak modellenmiş ve öznitelik verileri eklenmiştir. Ayrıntılı bina modellerinin bulunduğu alanda katı zemin modellemesi yapılarak gerçeğine uygun, yüksek ayrıntı düzeyinde zemin modeli hazırlanmıştır. Referans olarak seçilen yapıların bulunduğu ayrıntılı model alanı dışında kalan yapılara 3B bina genelleştirme yöntemi uygulanarak ayrıntı düzeyi indirgenmiştir. Modelin OSM verileriyle uyumu sağlanarak oyun motoru ile yapılan model sunumunda kullanıcılara model içerisinde etkileşimli olarak gezerken adres bilgisine ulaşma imkânı sağlanmıştır.

## 2. 3B kent modelleri ve genelleştirme

Mekânsal bilgilerin 3B olarak gösterilmesi ile mekânsal içeriği kavrama ve algılama daha kolay hale gelmiştir (Uyar ve Uluğtekin, 2016). 3B kent

modellerinin farklı kullanım alanları mevcuttur. Planlama (Buhur ve ark., 2009), kıyı alanlarının yönetimi (Büyüksalih, 2013), güneş enerjisi tahmini (Eicker ve ark., 2014; Adjiski ve ark., 2023), kadastral uygulamalar (Ayyıldız, 2017), tarihi kentlerin dokusunun yeniden canlandırılması (Walmsley ve Kersten, 2019), dijital kampüs (Jovanovic ve ark., 2020), tehlike yaratan noktaların tespiti (Ham ve Kim, 2020), görselleştirme (Büyükdemircioğlu ve Kocaman, 2020; Şenyurdusev ve Doğru, 2021) gibi uygulamaların yanında, mimari uygulamalar, gayrimenkul, sanal turlar ve navigasyon 3B kent modellerinin kullanım alanlarına örnektir (Biljecki ve ark., 2015).

CityGML 3B bina modellerini geometrisi, topolojisi, görünüşleri ve semantik özelliklerini dikkate alarak beş LoD tanımlar (Şekil 1). LoD0'da Sayısal Arazi Modeli (SAM) üzerine hava fotoğrafı, uydu görüntüsü veya harita eklenerek binaların üzerine yerleştirileceği zemin oluşturulur. Bu düzeyde 3B bina modelleri yer almaz. Arazi 3B olmasına rağmen binalar çatı yüksekliğinde ya da zemin yüksekliğinde 2.5 B yatay çokgenler ile temsil edilir (Yücel ve Selçuk, 2009b; Özdoğan ve Başaraner, 2013). LoD1 düzeyinde, herhangi bir ayrıntısı olmayan katı bina modelleri kullanılır. LoD2 düzeyinde, binaya çatı modelleri ve yüzeylere ait ayrıntılar eklenir. LoD3 düzeyinde oluşturulan modeller mimari modellerdir. Duvarlar, balkonlar, ayrıntılı çatı modeli vb. ayrıntılar eklenmiştir. Yüksek çözünürlüklü fotoğraflar cephe kaplaması olarak kullanılabilir. Son ayrıntı düzeyi olan LoD4'te ise bir önceki aşamada üretilmiş olan ayrıntılı bina modeline odalar, kapılar, merdivenler ve mobilyalar gibi ayrıntılar eklenerek iç modelleme yapılır (Gröger ve ark., 2006).



**Şekil 1.** CityGML tarafından tanımlanmış bina ayrıntı düzeyleri (Biljecki ve ark., 2016)

Söz konusu binalar olduğunda genelleştirme işlemleri; küçük binaların seçilerek elimine edilmesi, küçük bina parçalarının birleştirilerek bina hatlarının basitleştirilmesi, komşu objelerin birleştirilmesi, çok küçük binaların abartılması, binaların ötelenmesi ve bina gruplarının birleştirilerek daha az çokgenle sunulması işlemleridir (Sester ve ark., 2018). Bina genelleştirilmesi ile ilgili çalışmalar incelendiğinde bina geometrisini dikkate alan çalışmaların çoğunlukta oldukları görülmüştür. Bina yüzeylerindeki çıkıntıları ve boşlukları tarayan iteratif yöntem (Thiemann ve Sester, 2004), binaların hücrelere ayrılması (Cell Decomposition) (Kada, 2007), bina taban izlerine etki alanı (buffer) analizi (Filippovska ve ark., 2009), bina taban izleri ve binayı oluşturan parçaların yükseklik farklarının dikkate alınması (He ve ark., 2012), bina taban izlerine kurallar tanımlama (Baig ve Rahman,

2013) tekil bina geometrisinin dikkate alındığı genelleştirilme çalışmalarına örneklerdir.

Bina geometrisinin dikkate alındığı bir diğer yöntem de binaların gruplar halinde genelleştirilmesidir. Yapı tanıma tekniği (Basaraner ve Selçuk, 2008), binaların birleştirilerek hücre tabanlı sunulması (Glander ve Döllner, 2008; Glander, 2013), tekil binaların birbirlerine olan mesafelerine göre birleştirilerek genelleştirildiği Şehir Ağacı – City Tree adını verilen yöntem (Mao ve ark., 2011), bina taban izlerine etki alanı ağı kurularak gruplandırılması (Zhang ve ark., 2014), kümeleme algoritmalarının kullanılarak binaların gruplandırılması (Cetinkaya ve ark., 2015) ve grid noktası ağırlıklandırması ile bölgesel öteleme yaklaşımı (Sahbaz ve Basaraner, 2021) bina taban izlerinin gruplandırıldığı araştırmalardır.

Geometri tabanlı çalışmalara ek olarak geometrik-semantik özelliklerin (Borrman ve ark., 2015) ve cephe kaplamalarının (Liu ve ark., 2017) dikkate alındığı çalışmalar da bulunmaktadır. Genelleştirme konusundaki araştırmalar devam etmektedir. Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis) (Li ve ark., 2017), makine öğrenmesi ve yapay zekâ çalışmaları (Lee ve ark., 2017; Sester ve ark., 2018), bulanık mantık (Fuzzy Logic) ve yaklaşımlı kümeler (Rough Set Theory) (Fiedukowicz, 2020) diğer araştırma örneklerindedir.

Coğrafi verilerin 3B olarak dijital ortamlarda sunulmaya başlamasıyla birlikte bazı problemler ile karşılaşmaya başlanmıştır. Her ne kadar farklı genelleştirme yöntemleri çalışılmış olsa da genelleştirmenin nasıl, ne zaman ve ne kadar etkili olduğuna dair soruların cevapları hala araştırılmaktadır. Bu noktada söz konusu olan klasik kartografik yöntemler ile farklı ölçekte haritalar üretmek değildir. Yakınlaşarak ve uzaklaşarak bile ayrıntı verilebilen sayısal ortamlarda tek veya farklı disiplinden kullanıcılar için ortak karar vermeye yönelik kolay anlaşılır görselleştirme yöntemlerinin farklı sunum ortamlarında değerlendirilmesinde klasik kartografik genelleştirmenin hala geçerli olup olmadığı, geçerli ise neleri desteklediği hakkında bilimsel bir temel oluşturmak için zaman gerekmektedir (Uluğtekin ve ark., 2019; Sester, 2020; Kronenfeld ve ark., 2020).

3B bina genelleştirilmesi için herhangi bir standart yöntem olmadığından referans sayılan yapıların turistik açıdan ön plana çıkartılması, görselleştirme ve navigasyon için önemli olduğu (Grabler ve ark., 2008) göz önünde bulundurularak, turistik açıdan önemi olmayan binaların blok halinde, bina taban izleri ve yüksekliklerine göre genelleştirilerek, ayrıntılı modellenen bölgenin vurgulanması uygun görülmüştür.

### 3. 3B Kent modelinin oluşturulması

#### 3.1. Çalışma alanı

İstanbul'da yer alan Tarihi Yarımada, eski yerleşim merkezi ile daha yeni yerleşim olan şehrin kuzey tarafını birbirinden ayıran Haliç'in güney kıyılarında yer almaktadır. Bünyesinde barındırdığı çok sayıda tarihi eserler ile 1985 yılında UNESCO tarafından Dünya Kültür Mirası listesine eklenmiştir (Buhur ve ark., 2008). Tarihi Yarımada sınırları içerisinde yer alan Eminönü

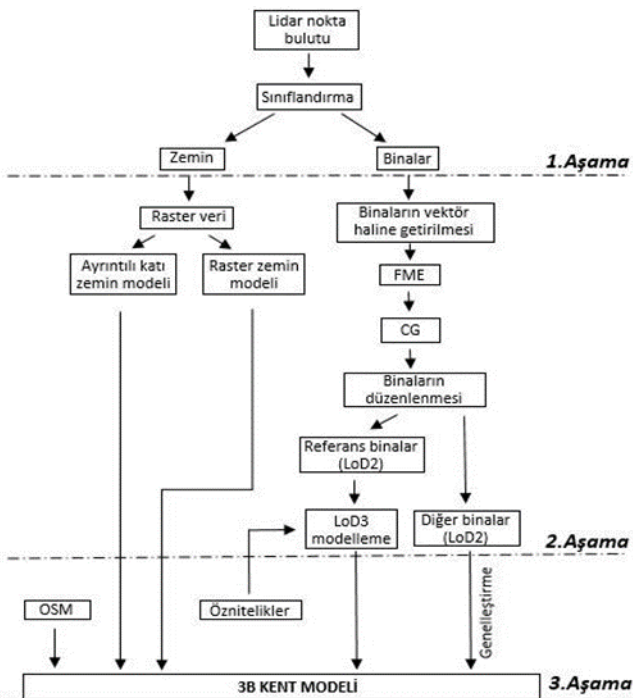
Meydanı'nda Yeni Cami ve Mısır Çarşısı gibi herkes tarafından bilinen referans yapılar ile tarihi hanlar ve turistik mekânlar bulunmaktadır. Gerek tarihi dokusu gerekse gündelik hayatın merkezlerinden birisi olmasından dolayı cazibe merkezi olmaktadır. Bölge İstanbul'a gelen yerli ve yabancı turistlerin en çok ziyaret ettiği yerlerden birisidir. Altı adet 1:1000 ölçekli paftadan oluşan çalışma alanı Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilde LoD3 olarak modellenen alan kırmızı ile gösterilmiştir. Ayrıntılı modelleme alanı dışında kalan alanda 3B genelleştirme uygulanmıştır.



Şekil 2. Çalışma alanı (Ayrıntılı modellenen alan kırmızı, pafta sınırları sarı ile gösterilmiştir)

### 3.2 Yöntem

Çalışmada kullanılan ana veri olan hava LiDAR verileri, 2012-2014 tarihleri arasında İBB/Bimtaş tarafından gerçekleştirilen uçuşlarda Riegel LMS Q680i marka lazer tarama cihazı kullanılarak üretilmiştir. Nokta yoğunluğu 16/m<sup>2</sup>'dir. Nokta bulutundan sonuç ürün olan 3B kent modellemeye kadar olan iş akışı üç aşamaya ayrılmaktadır. Modelin oluşturulmasında takip edilen iş akışı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. 3B model iş akışı

Birinci aşamada, LiDAR nokta bulutu sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma için LiDAR verisinin çoklu geri dönüş (Eko) özelliğinden yararlanılarak makrolar hazırlanmış ve nokta bulutu zemin, bitki örtüsü ve binalar olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır. İkinci aşamada sınıflandırmayla elde edilen zemin ve yapı sınıfları modellenmiştir. Bina modellerindeki hataların otomatik yöntem ile elimine edilmesinde ve format dönüşümlerinde Feature Manipulation Engine (FME) kullanılmıştır. Son aşamada ise turistik önemi olmayan Bölüm 2'de bahsedilen, bina taban alanlarını ve yükseklik değerlerini dikkate alan Basit Hücre Genelleştirilmesi (Glander ve Döllner, 2008; Glander, 2013) ile He ve ark.'nın (2012) uyguladıkları, binaların taban ve üst olmak üzere iki kısma ayrılarak değerlendirildiği yöntemler dikkate alınarak hücre bloklarının ağırlıklandırılmış yükseklikleri hesaplanmıştır.

Basit hücre genelleştirmesinde amaç, çok sayıda bireysel binayı, binaları temsil eden ve altyapı elemanları ile çevrilmiş hücre blokları ile yer değiştirmektir. Hücre bloklarının yüksekliği, hücre içine düşen binaların yüksekliklerinin ağırlıklandırılması ile elde edilmektedir.

$$h = \frac{\sum h_i * a_i}{\sum a_i} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de, h hücreye atanacak ağırlıklandırılmış yüksekliği, h<sub>i</sub> bina yüksekliğini ve a<sub>i</sub> bina taban alanını göstermektedir. Nokta bulutundan üretilen 3B bina vektörlerinde binalar çokgenlerden oluşmaktadır. Bu sebeple Eşitlik 1'de değerler hesaplanırken, binalar çatı elemanları (çatıyı oluşturan çokgenler) ve bu elemanların tabanları olarak değerlendirilerek ağırlıklandırılmış yükseklikler hesaplanmıştır. Basit Hücre Genelleştirilmesi uygulanmış kent modeli örneği ile turistik haritanın karşılaştırılması Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Turistik harita ve Basit Hücre Genelleştirmesi görsel karşılaştırması (Glander ve Döllner, 2008)

Genelleştirme işlemleri sonrası hazırlanan modeller Unity oyun motoru tabanlı çalışan City Grid (CG) yazılımında birleştirilerek kullanıcılara model içerisinde etkileşimli olarak gezilme imkânı sunulmuştur. Referans yapılar XML tabanlı öznitelikler eklenerek modelin bilgi içeriği artırılmıştır. Modelin OSM entegrasyonu ile kullanıcıya model içinde konum ve adres bilgisi imkânı sağlanmıştır.



#### 4. Bulgular

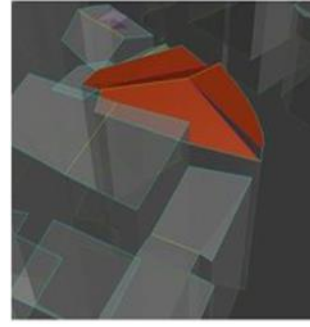
3B kent modelini oluşturma işlemlerine LiDAR nokta bulutunun sınıflandırılması ile başlanmıştır. Sınıflandırmada nokta bulutu tek bir sınıfta toplanmış hazırlanan makrolar ile her aşamada nokta bulutu havuzundan noktalar çekilerek önce zemin sınıfı oluşturulmuştur. Zemin sınıfı belirlendikten sonra yükseklik parametreleri kullanılarak bitki sınıfları kısa, orta ve uzun olmak üzere üç alt gruba ayrılmıştır. Alan parametresi kullanılarak bina sınıfı bitki sınıfından ayrılmıştır. Nokta bulutunun sınıflandırma sonucu Şekil 5'te gösterilmiştir.



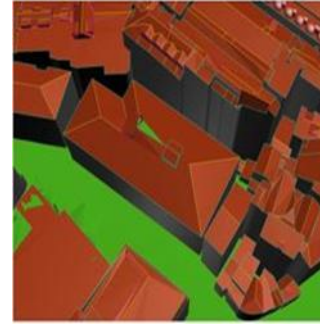
Şekil 5. Nokta bulutu sınıflandırma sonucu

Sunumu yapılacak modelin ayrıntı düzeyini artırmak için modelleme zemin ve yapılar olmak üzere iki alt grupta çalışılmıştır. Zemin modellemesi için referans yapıların olduğu bölgenin katı zemin modeli, LiDAR nokta bulutundan üretilen SAM ve 1:1000 ölçekli topografik harita verileri referans alınarak 3D-Studio MAX yazılımıyla ayrıntılı kaplamaya uygun ve daha az çokgen kullanılarak yeniden modellenmiştir. Ayrıntı düzeyini arttırmak için saha çalışmaları ile elde edilen yüksek çözünürlüklü kaplamalar kullanılmış, kent aksesuarları da eklenerek ayrıntılı katı zemin modellemesi bitirilmiştir. Ayrıntılı alan dışında kalan yerlerin zemini için SAM kullanılmıştır.

Bina sınıfına ait LiDAR noktalarının 3B vektör veriye dönüştürülmesi için tam otomatik yöntem uygulanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde düzgün birleşmeyen bina köşeleri, mahyalardaki şekil bozuklukları, düzgün oluşturulamayan kubbeler ve dükkân önlerindeki tentelerin bina şekillerini bozması vb. hatalar tespit edilmiştir. Bina geometrisini etkileyen bu hataları minimuma indirmek için 1:1000 ölçekli topografik haritalardan temin edilen 2B bina taban vektör verilerinden yararlanarak bina sınıfına ait nokta verileri 3B bina vektörlerine dönüştürülmüştür. FME ile otomatik olarak düzeltilemeyen çatı topoloji hataları elle CG içerisinde düzeltilmiştir. Düzeltmesi yapılan hatalardan birleşmeyen çatı kenarları örneği Şekil 6a'da, mahyalarda olan birleşim hatası örneği ise Şekil 6b'te verilmiştir.



Şekil 6a. Birleşmeyen çatı kenarları



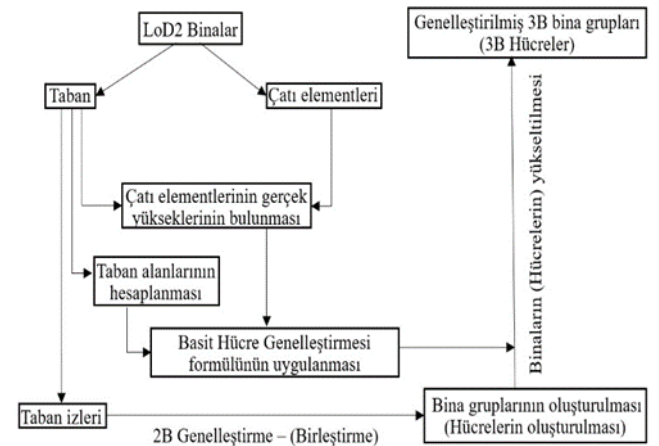
Şekil 6b. Mahya birleşim hatası

Elle yapılan düzenleme işlemleri sonrası LoD2 ayrıntı düzeyinde binalar elde edilmiştir. Referans yapıların LoD3 olarak modellenen binaların cepheleri yüksek çözünürlüklü kamera ile çekilmiştir. Referans yapılar üzerlerindeki pencere, balkon, bina süslemeleri vb. cephe ayrıntıları kaplama fotoğrafları da kullanılarak modellenmiştir. LoD3 modellenen binaların ve ayrıntılı katı zemin modelinin birleştirilmiş hali Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. LoD3 modellenen binaların ve ayrıntılı katı zemin modelinin birleştirilmiş hali

Modelleme çalışmalarının ardından geliştirme işlemlerine başlanmıştır. Binaların geliştirilerek yükseltilmesine dair iş akışı Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. 3B bina geliştirme iş akışı

CityGML formatındaki LoD2 binalar, çatı elemanları ve bu yüzeylerin zemine dik iz düşümleri olan tabanlar olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Eşitlik 1'deki h<sub>i</sub> değerinin hesaplanabilmesi için çatı elemanlarının ve bu

elemanların zemin üzerine dik izdüşümü olan taban yüzeyleri arasındaki yükseklik farkları hesaplanarak çatı elemanlarının zeminden olan gerçek yükseklikleri hesaplanmıştır.  $a_i$  değerlerinin hesaplanması için çatı elemanlarının taban izlerinin alanları hesaplanmıştır. Bulunan değerler **Eşitlik 1**'de yerine konularak ağırlıklandırılmış hücre yükseklikleri (h) bulunmuştur.

Hücrelerin geometrik şekilleri, taban izlerinin dış sınırlarına genelleştirmenin birleştirme operatörü uygulanarak elde edilmiştir. Ağırlıklandırılmış yükseklikler kullanılarak genelleştirilmiş 3B bina grupları üretilmiştir. Genelleştirme ile elde edilen bina grupları önceki aşamada hazırlanan zemin ve bina modelleri ile birleştirilerek sunuma hazır hale getirilmiştir. Genelleştirme sonuçlarının modele eklenmiş hali **Şekil 9**'da gösterilmektedir.



**Şekil 9.** Genelleştirilmiş binaların modele eklenmiş hali

Modelin bilgi içeriğini arttırmak için referans yapıları XML yapısı içerisinde öznitelik bilgileri eklenmiştir. Model turizm amaçlı olduğundan model içerisinde gezen kullanıcıya konum ve adres bilgilerini verebilmek amacıyla modelin OSM verisiyle entegrasyonu sağlanmıştır. **Şekil 10**'da öznitelik, konum ve adres bilgisinin model içerisindeki görüntüsü verilmiştir.



**Şekil 10.** Öznitelik ve konum bilgisinin model içerisindeki görüntüsü

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan çalışma üç ana aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın birinci aşamasında hava LiDAR verisi makrolar yardımıyla sınıflandırılarak bina, zemin ve bitki örtüsü sınıfları oluşturulmuştur. İkinci aşamada bina ve zemin sınıfları kullanılarak üretilen veriler yardımıyla modelleme yapılmıştır. Ayrıntılı modelin olduğu bölgede gerek zemin ve kent aksesuarları gerekse referans yapılar için ayrıntı düzeyi yüksek tutulmuş, önemsiz yapıların ayrıntı düzeyi ise 3B genelleştirme yardımıyla

indirgenmiştir. Böylelikle, turistik açıdan önemli yerlerin vurgulu gösterimi mümkün olmuştur. Turistik açıdan gerekli olmayan binalar için 3B bina genelleştirme uygulanarak referans yapılar ön plana çıkarılmıştır. Modele öznitelik ve adres-konum bilgisi dâhil edilerek kullanıcılara model içinde gezerken konum ve yapılarla ait bilgiler alabilme imkânı tanınmıştır. Çalışmada yüksek ayrıntı düzeyindeki modeller, gerçek orto fotoğraflar, genelleştirilmiş binalar, OSM ve öznitelikler farklı formatlardaki verilerin entegrasyonu sağlanarak oyun motoru ile sunumu yapılmıştır.

Bölgede yer alan Yeni Cami, Mısır Çarşısı ve diğer turistik mekânların görsellerinin veya BIM verisinin entegrasyonu ile ayrıntı seviyesini LOD4'e yükseltmek mümkündür. Ayrıca modele hareketli insan ve araç modelleriyle uygun ses dosyalarının eklenmesi çalışma alanının günlük yoğunluğunu kullanıcılara aktararak modelin gerçekliğini artıracaktır. Modelde kullanıcılar için avatarların oluşturulması ve bu avatarların birbiri ile etkileşimi araştırılması gereken bir konudur.

Hazırlanan 3B model, exe olarak paketlenerek herhangi ekstra bir yazılım ihtiyacı duyulmadan paylaşılabilir. Modelin 3B sanal gözlükler ya da kinect gibi eklentiler ile beraber kullanılabilmesi ve gerektiğinde sunucu üzerinden Web tabanlı yayınlanması mümkündür. Modelin büyük ölçekte öznitelik verileriyle eşlenerek internet tabanlı sunumunun yapılabilmesi amacıyla 3DCityDB ve Cesium entegrasyonu imkânları araştırılmalıdır.

Model turistik amaçlı tasarlandığından bina genelleştirilmesi işleminde bina bloklarının gruplandırılarak referans yapıları ön plana çıkararak yöntem uygulanmıştır. Çalışma alanının turizm dışında mimari planlama, silüet analizi, kıyı yönetimi, belediye hizmetleri vb. uygulamalarda farklı disiplinlerden kullanıcıların ihtiyacını karşılayabilecek şekilde farklı ayrıntı düzeylerinde Çoklu Gösterim Veri Tabanlarının model üzerinde nasıl uygulanabileceğine dair çalışmaların araştırılması gerekmektedir.

## Bilgilendirme/Teşekkür

Yazarlar veri kullanımı için İBB/Bimtaş'a teşekkür eder.

## Araştırmacıların katkı oranı

**Sançar Buhur:** Literatür taraması, Arazi çalışması, Modelleme, Makale yazımı; **N. Necla Uluğtekin:** Makale yazımı; **M. Ümit Gümüştay:** Düzenleme; **Nebiye Musaoğlu:** Makale yazımı

## Çatışma Beyanı

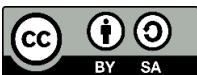
Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynakça

Adjiski, V., Kaplan, G., & Mijalkovski, S. (2022). Assessment of the solar energy potential of rooftops using LiDAR datasets and GIS based approach. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 188-199.

- Ayyıldız, E. (2017). *Fotogrametri yöntemiyle oluşturulan 3 boyutlu şehir modellerinin kadastral verilerle ilişkilendirilmesi* (Master's thesis, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Azami, M., Gündoğan, R., & Yakupoğlu, T. (2017). Farklı kaynaklardan üretilmiş sayısal yükseklik modelleri kullanılarak oyuntu erozyonunun bazı topoğrafik karakteristiklerinin belirlenmesi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5(1), 9-21.
- Baig, S. U., & Rahman, A. A. (2013). A three-step strategy for generalization of 3D building models based on CityGML specifications. *GeoJournal*, 78, 1013-1020.
- Basaraner, M., & Selcuk, M. (2008). A structure recognition technique in contextual generalisation of buildings and built-up areas. *The Cartographic Journal*, 45(4), 274-285.
- Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). An improved LOD specification for 3D building models. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 25-37.
- Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2017). Generating 3D city models without elevation data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 64, 1-18.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., & Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D city models: State of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842-2889.
- Borrmann, A., Kolbe, T. H., Donaubaauer, A., Steuer, H., Jubierre, J. R., & Flurl, M. (2015). Multi-scale geometric-semantic modeling of shield tunnels for GIS and BIM applications. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30(4), 263-281.
- Buhur, S., Kersten, T., Büyüksalih, G., Jacobsen, K., Baz, I., Dursun, S., & Sağır, D. (2008). 3D City Modelling of Istanbul Historic Peninsula By Combination of Aerial Images and Terrestrial Laser Scanning Data, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII, WG VII /6, 1239-1246.
- Buhur, S., Ross, L., Büyüksalih, G., & Baz, I. (2009). Planlama Aktiviteleri için 3-Boyutlu Kent Modeli Örnek Uygulaması: Haydarpaşa Tren İstasyonu, Haydarpaşa Limanı ve Geri Sahası. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım 2009, İzmir*.
- Buyukdemircioglu, M., & Kocaman, S. (2020). Reconstruction and efficient visualization of heterogeneous 3D city models. *Remote Sensing*, 12(13), 2128-2154.
- Buyuksalih, G., Baskaraca, P., Bayburt, S., Buyuksalih, I., & Rahman, A. A. (2019). 3D city modelling of Istanbul based on lidar data and panoramic images—issues and challenges. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 51-60.
- Büyüksalih, İ. (2013). 3 Boyutlu Kent Modellerinin Sürdürülebilir Kıyı Alanları Yönetimindeki Kullanımı, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.
- Cavallaro, S., Grandi, F., Peruzzini, M., & De Canio, F. (2021). Virtual Tours to Promote the Remote Customer Experience. *Advances in Transdisciplinary Engineering*, 16, 477-486.
- Cetinkaya, S., Basaraner, M., & Burghardt, D. (2015). Proximity-based grouping of buildings in urban blocks: a comparison of four algorithms. *Geocarto International*, 30(6), 618-632.
- Eidler, D., Husar, A., Keil, J., Vetter, M., & Dickmann, F. (2018). Virtual reality (VR) and open source software: a workflow for constructing an interactive cartographic VR environment to explore urban landscapes. *Kartographische Nachrichten*, 68(1), 3-11.
- Eicker, U., Nouvel, R., Duminil, E., & Coors, V. (2014). Assessing passive and active solar energy resources in cities using 3D city models. *Energy Procedia*, 57, 896-905.
- Fiedukowicz, A. (2020). The use of rough rules in the selection of topographic objects for generalizing geographical information. *Polish Cartographical Review*, 52(1), 1-15.
- Filippovska, Y., Kada, M., & Fritsch, D. (2009). Quality Evaluation of Ground Plan Generalization, 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 02-05 June 2019, Hannover, Germany.
- Glander, T. (2013). Multi-Scale Representations of Virtual 3D City Models. Doctoral dissertation, Universität Potsdam, Potsdam, Germany. Erişim adresi: [https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/6201/file/glander\\_diss.pdf](https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/6201/file/glander_diss.pdf)
- Glander, T., & Döllner, J. (2008). Techniques for generalizing building geometry of complex virtual 3D city models. *Advances in 3D Geoinformation Systems*, 381-400.
- Grabler, F., Agrawala, M., Sumner, R. W., & Pauly, M. (2008). Automatic generation of tourist maps. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 27(3), 1-11.
- Gröger, G., Kolbe, T. H., & Czerwinski, A. (2006). Candidate OpenGIS CityGML Implementation Specification, Open Geospatial Consortium, Inc., 11.
- Ham, Y., & Kim, J. (2020). Participatory sensing and digital twin city: Updating virtual city models for enhanced risk-informed decision-making. *Journal of Management in Engineering*, 36(3), 04020005.
- Harwin, S., & Lucieer, A. (2012). Assessing the accuracy of georeferenced point clouds produced via multi-view stereopsis from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *Remote Sensing*, 4(6), 1573-1599.
- He, S., Moreau, G., & Martin, J. Y. (2012). Footprint-based generalization of 3D building groups at medium level of detail for multi-scale urban visualization. *International Journal on Advances in Software Volume 5, Number 3 & 4, 2012*.
- Hruby, F., Ressel, R., & de la Borbolla Del Valle, G. (2019). Geovisualization with immersive virtual environments in theory and practice. *International Journal of Digital Earth*, 12(2), 123-136.
- Jovanović, D., Milovanov, S., Ruskovski, I., Govedarica, M., Sladić, D., Radulović, A., & Pajić, V. (2020). Building virtual 3D city model for smart cities applications: A case study on campus area of the university of novi sad. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(8), 476.
- Kada, M. (2007). Generalization of 3D Building Models by Cell Decomposition and Primitive Instancing. Proceedings of the Joint ISPRS Workshop on

- Visualization and Exploration of Geospatial Data, Stuttgart, Germany,
- Kronenfeld, B. J., Buttenfield, B. P., & Stanislawski, L. V. (2020). Map Generalization for the Future: Editorial Comments on the Special Issue. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(8), 468-471.
- Lee, J., Jang, H., Yang, J., & Yu, K. (2017). Machine learning classification of buildings for map generalization. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(10), 309.
- Li, Y., Liu, F., Li, M., Zhang, C., Han, S., Wang, C., & Tang, Y. (2017). PCA based 3D City Model Generalization for Electricity Simulation. *Procedia computer science*, 122, 603-608.
- Liu, P., Li, C., & Li, F. (2017). Texture-cognition-based 3D building model generalization. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(9), 260.
- Mao, B., Ban, Y., & Harrie, L. (2011). A multiple representation data structure for dynamic visualisation of generalised 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66(2), 198-208.
- Özdoğan, Ş., & Başaraner, M. (2013). CityGML Standardında Ayrıntı Düzeylerinin Modellenmesi, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 11-13 Kasım 2013, Ankara, Türkiye.
- Rainoldi M, Driescher V, Lisnevskaya A, Zvereva D, Stavinska A, Relota J & Egger R (2018). Virtual Reality: An Innovative Tool in Destinations' Marketing, The Gaze: Journal of Tourism and Hospitality, 9, 53-68.
- Sahbaz, K., & Basaraner, M. (2021). A Zonal Displacement Approach via Grid Point Weighting in Building Generalization. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 105.
- Sahin, C., Alkis, A., Ergun, B., Kulur, S., Batuk, F., & Kilic, A. (2012). Producing 3D city model with the combined photogrammetric and laser scanner data in the example of Taksim Cumhuriyet square. *Optics and Lasers in Engineering*, 50(12), 1844-1853.
- Sester, M. (2020). Cartographic generalization. *Journal of Spatial Information Science*, (21), 5-11.
- Sester, M., Feng, Y., & Thiemann, F. (2018). Building generalization using deep learning. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-4 (2018)*, 42, 565-572.
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3, 74.
- Şenyurdusev, G., & Doğru, A. Ö. (2021). Akıllı Şehir Uygulamaları İçin Prosedürel 3B Kent Modeli Oluşturulması ve Fotorealistik 3B Görselleştirme. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 2(2), 67-75.
- Thiemann, F., & Sester, M. (2004, August). Segmentation of buildings for 3D-generalisation. In *Proceedings of the ICA Workshop on generalisation and multiple representation, Leicester, UK* (pp. 20-21).
- Uluğtekin, N. N., Başaraner, M., Güney, C., & Doğru, A. Ö. (2019). Coğrafi Bilgi Bilimi, Kartografya ve Mekansal Bilişim Araştırmalarında Güncel Durum, Gelişmeler ve Gelecek. *Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 25-27.
- URL-1: <https://earth.google.com/web>
- URL-2: <https://www.webglearth.com>
- URL-3: <https://earth3dmap.com/>
- URL-4: <https://cesium.com>
- URL-5: [www.opengeospatial.org/standards/citygml#overview](http://www.opengeospatial.org/standards/citygml#overview)
- Uyar, A., & Uluğtekin, N. (2016). 3B Modellemede Genelleştirme Problemleri ve LoD Kavramı, 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana, Türkiye.
- Varlık, A., Uray, F., & Metin, A. (2018). Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi Kavramı İnce Minareli Medrese (Konya) Örneği, *Geomatik*, 3(1), 74-83.
- Walmsley, A. P., & Kersten, T. (2019, November). Low-cost development of an interactive, immersive virtual reality experience of the historic city model Stade 1620. In *6th International Workshop LowCost 3D: Sensors, Algorithms, Applications, 2-3 December 2019, Strasbourg, France* (pp. 405-411). Copernicus.
- Wang, Y., Chen, Q., Zhu, Q., Liu, L., Li, C., & Zheng, D. (2019). A survey of mobile laser scanning applications and key techniques over urban areas. *Remote Sensing*, 11(13), 1540.
- Yücel, M. A., & Selçuk, M. (2009a). Farklı Ayrıntı Düzeylerinde 3 Boyutlu Kent Modelleme ve CityGML, *Jeodezi, Journal of Yasar University*, 4(15), 2337-2355.
- Yücel, M. A., & Selçuk, M. (2009b). Üç Boyutlu Kent Modellerinde Ayrıntı Düzeyi (LoD) Kavramı, *Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 101, 3-9.
- Zhang, L., Han, C., Zhang, L., Zhang, X., & Li, J. (2014). Web-based visualization of large 3D urban building models. *International Journal of Digital Earth*, 7(1), 53-67.





## Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



# Coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesi kullanarak Mersin ilinde otomatik meteoroloji gözlem istasyonu yer seçimi

Fatma Bünyan Ünel<sup>1</sup>, Lütfiye Kuşak<sup>1</sup>, Murat Yakar<sup>1</sup>, Hakan Doğan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

<sup>2</sup>Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Meteoroloji  
İklim elemanları  
OMGI  
Analitik Hiyerarşi Prosesi  
Yer seçimi

### Araştırma Makalesi

Geliş:28.06.2022  
Revize:14.10.2022  
Kabul: 21.10.2022  
Yayınlanma:15.02.2023



### Öz

Türkiye coğrafi konumundan dolayı birbirinden farklı iklim koşullarını içermektedir. Küresel ısınma nedeni ile iklim kuşakları bölgelerinde değişikliklerin olduğu varsayılmaktadır. İklim kuşağı haritasının hazırlanması, en az 30 yıllık veriler ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle iklim ve hava durumunun belirlenmesinde öncelikli işlem gözlem yapmaktır. Gözlem verileri için yeterli sayıda ve uygun dağılımda nitelikli veri toplayan meteorolojik istasyonlara ihtiyaç vardır. Mersin ili sınırları içerisinde 34 adet Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGI) bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, yeni kurulacak olan istasyonlar için en uygun yer seçiminin yapılmasıdır. Mersin ili, denizden sıfır metre yükseklik ile başlayıp yaklaşık üç bin metre yüksekliğe kadar çıkan bir topoğrafik yapıya sahiptir. Yükseklik farkları; sıcaklık, basınç, nem, yağış ve rüzgâr gibi iklim elemanlarının değişimine neden olmaktadır. Bu durum Mersin ilinde aynı anda farklı iklim özelliklerinin görülebilmesini sağlamaktadır. İklim elemanlarını etkileyen diğer faktörler arasında ise konum, bitki örtüsü ve denize uzaklık gibi kriterler yer almaktadır. Bu çalışmada iklim elemanlarını etkileyen faktörler, arazi kullanımları ve mevcut istasyonlar olmak üzere üç ana kriter ele alınmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı yardımıyla kriter verileri analiz edilmiş ve puan verilmiştir. Kriterlerin Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile ağırlıkları hesaplanmıştır. OMGI yer seçimi haritası uygunluk derecesine göre elde edilmiş ve uygun olan alanlarda toplam 17 yeni istasyon noktası önerilmiştir.

## Automatic meteorology observation station location selection in Mersin using geographic information systems and analytical hierarchy process

### Keywords

Meteorology  
Climatic elements  
AMOS  
Analytical Hierarchy Process  
Site selection

### Research Article

Received:28.06.2022  
Revised:14.10.2022  
Accepted:21.10.2022  
Published:15.02.2023

### Abstract

Turkey includes different climatic conditions due to its geographical location. It is assumed that there are changes in climatic zones due to global warming. Preparing a climate zone map is possible with at least 30 years of data. For this reason, the primary action in determining the climate and weather conditions is to make observations. There is a need for meteorological stations that collect sufficient number and appropriate distribution of quality data for observation data. There are 34 Automatic Meteorology Observation Stations (AMOS) within the borders of Mersin province. The aim of this study is to choose the most suitable location for the stations to be established. Mersin province has a topographic structure that starts at zero meters from the sea and rises to a height of about three thousand meters. This height difference causes changes in climate elements such as temperature, pressure, humidity, precipitation and wind. This situation ensures that different climatic characteristics can be seen at the same time in Mersin. Other factors affecting climate elements include criteria such as location, vegetation and distance to the sea. In this study, three main criteria such as factors affecting climate elements, land uses and existing stations were discussed. With the help of Geographic Information Systems (GIS) software, criteria data were analyzed and scores were given. The weights of the criteria were calculated using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. The OMGI site selection map was obtained according to the degree of suitability and a total of 17 new station points were proposed in the appropriate areas.

### \*Sorumlu Yazar

\*fatmabunel@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000 - 0002 - 9949 - 640X  
(lutfiyekusak@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000 - 0002 - 7265 - 245X  
(myakar@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000 - 0002 - 2664 - 6251  
(hadogan@mgm.gov.tr) ORCID ID 0000 - 0003 - 3505 - 5864

### Kaynak Göster (APA)

Ünel, F. B., Kuşak, L., Yakar, M., Doğan, H. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesi kullanarak Mersin İl'inde otomatik meteoroloji gözlem istasyonu yer seçimi. *Geomatik*, 8(2), 107-123

## 1. Giriş

Türkiye; coğrafi konumu ve topoğrafik yapısı nedeniyle dört mevsimin aynı zamanda hüküm sürdüğü bir ülkedir. Bitki örtüsünün çeşitliliği de buna bir kanıt niteliğindedir. Her iklim koşulunda her tür bitki yetişmemekte olup özellikle seracılık yapılan Akdeniz bölgesinde iklim verilerinin gözlenmesi şarttır. Mersin ili topoğrafik yapısı genellikle dağlık ve tepelik olup buna bağlı olarak ani iklim değişimleri gerçekleşmektedir. Bunun daha net ve detaylı ayırt edilebilmesi, mevcut istasyon sayısı ile oldukça zor görülmektedir. Bu nedenle istasyonların yeter sayıda sıklaştırılması ve uygun dağılımda bulunması gerekmektedir.

Bir istasyon şebekesinin amacı, ülkeye has iklim şartlarının tespitine yarayacak sıhhatli ve birbirine karşılaştırılabilir istatistik verileri temin etmektir. Bu şebekeye ait her bir istasyon sadece işgal ettiği noktaya ait iklim faktörlerini değil, bulunduğu geniş sahanın iklim şartlarını temsil etmek zorundadır. Ayrıca şehir, dağ, vadi, orman, yayla gibi belli ve sınırlı alanlar kendilerine has iklim özelliklerine sahiptir. Bu iklim özelliklerinin sağlıklı bir şekilde kayıt altına alınması için o bölgeyi temsil edecek şekilde ve miktarda istasyon kurulması gerekmektedir (Derenel, 1947). Örneğin sinoptik ağ içerisindeki bir istasyondan beklenen orta ölçekli gereksinimleri karşılaması yönünde iken, havacılık için kurulmuş meteorolojik gözlem istasyonundan beklenen ise havaalanı sahasına özgü ölçümlerin yapılabilmesi yönündedir. Bu durumda istasyon yer tespiti yapmadan önce amaç ve istasyon tipinin belirlenmesi gerekmektedir (WMO, 2018).

Bir klimatolojik istasyon kurulurken veya herhangi bir değişiklik yapılırken klimatolojik ihtiyaçların dikkate alınması gerekir. Bu nedenle istasyon noktalarının oluşturduğu istasyon şebekesi planlanırken topoğrafik durum, coğrafi özellikler, kıyı ve dağ silsileleri olan bölgeler için coğrafi sınırlar, ovalar ile ormanlık alanlar göz önüne alınmalıdır. Klimatolojik istasyon şebekesinde minimum ihtiyaç tespit edilerek iklim elemanları arasındaki ilişkilerin yeter derecede incelenmesine olanak sağlayacak şekilde belirlenmelidir (Çelenk, 1977). Klimatolojik istasyonlar için kesin çevresel ihtiyaçlardan bahsetmek oldukça zordur. Ancak istasyonlar için en iyi konumlardan biri, uzun süre boyunca kalabileceği tarım ve orman alanlarıdır. Bu alanlara ek olarak milli parklar ve diğer korunan alanlar da dikkate alınabilir. İstasyon yer seçimlerinde sanayi veya yoğun popüler alanlardan etkilenmeyen ortamlar olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir (WCDP/WMO, 1986).

Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) yer seçimi için birçok kriteri bir arada değerlendirmek gerekmektedir. Buna benzer karmaşık problemlerin çözümü için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Çok Kriterli Karar Analizleri (ÇKKA) araçlarının literatürde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Örneğin rüzgâr tribünü (Bennui ve ark., 2007), açık deniz rüzgâr çiftlikleri (Kim ve ark., 2018), rüzgâr enerji santralleri (Urfalı & Eymen, 2022), nükleer santraller (Başkurt & Aydın, 2020), tren hattı (Çiftçi & Kuşak, 2021), market (Beyhan ve ark., 2020), havaalanı (Ertunç & Çay, 2020) gibi nesnelere hakkında optimum karar verebilmek amacıyla uygun/uygun olmayan yerlerin tespiti yapılmıştır.

Konumsal analizlerde uygun yer seçimi için buffer analizi ile ÇKKA yönteminin birlikte kullanıldığı uygulamalardan birisi olan atık depolama alanlarının yer tespiti çalışmasında uygunluk haritası elde edilmiştir (Alkaradaghi ve ark., 2020; Chabuk ve ark., 2019; Şener ve ark., 2010). Hindistan/Siliguri planlamasında yerleşim alanlarının tespiti için yapılan diğer bir çalışmada ise AHP yöntemi ile birlikte buffer analizi kullanılmıştır. Uygunluk haritası incelendiğinde bütün alanın sadece %1,76'lık kısmının yerleşime uygun olduğu saptanmıştır (Saha & Roy, 2021). İran'ın kurak ve yarı kurak iklim bölgesinde yer alan Shiraz için yer altı sularının tespit edilmesi amacıyla karstik yapılarının bulunmasına yönelik yapılan çalışmada buffer analizi ve bulunan AHP yöntemleri kullanılmıştır (Mokarram & Mohammadzadeh, 2021).

Peru'da AHP yöntemi ve CBS kullanarak meteoroloji amaçlı hava istasyonu yeri belirlenmiştir. Biyofiziksel ve idari başlıklarının altında yükseklik, eğim, gölge, arazi kullanımı, su kaynaklarına mesafe, jeolojik faylara mesafe, heyelan duyarlılığı, yola mesafe, nüfusa uzaklık, ilgili kuruma mesafe ve korunan doğal alanlar şeklinde toplam 11 kriter seçilmiş ve AHP yöntemi ile ağırlıklandırılmıştır. CBS yazılımı yardımıyla arazi uygunluk haritası elde edilmiştir (Briceño ve ark., 2021). Yağmur istasyonu yer seçiminde, mevcutların değerlendirilerek yeni istasyonların kurulumu amacıyla İran Gav-Khuni Havzası'nda bir çalışma yürütülmüştür. Entropi kavramı kullanılarak ardışık ve genetik algoritma yöntemi uygulanmıştır. Havza yönetimi baz alınarak tespit edilen aday noktalar; ekonomik, verimlilik, hassasiyet yönünden de değerlendirmeye alınmış ve kesin yerleri belirlenmiştir (Karimi-Hosseini ve ark., 2011).

Osmangazi Üniversitesi'nin ana kampüsünde rüzgâr gözlem istasyonu kurulumu için AHP yöntemi ile uygun yer seçimi yapılmıştır. Maliyet, topografya, altyapı, güvenlik ve ulaşım kolaylığı şeklinde oluşan 5 ana başlık altında tesisin kurulması, bakım-onarım, gözlem, zemin etüdü, yerleşim, rüzgâr yönünü de içeren toplam 13 kriter ele alınmış ve AHP ağırlıkları hesaplanmıştır. Kriterler ile 5 alternatif yer değerlendirilerek uygun yer tespiti yapılmıştır (Aras ve ark., 2004). İncelenen diğer bir çalışmada ise, Trabzon ilinde 5 adet meteorolojik Otomatik Hava İstasyonu olup yeni kurulacak 5 adet istasyon için en uygun yer seçimi analizleri gerçekleştirilmiştir. Piksel boyutu 25 m olan 1/25000 ölçekli topografik, jeolojik, toprak, vb. haritalar CBS yazılımına aktararak konumsal analizlerden yakın mesafe analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda en uygundan en uygun olmayan alanlar bulunarak 164 uygun olan alan tespit edilmiştir. Nihai olarak en uygun olan 5 meteorolojik istasyon noktası yerine karar verilmiştir (Yildirim ve ark., 2016). Ayrıca tarım amaçlı agrometeoroloji istasyonu için Filipinler'de uygun yer araştırılmıştır. Yer seçimi; sayısal yükseklik modeli, eğim, arazi örtüsü, mevcut hava istasyonu, su kütleleri ve yollardan oluşan kriterlerin coğrafi verileri, CBS yazılımındaki araçlar ile işlenmiş ve 11 istasyon kurulumu yeri belirlenmiştir (Alejo, 2018). Hava sıcaklığının -80°C'nin altına düşen Antarktika'da da 2011 yılı itibarıyla farklı ülkelere ait olan toplam 68 meteoroloji istasyonu yerleştirilmiştir (Lazzara ve ark., 2012).

Türkiye’de 2019 yılında Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından Antarktika’ya bir meteoroloji istasyonu kurmuştur (Zengin, 2019).

Bu çalışmanın amacı, Mersin ili sınırları içerisindeki mevcut meteorolojik istasyonların yeterli olup olmadığını değerlendirip yeni istasyonlar için yer seçimi yapmaktır. Araştırma sorusunu; öncelikle istasyon yer seçimini etkileyen kriterlerin belirlenmesi ve kriter kısıtlamalarının tespit edilmesi oluşturmaktadır. Diğer bir soru, iklim değişimine neden olan kriterlerin ağırlıklarıdır. Son olarak da OMGİ için en uygun yer neresidir sorusuna cevap bulunup uygunluk haritasının elde edilmesidir.

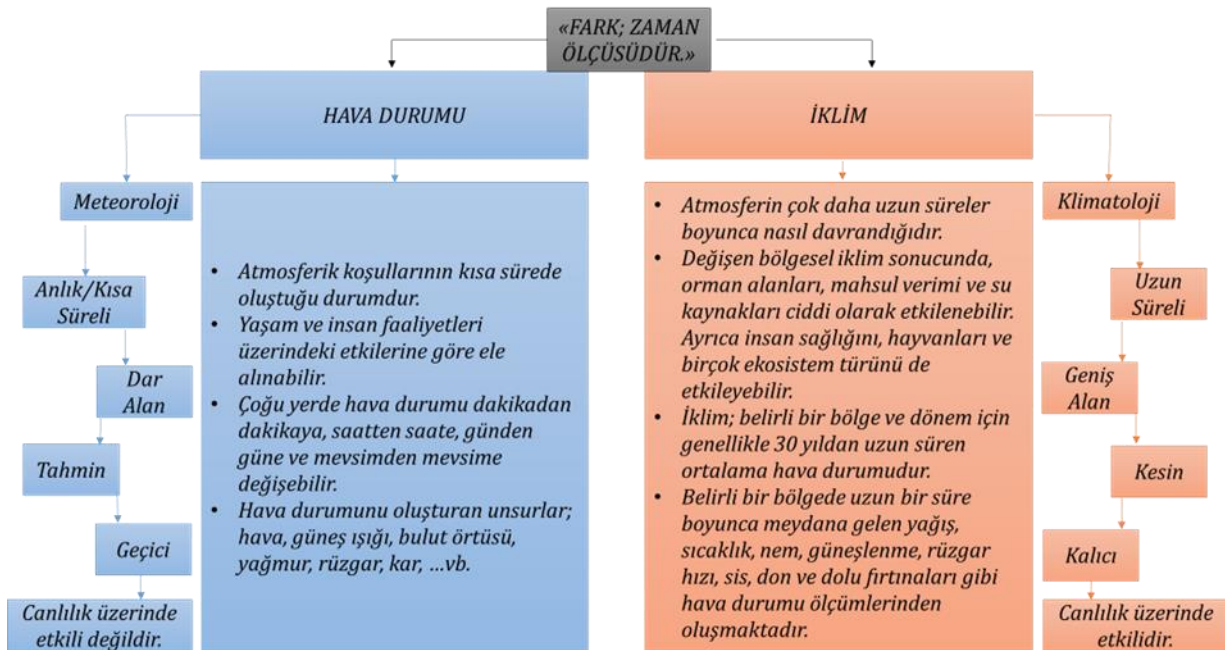
İklim değişimi başta tarım olmak üzere şehircilik, turizm, altyapı hizmetleri, yenilenebilir enerji kaynakları ve daha birçok alanı etkilediği için yeteri sıklıkta meteoroloji istasyonuna ihtiyaç vardır. Çalışmanın özgün değeri, mevcut durumun analiz edilmesi, AHP tekniğinin kullanılması, enlem, yükseklik, yol ağı, gibi birçok önemli kriterin değerlendirmeye katılması ve mevcut ile yeni OMGİ noktalarını karşılaştıran haritanın üretilmesi şeklindedir.

Bu çalışmada OMGİ yer seçimi için kriterler; iklim elemanlarını etkileyenler, arazi kullanımları ve mevcut istasyonlar olmak üzere üç ana başlık altında ele alınmıştır. İklim elemanlarını etkileyenler; enlem ve topografya, arazi kullanımları; hidroloji, CORINE arazi kullanımı ve yol ağı ile son olarak mevcut tesis edilmiş OMGİ noktaları bulunmaktadır. Topografya haritasında yer alan arazinin sayısal yükseklik modeli ve eğim iki ayrı kriter olarak kullanılmıştır. Hidroloji haritasında akarsu, baraj, göl ve gölet su alanları yer almaktadır. Deniz yüzeyi ise kıyı çizgisi ile belirlenmiştir. Arazi kullanımı; orman ve yarı doğal alanlar, su yüzeyleri, sulak alanlar, tarım alanları ve yapay yüzeyler şeklinde CORINE verisi sınıflandırılmıştır. Mersin ili cadde ve sokak olarak yol ağı haritası düzenlenmiştir. Mersin ve komşu illerde daha öncesinden tesis edilmiş toplam 65 OMGİ kullanılmıştır.

OMGİ yer seçimi için kullanılan kriterlerin coğrafi verileri, CBS yaklaşımı ile yeniden düzenlenmiş ve buffer analizi yapılmıştır. Buffer analizi, bir coğrafi objeden belli metrik ölçülerle mesafeler alınıp gerçekleştirilmiştir. Kriterlerin ağırlıkları Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi ile bulunmuştur. AHP yöntemi, ÇKKA arasında en yaygın kullanım alanı olup kriterlerin ikili karşılaştırma matrisleri elde edilerek bir seri işlemlerden oluşmaktadır. Kriterlerin net AHP ağırlıkları hesaplandıktan sonra haritaların piksel değerleri ile çarpılarak küçük ölçekte OMGİ yer seçimi haritası üretilmiştir. Haritanın yeni piksel değerleri dikkate alınıp yüksek puandan düşük puana doğru; “en uygun”, “uygun”, “orta uygun”, “az uygun” ve “uygun değil” şeklinde derecelendirilmiştir. Buna göre “en uygun” ve “uygun” olan alanlarda, yeni meteorolojik istasyon kurulması için önerilen noktalar sunulmuştur.

## 2. Hava durumu ve iklim

Meteoroloji, kısaca atmosfer bilimi olup hava koşullarında meydana gelen değişimleri, iklim türlerini araştırıp hava durumu tahminlerinde bulunan bilim dalıdır (MGM, 2018; TDK, 2018). İklim ile hava durumu birbirinden farklı anlamlar taşımaktadır. Hava ve iklim arasındaki fark (Şekil 1) bir zaman ölçüsüdür. Hava, atmosferin kısa bir süre içinde hangi koşullarının geçerli olduğunu iklim ise, atmosferin nispeten uzun süreler boyunca nasıl “davrandığını” göstermektedir (NASA, 2005). Hava durumu için çok kısa zaman ve mikro klima alanlardan bahsedilirken iklim için oldukça geniş bir bölgeden makro klima alanlardan bahsedilmektedir. Hava durumu; atmosferde meydana gelen meteorolojik olaylar olup belirli bir yerde, belirli ve kısa bir süre içinde etkin olan atmosfer koşullarıdır. Atmosferde hava olaylarının kısa bir süre içindeki durumunu tanımlamak için; soğuk, sıcak, yağmurlu hava şeklinde tanımlar kullanılabilir. Bütün bunlar havanın o anki halini belirler.



Şekil 1. Hava durumu ve İklim karşılaştırması (İklim, 2019; MMO, 2020)

İklim oldukça geniş bir bölge içinde ve uzun yıllar değişmeyen ortalama hava koşullarıdır. Uzun yıllar değişmeyen ortalama koşullarla birlikte ekstrem (uç) değerler de iklim karakteristiğinin belirlenmesinde önemlidir. İklim bu ekstrem değerler arasında salınım yapmaktadır. İklim değişikliği, ortalama koşulların değişimiyle birlikte daha önemlisi ekstrem değerlerin yenilenme ve yenilenme frekansının (sıklığının) artışı ve sürekliliği ile anlaşılır (MGM, 2020).

İklim bilgileri; ulaştırma, tarım, enerji, milli savunma, çevre, turizm, sağlık, şehircilik, adalet, spor ve afet yönetimi olmak üzere pek çok sektörün ihtiyaç duyduğu meteorolojik hizmetler verilmektedir. İklim değişikliği ve küresel ısınma gibi konuların yanında; güneş, rüzgâr, su ve dalga gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi meteorolojik verilerin önemini her geçen gün arttırmaktadır (MGM, 2022). Meteorolojik gözlem verileri; iklim değişimini, eğilimini ve zaman bağımlı davranışını analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır. Aynı zamanda afet riski ve iklimsel risk etkileri azaltmak için ekstrem değerlerin analizi, araştırma çalışmaları, sayısal model uygulamaları ve iklim değişikliği projeksiyonlarının çıkartılması da bu verilere bağlıdır (MGM, 2020; WMO, 2018). İklim değişikliği (Demir & Keskin, 2022; Demirgöl ve ark., 2022; Yılmaz ve ark., 2021) nedeniyle deniz seviyesinin (Beşel & Kayıkcı, 2020) ve arazi kullanımının (Morsy & Hadi, 2022) değişiminin araştırılması istasyonlardan toplanan iklim verilerine dayanmaktadır.

“Kanıtlara dayalı hava hakkında sonuç çıkarımı başka bir deyişle atmosferik değişimlere hâkim olan kanunların keşfi, ancak, dünyanın her tarafında lüzumlu sıklıkta kurulacak istasyonlardan oluşmuş tam ve olgun bir meteoroloji şebekesinin mevcudiyetine ve faaliyetine bağlıdır” (Derenel, 1947). Dolayısıyla her alanda iklim etkisinin görüldüğü olaylarda “her şey gözlemlerle başlar” (Şekil 2) (MGM, 2020).



Şekil 2. Küresel Meteorolojik Gözlem Sistemleri (MGM, 2022)

### 3. Materyal ve Yöntem

#### 3.1. Meteoroloji İstasyonları

Meteoroloji gözlem istasyonları ile hava durumu ve iklim bilgisi edinmek amacıyla atmosferik olayların takip edilmesi ve tahminlerinin yapılması birçok alanda büyük öneme sahiptir. Tarımsal, havacılık, atmosferik kimya ve hava kirliliği, çevre uygulamaları, deniz, radar, uzaktan algılama, uydular, uzay havası, tropikal, şehircilik, hidro,

mezo, mikro gibi meteorolojinin özel uygulamaları mevcuttur (MGM, 2020; WMO, 2018; Sawadogo, ve ark., 2020). Bu uygulamalara göre istasyon özellikleri; ölçüm yapılan yeri ve istasyon türü dikkate alınarak belirlenmektedir.

Türkiye Meteoroloji Gözlem Sistemleri, istatistiksel analizleri sunan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün raporuna göre 1970-2021 yılları arasında kurulmuş meteoroloji gözlem istasyonları, meteoroloji radarı, yüksek atmosfer gözlem istasyonu vb. genel toplamı 2050 adet olan istasyon bulunmaktadır. Meteoroloji gözlem ağının 2020 yılına ait dağılım haritası (Şekil 3) incelenmiş ve 2021 yılında 3 adet daha OMGİ kurulmuştur (Tablo 1) (MGM, 2021).

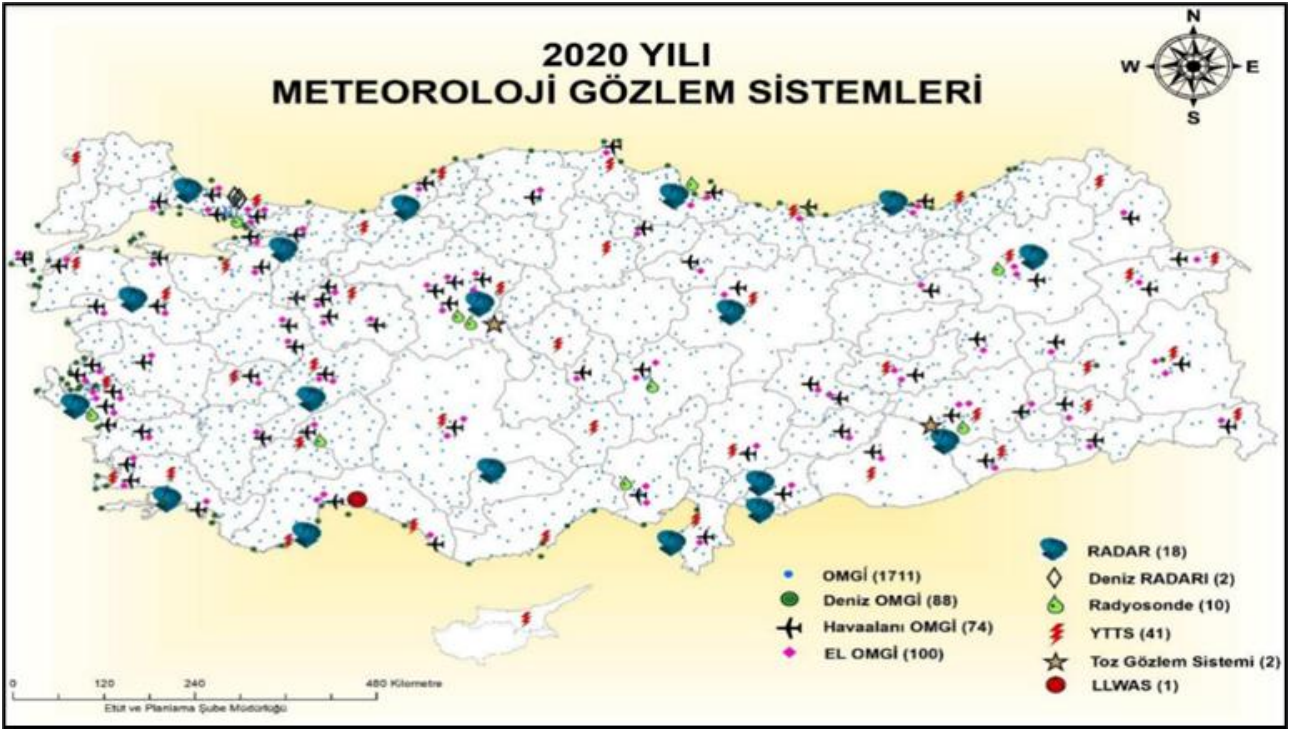
OMGİ sayısı her yıl artırılmaktadır. Ancak daha iyi tahmin yapılabilmesi, ihtiyacı olan askeri, afet, tarım, ulaşım gibi alanlar için hızlı, güvenilir ve doğru bilgi sunulması amacıyla ülkemizde hâlâ OMGİ kurulumu gerekmektedir.

Tablo 1. Meteoroloji Gözlem Sistemleri (MGM, 2021)

Gözlem Sistemleri	SİSTEM ADI	Sayı
Yer Gözlem Ağı	Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu	1714
	EL-OMGİ	100
	Havaalanı OMGİ (HOMGİ)	74
Deniz Gözlemleri	Deniz OMGİ (DOMGİ)	88
	Radar (HF)	2
Uzaktan Algılama	Radar (C-BAND)	17
	Mobil Radar (X-BAND)	1
	Yıldırım Tespit ve Takip Sistemi-YTTS	41
Yüksek Atmosfer	Yüksek Atmosfer Gözlem Sistemi	9
	Mobil Yüksek Atmosfer Gözlem Sistemi	1
Hava	Toz Gözlem Sistemi	2
Havaalanı	Alçak Seviye Rüzgâr Kırılımı Uyarı Sistemi	1
<b>TOPLAM</b>		<b>2050</b>

Otomatik meteoroloji gözlem istasyonları; meteorolojik parametrelerdeki değişimlere duyarlı ve bu değişimlerin miktarını ölçen algılayıcılardan oluşmakta (OMGİ, 2020) olup otomatik olarak iletildiği bir meteoroloji istasyonudur. Bu istasyonlar, otomatik hava istasyonu (Automatic Weather Station-AWS) veya otomatik yüzey gözleme sistemi (Automated Weather Observing System-AWOS) olarak da anılmaktadır. Meteorolojik istasyonların temel amacı, hava durumunu hava tahmincilerine iletmektir. Ayrıca mühendislik hesaplamaların dönüştürülerek veri kaybı yaşanmadan haberleşme üniteleri ile merkeze iletilmesini sağlamaktadır (MGM, 2018; Milewska & Hogg, 2002; WMO, 2012). Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO), üye olan birçok ülke istasyon tasarımında kendi politikalarını izlemektedir. Özellikle istasyonların konumlandırılması konusunda net bir gözlem politikası bulunmamaktadır. Erişimi kolay ancak binalar ve ormanlar yakınına tesis edilmiş olduğu, hatta hava algılayıcılarının birbirini etkileyecek şekilde tasarlandığı gözlenmiştir. Bir istasyonun bulunduğu bölgeyi temsil edebilmesi için konum ve kullanılan algılayıcıların yerleşimleri son derece önemli olup bunlarla ilgili meta verilerin de tutularak belgelenmesi de şarttır (WMO, 2004).





Şekil 3. Meteoroloji gözlem ağına dağılımı (MGM, 2022)

Gözlem istasyonunun tipine, amacına, kara, deniz ve havaalanı şeklinde yerine bağlı olarak, ölçülen değişkenler farklılık göstermektedir. Karada tesis edilen meteoroloji istasyonlarından aşağıdaki değişkenlere ilişkin bilgiler verilmektedir (MGM, 2020; Oke, 2006):

- Rüzgâr hız ve yönü,
- Hava sıcaklığı,
- Nispi Nem,
- Basınç,
- Güneşlenme süresi,
- Küresel radyasyon,
- Toprak sıcaklıkları,
- Yağış.

Türkiye’de 1947 yılında iklim ve yağış istasyonlarının toplam sayısı 142 olup ortalama 11000 km<sup>2</sup>’ye bir iklim, 5500 km<sup>2</sup>’ye bir de yağış istasyonu denk gelmekteydi. 1936 yılı istatistiklerine göre Avrupa ülkelerinden Fransa’da 2600, Almanya’da 900, İtalya’da 650, İsviçre’de 350 km<sup>2</sup>’ye bir iklim istasyonu düşmektedir. Daha eski tarihlerde net olmamakla birlikte Romanya’da 400-450, Fransa’da 175, Almanya 80, İngiltere’de 30 km<sup>2</sup>’ye bir yağış istasyonu düşmekteydi (Deranel, 1947). Günümüzde ise Türkiye genelinde otomatik meteoroloji gözlem istasyonu sayısı artmış ve 2021 yılı itibarıyla yaklaşık 382 km<sup>2</sup>’ye bir istasyon düşmektedir.

### 3.2. Çalışma Alanı ve OMGİ

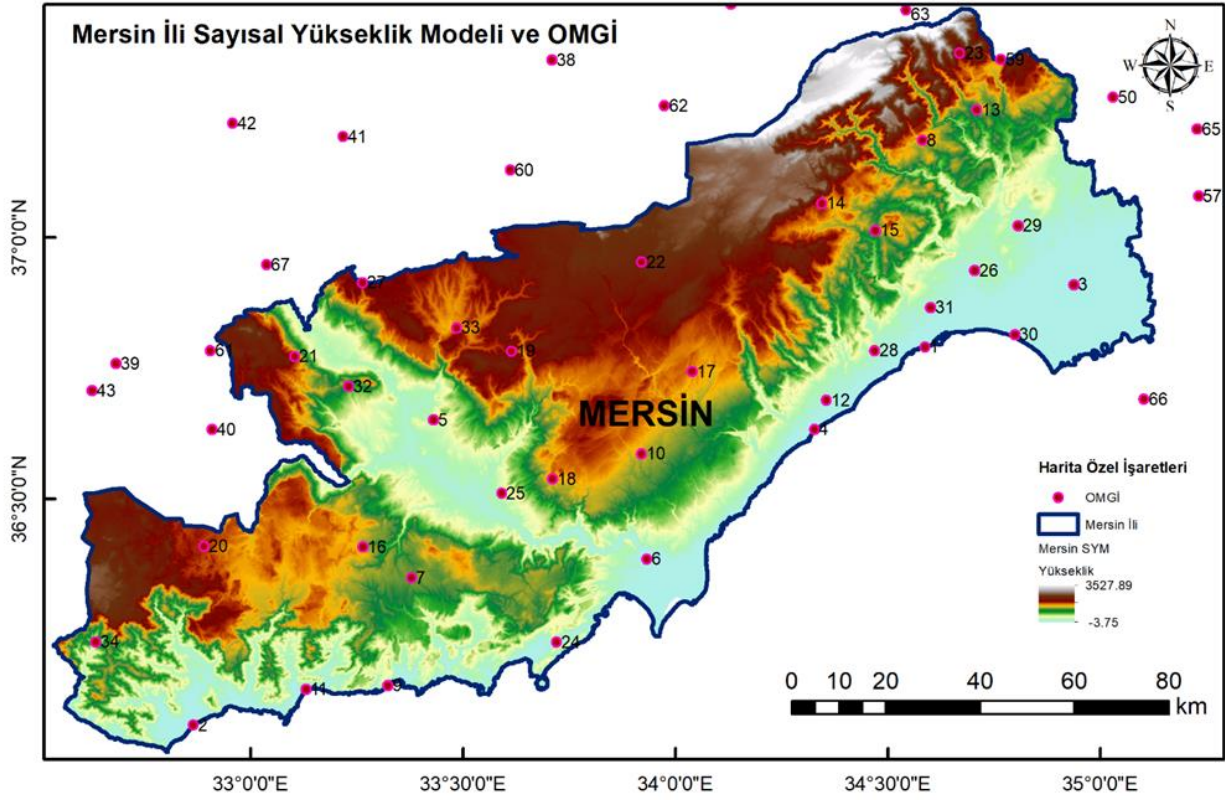
Türkiye’nin Akdeniz Bölgesinde yer alan Mersin ili 36°01’ – 37°25’ kuzey enlemleri ile 32°47’ – 35°23’ doğu boylamları arasında konumlanmaktadır (Şekil 4). Mersin ili, deniz-kara lojistiğinde önemli bir liman şehridir. Mersin il sınırları içerisinde nükleer santral, Çukurova’nın havaalanı gibi büyük projeler gerçekleştirilmektedir. Bu projelerin uygulama öncesi

olan yer tespitinde iklim faktörü dikkate alınmalıdır. Meteoroloji Mersin İl Müdürlüğü’nden istasyon bilgileri ve iklim verileri temin edilmiştir. Mersin ilinde kurulmuş ve kurulması için yer tespiti yapılmış olan Otomatik Meteorolojik Gözlem İstasyonu (OMGİ) karada 34, denizde 5 şamandıra olmak üzere toplam 39 istasyondur.

Bu çalışmada Adana, Antalya, Karaman, Konya ve Niğde komşu illerde yer alan istasyonlarla birlikte toplam 65 istasyondan yararlanılmıştır (OMGİ, 2020). İstasyonların konum bilgisini içeren enlem, boylam ve yükseklik bilgileri düzenlenmiştir (Tablo 2). Coğrafi koordinatlar WGS 84 sisteminde 6 derecelik dilimde, dilim orta meridyeni 33° alınarak UTM koordinat sistemine dönüştürülmüştür. İstasyon noktaları ArcGIS yazılımına aktarılıp diğer işlemlerin uygulaması amacıyla temel veri olarak dikkate alınmıştır.

Mersin’de tipik Akdeniz İklimi hâkim olup yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçmektedir. Kıyı kesiminde kar yağışı ve don olayları nadir görülmekle birlikte yüksek kesimlerde kışlar karlı ve soğuktur. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün (MGM) 1940-2019 yılları arasındaki resmi istatistik verilerine göre; soğuk ay olan Ocak ayı ortalama sıcaklığı 6,2°C, sıcak olan Temmuz ayı ortalama sıcaklığı 30,7°C, Ağustos ayı 31,5°C ve yıllık ortalama sıcaklık 19,1°C civarındadır. En çok yağış aldığı Ocak (10,6 gün), Şubat (9,2 gün) ve Aralık (10,4 gün) ayları olup ortalama yıllık toplam yağış miktarı 615,8 mm’dir. Ortalama güneşlenme süresi en çok Haziran (9,8 saat), Temmuz (9,9 saat) ve Ağustos (9,8 saat) aylarında görülmektedir. Günlük en hızlı rüzgâr; 123,1 km/sa hızla 7 Şubat 2003 tarihinde esmiştir (MGM, 2020).

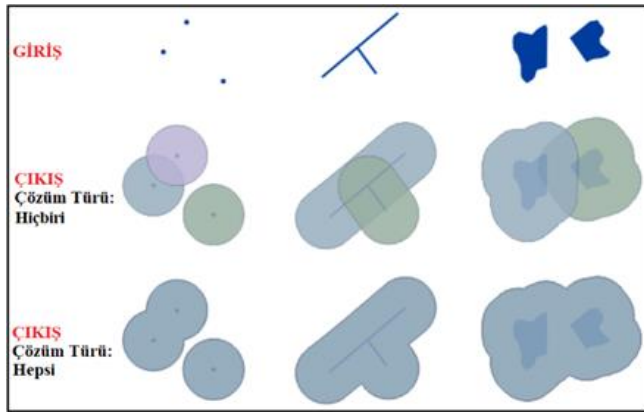
Mersin ilinde 2019 yılına kadar karada kurulmuş olan istasyonlara ait il, ilçe, istasyon adı yanı sıra enlem, boylam ve yükseklik içeren konum bilgileri sunulmaktadır. İstasyon numaraları (no), kuruluş tarihleri dikkate alınarak sıralanmıştır (Tablo 2).



Şekil 4. Mersin ve komşu illerdeki OMGi noktaları

### 3.3. Buffer Analizi

Buffer (tampon) analizi, coğrafi bilgi sistemi yazılımında bulunan yakınlık analizidir. Bu analiz; nokta, çizgi ve poligon olan vektörel verilerden belli mesafelerde nokta ise daire, çizgi ve poligon ise çokgen (Aslan & Aydar, 2022) şeklinde katmanlar oluşturur (Şekil 5).



Şekil 5. Buffer Analizi

Tampon bölgeleri oluşturmak amacıyla öklid ve jeodezik olmak üzere iki temel yöntem bulunmaktadır. Öklid, düz yüzeydeki iki boyutlu kartezyen koordinat sisteminde olan veriler için kullanılırken jeodezik yöntem eğimli yüzeydeki verileri için hesaplama yapmaktadır. Öklid, bir düzlemde iki nokta arasındaki en kısa mesafedir. Eğimli yüzey ise dünyanın gerçek şekli olan Jeoit yüzeyidir (Çoşkun, 2020; Esri, 2022). Bu çalışmada vektörel formatta bulunan OMGi, yol ağı, akarsu gibi coğrafi verilere buffer analizi uygulanmıştır.

### 3.4. OMGi Yer Seçimi

İklim verileri, ulusal meteorolojik bir mirastır. Ulusal iklim kuşakları, en az 30 yıllık periyot için iklim verilerinin dönem ortalamaları alınarak belirlenmektedir. İklim analizlerinde, bir gözlem istasyonundan yararlanabilmek için kalite kontrolünden geçmiş en az 30 yıllık verisi bulunmalıdır (MGM, 2020; WMO, 2021).

İklim verilerini doğru almak için istasyon yer seçimi önemlidir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), istasyon yer seçimini meteoroloji, klimatoloji, coğrafya konusunda bilgi ve tecrübeye sahip personellerin yapması gerektiğini belirtmektedir.

Meteorolojik uygulamaların; ortalama alma, istasyon yoğunluğu ve olayların çözümü için tercih edilen zamansal ve konumsal ölçekleri vardır. Örneğin tarımsal meteoroloji için küçük ölçek, uzun vadeli tahminler için büyük ölçek tercih edilmektedir. WMO'da çeşitli kaynaklara göre yatay meteorolojik ölçekler şu şekilde sınıflandırmıştır (WMO, 2018);

- Tarımsal meteoroloji (Fenoloji) için mikro ölçek (100 metreden az), örneğin buharlaşma;
- Üst ölçek veya yerel ölçek (100 m – 3 km), örneğin hava kirliliği, kasırgalar;
- Orta ölçek/mezoskale (3-100 km), örneğin gök gürültülü fırtınalar, deniz ve dağ meltemleri;
- Büyük ölçekli (100–3000 km), örneğin cepheler, çeşitli siklonlar, bulut kümeleri;
- Gezegen ölçeği (3000 km'den büyük), örneğin uzun üst troposferik dalgalar.

Genel literatür taraması sonucunda istasyon kurulumu için iklim elemanlarını etkileyenler, arazi kullanımları ve mevcut istasyonlar olmak üzere üç ana başlık altında yer seçimi kriterleri toplanmıştır (Şekil 6).

**Tablo 2.** Mersin ilindeki OMGi bilgileri (OMGi, 2020)

No	İl	İlçe	İstasyon Adı	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükseklik (m)
1	MERSİN	Akdeniz	Mersin	36,781	34,603	7
2	MERSİN	Anamur	Anamur	36,069	32,865	2
3	MERSİN	Tarsus	Tarsus	36,894	34,960	12
4	MERSİN	Erdeмли	Erdeмли	36,627	34,338	7
5	MERSİN	Mut	Mut	36,651	33,434	340
6	MERSİN	Silifke	Silifke	36,382	33,937	10
7	MERSİN	Gülnar	Gülnar	36,350	33,380	1013
8	MERSİN	Çamliyayla	Çamliyayla	37,176	34,605	1115
9	MERSİN	Aydıncık	Aydıncık	36,144	33,323	2
10	MERSİN	Silifke	Silifke-Uzuncaburç	36,584	33,927	1204
11	MERSİN	Bozyazı	Bozyazı	36,137	33,130	20
12	MERSİN	Erdeмли	Erdeмли-Tömük	36,682	34,367	120
13	MERSİN	Tarsus	Çamalan	37,231	34,737	1033
14	MERSİN	Toroslar	Toroslar-Arslanköy	37,058	34,363	1440
15	MERSİN	Toroslar	Toroslar-Kızılbağ	37,005	34,489	1070
16	MERSİN	Gülnar	Gülnar-Konur	36,409	33,265	1294
17	MERSİN	Erdeмли	Erdeмли-Yağda	36,740	34,049	1362
18	MERSİN	Silifke	Silifke-Gündüzler	36,537	33,714	1426
19	MERSİN	Mut	Mut-Tozlu	36,782	33,620	1769
20	MERSİN	Bozyazı	Bozyazı Akpınar Yaylası	36,411	32,889	1598
21	MERSİN	Mut	Mut-Kızılalan	36,773	33,104	1659
22	MERSİN	Erdeмли	Erdeмли Uzunkuyu	36,950	33,931	1977
23	MERSİN	Tarsus	Tarsus-Karboğazı	37,341	34,699	1615
24	MERSİN	Silifke	Silifke -Akdere	36,225	33,722	123
25	MERSİN	Mut	Mut-Çortak	36,510	33,594	312
26	MERSİN	Akdeniz	Yanpar	36,925	34,724	145
27	MERSİN	Mut	Mut-Sertavul	36,914	33,266	1662
28	MERSİN	Mezitli	Mezitli-Kuyuluk	36,775	34,483	200
29	MERSİN	Tarsus	Tarsus-Karadirlik	37,009	34,830	170
30	MERSİN	Akdeniz	Mersin-Akdeniz	36,801	34,817	2
31	MERSİN	Toroslar	Mersin-Toroslar	36,856	34,618	118
32	MERSİN	Mut	Mut-Özlu	36,716	33,232	778
33	MERSİN	Mut	Mut-Dağpazarı	36,827	33,489	1320
34	MERSİN	Anamur	Anamur-Güngören	36,227	32,634	470

### 3.5. İstasyonların kurulumu için gerekli kurallar

İklim verilerinin bölgenin coğrafi koşullarını doğru bir şekilde yansıtması için meteorolojik gözlem istasyonlarının su gibi doğal ve bina, sanayi, yol gibi yapay etkilerden uzak olması gerekir. Bu çalışmada amaç klimatolojik şebekenin tamamlanması olduğundan, klimatolojik istasyon tipi için araştırma detaylandırılmıştır. Bu tip istasyonların kurulacağı yer tespitinde kullanılacak teknik malzemeler ve algılayıcılar, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün teknik şartnamesine ve WMO standardına uygun olarak yapılmalıdır. Sıcaklık ve nem sensörü, yağışölçer, rüzgâr algılayıcı vb. her bir ölçüm için ayrı ayrı kıstaslar bulunmaktadır (Demir & Şahin, 2014; WMO, 2004).

Özel amaçlı tesis edilen istasyonlar dışında MGM'nin bütün klimatolojik istasyonlarının yer tespitinde dikkat edilecek hususlar maddeler halinde sıralanmıştır (Şekil 6) (ÇŞB, 2018; Demir & Şahin, 2014; Kaymakçioğlu & Ertem, 2018; Tebliğ, 2014; WMO, 2004, 2018; Yiğit & Çakıl, 2010). Meteorolojik istasyonların yerleri;

- Güneşin doğuşundan batışına kadar değişik açılardan gelmesi dikkate alınarak gün boyu gölge düşmeyecek yerlerden seçilmelidir.
- Yükseklik farkının çok olduğu eğimli arazi ya da çukur olmamalıdır. Ayrıca eğim 19°'den daha az olmalıdır.
- Akdeniz ve Tropik kuşaklar olan dağlık bölgelerde her 500 m'lik kotta olacak şekilde ve istasyonlar aynı yoğunlukta kurulmalıdır.

- Tepelerin üstleri, bayır ve yamaçlar, kayalık, çukur yerler, dar vadilerin dipleri ve derin vadilerin ağızları, sırtların yakını ya da uçurumlar tercih edilmemelidir.
- Yerleşim, sanayi, sosyal donatı vb. alanlardan (Örneğin, duvar, bina, çok katlı yapı, spor tesisleri, otopark,...) en az 100 m uzakta seçilmeli ve imar planları dikkate alınarak en az 30 yıl değişiklik olmayacak yerler tespit edilmelidir.
- Tamir, bakım ve rutin kontrol işlemlerinin yapılabilmesi için toprak yollar, otoban, karayolu ve demiryollarına en az 100 m mesafede olmalıdır.
- Kanal, göl, gölet, vb. su gibi yansıtıcı olan yüzeylerden en az 100 m uzakta olmalıdır.
- Bakımın ve ulaşımın kolay olacağı yerler tercih edilmelidir.
- Uçak kalkış-iniş hattı olan mânia planı içerisinde olmamalıdır.
- Arazinin topografyasına göre her 100 metrede bir yükseldikçe sıcaklık 0,5 ile 1,0 °C arasında azaldığından yükseklik de dikkate alınmalıdır.
- Arazide boyu 10 cm'den az olan doğal ve alçak bitki örtüsü olmalıdır.
- Yapı minimum mesafe, yüksekliklerinin sırayla 10 ve 20 katından fazla olmalıdır.
- 4 m'den daha alçak olan tek objeler (direk, tek bir ağaç vb.) göz ardı edilebilir.
- Rüzgâr ölçüm istasyonu ve rüzgâr türbinleri; Meteoroloji Radarlarına kuş uçuşu en az 5 km uzaklıkta olmalıdır.



Şekil 6. Yer seçimi kriterlerine ait kurallar

### 3.6. Analitik Hiyerarşi Prosesi

Analitik Hiyerarşi Prosesi, çok kriterli karar analizi yöntemlerinden birisidir. Literatürde oldukça sık kullanılmakla (Bozdağ & Ertunç, 2020; Chen, 2006; Çiftçi & Kuşak, 2021; Eleren, 2006; Ertunç & Çay, 2020; İnce ve ark., 2016; Öztürk & Batuk, 2010; Urfalı & Eymen, 2022; Uyan, 2013) birlikte PROMETHEE (Abad ve ark., 2021; Mousavi ve ark., 2013), ELECTRE (Ghoseiri & Lessan, 2014) ve TOPSIS (Ghorui ve ark., 2020; Jozaghi ve ark., 2018; Sarı & Sarı, 2021) gibi karar analizi yöntemleri ile birleştirilerek ya da ayrı ayrı uygulanarak karşılaştırmalar yapıldığı görülmektedir. Çok kriterli karar problemlerinin çözümü için bulanık CBS (Kamran & Khorrami, 2022) kullanımları da bulunmaktadır.

AHP yöntemi; amaç, kriter ve alternatifler hiyerarşisi içerisinde olup kriterler de hiyerarşik bir şekilde sıralanır. Kriterlerin ikili karşılaştırmaları sonucunda ağırlıkları elde edilir. İşlem adımları ise şu şekilde sıralanmaktadır (Saaty, 2008);

- Problemin tanımlanması: OMĞİ yer seçimi,
- Amaç, kriter ve kriter hiyerarşisinin belirlenmesi, *Bu çalışmada amaç; en uygun OMĞİ yerini tespit etmek olup enlem, yükseklik, eğim, hidroloji, arazi kullanımı, yol ağı ve mevcut OMĞİ kriterlerinin ağırlıklandırılması,*
- 1-9 aralığında skala değerleri, kriterin önem derecesine göre verilerek ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması (Eşitlik 1),

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (1)$$

- Satır işlemlerinin yapılması (Eşitlik 2) ve ağırlıklarının hesaplanması (Eşitlik 3),

$$a_{ij}^* = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^*}{n} \quad (3)$$

$a_{ij}$  : Karşılaştırma matrisinin elemanları

$n$  : Kriter sayısı

$i, j = 1, 2, 3, \dots, n$

- Tutarlılık Oranının test edilmesi (Eşitlik 4-8),

$$D = [a_{ij}]_{n \times n} \times [w_i]_{n \times 1} = [d_i]_{n \times 1} \quad (4)$$

$$E = \frac{d_i}{w_i} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (6)$$

$\lambda$  bulunduktan sonra Tutarlılık İndeksi (Consistency Index-CI) hesaplanması (Eşitlik 7) şeklinde AHP işlem süreci gerçekleştirilir.

Rasgele İndeks (Random Index-RI) Tablo 3'ten alınarak Tutarlılık Oranı (Consistency Ratio-CR) bulunur (Eşitlik 8). Eğer  $CR \leq 0,10$  ise karşılaştırma matrisi tutarlıdır ve kriter ağırlıkları bir sonraki uygulama için kullanılır. Aksi durumda ise  $CR > 0,10$  olup tutarlı değildir ve AHP işlemlerinin baştan yenilenmesi gerekmektedir.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (7)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (8)$$

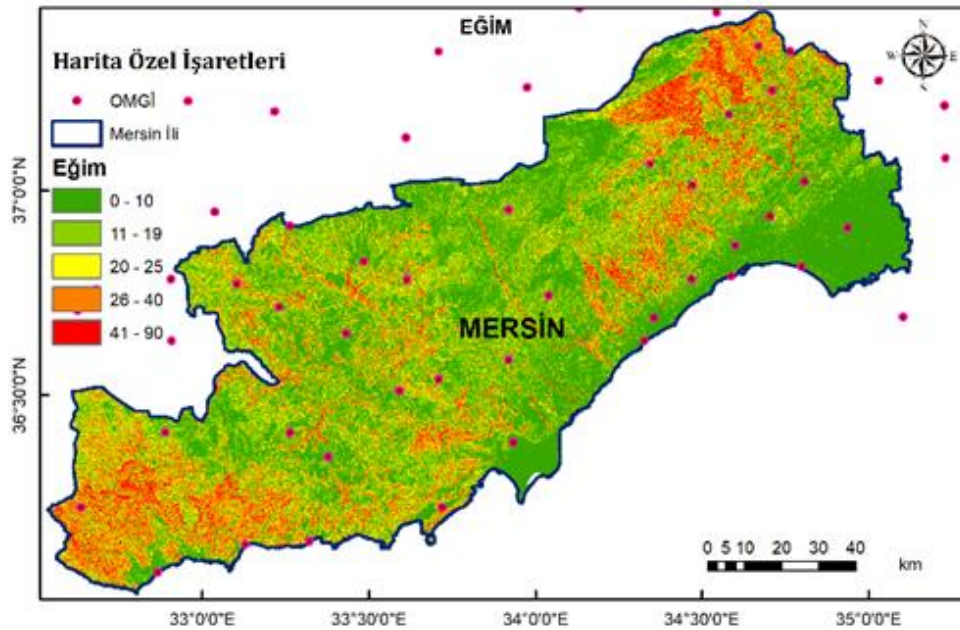
**Tablo 3.** Rasgele İndeks (Saaty, 2008)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

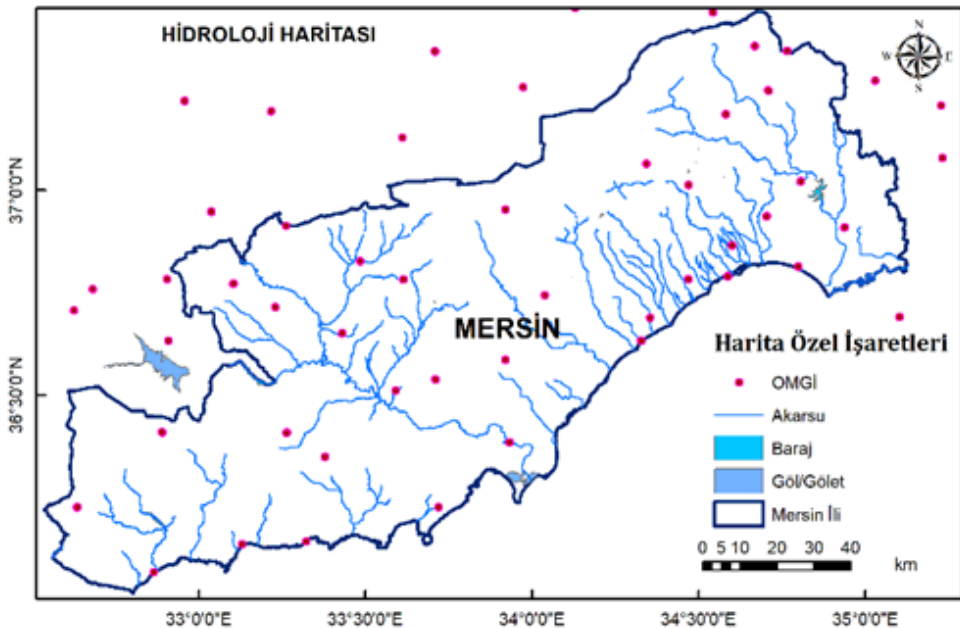
### 3.7. Verilerin Düzenlenmesi

Topografik, hidroloji, yol ağı, OMGİ gibi veriler coğrafi veriler olup bunlar nokta, çizgi ve poligon olarak üç farklı geometrik şekilde ifade edilmektedir. Arazinin topografyasını gösteren Sayısal Yükseklik Modelinden 500 m'lik eş yükseklik eğrileri ArcGIS 10.5 yazılımında geçirilmiştir. Eğim, yükseklik modeli yardımıyla derece olarak üretilmiştir (Şekil 7).

Hidroloji Haritası, Fotogrametri ve Uzaktan Algılama teknikleri kullanılarak üretilmiş akarsu, baraj, göl ve gölet haritalarından oluşmaktadır. Uydu görüntülerinden yararlanarak uzaktan algılama teknikleri ile işlenip akarsu çizgileri üretilmiştir. Fotogrametri tekniği ile üretilen ortofoto haritası üzerinden baraj, göl ve gölet alanları elde edilmiştir (Şekil 8).



**Şekil 7.** Derece cinsinden eğim



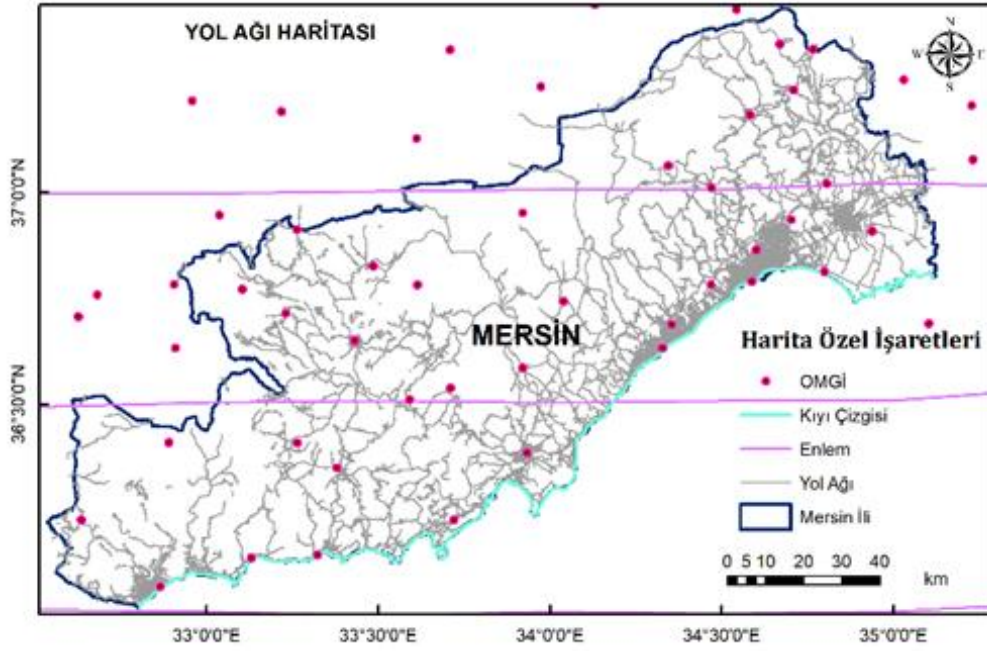
**Şekil 8.** Hidroloji Haritası

Ülke yol ağlarını sunan “Open Street Map”den Türkiye yol ağı vektörel formatta indirilip Mersin il sınırları içerisinde kalanlar çıkartılmıştır (Geofabrik, 2020). Kuzey enlemleri; 36°, 36°30', 37° ve 37°30'dan geçen enlem çizgisi elde edilmiştir. Mersin il sınırının denize bakan kenarı üzerinden kıyı çizgisi çizilmiştir. Kıyı çizgisi, suyun karaya değdiği noktalarının birleşimi ile çizilerek elde edilen çizgidir (Şekil 9).

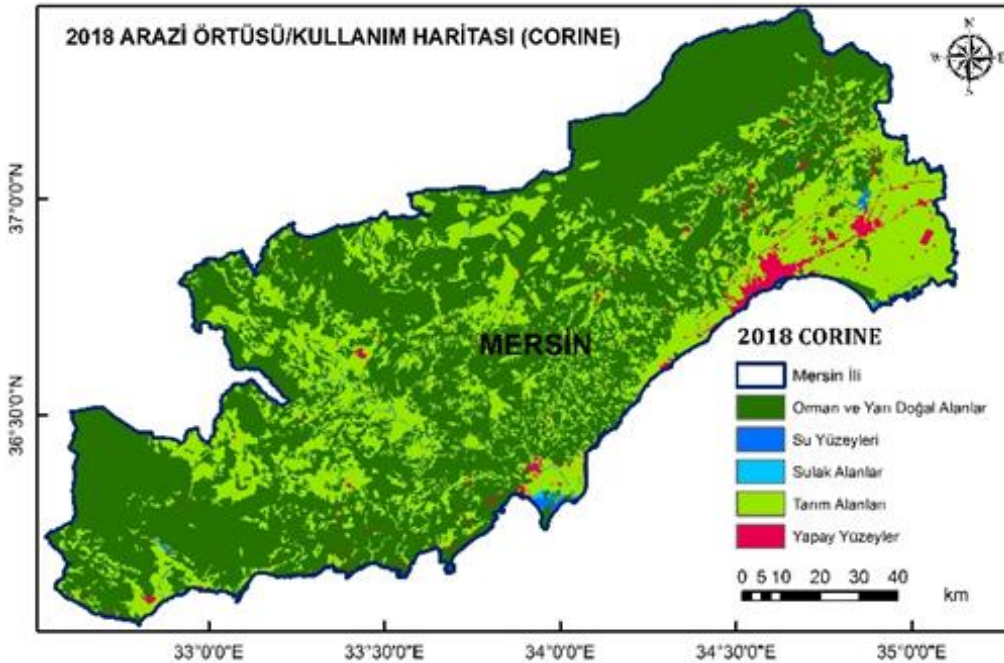
Copernicus, Dünyayı izlemek amacıyla kurulmuş bir sistem olup Avrupa Ülkeleri ve Türkiye'nin arazi kullanımındaki değişimleri izlenmektedir. Uydudan alınan veriler işlenip yersel gözlemlerle birleştirilerek 1990, 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarına ait arazi örtüsü haritası üretilmektedir. Çevresel Bilginin Koordinasyonu (Coordination of Information on the Environment-CORINE); “yapılar”, “tarım alanları”, “orman ve doğal

alanlar”, “sulak alanlar” ve “su alanları” şeklinde 5 ana sınıf (Şekil 10), 44 alt sınıftan meydana gelmektedir (CORINE, 2018). CORINE 2018 verisi indirilip Mersin il sınırlarına göre veriler çıkartılmıştır. Lejant bilgilerine göre istasyon kurulumu için uygun ve uygun olmayan alanlar ayrılmıştır.

Mersin il sınırları içerisinde CORINE arazi örtüsü verileri; orman ve yarı doğal alanlar, su yüzeyleri, sulak alanlar, tarım alanları ve yapay yüzeyler şeklinde arazi yüzeyleri bulunmaktadır. OMGI yer seçimi için özellikle tarım alanları, orman ve yarı doğal alanlar dikkate alınmıştır. Tarım alanları; sulanmayan ekilebilir arazi, sürekli sulanan arazi, bağlar, meyve ağaçları, zeytinlikler vb. alanları içermektedir. Orman ve yarı doğal alanları da; geniş yapraklı, iğne ve karma orman, doğal çayırlar gibi yüzeyler bulunmaktadır.



Şekil 9. Yol ağı ve diğer kriterler



Şekil 10. Arazi kullanımı (CORINE, 2018)

## 4. Bulgular

### 4.1. Coğrafi Verilerin Analizleri ve Puanlanması

OMGİ için en uygun yeri seçebilmek amacıyla Mersin ilinden geçen enlem çizgilerine ve arazinin yüksekliği, hidrolojisi, yol ağı ve mevcut OMGİ noktalarından oluşan coğrafi veriler, CBS yazılımına aktararak yeniden düzenleme işlemine tabi tutulmuştur. Meteoroloji istasyonu yer seçimi kuralları çerçevesinde kriterlerin mesafe aralıkları belirlenmiş ve bu doğrultuda buffer analizleri yapılmıştır. Yeniden sınıflandırılarak elde edilen raster formatındaki haritaların her bir piksel hücrelerine değer atanmıştır.

Enlem, iklimin oluşumunda etken bir kriter olduğu için yeni kurulacak istasyonların enleme yakınlığı ve uzaklığı dikkate alınmıştır. Mersin ilinde 36° ve 37° Kuzey enlemlerinde olup 30 dakikalık aralıklarla çizgi çizilip 0-9000 m, 90001-18000 m, 18001-27000 m ve >27000 m sınıflarda buffer analizi yapılmıştır. Enlem çizgisine olan yakınlığa göre sırayla 5, 3, 1 ve 0 puan verilmiştir.

Eş yükseklik eğrileri 500 metrede bir geçirilmiş ve geliştirilerek sağ ve soldan 0-1000 m, 1001-2000 m, 2001-5000 m ve 5000 m'den daha fazla şeklinde mesafelerde buffer analizi yapılmıştır. Raster dönüşüm-yeniden sınıflama yapılarak 0-2000 m arası 5, 2001-4000 m arası 3 ve 4001-5000 m arası 1 ve 5000 m'den fazlası 0 puan verilmiştir (Tablo 4; Şekil 11c).

Arazinin Sayısal Yükseklik Modelinden üretilen eğim, derece cinsinden elde edilmiştir. Eğimin 19°den küçük olduğu yerler tercih edilmesi gerekliliğinden dolayı ona göre bir puanlama geliştirilmiştir. Eğimin 0-10° arasında olduğu alanlar 5, 11-19° arası 4, zorunlu durumlar için 20°-25° arası 1 ve 26°-90° arası 0 puan ile değerlendirilmiştir (Tablo 4).

Akarsu (Çizgi), Göl/gölet (poligon) ve baraj (poligon) ayrı ayrı tabakalarda alınarak işlemler yapılmıştır. Deniz ile karayı ayıran kıyı çizgisinden (Çizgi) 100-500-1000 m mesafelerde buffer analizi yapılmış ve rastere dönüştürüldükten sonra çalışma alanına göre piksellerin çok az kalması nedeniyle 0-1000 m aralığı 0 puan dışındaki alan 5 puan ile puanlandırılmıştır (Tablo 4; Şekil 11d). Hidrografik kriterlerden göl/gölet ve baraj olan su kütlelerinin analizi sonucu bütün Mersin il sınırlarını kaplamamıştır. Çünkü Mersin ilinde yer alan su yapıları homojen dağılımda olmayıp doğal dağılımdadır. Deniz, göl/gölet, baraj, akarsu tabakalarından üretilen buffer analizinden elde edilen alanları birleştğinde hidrografik kriterini bütünlemiş olup tek bir tabakada ifade edilerek istasyon kurulumu için uygun olmayan alanlar belirlenmiştir.

Arazi kullanımı olarak CORINE verileri raster formatında olup piksellere değer ataması yapılmıştır. (WCDP/WMO, 1986) yayınında en güvenilir yer olarak orman alanları gösterilmektedir. Bu nedenle orman alanlarına 5 puan verilirken, tarım alanları 3, yapay yüzeylerden liman/havalimanı 1 ve diğer alanlar 0 şeklinde puanlandırılmıştır (Tablo 4; Şekil 11e).

Yol ağı vektör formatında olup detaylı bir şekilde bulunmamaktadır. Ölçeğin küçük olması ve buffer analizinin yapılamaması nedeniyle geliştirilmiştir. İstasyon, yoldan 100 m uzakta olması gerekirken aynı zamanda

ulaşımında kolay olması tercih edilmektedir. Bu nedenle 0-500 m arası 0, 501-1500 m arası 5 diğer yerler 0 puan olarak alınmıştır (Tablo 4; Şekil 11a).

**Tablo 4.** Coğrafi veri piksellerinin puanlanması

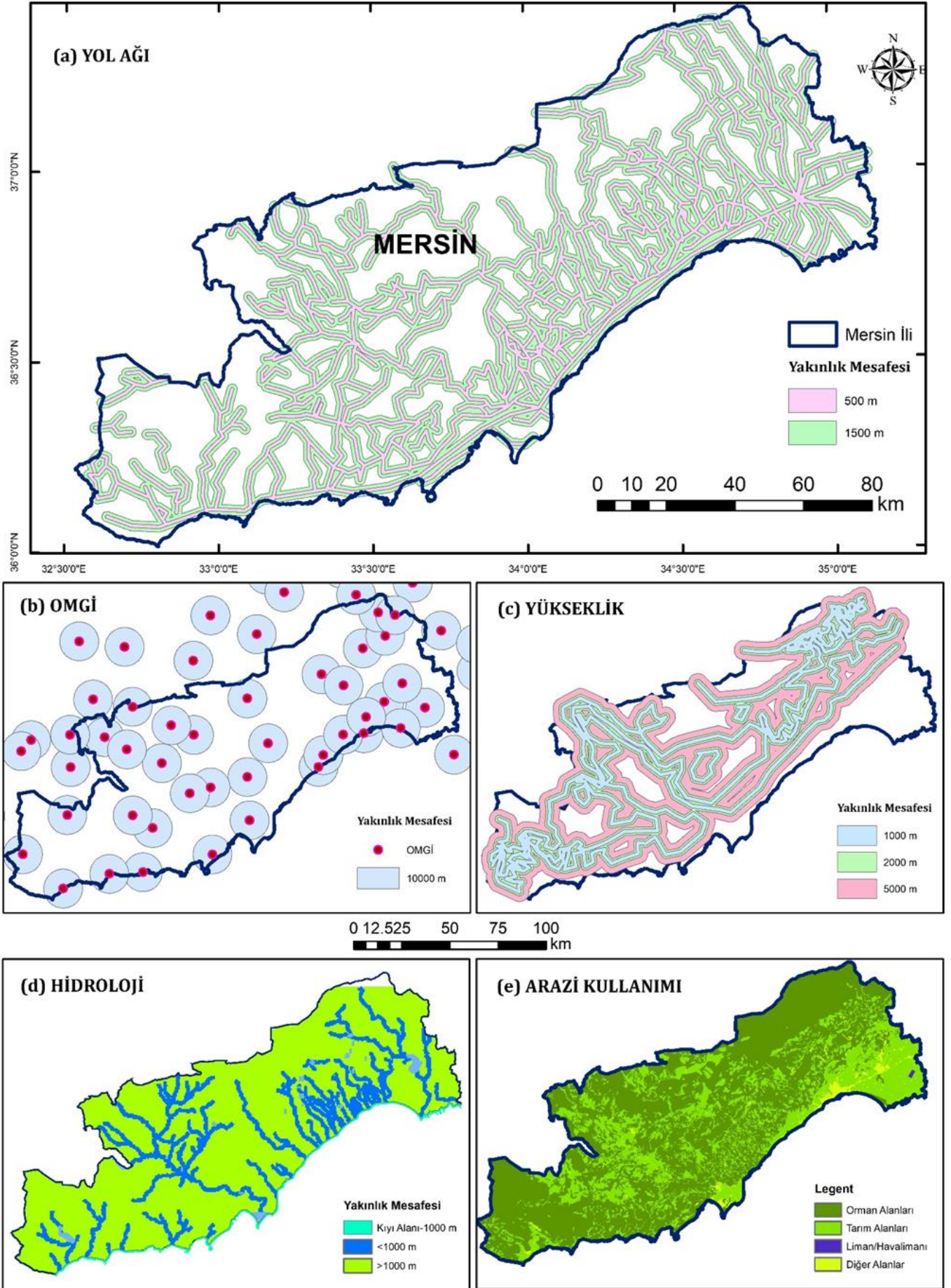
Kriter	Ölçü	Sağ-Sol	Mesafe Aralığı	Puan
Enlem	36°	9000 m	0-9000 m	5
	36° 30'	18000 m	9001-18000 m	3
	37°	27000 m	18001-27000m	1
	37° 30'	>27000 m	>27001	0
Yükseklik	500 m	1000 m	0-2000	5
		2000 m	2001-4000	3
		5000 m	4001-5000	1
		>5000 m	>5001 m	0
Eğim	<19°		0-10°	5
			11-19°	4
			20°-25°	1
			26°-40°	0
			41°-90°	0
Deniz, Göl/Gölet Baraj Akarsu	>100 m	<1000 m	0 -1000 m	0
		>1000 m	>1001 m	5
Arazi Kullanımı (CORINE)			Orman Alanları	5
			Tarım Alanları	3
			Liman/Havalimanı	1
			Diğer Alanlar	0
Yol Ağı	>100 m	500 m	0-500 m	0
		1500 m	501-1500 m	5
		>1500 m	>1501 m	0
Mevcut OMGİ	>10 km	<10000 m	<10000 m	0
		>10000 m	>10001 m	5

Mevcut OMGİ noktalarının gözleme alanı 10000 m çapında bir alanı kapladığından noktasal buffer analizi gerçekleştirilmiştir. 10000 m daire içinde kalan alanlar 0, dışında kalan alanlar ise 5 ile puanlandırılmıştır (Tablo 4; Şekil 11b).

### 4.2. Kriterlerin AHP Ağırlıkları

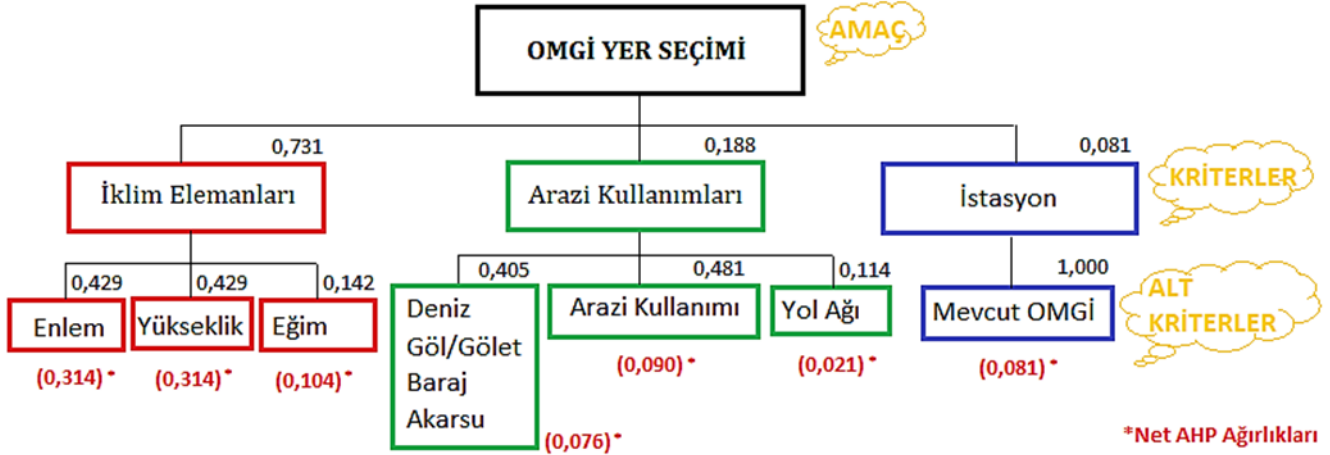
AHP; amaç, kriterler ve alternatifler şeklindeki hiyerarşik yapısı kapsamında yer almakta olup AHP'nin amacı, yeni kurulması planlanan OMGİ için en uygun yer seçimi yapmaktır. OMGİ için kriterler; iklim elemanlarını etkileyenler, arazi kullanımları ve mevcut OMGİ şeklinde ana başlıkları belirlenmiştir. İklim elemanlarını etkileyenlerin alt kriterleri; enlem, yükseklik, eğim; arazi kullanımlarının alt kriterleri ise deniz, göl/gölet, baraj, akarsu olan hidrolojik durum, arazi kullanımı ve yol ağı şeklindedir. Mevcut OMGİ'nin alt kriteri olmamakla birlikte istasyon yer seçiminde önemli bir kriterdir (Şekil 12).

Kriterler ve alt kriterler için kendi içlerinde uzman görüşü ile ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve her birine ait AHP ağırlıkları hesaplanmıştır. Nihai sonuç, kriter ile alt kriter AHP ağırlıklarının çarpımı sonucu "Net AHP Ağırlıkları" bulunmuş ve toplamı 1,000 elde edilmiştir. Yer seçimi için raster formatta olan harita işlemlerinde kullanılacak olan ağırlıklar, net AHP ağırlıklarıdır (Şekil 12).



Şekil 11. Kriterlere ilişkin buffer analizi





Şekil 12. AHP'nin hiyerarşik yapısı ve ağırlıkları

### 4.3. Yeni OMGİ Yer Seçimi Haritası

Enlem, yükseklik, hidroloji (deniz, göl-gölet, baraj ve akarsu), yol ağı ve mevcut OMGİ noktalarına ilişkin olarak buffer analizi yapılmış ve OMGİ yer seçimi için kurallar çerçevesinde her bir piksele puanlar atanmıştır. Yine kurallar doğrultusunda eğim ve CORINE verisi olan arazi kullanımı haritaları da puanlandırılmıştır. Kriterlere ait "Net AHP Ağırlıkları" uzman görüşü ile AHP hesaplamaları sonucunda bulunmuştur. Puanlandırılmış haritalar ile hesaplanmış "Net AHP Ağırlıkları" çarpılıp toplanmış ve 0-5 aralığında değerler alan "Yeni OMGİ Yer Seçimi" haritası üretilmiştir. Bu aralıklarda uygun değil, az uygun, orta uygun, uygun ve çok uygun şeklinde uygunluk derecelerine ayrılarak rakamlar anlamlandırılmıştır (Şekil 13).

Yeni OMGİ Yer Seçimi haritası üzerinde yeni istasyonlar için yer önerileri yapılmıştır. Bunlardan 14 tanesi en uygun yerlere atılmış, 3 tanesi ise çalışma alanının tam olarak gözlemlenebilmesi düşüncesi ile uygun alanlara atılmıştır. Bu noktaların tesisleri yapılmadan önce araziye gidilerek ön etüt çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Önerilen bazı noktaların arazi görünüşleri yer seçim haritasına eklenmiştir (Şekil 13).

Yeni önerilen toplam 17 meteorolojik istasyon noktasının özellikle Çamlıyayla, Erdemli, Mezitli, Mut ve Tarsus ilçelerinde birer, Toroslar'da iki, Anamur ve Gülnar ilçelerinde üçer ve Silifke'de dört yeni OMGİ ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir.

## 5. Tartışma

Mersin ilinde OMGİ'nin yeterli olup olmadığı irdelenmiş, yeni istasyon noktalarına ihtiyacı olduğu tespit edilmiş ve meteorolojik istasyon kurulum şartları çerçevesinde en uygun yer araştırılmıştır. Yeni istasyon yerleri, o bölgenin iklim elemanlarını yansıtacak şekilde olması ve ağırlıklarına göre değerlendirilmesi çalışmanın önem verilmesi gereken noktalarıdır. Ayrıca istasyon sayısı ne eksik ne de fazla olmamalıdır. Eksik istasyon olduğunda, iklim verilerinin bölgeyi yansıtması tam gerçekleşmemektedir. Fazla istasyon sayısı olduğunda; bakım, onarım, kontrol, veri işleme, gibi işlem yükünü artırmaktadır (ÇŞB, 2018; MGM, 2020; Tebliğ, 2014; WMO, 2004; 2018).

Literatürdeki OMGİ yer seçimi ile ilgili olan çalışmalardan Briceño ve arkadaşları (2021), farklı olarak nüfus, fay hattı, heyelan, doğal alanlar şeklinde kriterler kullanmışlardır. Ayrıca mevcut istasyonlara göre farklı mesafeler dikkate alınarak yeni istasyon dağılımları ve sayıları değerlendirmişlerdir (Briceño ve ark., 2021). Hosseini ve arkadaşları yaptıkları çalışmada meteorolojik istasyon konusunda tek bir iklim elemanı olan yağışa odaklanmışlar ve yağmur istasyonu için genetik algoritma yöntemi kullanılarak yer seçimi yapmışlardır (Karimi-Hosseini ve ark., 2011).

Başka bir çalışmada ise, herhangi bir analiz yapılmadan boşlukları doldurma şeklinde 15 yeni istasyon yeri tespit etmiştir. İklim dosyalarının derleme ve düzenlenmesi işlemlerinde çok emek sarf edilmemesi için çok fazla yeni istasyon eklenmediği belirtilmiştir (Yang ve ark., 2018). Nijerya'daki çalışmada istasyon yerleri önceden belirlenmiş ve 6 havalimanına OMGİ'ler kurulmuştur. Kurulacak istasyonların türüne göre ve gereksinimleri karşılayacak şekilde yer seçimi yapılması belirtilmiştir (Hussaini & Yakubu, 2019). Trabzon ilinde yapılan çalışmada istasyon sayısı önceden belirlenmiş ve coğrafi bilgi sistemlerine dayalı yakınlık analizleri ile en uygun 5 istasyon noktasının yeri tespit edilmiştir (Yıldırım ve ark., 2016). Filipinler'de de benzer olarak CBS yazılımından faydalanılmış ve tarım amaçlı agrometeoroloji istasyon yeri tespit edilmiştir (Alejo, 2018).

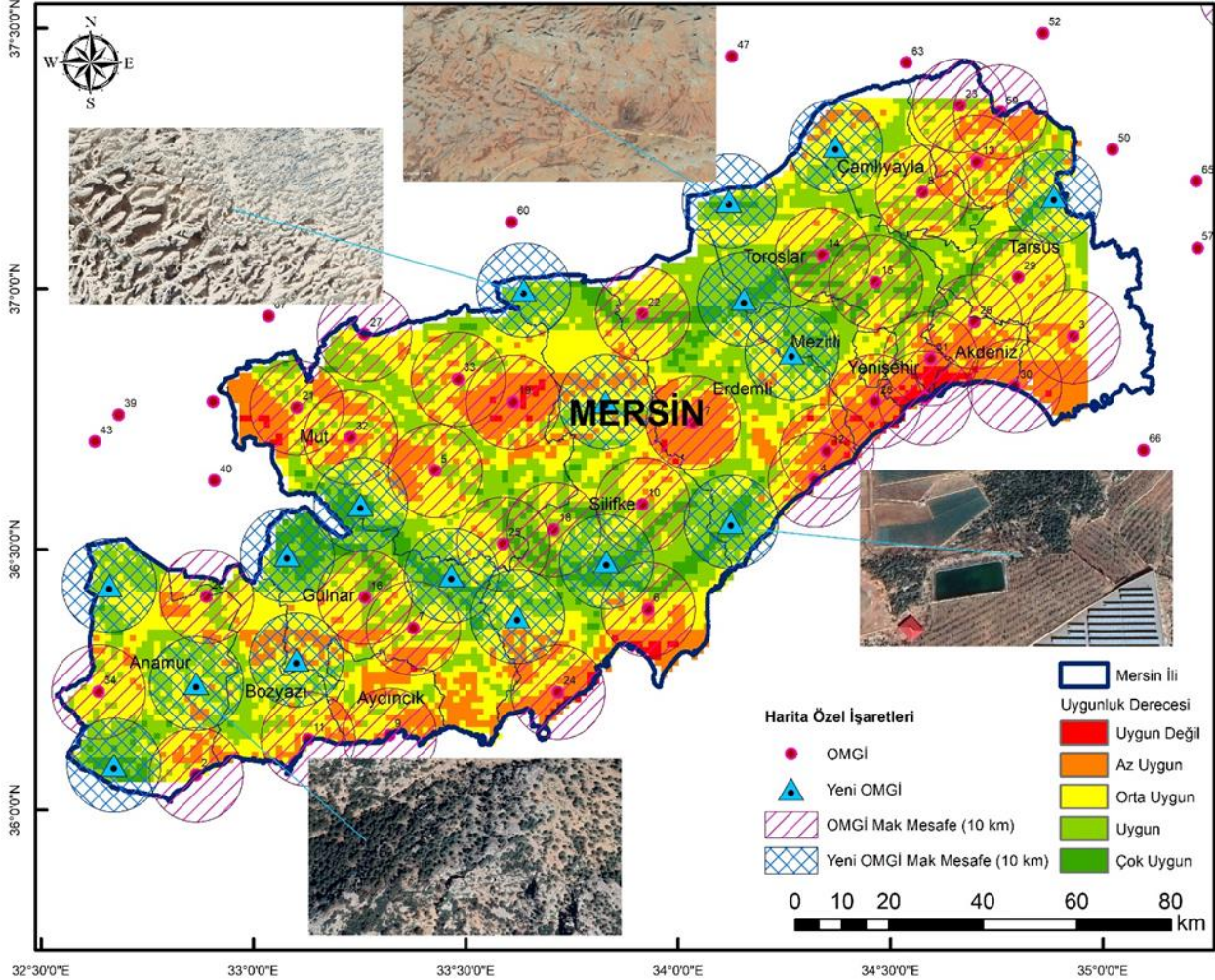
Bu çalışmada ise coğrafi bilgi sistemlerinden buffer analizine ek olarak kriterlere AHP yöntemi ile ağırlıklar verilmiştir. Çünkü iklim elemanlarının değişimine neden kriterler aynı oranda etkilememektedir. Bu etki ile daha uygun yer tespiti yapılmıştır. İler ki çalışmalar da kriterler artırılıp farklı yöntemlerle geliştirilerek doğruluk oranı yükseltilebilir. Akdeniz Bölgesi'nin yükseklik farkından dolayı iklim değişimi kısa mesafelerde gerçekleşmekte olup belli bir sınır ile sınırlandırmak mümkün olmayabilir. Meteorolojik istasyonların türleri dikkate alınarak havza, bölge ve ülke bazlı daha geniş alanlarda çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada önerilen 17 istasyon noktası arasından rasgele seçilmiş 4 istasyon noktası, Google Earth görüntüleri ile incelenmiştir. Buna göre Anamur-Bozyazı ilçeleri arasında yer alan istasyon noktası son yıllarda sık sık karşılaştığımız orman yangınları için yüzey sıcaklık takibi açısından uygun bir nokta olabilir. Silifke ve sahil

kısmında kalan bölgede önerilen istasyon tarım alanlarında zirai don veya aşırı sıcaklık gözleminin yapılabilmesi için uygun olabilir. Fakat tarımsal sulama havuzunun yakınında çıkması yanıtıcı iklim bilgileri ortaya koyabileceğinden istasyon yeri kaydırılabilir. Toros Dağları'nın üst kesimlerinde gösterilen 2 istasyon noktası ise kış şartlarının gözlenmesi için kullanılabilir.

Fakat bu noktalarında bakım ve kontrollerinin yapılabilmesi için yola yakınlıkları ve ulaşımı açısından yerinde gözlemler yapılarak değerlendirilmelidir. Çalışmanın sonucu göstermektedir ki AHP istasyon yer seçimi gibi pek çok kriterden etkilenen çalışmalarda kolaylıkla tercih edilebilecek yöntemlerden birisidir.

### YENİ OMGI YER SEÇİMİ



Şekil 13. OMGI yer seçimi haritası

## 6. Sonuçlar ve Öneriler

Türkiye'nin üç tarafı denizlerle çevrili olması, yeryüzünün dağlar ve ovalarla kaplı olması, toprak yapısının farklılığı, bitki örtüsünün çeşitliliği, orman alanları gibi nedenlerden dolayı istasyonların yeterli olup olmadığı sorusu gündeme gelmiştir. Bu çalışma hem bu soruya hem de istasyon nerede kurulmalı sorusuna cevap bulmak amacıyla Mersin ilinde gerçekleştirilmiştir. Bir istasyon kurulması için gerekli kurallar ışığında buffer analizi ve AHP yöntemi kullanılarak uygun olan alanlar derece derece belirlenmiştir. Yeni OMGI için toplam 17 nokta yeri tespit edilip öneride bulunulmuştur.

MGM istatistik raporları doğrultusunda 2012 yılından itibaren istasyon sayılarında ciddi artışlar gözlenmiştir. Ancak ülkemizde otomatik meteoroloji gözlem istasyon ihtiyacı devam etmektedir. Kamu kurum ve kuruluşlar, özel sektör, vatandaş olan tüm kullanıcıların ihtiyaçları

belirlenerek nereye hangi tür gözlem yapan istasyon kurulması gerektiği detaylı bir şekilde planlanmalıdır.

İklim kuşakları değişmekte ve bu değişimin ortaya çıkartılabilmesi amacıyla yeterli sayıda ve dağılımda istasyonların bulunması gerekmektedir. İstasyonların nitelikli ve standart formatta veri kayıtları, en az 30 yıllık verilere ihtiyaç duyulduğu göz önüne alındığında ivedilikle yer seçimi analizleri yapılarak istasyon sayılarının artırılması gerekli görülmektedir.

Bu çalışmada üretilen yer seçimi haritası ile yeni istasyonların nerelerde kurulabilir sorusunun cevabı verilmiştir. Ancak nokta olarak tespit edilen yeni istasyon yerlerinin arazide de gezilmesi ve ekonomik, verimlilik ve uygulanabilirlik açısından araştırılıp değerlendirilmesi gerekmektedir. Gelecek çalışmalarda yer tespiti için Çok Kriterli Karar Analizlerinde kriter sayısının artırılıp diğer yöntemlerin kullanılması planlanmaktadır.

## Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma, Mersin Valiliği, Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve Mersin İli Meteoroloji Müdürlüğü ile Mersin Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü'nün "Araştırma Protokolü" kapsamında gerçekleşmiştir. Çalışma süresince desteklerini esirgemeyen eski Mersin Vali Yardımcısı Abdullah ŞAHİN ve Emekli Mersin İli Meteoroloji Müdürü Fikret DEMİR'e teşekkürlerimizi sunarız.

## Araştırmacıların katkı oranı

**Fatma Bünyan Ünel:** Kavramsallaştırma, yazma, analizleri yapma, harita düzenleme, **Lütfiye Kuşak:** Verileri görselleştirme, harita düzenleme, inceleme, **Murat Yakar:** Kavramsallaştırma, düzenleme, **Hakan Doğan:** Değerlendirme, haritaları yorumlama.

## Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynakça

- Abad, P. M. S., Pazira, E., Abadi, M. H. M., & Abdinezhad, P. (2021). Application AHP-PROMETHEE Technic for Landfill Site Selection on Based Assessment of Aquifers Vulnerability to Pollution. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 45(2), 1011–1030. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00560-0>
- Alejo, L. A. (2018). Suitability analysis for optimum network of agrometeorological stations: A case study of Visayas region, Philippines, *Journal of Agrometeorology* 20(4), 269-274.
- Alkaradaghi, K., Ali, S. S., Al-Ansari, N., & Laue, J. (2020). Landfill Site Selection Using GIS and Multi-Criteria Decision-Making AHP and SAW Methods: A Case Study in Sulaimaniyah Governorate, Iraq. *Engineering*, 12, 254-268.
- Aras, H., Erdoğmuş, Ş., & Koç, E. (2004). Multi-Criteria Selection For A Wind Observation Station Location Using Analytic Hierarchy Process, *Renewable Energy*, 29, 1383-1392.
- Aslan, S., & Aydar, U. (2022). Çanakkale İli Merkez İlçesinin Otopark Sorununun Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Analizi ve Çözüm Önerileri. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi (TUCBİS)*, 4(1), 34–46.
- Başkurt, Z. M., & Aydın, C. C. (2020). Nükleer Santraller için Yer Belirleme Kriterlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Değerlendirilmesi. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi (TUCBİS)*, 2(1), 37–48.
- Bennui, A., Rattanamanee, P., Puetpaiboon, U., Phukpattaranont, P., & Chetpattananondh, K. (2007). *Site Selection for Large Wind Turbine Using GIS*. 561–566.
- Beşel, C., & Kayıkçı, E. T. (2020). Investigation Of Black Sea Mean Sea Level Variability By Singular Spectrum Analysis. *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, 5(1) 033-041. DOI: 10.26833/ijeg.580510.
- Beyhan, H. C., Eren, G., & Aktuğ, B. (2020). Perakende Market Lokasyonları için CBS Tabanlı Çok Kriterli AHP Yöntemi ile Optimal Yer Seçimi Analizi : İstanbul Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20, 1032–1050. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.803391>
- Bozdağ, A., & Ertunç, E. (2020). CBS ve AHP Yöntemi Yardımıyla Niğde Kenti Örneğinde Taşınmaz Değerleme. *Geomatik*, 5(3), 228–240. <https://doi.org/10.29128/geomatik.648900>
- Briceño, N. B. R., López, R. S., López, J. O. S., Oliva-Cruz, M., Fernández, D. G., Murga, R. E. T., Trigos, D. I., Gurbillón, M. B., & Barboza, E. (2021). Site Selection for a Network of Weather Stations Using AHP and Near Analysis in a GIS Environment in Amazonas, NW Peru. *Climate*, 9, 169. <https://doi.org/10.3390/cli9120169>
- Çelenk, Ş. (1977). *Kar Rasat Şebekesi ve OSK Kar Yazıcısı*. T.C. Gıda-Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Araştırma-Eğitim ve Yayın Dairesi Başkanlığı, Teksir Atölyesi A.
- Chabuk, A., Al-Ansari, N., Hussain, H. M., Laue, J., Hazim, A., Knutsson, S., & Pusch, R. (2019). Landfill sites selection using MCDM and comparing method of change detection for Babylon Governorate, Iraq, *Environmental Science and Pollution Research*, 26(35), 35325-35339. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05064-7>
- Chen, C. F. (2006). Applying the analytical hierarchy process (AHP) approach to convention site selection. *Journal of Travel Research*, 45(2), 167–174. <https://doi.org/10.1177/0047287506291593>
- Çiftçi, H., & Kuşak, L. (2021). Determination of Unsuitability Points on the Route of Van Gölü -Kapıköy Railway Line by Using GIS and AHP Method. *Advanced GIS*, 1(1), 27–37.
- CORINE (2018). *The CORINE LAND COVER-CLC 2018*. European Environment Agency (EEA), Copernicus. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>
- Çoşkun, M. Z. (2020). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Terimleri*. İTÜ. [https://web.itu.edu.tr/~coskun/contents/lessons/gismanagement/CBS\\_TERIMLERI\\_SOZLUGU.pdf](https://web.itu.edu.tr/~coskun/contents/lessons/gismanagement/CBS_TERIMLERI_SOZLUGU.pdf)
- ÇŞB (2018). *Hava Kirliliği*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı-ÇŞB. <http://webdosya.csb.gov.tr/db/nigde/webmenu/webmenu16107.pdf>
- Demir, M., & Şahin, U. (2014). Hava Kirliliğinin Ormanlar Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İzlenmesi Hakkında Uluslararası İşbirliği Programı (ICP Forests), Meteorolojik Ölçümler. II. *Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Akdeniz Ormanlarının Geleceği: Sürdürülebilir Toplum ve Çevre*, 380–391.
- Demir, V., & Keskin, A. Ü. (2022). Yeterince akım ölçümü olmayan nehirlerde taşkın debisinin hesaplanması ve taşkın modellemesi (Samsun, Mert Irmağı örneği). *Geomatik*, 7(2), 149-162.
- Demirgül, T., Yılmaz, C. B., Zıpır, B. N., Kart, F. S., Perhiz, M. F., Demir, V., & Sevimli, M. F. (2022). Investigation of Turkey's climate periods in terms of precipitation

- and temperature changes. *Engineering Applications*, 1(1), 80-90.
- Derenel, İ. (1947). Memleket İklim ve Yağış İstasyonları Şebekelerinin 22 Yıllık Çalışmalarına Genel Bakış. *Coğrafya Dergisi*, 110–128. <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/198649>
- Eleren, A. (2006). Kuruluş Yeri Seçiminin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Belirlenmesi; Deri Sektörü Örneği. *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 20(2), 405–416. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=27994293&site=ehost-live>
- Ertunç, E., & Çay, T. (2020). Havaalanı Yer Seçiminde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) Kullanımı. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 8(2), 200–210. <https://doi.org/10.36306/konjes.590605>
- Esri (2022). *Buffer (Analysis)*. Euclidean Distance. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/analysis/buffer.htm>, <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/euclidean-distance.htm>
- Geofabrik (2020). *Download OpenStreetMap data for this region: Europe*. <https://download.geofabrik.de/europe.html>
- Ghorui, N., Ghosh, A., Algehyne, E. A., Mondal, S. P., & Saha, A. K. (2020). Ahp-topsis inspired shopping mall site selection problem with fuzzy data. *Mathematics*, 8(1380), 1–21. <https://doi.org/10.3390/math8081380>
- Ghoseiri, K., & Lessan, J. (2014). Waste disposal site selection using an analytic hierarchal pairwise comparison and ELECTRE approaches under fuzzy environment. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 26(2), 693–704. <https://doi.org/10.3233/IFS-120760>
- Hussaini, A., & Yakubu, S. O. (2019). Automation and Modernization of Meteorological Observation Network in Nigeria, *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* 23(7), 1225-1231.
- İklim (2019). *İklim ve Hava Durumu Arasındaki Farklar*. <https://www.derszamani.net/iklim-ile-hava-durumu-arasindaki-farklar-nelerdir.html>
- İnce, Ö., Bedir, N., & Eren, T. (2016). Hastane Kuruluş Yeri Seçimi Probleminin AHP ile Modellenmesi: Tuzla İlçesi Uygulaması. *Gazi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1(3), 8–21.
- Jozaghi, A., Alizadeh, B., Hatami, M., Flood, I., Khorrani, M., Khodaei, N., & Tousi, E. G. (2018). A comparative study of the AHP and TOPSIS techniques for dam site selection using GIS: A case study of Sistan and Baluchestan Province, Iran. *Geosciences (Switzerland)*, 8(494), 1–23. <https://doi.org/10.3390/geosciences8120494>
- Kamran, K. V. & Khorrani, B. (2022). A fuzzy multi-criteria decision-making approach for the assessment of forest health applying hyper spectral imageries: A case study from Ramsar forest, North of Iran. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 214-220.
- Karimi-Hosseini, A., Haddad, O. B., & Mariño, M. A. (2011). Site selection of raingauges using entropy methodologies. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management*, 164(7), 321–333. <https://doi.org/10.1680/wama.2011.164.7.321>
- Kaymakçioğlu, Y., & Ertem, K. İ. (2018). *Atmosfer, Hava Durumu ve İklim*. İMG.EBA.
- Kim, C., Jang, S., & Kim, T. Y. (2018). Site selection for offshore wind farms in the southwest coast of South Korea. *Renewable Energy*, 120, 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.081>
- Lazzara, M. A., Weidner, G. A., Keller, L. M., Thom, J. E., & Cassano, J. J. (2012). Antarctic Automatic Weather Station Program, 30 Years of Polar Observations, American Meteorological Society, 93(10), 1519–1537. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00015.1>
- MGM (2018). *Meteoroloji Sözlüğü*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojisozlugu.aspx>
- MGM (2020). *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). <https://www.mgm.gov.tr>
- MGM (2021). *Türkiye Meteoroloji Gözlem Sistemleri İstatistiksel Analizleri*. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MGM (2022). *2021 Yılı Performans Programı*. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara. [https://mgm.gov.tr/FILES/kurumsal/yatirimfaaliyet/performans\\_program2021.pdf](https://mgm.gov.tr/FILES/kurumsal/yatirimfaaliyet/performans_program2021.pdf)
- Milewska, E., & Hogg, W. D. (2002). *Continuity of climatological observations with automation - temperature and precipitation amounts from AWOS (Automated Weather Observing System)*. 40(3), 333–359. <https://doi.org/10.3137/ao.400304>
- MMO (2020). *Hava durumu ve iklim arasındaki fark nedir?* Meteoroloji Mühendisleri Odası- MMO. <https://www.meteoroloji.org.tr/hava-durumu-ve-iklim-arasindaki-fark-nedir>
- Mokarram, M., & Mohammadzadeh, P. (2021). Prediction of karst suitable area using fuzzy AHP method and Dempster-Shafer theory. *Earth and Space Science*, 8, e2019EA000719.
- Morsy, S., & Hadi, M. (2022). Impact of land use/land cover on land surface temperature and its relationship with spectral indices in Dakahlia Governorate, Egypt. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 272-282.
- Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Heydar, M., & Ebrahimnejad, S. (2013). Multi-Criteria Decision Making for Plant Location Selection: An Integrated Delphi-AHP-PROMETHEE Methodology. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 38(5), 1255–1268. <https://doi.org/10.1007/s13369-012-0361-8>
- NASA (2005). *What's the Difference Between Weather and Climate?* NASA. [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/noaa-n/climate/climate\\_weather.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/noaa-n/climate/climate_weather.html)
- Oke, T. R. (2006) Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites (Canada), World Meteorological Organization Instruments and Observing Methods Report, No. 81, WMO/TD-No. 1250.

- OMGİ (2020). *İstasyon Bilgileri Veritabanı*. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). <https://mgm.gov.tr/kurumsal/istasyonlarimiz.aspx?il=Mersin>
- Öztürk, D., & Batuk, F. (2010). Konumsal Karar Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, Sigma 28, 124-137.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1(1), 83–98. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2014-0020>
- Saha, A., & Roy, R. (2021). An integrated approach to identify suitable areas for built-up development using GIS-based multi-criteria analysis and AHP in Siliguri planning area, India, *SN Applied Sciences*, 3, 395. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04354-5>
- Sarı, F., & Sarı, F. K. (2021). Multi criteria decision analysis to determine the suitability of agricultural crops for land consolidation areas, *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 64-73.
- Sawadogo, A., Tim, H., Gündoğdu, K. S., Demir, A. O., Ünlü, M., & Zwart, S. J. (2020). Comparative analysis of the pysebal model and lysimeter for estimating actual evapotranspiration of soybean crop in Adana, Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(2), 60-65.
- Şener, Ş., Şener, E., Nas, B., & Karagüzel, R. (2010). Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beyşehir catchment area (Konya, Turkey). *Waste management*, 30(11), 2037-2046.
- TDK (2018). *Meteoroloji*. <https://sozluk.gov.tr/>
- Tebliğ (2014). *Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Önlisans Başvuruları İçin Yapılacak Rüzgar ve Güneş Ölçümleri Uygulamalarına Dair Tebliğ* (Vol. 29033).
- Urfalı, T., & Eymen, A. (2022). CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi. *Geomatik Dergisi*, 6(3), 227–237. <https://doi.org/10.29128/geomatik.772453>
- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapınar region Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.042>
- WCDP/WMO (1986). *Guidelines on the Selection of Reference Climatological Stations (RCSs) from the Existing Climatological Station Network*. 130, 16. [http://books.google.de/books/about/Guidelines\\_on\\_the\\_Selection\\_of\\_Reference.html?id=-LjxNAAACAAJ&pgis=1](http://books.google.de/books/about/Guidelines_on_the_Selection_of_Reference.html?id=-LjxNAAACAAJ&pgis=1)
- WMO (2004). *The State-Of-The-Art Of Instruments And Automated Surface Observing Systems (ASOS), Development of Siting Criteria and Metadata Standards*. World Meteorological Organization (WMO).
- WMO (2012). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation 2008* (Issue 8). World Meteorological Organization (WMO).
- WMO (2018). *Guide to Instruments and Methods of Observation: Vol. I* (Issue 8). World Meteorological Organization.
- WMO (2021). Updated 30-year reference period reflects changing climate, Erişim Tarihi: 31.07.2022 <https://public.wmo.int/en/media/news/updated-30-year-reference-period-reflects-changing-climate>
- Yang, X., You, Z., Hiller, J., & Watkins, D. (2018). Updating and augmenting weather data for pavement mechanistic-empirical design using ASOS/AWOS database in Michigan, *International Journal of Pavement Engineering*, 19(11), 1025-1033. <https://doi.org/10.1080/10298436.2016.1234278>.
- Yılmaz, C. B., Demir, V., Sevimli, M. F., Demir, F., & Yakar, M. (2021). Trend analysis of temperature and precipitation in Mediterranean region. *Advanced GIS*, 1(1), 15-21.
- Yiğit, M., & Çakıl, S. (2010). *TEFER Kapsamında Kurulan Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonları Kullanıcı Eğitim Kitabı*. T.C. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Elektronik Gözlem Sistemleri Şube Müdürlüğü.
- Yildirim, V., Nisanci, R., Colak, H. E., & Yildiz, O. (2016). *A GIS-based siting technique for automatic weather stations in Trabzon, Turkey*. 71(2), 211–217. <https://doi.org/10.1002/wea.2651>
- Zengin, D. (2019). Türkiye'nin Antarktika'daki ilk meteoroloji istasyonu kuruldu (Turkey sets up meteorological station in Antarctica), Third National Antarctic Science Expedition, Science Journey to Antarctica, AA.



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## Model-Ağacı (M5-tree) yaklaşımı ile HELIOSAT tabanlı güneş radyasyonu tahmini

Taha Demirgöl<sup>1</sup>, Vahdettin Demir<sup>\*1</sup>, Mehmet Faik Sevimli<sup>1</sup>

<sup>1</sup>KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Solar Radyasyon  
HELIOSAT  
M5-Tree  
Tahmin  
Türkiye

### Araştırma Makalesi

Geliş: 29.06.2022  
Reviz: 03.08.2022  
Kabul: 12.08.2022  
Yayınlanma: 15.02.2023



### Öz

Solar radyasyon (SR), enerji dönüşümü, meteoroloji, tarım ve hayvancılık ile ilgili çalışmalar için önemli bir parametredir. Solar radyasyonun belirlenebilmesi için gereken alıcıların tüm noktalar için temin edilememesinden dolayı bu parametre çeşitli yöntemlerle tahmin edilebilir. Bu çalışmada, Türkiye'nin aylık ortalama SR değerleri ( $\text{kWsa/m}^2$ ) M5 model ağacı (M5-tree), sezgisel regresyon tekniği kullanılarak MATLAB platformunda tahmin edilmiştir. SR modellemesinde komşu ölçüm istasyonlarına ait konum bilgileri ve periyodiklik bileşeni olan ay değerleri kullanılarak tahminler gerçekleştirilmiştir. Modellerde 2004-2018 yıllarını kapsayan uzun dönem aylık ortalama SR verileri kullanılmıştır. Bu veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen ve uydu tabanlı hibrit bir model olan HELIOSAT model verileridir. Çalışmada Türkiye'nin 81 iline ait ölçüm ortalamaları kullanılmıştır. 81 noktadan alınan 12 aylık verilerin %75'i eğitim sürecinde kullanılırken %25'i test sürecinde kullanılmıştır. Rastgele seçilen test istasyonlarından elde edilen solar radyasyon tahminleri gözlenen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda, Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH), Ortalama Mutlak Bağlı Hata (OMBH) ve Determinasyon Katsayısı ( $R^2$ ) kullanılmıştır. M5-tree kullanılarak elde edilen modellerde en başarılı sonuçlar; KOKH= 0.3604, OMH= 0.1451, OMBH= 3.6029 ve  $R^2$ = 0.9879 olarak elde edilmiştir. Böylece M5-tree yönteminin literatürde yer alan yöntemlere alternatif bir yöntem olabileceği ortaya konmuştur.

## Forecasting of HELIOSAT-Based solar radiation by Model-Tree (M5-tree) approach

### Keywords

Solar Radiation  
HELIOSAT  
M5-Tree  
Forecast  
Turkey

### Research Article

Received: 29.06.2022  
Revised: 03.08.2022  
Accepted: 12.08.2022  
Published: 15.02.2023

### Abstract

Solar radiation (SR) is an important parameter for studies on energy conversion, meteorology, agriculture and animal husbandry. Since the receivers required for the determination of solar radiation are not available for all points, this parameter can be estimated by various methods. In this study, Turkey's monthly average SR values ( $\text{kWh/m}^2$ ) were estimated on the MATLAB platform using the M5 model tree (M5-tree), a heuristic regression technique. SR was estimated using the location information of neighboring measurement stations and the month values, which are the periodicity component. Long-term monthly average SR data covering the years 2004-2018 were used in the models. These data are HELIOSAT model data, which is a satellite-based hybrid model obtained from the General Directorate of Meteorology. In the study, the measurement averages of Turkey's 81 provinces were used. While 75% of the 12-month data obtained from 81 points were used in the training process, 25% was used in the testing process. Solar radiation estimates from randomly selected test stations were compared with the observed data. In these comparisons, Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Absolute Relative Error (MARE) and Coefficient of Determination ( $R^2$ ) were used. The most successful results in the models obtained using the M5-tree; RMSE= 0.3604, MAE= 0.1451, MARE= 3.6029, and  $R^2$ = 0.9879. Thus, it has been revealed that the M5-tree method can be an alternative method to the methods in the literature.

### \*Sorumlu Yazar

(demirgultaha@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-0164-058X  
\*(vahdettin.demir@karatay.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-6590-5658  
(mehmet.faik.sevimli@karatay.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-4676-8782

### Kaynak Göster (APA)

Demirgöl, T., Demir, V., Sevimli, M. F. (2023). Model-Ağacı (M5-tree) yaklaşımı ile HELIOSAT tabanlı güneş radyasyonu tahmini. *Geomatik*, 8(2), 124-135

## 1. Giriş

Güneş yerkürenin en önemli enerji kaynaklarından biri olmakla beraber aynı zamanda temiz ve ucuz bir enerji kaynağıdır (Kılıç ve Kumaş, 2016). Genellikle solar radyasyon (SR) ölçüm cihazları yardımıyla ölçülür. Ancak, bu cihazların kurulum-bakım maliyetleri ve kalibrasyon gereksinimleri yüksektir. Bu nedenle, dünya çapında çoğu bölgede ölçümü yapılamamaktadır.

Güneş enerjisi, Dünya’da mevcut olan çoğu enerjinin kaynağıdır ve yakın gelecekte, özellikle gelişmekte olan ülkelerde çok önemli bir rol oynaması beklenmektedir. Bu enerji kaynağının kullanımına olan ilginin ortaya çıkması, özellikle konvansiyonel kaynakların artan maliyetleri nedeniyle son yıllarda artmıştır (Guermoui ve ark., 2020). Dünya yüzeyinde mevcut olan solar radyasyon, yerel iklim koşullarına bağlıdır. Yerel solar radyasyon bilgisi, bina enerji sistemlerinin, güneş enerjisi sistemlerinin doğru tasarımı ve binalardaki termal ortamın verimli şekilde değerlendirilmesi için esastır. En iyi veri tabanı, önerilen güneş sisteminin sahasında uzun vadeli ölçülen veriler olacaktır. Bununla birlikte, radyasyon ölçüm ağlarının sınırlı kapsamı, güneş radyasyonu modellerinin geliştirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır (Ahmad ve Tiwari, 2011).

Güneşten dünya yüzeyine aktarılan elektromanyetik enerji olarak tanımlanabilen SR, günümüzde güneş ışınlarıyla doğrudan ilişkisi bulunan, başta elektrik üretiminde kullanılan sistemlerde olmak üzere tarımsal ürünlerin yetiştirilmesi, meteorolojik araştırmalar, doğal ışıklandırma sistemleri, seralar ve hayvan yetiştiriciliğinde ısıtma ve soğutma katkısının belirlenmesi gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Jiang, 2009; Şeker, 2021). Günümüzde Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler ve gelişmiş ülkelerde elektrik enerjisine olan ihtiyaç katlanarak artmaktadır (Taktak ve İli, 2018). SR, tarımda bitkilerin büyüme süreci, büyümesi ve biyokütle depolanması için referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında önemli bir yere sahip olup (Çıtakoğlu, 2015), günümüzde iklim değişikliği ile ilgili senaryo gruplarının incelenmesinde SR değerleri kullanılmaktadır (Bora ve ark., 2015). Ayrıca güneş enerjisi çalışmalarının tasarımı ve incelenmesi aşamasında solar radyasyon hakkında bilgi sahibi olmak gereklidir (Çıtakoğlu ve Demir, 2021).

SR'nin tahmin edilebilir hale gelmesi, güneş enerjisi sistemlerinin tasarlanma ve geliştirilme aşamaları için oldukça önemlidir. Yapılarda ısınma, atmosferik enerji dengesi çalışmaları, binalarda termal analizler ve meteorolojik tahminler gibi çeşitli alanlarda SR verilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Özgören ve ark., 2012). Ayrıca, seçilen bir coğrafi bölgedeki solar radyasyon miktarının isabetli tahmini, birçok mühendislik, akademik ve çevresel uygulama için çok değerlidir. Türkiye'nin yıllık ortalama solar radyasyonuna baktığımızda 3,6 kWsa/m<sup>2</sup> gün değeri gözlenmiş olup toplam yıllık radyasyon periyodu yaklaşık olarak 2610 saat olarak hesaplanmıştır (Sözen ve Arcaklıoğlu, 2005). Yerleşim bölgelerinde ölçülen rüzgâr hızı, nispi nem, buhar basıncı, hava basıncı, hava sıcaklığı, güneşlenme süresi gibi meteorolojik verilerin güneş radyasyonunun doğru hesaplanmasında önemli bir etken olduğu araştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır (Kılıç ve Kumaş,

2016). Ancak solar radyasyonun ölçümü hem maliyet hem de kullanılan gereçler, kalibrasyon ve bakım aşamaları bakımından güç olduğu için gözlemlenen ölçüm verilerinden faydalanarak tahmin metodlarının geliştirilmesine ve test edilmesine yönelim artmaktadır (Gül ve Çelik, 2017).

Solar radyasyon, günümüzde pek çok alanda yapılan çalışmalar için ihtiyaç duyulan önemli bir parametre haline gelmiştir. Ama elimizde gözlenmiş verinin kısıtlı olmasından dolayı bu gözlenmiş verileri referans olarak solar radyasyon ölçümü olmayan istasyonların verilerinin oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Son yıllarda SR tahmini için gözlem verileri baz alınarak uygulanan yöntemler artmaktadır (Alizamir ve ark., 2020).

SR verileri nem, sıcaklık, rüzgâr hızı, bulut örtüsü gibi kolay ölçülebilen iklim parametreleri ile tahmin edilebilmektedir. Bu bakış açısıyla, SR verilerini tahmin etmek için çok sayıda model önerilmiştir. Bunlardan bazıları matematiksel formüllere dayanmakta ve ampirik modeller olarak adlandırılmaktadırlar. Ampirik modellerin hesaplanması kolaydır ve güneş radyasyonu verilerini tahmin etmek için yararlı bir teknik olarak kabul edilir. Aylık ortalama günlük küresel güneş radyasyonunun tahmininde ampirik modeller sıklıkla kullanılsa da bu modeller bulut örtüsü, yağışlı günler gibi hava koşullarındaki hızlı değişiklikler nedeniyle kısa vadeli güneş radyasyonu verilerini doğru bir şekilde tahmin edemezler. Buna paralel olarak, bazı araştırmacılar, bu modellerin, yağışlı günlerde yoğun bulutlardan güneş ışınımının güçlü bir şekilde etkilendiği nemli bölgelerde hem bağımlı hem de bağımsız değişkenler arasındaki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri yansıtamadıklarını bildirmiştir (Ağbulut ve ark., 2021). Bu nedenle diğer parametre ölçümlerine bağımlı olmadan yapılan ölçümler, örneğin konum bilgilerine göre hem daha pratik hem de daha ekonomiktir.

Günümüzde matematiksel formüllere alternatif olan makine öğrenimi modelleri, yüksek doğrulukları nedeniyle solar radyasyon tahminleri için umut verici yöntemler olup, bunlardan en yaygın olarak uygulananı yapay sinir ağlarıdır (YSA). Örneğin çok katmanlı algılayıcı sinir ağları, evrimsel yapay sinir ağları, genelleştirilmiş regresyon sinir ağları ve geri yayılım sinir ağları bunlardan bazılarıdır (Feng ve ark., 2019).

SR tahmini ile ilgili literatürde yer alan bazı önemli çalışmalar incelendiğinde, Sözen ve Arcaklıoğlu (2005) Türkiye’de yer alan 12 adet istasyona ait ortalama günlük SR tahmini gerçekleştirmişlerdir. SR potansiyelini belirlemek için Yapay Sinir Ağları metoduyla 3 farklı algoritma (Scaled konjugat gradyan, Pola-Ribiere eşlenik gradyan ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmaları) ve lojistik sigmoid transfer fonksiyonu kullanmışlardır. Algoritmalarda 6 farklı giriş (enlem, boylam, yükseklik, ay, ortalama güneşlenme süresi ve ortalama sıcaklık) parametresi ile SR tahmini gerçekleştirmişlerdir (Sözen ve Arcaklıoğlu, 2005).

Özgören ve ark. (2012) Türkiye'nin herhangi bir yerindeki aylık ortalama günlük toplam küresel güneş ışınımını tahmin etmek için çoklu doğrusal olmayan regresyon (MNL) yöntemine dayalı bir yapay sinir ağı (YSA) modeli geliştirmişlerdir. Türkiye'nin 31 istasyonunun verilerinden hareketle 1 giriş 1 çıkışlı

kombinasyondan 10 giriş 1 çıkışlı kombinasyona kadar analizler yaparak SR tahmini yapmışlardır (Özgören ve ark., 2012).

Bhardwaj ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada solar radyasyon tahmini için Gizli Markov Modeli ve genelleştirilmiş Bulanık Modelin bir kombinasyonunu kullanarak şekil tabanlı kümeleme modelini kullanmışlardır. Model için kullanılacak parametreleri hava durumu izleme istasyonundan kaydedilen ortam sıcaklığı, bağıl nem, atmosfer basıncı, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, güneş spektrumu ve güneş radyasyonu olarak belirlemişlerdir. Çalışmalarında solar radyasyonun tahmini için model benzerliğine dayalı kümeleme algoritmasını geliştirerek hibrit bir teknik kullanmışlardır. Sonuç olarak önerilen modelin yaygın olarak kullanılan modellere kıyasla daha iyi tahmin sağladığını belirtmişlerdir (Bhardwaj ve ark., 2013).

Wang ve ark. (2017) Çin'deki 21 farklı bölgedeki günlük küresel SR tahminini ızgara bölmeli Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems (ANFIS)-SC, ANFIS-GP ve M5 Model ağacı olmak üzere 3 farklı makine öğrenme tekniği kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Bu modeller kullanılarak kalibre edilmiş bir ampirik Ångström modeli ile karşılaştırılmıştır. Çalışmalarında 7 giriş (güneşlenme süresi, hava basıncı, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, ortalama sıcaklık, su buharı basıncı ve bağıl nem) parametresi ile SR tahmini gerçekleştirmişlerdir (Wang ve ark., 2017).

Kuncan ve Şahin (2017) uydu verilerini kullanarak Türkiye'deki aylık ortalama günlük güneş radyasyon tahmini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında yöntem olarak YSA'yı (farklı transfer fonksiyonları, öğrenme algoritmaları ve 40'ı bulan ara tabaka hücre sayıları ile) kullanmışlar ve 53 istasyon için 20 farklı model oluşturmuşlardır. Bu modellerde 5 farklı giriş (solar radyasyon ay değerleri, yeryüzü sıcaklığı, yükseklik, enlem ve boylam) parametresi ile SR tahmin edilmeye çalışılmıştır (Kuncan ve Şahin, 2017).

Aksoy ve Bolat (2017) Akdeniz Bölgesi'nde yedi farklı lokasyon için aylık NOAA/AVHRR uydu verilerini kullanarak YSA metodu ile aylık ortalama günlük SR tahmini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında Yapay Sinir Ağları yöntemini kullanarak solar radyasyon değerleri tahmin etmişlerdir. Modellemede 5 farklı giriş (ay, yükseklik, yeryüzü sıcaklığı, enlem, boylam) ile SR tahmin edilmeye çalışılmıştır (Aksoy ve Bolat, 2017).

Gül ve Çelik (2017) Tunceli ilinin aylık ortalama günlük global güneş radyasyonunu tahmin etmek için adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmada uygulanan ANFIS modelinde, 3 giriş parametresi (yıllar, aylar ve aylık ortalama günlük toplam güneşlenme süresi [saat]) kullanarak aylık ortalama günlük toplam global güneşlenme şiddeti (AOGGR) [ $kWsa/m^2$ ] tahmini gerçekleştirmişlerdir (Gül ve Çelik, 2017).

Kaba ve ark. (2018) Türkiye'de yer alan 34 adet istasyon verisi ile ortalama günlük SR tahmini gerçekleştirmişlerdir. Derin Öğrenme yöntemini kullandıkları çalışmalarında günlük küresel SR'yi tahmin etmek için en iyi ilişkili ve en yaygın olarak kullanılan bir astronomik parametre (dünya dışı radyasyon) ( $H_0$ ), ve dört meteorolojik parametre (güneşlenme süresi (SD), bulut örtüsü (CC), maksimum sıcaklık ( $T_{max}$ ) ve minimum

sıcaklık ( $T_{min}$ )) kullanarak 16 farklı kombinasyon ile modellerini eğitmişlerdir (Kaba ve ark., 2018).

Keshtegar ve ark. (2018) Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesi'nde bulunan Adana ve Antakya istasyonlarında SR tahmini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında Kriging, yanıt yüzeyi yöntemi (RSM), çok değişkenli adaptif regresyon (MARS) ve M5 model ağacı (M5-tree) gibi dört farklı sezgisel regresyon yöntemi kullanmışlardır. Modellemelerinde 5 giriş parametresi (maksimum sıcaklık ( $T_{max}$ ), minimum sıcaklık ( $T_{min}$ ), güneş süresi ( $H_s$ ), rüzgâr hızı (WS) ve bağıl nem (RH)) ile SR tahminini gerçekleştirmişlerdir (Keshtegar ve ark., 2018).

Ruşen (2018), Konya ve Karaman bölgesinde yatay bir yüzey üzerinde günlük SR bileşenlerini araştırdığı çalışmada uydu görüntüleri ile HELIOSAT yöntemini kullanmıştır. Çalışma sonucunda HELIOSAT yönteminin iyi tahminlere sahip olduğunu belirtmiştir (Rusen, 2018).

Cornejo-Bueno ve ark. (2019) İspanya'nın Toledo şehri için Meteosat uydusundan elde ettikleri bir yıllık saatlik solar radyasyon verileriyle Destek Vektör Regresyonu (SVR), Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), Aşırı Öğrenme Makinesi (ELM) ve Gauss Süreçleri (GPR) olmak üzere birkaç son teknoloji makine öğrenmesi yöntemiyle solar radyasyon tahmin modellerini çalışmışlardır. Bu çalışmada seçilen farklı makine öğrenmesi regresyon tekniklerinin performansını değerlendirmek için 4 senaryoyu içeren ve her senaryo için çıkış katmanında solar radyasyon değeri tahmin eden denemeler yapmışlardır. Sonuç olarak karşılaştırılan regresörler arasında en iyi performansı Aşırı Öğrenme Makineleri (ELM)'nin sergilediğini belirtmişlerdir (Cornejo-Bueno ve ark., 2019).

Alizmir ve ark. (2020) 6 farklı makine öğrenme tekniği (Gradyan Artırma Ağacı, Çok Katmanlı Algılayıcı Sinir Ağı, Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı, Çok Değişkenli Uyarlamalı Regresyon Eğrisi, ANFIS-FCM, ANFIS-SC) kullanarak Türkiye ve ABD olmak üzere 2 farklı lokasyondaki iki istasyondan SR tahmini yapmışlardır. Yöntemlerde 4 giriş parametresi (rüzgâr hızı, maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, bağıl nem) kullanarak SR tahmini gerçekleştirmişlerdir (Alizmir ve ark., 2020).

Çıtakoğlu ve Demir (2021) Türkiye'nin aylık ortalama solar radyasyon değerlerini üç farklı derin öğrenme algoritması kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada tahminler 3 farklı derin öğrenme eğitim-optimizasyon algoritması olan ADAM (Adaptive Moment Estimation), SGDM (Stochastic Gradient Descent with Momentum) ve RMSProp (Root Mean Square propagation) optimizasyon algoritmaları kullanmışlardır. Algoritmalarda 4 giriş (Enlem, Boylam, Yükseklik, Periyodiklik) parametresi kullanarak SR tahmini gerçekleştirmişlerdir (Çıtakoğlu ve Demir, 2021). Çalışmalarında konum bilgilerine periyodiklik bileşeninin eklemesi durumunda daha başarılı sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir.

Ağbulut ve ark. (2021) Türkiye'de farklı güneş radyasyon dağılımlarına sahip 4 istasyonun (Kırklareli, Tokat, Nevşehir ve Karaman) günlük küresel güneş radyasyonu verilerini tahmin etmek için 4 farklı makine öğrenme algoritması (destek vektör makinesi (SVM), yapay sinir ağı (ANN), çekirdek ve en yakın komşu (k-NN) ve derin öğrenme (DL))



kullanmışlardır. Çalışmada 5 giriş parametresi (maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık, bulut örtüsü, atmosfer dışı SR, gün uzunluğu) kullanarak SR tahmini gerçekleştirmişlerdir (Ağbulut ve ark., 2021).

Literatür taramasında regresyon ağaçları, destek vektör makineleri, yapay sinir ağları, derin öğrenme, bulanık mantık gibi yapay zekâ kullanılarak tahmin etme yöntemlerinin oldukça popüler olduğu ve yüksek doğruluklu sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu yöntemlerin en önemli özellikleri başlangıçta giriş parametresi olarak verilen somut veriler (bağımsız değişken) ile çıkış parametresi olarak elde edilmek istenilen veri (bağımlı değişken) belirtildiğinde kendini eğiten sistemlerin kullanılmasıdır. Çalışmalarda genellikle KOKH, OMH, R, R<sup>2</sup> gibi karşılaştırma kriterlerinin kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca SR tahmini için genellikle konumsal, astronomik ve meteorolojik verilerin çeşitli kombinasyonları girdi parametresi olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye'nin 81 iline ait ölçüm istasyonlarının 2004-2018 yıllarına ait aylık ortalama solar radyasyon değerleri (kWs/m<sup>2</sup>) kullanılarak, SR tahminleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Model Ağacı (M5-tree) sezgisel regresyon yöntemi kullanılmış olup, 81 istasyondan alınan 12 aylık verilerin (972 adet) %75'i (729 adet) eğitim sürecinde, %25'i (273 adet) ise test sürecinde kullanılmıştır. Rastgele seçilen test istasyonlarından elde edilen solar radyasyon tahminleri gözlenen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda, Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH), Ortalama Mutlak Bağlı Hata (OMBH) ve Determinasyon Katsayısı (R<sup>2</sup>) kullanılmıştır. Tahminler komşu ölçüm istasyonlarına ait konum bilgileri ve periyodiklik bileşeni olan ay değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SR'nin belirlenmesinde M5-tree yönteminin literatüre alternatif bir yöntem olma durumu araştırılmıştır.

Çalışmanın literatürden ayrılan yönleri; 81 adet ölçüm istasyonuna ait ve 2004-2018 yıllarını kapsayan verilerin kullanılması (1), Türkiye'de HELIOSAT tabanlı SR tahminin gerçekleştirilmesi (2), Türkiye çapında ilk kez M5-tree yönteminin SR tahmininde kullanılıyor olmasıdır (3).

Çalışmanın gelecek bölümünde HELIOSAT modeli hakkında bilgiler verilmiş, çalışma alanı tanıtılmış ve çalışmada kullanılan veriler ve yöntemler açıklanmıştır. Üçüncü bölümde sonuçları değerlendirirken kullanılan karşılaştırma kriterleri açıklanmış, bulgular gidış-saçılma grafiklerine ek olarak çalışma alanı için oluşturulmuş harita ve test istasyonları için oluşturulmuş uzun dönem aylık ortalama grafikleri üzerinden yorumlanmıştır. Tüm bulgular bu bölümde literatürle karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar özetlenmiş çalışma kapsamı ile gelecek çalışmalar açıklanmıştır.

## 2. Yöntem

Türkiye, global güneş radyasyon dağılımı hesaplama yöntemi olarak HELIOSAT modelini tercih etmektedir. HELIOSAT hibrit bir modelleme yöntemidir. Çalışma prensibi bir radyasyon transfer denkleminin analizi ve basit istatistiksel ilişkilerdir. İlk olarak açık hava için

direkt ve difüz bileşenlerin ayrı ayrı hesaplandığı model ile global güneş radyasyon değişkeni hesaplanmaktadır. Sonraki aşamada uydu verileri ikinci nesil METEOSAT (Meteosat Second Generation) (MSG'den elde edilmektedir. Temin edilen uydu verileri kullanılarak ilk aşamada elde edilen global güneş radyasyon değerleri bulut değişkenine (parametre) göre düzenlenmektedir. 15 dakikada bir yenilenen uydu verilerinin işlenmesiyle elde edilen değerlerden bulut indeksine geçiş yapılarak bu değerler açık hava güneş radyasyon değerleri ile işlenmekte ve bu işlem sonucunda mevcut hava koşullarına göre güneş radyasyon değerleri elde edilmektedir. Saatlik verilerden günlük, aylık, mevsimlik, yıllık veriler elde eden Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) bu verilerle 2004 yılından başlayan bir veri arşivi oluşturmuştur. 0,2<sup>0</sup> x 0,2<sup>0</sup> çözünürlüğe sahip olan HELIOSAT modeli ile Türkiye için toplam 3610 grid noktasında veri üretilmektedir. MGM tarafından yapılan verifikasyon çalışmalarında modelin yaklaşık %2 hata ile radyasyon verisi tahmininde bulunduğu belirtilmektedir (URL-1, 2022).

Çalışmada kullanılan verilere ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler Tablo 1' de yer almaktadır.

**Tablo 1.** Verilere ait tanımlayıcı bilgiler

Kriter	Eğitim	Test
Ortalama	4,424	4,418
Standart Hata	0,069	0,117
Ortanca	4,565	4,584
Standart Sapma	1,840	1,853
Basıklık	-1,346	-1,354
Çarpıklık	0,059	0,055
En Büyük	7,777	7,685
En Küçük	1,282	1,205
Veri sayısı	720	252

### 2.1. Çalışma alanı

Türkiye, 26<sup>0</sup>-45<sup>0</sup> doğu boylamları ve 36<sup>0</sup>-42<sup>0</sup> kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (İşcan ve İlğaz, 2017). Tipik Akdeniz iklimine sahip olmasından dolayı her mevsim güneş alan Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir (Sözen ve Arcaklioğlu, 2005). Çalışmada yer alan 81 ile ait istasyon konumları, Şekil 1'de verilmiştir. Bu illere ait ortalama aylık güneş radyasyonu verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün resmî sitesinden elde edilmiştir (URL-2, 2022). Şekil 1 incelendiğinde rastgele seçilen eğitim istasyonları olarak Türkiye'nin 60 iline ait istasyonlar yeşil olarak gösterilmiştir. Kırmızı ile işaretlenen 21 il istasyonu ise test istasyonlarını simgelemektedir. Ayrıca eğitim ve test istasyonlarına ait konum bilgileri ile ortalama SR değerleri (kWh/m<sup>2</sup>) Tablo 2 ve Tablo 3'te sırasıyla yer almaktadır.

### 2.2. M5 Model Ağacı (M5-Tree)

1992 yılında Quinlan, M5 model ağacı algoritmasını alternatif bir regresyon yöntemi olarak geliştirmiştir (Quinlan, 1992). Demirci (2019), karar ağacını, bir bağımlı değişkenin değerinin tahminini bağımsız değişken kümesinin değerlerini kullanarak nasıl tahmin edilebileceğini gösteren bir ikili (iki yönlü bölünmüş) ağaç olarak gösterilen mantıksal bir model olarak ifade etmiştir ve sınıflama ağacı ve regresyon ağacı olmak

üzere iki tür karar ağacı olduğunu belirtmiştir. Bu türlerden ilki ve en uygun olanı sınıflama ağaçlarıdır ve bir sayısal niteliğin değerini tahmin etmek için kullanılan bir sembolik sınıftır. İkinci tür ise regresyon ağaçlarıdır ve öngörü (tahmin) için kullanılmaktadır.

**Tablo 2.** Eğitim istasyonları

İstasyon	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Yükseklik (m)	SR (kWsa/m <sup>2</sup> )
Adana	37	35.32	23	4.77
Adıyaman	37.76	38.27	669	4.92
Afyon	38.74	30.55	1013	4.51
Ağrı	39.72	43.05	1640	4.43
Amasya	40.65	35.83	392	4.17
Ankara	39.97	32.86	870	4.34
Antalya	36.9	30.79	43	5.1
Artvin	41.18	41.82	597	3.99
Aydın	37.84	27.84	597	4.72
Balıkesir	39.63	27.92	101	4.05
Bilecik	40.14	29.97	526	4.16
Bingöl	38.88	40.49	1177	4.61
Bitlis	38.39	42.12	1545	4.7
Bolu	40.74	31.6	732	4.11
Burdur	37.68	30.33	1025	4.91
Bursa	40.23	29.01	100	4.1
Çanakkale	40.15	26.41	3	3.95
Çankırı	40.61	33.61	730	4.19
Çorum	40.54	34.94	798	4.26
Denizli	37.76	29.09	450	4.7
Diyarbakır	37.92	40.22	677	4.78
Edirne	41.68	26.56	48	3.87
Elazığ	38.67	39.22	1015	4.85
Erzincan	39.74	39.5	1214	4.54
Erzurum	39.95	41.17	1893	4.36
Eskişehir	39.78	30.58	732	4.32
Gaziantep	37.07	37.39	840	4.9
Giresun	40.92	38.39	84	3.89
Gümüşhane	40.46	39.47	1210	4.18
Hakkari	37.57	43.75	1720	4.62
Hatay	36.36	36.28	85	4.87
Isparta	37.76	30.55	1043	4.76
İstanbul	40.98	28.82	30	4.1
İzmir	38.41	27.14	25	4.47
K.maraş	37.57	36.91	568	4.85
Kars	40.59	43.08	1750	4.27
Kastamonu	41.37	33.77	800	4.02
Kayseri	38.72	35.49	1071	4.65
Kırklareli	41.73	27.21	203	4.37
Kırşehir	39.16	34.15	985	4.45
Kocaeli	40.76	29.91	76	3.98
Konya	37.99	32.56	1026	4.7
Kütahya	39.42	29.99	969	4.31
Malatya	38.35	38.31	977	4.83
Manisa	38.61	27.4	42	4.38
Mardin	37.31	40.73	1150	4.91
Mersin	36.8	34.62	6	4.88
Muğla	37.29	28.37	646	5.09
Muş	38.74	41.49	1300	4.54
Nevşehir	38.63	34.71	1250	4.59
Niğde	37.97	34.69	1208	4.75
Ordu	40.98	37.88	10	3.76
Rize	41.04	40.5	4	3.6
Sakarya	40.77	30.39	31	4.01
Samsun	41.35	36.24	44	3.96
Siirt	37.93	41.94	895	4.83
Sinop	42.02	35.15	32	4.01
Sivas	39.74	37.02	1285	4.46
Tekirdağ	40.99	27.49	3	3.92
Tokat	40.3	36.56	623	4.13

**Tablo 3.** Test istasyonları

İstasyon	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Yükseklik (m)	SR (kWsa/m <sup>2</sup> )
Aksaray	38.37	34.03	900	4.72
Ardahan	41.11	42.7	2200	3.99
Bartın	41.62	32.35	25	4.12
Batman	37.89	41.12	550	4.79
Bayburt	40.25	40.43	1550	4.33
Düzce	40.84	31.15	160	3.96
Iğdır	39.92	44.06	858	4.5
Karabük	41.2	32.62	278	4.07
Karaman	37.17	33.22	1250	4.91
Kırıkkale	39.85	33.31	700	4.11
Kilis	36.72	37.12	640	4.89
Osmaniye	37.1	36.25	120	4.81
Şanlıurfa	37.16	38.79	547	4.94
Şırnak	37.52	42.45	1350	4.8
Trabzon	41	39.78	37	3.58
Tunceli	39.1	39.55	914	4.68
Uşak	38.67	29.4	921	4.47
Van	38.49	43.39	1661	4.62
Yalova	40.66	29.21	2	4.11
Yozgat	39.82	34.81	1418	4.39
Zonguldak	41.45	31.78	136	3.99

Regresyon analizinden kısaca bahsetmek gerekirse iki ya da daha fazla sayısal değişken arasındaki ilişki seviyesini belirlemek için kullanılan çözümlenme yöntemidir. Tek değişkenli regresyon, bir değişkenin kullanıldığı çözümlenmedir. Çok değişkenli regresyon ise iki ya da daha fazla değişkenin kullanıldığı çözümlenmelerdir. Regresyon modelleri akademik çalışmalarda elde edilen veriler kullanılarak bir öngöründe bulunmak için kullanılmaktadır. M5 modeli ise regresyon ağacı modellerinin birleşiminden oluşan bir karar ağacı yöntemidir. M5 model ağacı yönteminin ana unsuru iki bileşenli karar ağacı prensibidir. Karar ağacı metodu, bir bağımlı değişkenin değerini tahminini bağımsız değişken kümesindeki değerleri kullanarak nasıl bir tahminde bulunabileceğini gösteren iki yönlü ayrık ağaç olarak temsil edilen mantıksal bir modeldir (Demirci, 2019). Karar ağacı modelinde kategorik veriler kullanılabilirken, M5 model ağacı yönteminde ise kategorik verilerin yanı sıra nicel veriler de kullanılabilir (Quinlan, 1992). Quinlan (1992), M5 karar ağacını üç çeşit düğüm içeren ve model ağacının oluşturulması ve dalların budanması şeklinde iki ana aşamadan oluşan bir regresyon ağacı olarak ifade etmektedir. Bu düğümler kök, dal ve yaprak düğümleri olarak düşünülmektedir. İlk aşamada veriler kök düğümüne aktarılırak burada işlenir ve daha sonra kök düğümünün bölünmesi sonucunda düğüm sağ ve sol olmak üzere ikiye bölünerek birbirine benzeyen iki düğüm oluşur (Ji ve ark., 2016). Bu aşamadan sonra düğümler sürekli bölünerek dallara ve yapraklara kadar uzanarak bir model ağacı oluşur. Dolayısıyla kök üst uzayı oluşturur ve bu üst uzay dal ve yapraklara doğru alt uzaylara bölünür. Bu modelde her düğüm bir tahmin değişkenini temsil etmektedir ve her düğüm sağ ve sol olmak üzere iki dala ayrılır. M5 karar ağacı yönteminde iki ana unsurdan ilk unsur bir kök düğümünden başlayarak her seferinde iki alt düğüme bölünerek bir ağaç modeli inşa etmek, ikinci unsur ise inşa edilen bu ağacın dallarını budama işlemidir. Ağaç modelinin inşa edildiği ilk aşamada girdi verileri alt uzaylara bölünerek

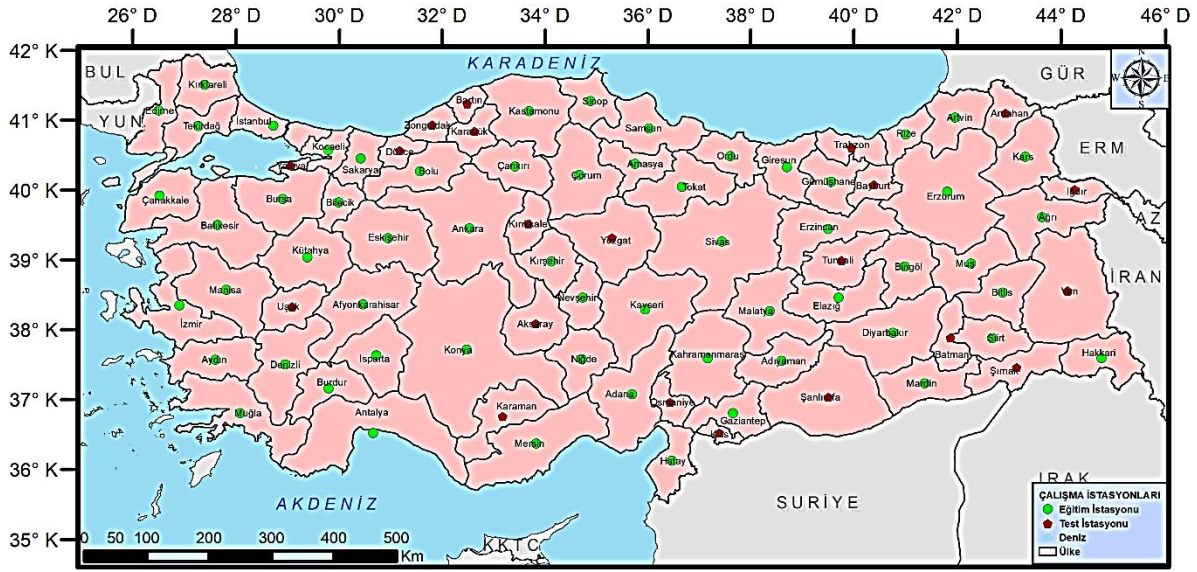
bir karar ağacı oluşturulur ve her alt uzay için bir doğrusal regresyon modeli tanıtılır (Granata ve ark., 2017; Kişi, 2015). Bölme kriteri, bir düğümde elde edilen sınıf değerlerinin standart sapması kullanılarak kriterlere ayrılması için kullanılarak her kriterin o düğümde test edilmesi sonucunda ortaya çıkan hataya bağlı beklenen azalmanın hesaplanmasına bağlıdır (Kisi, 2015).

Bölme kriterinin amacı, düğümdeki hata oranını açıklayarak düğümlerin standart sapmasını minimuma indirmektir. Eğer düğümdeki standart sapmayı minimuma indirmek mümkün değilse düğüm yaprak olarak biter (Bahadırılı, 2021). Yönteme ait standart sapma azalması (SDR) Eşitlik 1’de verilmiştir (Pal ve Deswal, 2009).

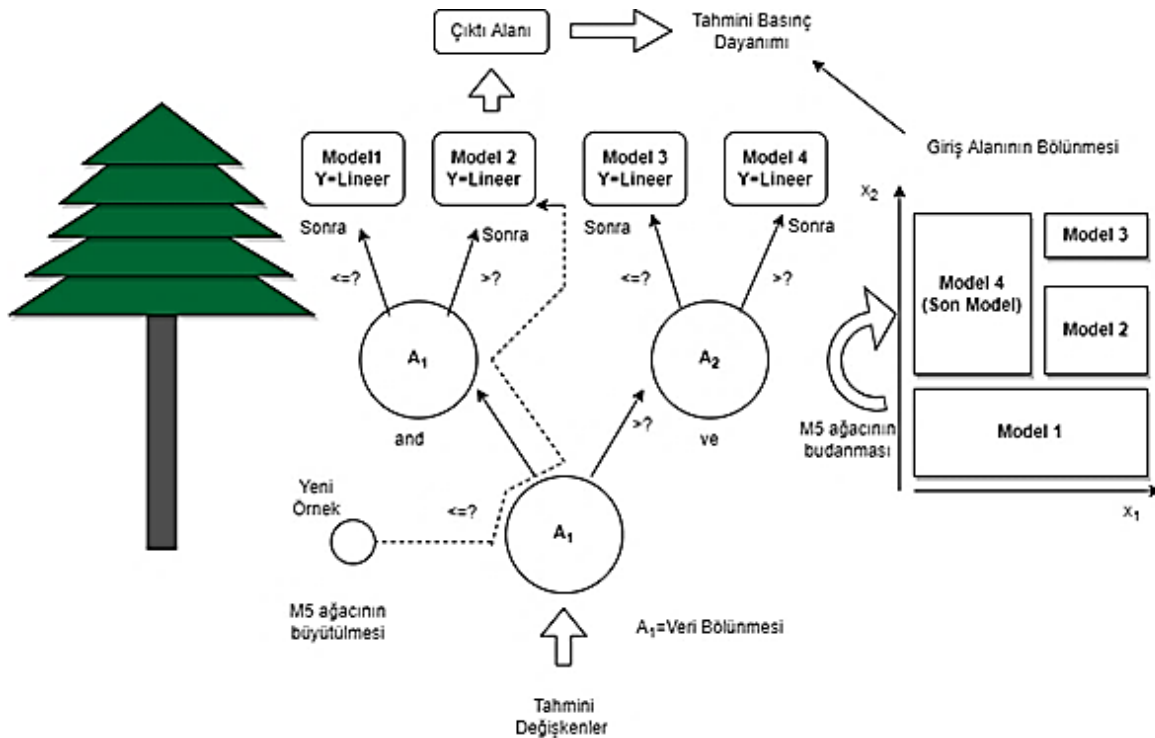
$$SDR = sd(T) - \sum \frac{|T_i|}{|T|} sd(T_i) \quad (1)$$

Formüldeki sd standart sapmayı göstermektedir. Düğüme tesir eden bir dizi bütününü ise T simgesi ifade etmektedir. Düğümdeki bölünmeden oluşan potansiyel verilerin i inci sonuçlarının bulunduğu alt uzaylar ise Ti olarak ifade edilmektedir.

Bölünme işlemi sırasında eğitim aşamasında eğitim için verilen verilere yüksek doğrulukta uyumalara neden olabilecek çok fazla dalları olan çok büyük bir ağaç oluşmaktadır. Bu nedenle dalları budamak gerekir. Quinlan’ın algoritması budama işlemine çok uygundur. Şekil 2’de Model ağacı yapısı yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı Türkiye’nin 81 ili



Şekil 2. Model ağacı yapısı

Şekil 2’te gösterilen model ağacı diyagramında bir kök hüresinin her seferinde ikiye bölünerek ağacın dallarını düğüm noktalarını ve yapraklarını oluşturup daha sonra çok büyüyen bu ağacın budanması anlatılmaktadır. İlk adımda, algoritma ağacın olabildiğince büyümesine izin verir. Daha sonra, modelin daha yüksek doğruluğa ulaştıramayan dalları budanır. Son adımda ise, budama işleminden sonra, keskin hatlara sahip (ayırışma) ağaç modelini yumuşatmak için düzleştirme işlemi uygulanır (Bahadırli, 2021).

### 2.3. IDW Metodu

Ters Mesafe Ağırlıklandırma (IDW) Metodu, örnek noktalar tarafından örneklenemeyen noktalara veri oluşturmak için kullanılan bir enterpolasyon metodudur (Hastaoğlu ve ark., 2022; Yılmaz ve ark., 2023). Bu verilerin oluşturulması, çeşitli noktalarla komşuluklar değerlendirilerek uygulanan interpozisyonel mesafeye ve formüle bağlıdır (Taylan ve Damçayiri, 2016; Demirgöl ve ark., 2022). Yönteme ait genel eşitlikler Eşitlik 2 ve Eşitlik 3’te gösterilmektedir.

$$f(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i \quad (2)$$

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-p}} \quad (3)$$

Burada;  $w_i$ ; ağırlıkları temsil eder ve değerlerinin toplamı Eşitlik 1’deki gibi olmalıdır

$f_i$ ; bilinen yükseklik değerini temsil eder,

$p$ ; bir güç parametresi olarak alınır ve üs ile gösterilir,

$h_i$ ; örnek noktalar ile enterpolasyon noktaları arasındaki uzamsal mesafeyi temsil eder (Krige, 1951; Shepard, 1968).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Hidrolojik ve meteorolojik tahminler değerlendirilirken gözlenmiş değer ile modelde tahmin edilen değer arasındaki hata ölçütlerinin kullanımına sıklıkla rastlanılmaktadır (Yaseen, 2021). Literatürde yaygın olarak kullanılan karşılaştırma kriterlerinden Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH), Ortalama Mutlak Bağıl Hata (OMBH), determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) bu çalışmada karşılaştırma kriteri olarak tercih edilmiştir. Karşılaştırma kriterlerinin formülleri Eşitlik 4-7’de gösterilmektedir.

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (SR_p - SR_o)^2} \quad (4)$$

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |SR_p - SR_o| \quad (5)$$

$$OMBH = \frac{1}{N} \left( \frac{\sum_{i=1}^N |SR_p - SR_o|}{SR_o} * 100 \right) \quad (6)$$

$$R^2 = \left( \frac{N * (\sum SR_o * SR_p) - (\sum SR_o) * (\sum SR_p)}{\sqrt{(N * \sum SR_o^2) - (\sum SR_o)^2} * \sqrt{(N * \sum SR_p^2) - (\sum SR_p)^2}} \right)^2 \quad (7)$$

Eşitliklerde kullanılan N veri sayısı,  $SR_p$  modelde tahmin edilen solar radyasyon değerini,  $SR_o$  gerçekte gözlenen solar radyasyon değerini ifade etmektedir. Bu çalışmada kullanılan veriler MGM’den temin edilen solar radyasyon verileridir ve birimler  $kWsa/m^2$  cinsindedir. Karşılaştırma kriterlerimizden Karekök Ortalama Karesel Hata, Ortalama Mutlak Hata ve Ortalama Mutlak Bağıl Hata, hata sonuçları olduğundan modeldeki hata sonuçlarının birimleri de aynı şekilde  $kWsa/m^2$ ’dir. Hata sonuçlarının yüksek olması modelin gerçek veriye göre uzakta yani kötü sonuç verdiğini anlatır. Düşük olması ise modelin gerçek veriye göre yakın, hatası düşük ve modelin uygun olduğunun göstergesidir.  $R^2$ ’nin 1 olması, deneysel verilerin kusursuz bir doğrusal eğri sağlandığının kanıtıdır.  $R^2$ ’nin 0 olduğu durumlar testin tamamen başarısız olduğunu göstermektedir. M5 Model Ağacı modellemesinde 1 giriş (ay) 1 çıkış (SR tahmini), 2 giriş (ay ve enlem) 1 çıkış (SR tahmini) ve 3 giriş (ay-enlem-boylam) 1 çıkış (SR tahmini) şeklinde üç farklı giriş veri seti oluşturulmuştur. Modelleme sonucunda elde edilen karşılaştırma kriterleri Tablo 4 ve Tablo 5’te verilmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin %75’i eğitim aşamasında, %25’i ise test aşamasında kullanılmıştır.

**Tablo 4.** Model 5 Karar Ağacı (M5-Tree) modeli eğitim sonuçları

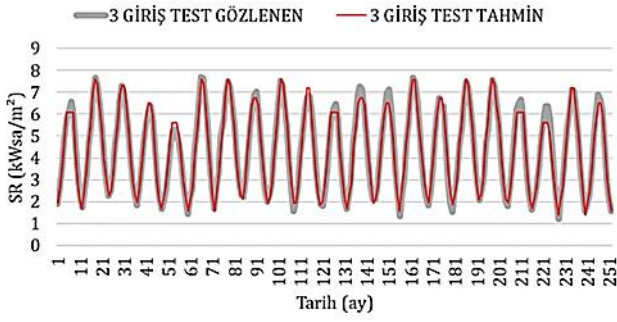
Değerlendirme Kriterleri	Girişler (eğitim)		
	1 Giriş	2 Giriş	3 Giriş
KOKH	0.4227	0.1997	0.1749
OMH	0.3359	0.1300	0.1085
OMBH	8.5477	3.2634	2.6475
$R^2$	0.9472	0.9882	0.9909

**Tablo 5.** Model 5 Karar Ağacı (M5-Tree) modeli test sonuçları

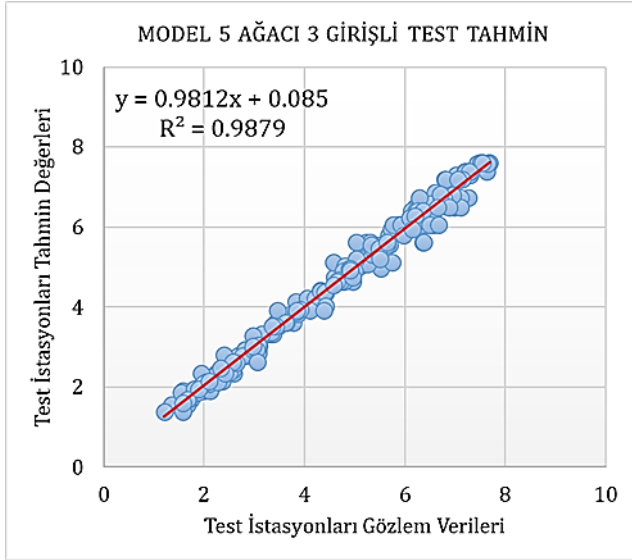
Değerlendirme Kriterleri	Girişler (Test)		
	1 Giriş	2 Giriş	3 Giriş
KOKH	0.4353	0.2638	0.3604
OMH	0.3543	0.1748	0.1451
OMBH	9.4156	4.2398	3.6029
$R^2$	0.9448	0.9797	0.9879

Analiz sonucunda test aşamasında en iyi tahmini 3 giriş-1 çıkışa ait model vermiştir. Bu modele ait gidış grafiği ve saçılma grafiği Şekil 3 ve Şekil 4’te yer almaktadır.

Şekil 3’te görüldüğü üzere model tahminlerinin gözlenen verilerle üst üste geldiği fakat bazı uç noktaları yakalayamadığı tespit edilmiştir.



Şekil 3. 3 girişli test aşamasına ait gidiş grafiği



Şekil 4. 3 girişli test aşamasına ait saçılma grafiği

Şekil 4 incelendiğinde modelin denklemi en uygun doğruya ( $y=x$ ) oldukça benzerdir ve  $R^2$  değeri 0.9879 olarak elde edilmiştir. Bu değer gözlenen ile tahmin edilen değerlerin birbirlerine oldukça yakın olduğunu göstermektedir. Türkiye'nin 2004-2018 yıllarını kapsayan gözlenmiş aylık ortalama SR değerleriyle IDW enterpolasyon haritası oluşturularak Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5'te görüldüğü üzere Türkiye'nin kuzeyinden güneye doğru çizgisel şekilde SR değerleri artmaktadır. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Ortadoğu ikliminin etkisiyle havanın nem oranı denize sınırı olan Akdeniz Bölgesine göre daha az olduğu için SR değerlerinin nispeten daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan 21 adet test istasyonuna ait gözlenen ve tahmin edilen verilerin saçılma grafikleri ise Şekil 6'da verilmiştir.

Grafiklerde de görüldüğü gibi M5-tree yöntemiyle yapılan tahmin çalışmalarında tahmin değerleri gözlenen değerlerle çoğu noktada örtüşse de özellikle pik noktalarda gözlenen değeri yakalayamamıştır.

Literatürde yer alan SR tahmin çalışmalarının sonuçları incelendiğinde, Sözen ve Arcaklıoğlu (2005) YSA kullanarak oluşturdukları 3 farklı algoritmayla gerçekleştirdikleri çalışmada 12 istasyon içinden en iyi sonuç veren istasyonun (Artvin ist.)  $R^2$  değerlerine bakıldığında 0,999 olduğu en kötü sonuç veren istasyonun (Çanakkale ist.)  $R^2$  değerlerine bakıldığında 0,998 olduğu görülmüştür. Özgören ve ark. (2012) YSA kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında 10 model

inden en iyi sonucu veren modelin  $R^2$  değerinin 0,9872, en kötü sonucu veren  $R^2$  değerinin ise 0,9771 olduğu görülmüştür. Wang ve ark. (2017) ANFIS-SC, ANFIS-GP ve M5 Model Ağacı kullanarak oluşturdukları 3 farklı model ile gerçekleştirdikleri çalışmada M5 Model Ağacı tahmini için 21 bölge içinden en iyi sonuç veren istasyonun 51777 olduğu ve OMH değerinin 2,1 ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$ ), KOKH değerinin 2,79 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) ve  $R^2$  değerinin 0,85 olduğu, en kötü sonuç veren istasyonun 53487 olduğu ve OMH 2,95 ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$ ), KOKH değerinin 3,87 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) ve  $R^2$  değerinin 0,74 olduğu görülmüştür.

Kuncan ve Şahin (2017) YSA kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada 20 model içinden en iyi sonuç veren modelin KOKH değerine bakıldığında 1,550 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) olduğu ve çalışmalarındaki en başarısız tahminine ait KOKH değerinin 1,782 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) olduğu görülmüştür. Aksoy ve Bolat (2017) YSA kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada 13 model içinden en iyi sonuç veren modelin KOKH değerine bakıldığında 1,277 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) olduğu ve çalışmalarındaki en başarısız tahminine ait KOKH değerinin 1,669 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) olduğu görülmüştür.

Ruşen (2018) SR bileşenlerini araştırdığı çalışmasında HELIOSAT yöntemini, en yaygın uydu tabanlı küresel güneş ışınımı tahmin modeli olduğunu belirtmiştir.

Keshtegar ve ark. (2018) Kriging, yanıt yüzeyi yöntemi (RSM), çok değişkenli adaptif regresyon (MARS) ve M5-tree gibi dört farklı sezgisel regresyon ile gerçekleştirdikleri çalışmada en iyi M5-tree modelinin Antakya istasyonunda 5 girişli veri setinde elde etmişlerdir. Modellerine periyodiklik bileşeninin de eklenmesiyle en iyi OMH değerinin 5,81 ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$ ), en iyi KOKH değerinin 7,63 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) olduğu belirtmişlerdir. Periyodiklik parametresinin eklenmediği modellemelerde ise en iyi M5-tree modelinin Antakya İstasyonunda 5 girişli modelinde en iyi OMH değerinin 9,26 ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$ ), en iyi KOKH değerinin 12,35 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ), olduğu belirtmişlerdir. Bu çalışmadan da anlaşılacağı üzere periyodiklik bileşeni tahmin performansını artırmaktadır.

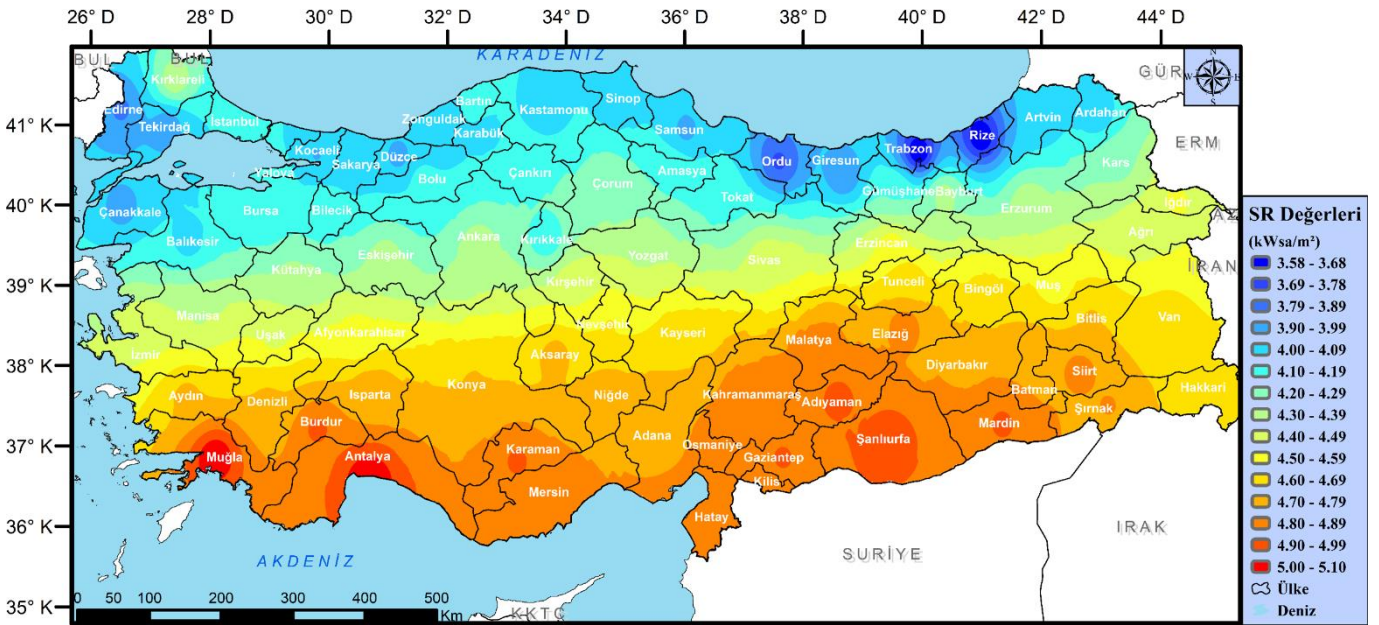
Kaba ve ark. (2018) Derin öğrenme kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada 16 kombinasyon içinden en iyi sonuç veren kombinasyonu olan C16 kombinasyonunun OMH, KOKH ve  $R^2$  değerlerine bakıldığında OMH:0,61 ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$ ), KOKH:0,78 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ),  $R^2$ :0,98, en kötü kombinasyonun tahminine bakıldığında ise C01 kombinasyonunun OMH, KOKH ve  $R^2$  değerlerine bakıldığında OMH:1,52 ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$ ), KOKH:1,94 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ),  $R^2$ :0,867 olduğu görülmüştür. Alizamir ve ark. (2020) 6 farklı makine öğrenmesi tekniği kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında Antalya/Mersin İstasyonlarında en iyi sonuçların Gradyan Artırma Ağacı yönteminde olduğu (KOKH:8,747/7,352 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ), OMH:7,056/5,61 ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$ ),  $R^2$ :0,946/0,93) en kötü sonuçların ise Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı yönteminde (KOKH:17,073/16,282 ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ), OMH:14,471/11,141 ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$ ),  $R^2$ :0,839/0,72) olduğu görülmüştür. Çıtakoğlu ve Demir (2021) Derin Öğrenme kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada 81 istasyonu tahmininde en iyi sonuç veren istasyonun değerlerine bakıldığında OMH değerinin 0,17 ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{gün}$ ), KOKH değerinin 0,228

(MJ/m<sup>2</sup>) ve R<sup>2</sup> değerinin 0,987, en kötü sonucu veren istasyonun ise OMH değerinin 0,174 (MJ/m<sup>2</sup>gün), KOKH değerinin 0,238 (MJ/m<sup>2</sup>) ve R<sup>2</sup> değerinin 0,985 olduğu görülmüştür. Ağbulut ve ark. (2021) 4 farklı makine öğrenmesi algoritması kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmalarında en iyi sonucu veren modelin KOKH değerinin 2,157 (MJ/m<sup>2</sup>) ve R<sup>2</sup> değerinin 0,936, en kötü sonucu veren modelin KOKH değerinin 2,776 ve R<sup>2</sup> değerinin 0,883 olduğu görülmüştür.

Model ağaçlarının diğer yumuşak hesaplama araçlarından farklı olarak en büyük avantajı, daha kolay ve hızlı kullanımları yanı sıra anlaşılır matematiksel kuralları olmasıdır. Ayrıca çok büyük veri kümelerinde bile kullanılabilir olmalarının yanında kabul edilebilir sonuçlar vermesi yönüyle de diğer yöntemlere göre oldukça avantajlıdır (Bonakdar ve Etemad-Shahidi, 2011). Ayrıca Pal (2007) model ağacı yöntemlerinden

M5-tree model ağacının, sürekli sınıfları tahmin etmede oldukça başarılı olduğunu belirtmektedir (Pal, 2007).

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında gerek KOKH gerekse R<sup>2</sup> değerlerinin literatürle uyumlu olduğu ve M5-tree'nin alternatif bir yöntem olabileceği düşünülmektedir. M5-tree yöntemi özellikle literatürde yer alan makine öğrenmesi yöntemlerinde olduğu gibi bir parametreye bağımlı değildir ve bir optimizasyon süreci barındırmamaktadır. Bu da onu diğer modellere göre daha kararlı yapmaktadır. Başka bir ifade ile başlangıç ağırlık ataması hücreler arasında yapılmadığı için model kaç defa çalıştırılırsa çalıştırılsın sonuçlar değişmemektedir. Ayrıca derin öğrenme gibi yöntemlere göre model başarısı düşük olsa da modelleme hızı oldukça fazladır. Son olarak model sonucu model hiper parametresine bağlı olmayıp sınırlamalara bağlı denklemlerden oluşmaktadır.



Şekil 5. SR ortalama değerleri için hazırlanmış IDW haritası

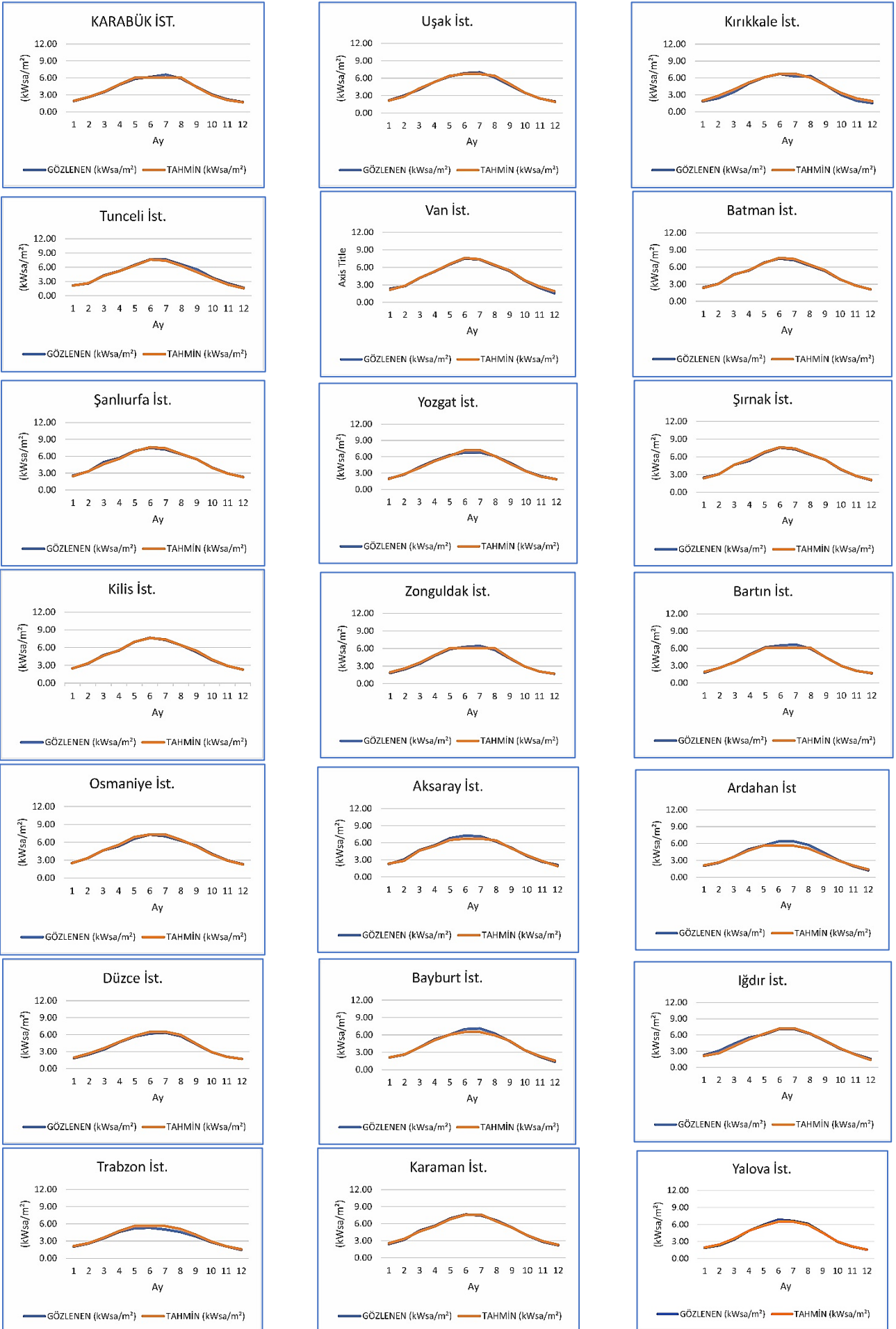
#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, Türkiye'nin 2004-2018 yılları arasındaki aylık ortalama solar radyasyon değerleri 1 giriş 1 çıkış, 2 giriş 1 çıkış, 3 giriş 1 çıkış olmak üzere çeşitli 3 farklı giriş veri seti (ay (1 giriş), ay-enlem (2 giriş), ay-enlem-boylam (3 giriş)) (kWsa/m<sup>2</sup>) ve M5 tree sezgisel regresyon tekniği kullanılarak tahmin edilmiştir. Çalışmada istasyonların %75'lik kısmı eğitim (60 adet), %25'lik kısmı ise (21 adet) test aşamalarında kullanılmıştır. Karşılaştırma kriteri olarak Karekök ortalama karesel hata (KOKH), ortalama mutlak hata (OMH), Ortalama Mutlak Bağlı Hata (OMBH), ve determinasyon katsayısı (R<sup>2</sup>) kullanılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde; M5-tree sezgisel regresyon tekniğinde en iyi sonuç 3 giriş (ay-enlem-boylam) 1 çıkışlı (SR tahmin değeri) algoritmasıyla yapılan analizde görülmektedir. M5-tree yönteminde 1 giriş sonuçları;

(KOKH= 0.4353, OMH= 0.3543, OMBH=9.4156, R<sup>2</sup>= 0.9448), incelendiğinde sonuçlar tatmin edici olsa da en az hataya sahip tahminleri 3 girişli model vermiştir ve sonuçları; (KOKH= 0.3604, OMH= 0.1451, OMBH= 3.6029, R<sup>2</sup>= 0.9879) şeklindedir. Bu sonuçlar literatürle karşılaştırıldığında literatürde kullanılan yöntemlerle uyumlu olduğu görülmüştür.

Gelecek çalışmalarda, her bir istasyonun ayrı ayrı modellenmesi ve model performansına etkisi araştırılacaktır. Farklı yöntemlerle (destek vektör makineleri, derin öğrenme, rastgele orman vb.) modellemeler yapılacak, sonuçlar hem hata kriterleri bakımından hem de model süreleri bakımından karşılaştırılacaktır. Ayrıca eğitim ve test oranları değiştirilerek eğitim-ters oranlarının performansa etkisi araştırılacaktır. Son olarak test istasyonlarının sürekli değiştirilmesi suretiyle en başarılı yöntem araştırılacaktır.



Şekil 6. Test istasyonlarında özlenen ve tahmin edilen SR değerleri

**Bilgilendirme/Teşekkür**

Yazarlar desteklerinden dolayı KTO Karatay Üniversitesine teşekkür etmektedir.

**Araştırmacıların katkı oranı**

**Taha Demirgöl:** Literatür taraması, Modelleme, Makale yazımı; **Vahdettin Demir:** Kurgu, Revizyonlar, **Mehmet Faik Sevimli:** Son kontrol.

**Çatışma Beyanı**

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**Kaynakça**

- Ağbulut, Ü., Gürel, A. E., & Biçen, Y. (2021). Prediction of daily global solar radiation using different machine learning algorithms: Evaluation and comparison. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110114.
- Ahmad, M. J., & Tiwari, G. N. (2011). Solar radiation models—A review. *International Journal of Energy Research*, 35(4), 271-290.
- Aksoy, S., & Bolat, M. (2017). Akdeniz Bölgesinin Noaa/Avhrr Uydu Verileri Kullanılarak Solar Radyasyonun YSA Metodu ile Hesaplanması. *International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17 Bitlis)*, 654-660.
- Alizamir, M., Kim, S., Kisi, O., & Zounemat-Kermani, M. (2020). A comparative study of several machine learning based non-linear regression methods in estimating solar radiation: Case studies of the USA and Turkey regions. *Energy*, 197, 117239.
- Bahadırlı, Z. M. (2021). *Yeraltı suyu seviye değişiminin M5 karar ağacı ve yapay sinir ağları yöntemleriyle belirlenmesi* (Master's thesis, İskenderun Teknik Üniversitesi/Lisansüstü Eğitim Enstitüsü/İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı).
- Bhardwaj, S., Sharma, V., Srivastava, S., Sastry, O. S., Bandyopadhyay, B., Chandel, S. S., & Gupta, J. R. P. (2013). Estimation of solar radiation using a combination of Hidden Markov Model and generalized Fuzzy model. *Solar Energy*, 93, 43-54.
- Bonakdar, L., & Etemad-Shahidi, A. (2011). Predicting wave run-up on rubble-mound structures using M5 model tree. *Ocean Engineering*, 38(1), 111-118.
- Bora, E., Tekelli, M., & Etöz, M. (2015). Menemen Ovasında Referans Bitki Su İhtiyacı ve Ölçülen Solar Radyasyonun Zamansal Değişimi. *Anadolu Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 65-76.
- Cornejo-Bueno, L., Casanova-Mateo, C., Sanz-Justo, J., & Salcedo-Sanz, S. (2019). Machine learning regressors for solar radiation estimation from satellite data. *Solar Energy*, 183, 768-775.
- Citakoglu, H. (2015). Comparison of artificial intelligence techniques via empirical equations for prediction of solar radiation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 118, 28-37.
- Çitakoğlu, H., & Demir, V. (2021). Solar Radyasyonun Derin Öğrenme Kullanılarak Tahmin Edilmesi:

- Türkiye Örneği. *International World Energy Conference*, 167-175.
- Demirci, M. (2019). Destek Vektör Makineleri ve M5 Karar Ağacı Yöntemleri Kullanılarak Yağış Akış İlişkinin Tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(3), 1113-1124. <https://doi.org/10.24012/dumf.525658>
- Demirgöl, T., Yılmaz, C. B., Zıpır, B. N., Kart, F. S., Pehriz, M. F., Demir, V., & Sevimli, M. F. (2022). Investigation of Turkey's climate periods in terms of precipitation and temperature changes. *Engineering Applications*, 1(1), 80-90.
- Feng, Y., Gong, D., Zhang, Q., Jiang, S., Zhao, L., & Cui, N. (2019). Evaluation of temperature-based machine learning and empirical models for predicting daily global solar radiation. *Energy conversion and management*, 198, 111780. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2019.111780>
- Granata, F., Papirio, S., Esposito, G., Gargano, R., & De Marinis, G. (2017). Machine learning algorithms for the forecasting of wastewater quality indicators. *Water*, 9(2), 105. <https://doi.org/10.3390/w9020105>
- Guermoui, M., Melgani, F., Gairaa, K., & Mekhalfi, M. L. (2020). A comprehensive review of hybrid models for solar radiation forecasting. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120357. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120357>
- Gül, M., & Çelik, E. (2017). ANFIS kullanılarak Tunceli ili için global güneş radyasyonu tahmini. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(4), 891-899.
- Hastaoğlu, K. Ö., Göğsu, S., & Gül, Y. (2022). Determining the relationship between the slope and directional distribution of the UAV point cloud and the accuracy of various IDW interpolation. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(2), 161-173. <https://doi.org/10.26833/ijeg.940997>
- İşcan, F., & Ilgaz, A. (2017). Analysis Of Geographic/Urban Information System Web Presentations Of Local Governments In Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(3), 75-83. <https://doi.org/10.26833/ijeg.317088>
- Ji, Y., Lei, X., Cai, S., & Wang, X. (2016). Application of a classifier based on data mining techniques in water supply operation. *Water (Switzerland)*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/w8120599>
- Jiang, Y. (2009). Computation of monthly mean daily global solar radiation in China using artificial neural networks and comparison with other empirical models. *Energy*, 34(9), 1276-1283. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2009.05.009>
- Kaba, K., Sarıgül, M., Avcı, M., & Kandırmaz, H. M. (2018). Estimation of daily global solar radiation using deep learning model. *Energy*, 162, 126-135. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.202>
- Keshtegar, B., Mert, C., & Kisi, O. (2018). Comparison of four heuristic regression techniques in solar radiation modeling: Kriging method vs RSM, MARS and M5 model tree. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 81, pp. 330-341). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.054>



- Kılıç, B., & Kumaş, K. (2016). Burdur İli Güneşlenme Değerlerinin Yapay Sinir Ağları Metodu ile Tahmini. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 6(1), 38–44.
- Kisi, O. (2015). Pan evaporation modeling using least square support vector machine, multivariate adaptive regression splines and M5 model tree. *Journal of Hydrology*, 528, 312–320. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.052>
- Krige, D. G. (1951). A Statistical Approach To Some Basic Mine Valuation Problems On The Witwatersrand. *Chemical Journal of the Metallurgical & Mining Society of South Africa*, 52(6), 119–139.
- Kuncan, F., & Şahin, M. (2017, September). Yapay sinir ağı ve uydu dataları kullanılarak güneş radyasyonunun tahmini. In 2017 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP) (pp. 1-10). IEEE.
- Özdoğan, M., Bilgili, M., & Şahin, B. (2012). Estimation of global solar radiation using ANN over Turkey. *Expert Systems with Applications*, 39(5), 5043–5051. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.11.036>
- Pal, M. (2007). M5 model tree for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 27(4), 825–831. <https://doi.org/10.1080/01431160500256531>
- Pal, M. & Deswal, S. (2009). M5 model tree based modelling of reference evapotranspiration. *Hydrological Processes*, 23(10), 1437–1443. <https://doi.org/10.1002/hyp.7266>
- Rusen, S. E. (2018). Modeling and Analysis of Global and Diffuse Solar Irradiation Components Using the Satellite Estimation Method of HELIOSAT. *CMES*, 115(3), 327–343. <https://doi.org/10.3970/cmcs.2018.00159>
- Quinlan, J. R. (1992). Learning with Continuous Classes. *Proceedings of Australian Joint Conference on Artificial Intelligence*, Hobart 16-18 November 1992, 343-348.
- Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In *Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference (ACM '68)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 517–524. <https://doi.org/10.1145/800186.810616>
- Sözen, A. & Arcaklıoğlu, E. (2005). Solar potential in Turkey. *Applied Energy*, 80(1), 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2004.02.003>
- Şeker, M. (2021). Yapay Sinir Ağı (YSA) Kullanılarak Meteorolojik Verilere Dayalı Solar Radyasyon tahmini. *DEU Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik*, 23(69), 923–935. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2021236920>
- Taktak, F., & İli, M. (2018). Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği. *Geomatik*, 3(1), 1-21.
- Taylan, E. D., & Damçayırı, D. (2016). Isparta bölgesi yağış değerlerinin IDW ve Kriging enterpolasyon yöntemleri ile tahmini. *Teknik Dergi*, 27(3), 7551-7559.
- URL-1: <https://www.mgm.gov.tr/FTPDATA/arastirma/radyasyon/heliosat.pdf>
- URL-2: [https://mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon\\_iller.aspx](https://mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx)
- Wang, L., Kisi, O., Zounemat-Kermani, M., Zhu, Z., Gong, W., Niu, Z., Liu, H., & Liu, Z. (2017). Prediction of solar radiation in China using different adaptive neuro-fuzzy methods and M5 model tree. *International Journal of Climatology*, 37, 1141–1155. <https://doi.org/10.1002/joc.4762>
- Yaseen, Z. M. (2021). An insight into machine learning models era in simulating soil, water bodies and adsorption heavy metals: Review, challenges and solutions. *Chemosphere*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130126>
- Yılmaz, C. B., Bodu, H., Yüce, E. S., Demir, V., & Sevimli, M. F. (2023). Türkiye'nin uzun dönem ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin üç farklı enterpolasyon yöntemi ile tahmini. *Geomatik*, 8(1), 9-17. <https://doi.org/10.29128/geomatik.984310>



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## Sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için bisiklet ve yürüyüş yolu yer seçimi: Ankara ili Mamak ilçesi Ege mahallesi örneği

Muhammed Yusuf Akbaba\*<sup>1</sup>, Göktañ Atay<sup>1</sup>, Murat Başeğmez<sup>2</sup>, Cevdet Coşkun Aydın<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Milli Eğitim Bakanlığı, CBS ve Emlak Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

CBS  
AHP  
Sürdürülebilirlik  
Yürünebilirlik  
Bisiklet Yolu

### Araştırma Makalesi

Geliş: 28.07.2022  
Revize: 03.09.2022  
Kabul: 11.09.2022  
Yayınlanma: 15.02.2023



### Öz

Hızla gelişen kentlerde ulaşımın verimli ve sürdürülebilir olması zorunlu hale gelmiştir. Bunu sağlamak için ulaşım olanaklarının artırılması ve iyileştirilmesi oldukça önemlidir. Sürdürülebilir ulaşımın en yaygın yöntemlerinden olan yürümek ve bisiklet sürmek, çevreci olmalarının yanı sıra birçok alanda da insanlara olumlu etkiler katmaktadır. Bu çalışmada, seçilen bir bölgede yürüyüş ve bisiklet yolları çeşitli kriterlerle değerlendirilerek mevcut durum analizi yapılmıştır. İlk olarak Türkiye'de bisiklet ve yürüyüş yolları ile ilgili yayınlanan yönetmelikler ve raporlar incelenmiştir. Ayrıca, dünya genelinde ve Türkiye'de konu hakkında yapılan akademik çalışmalar değerlendirilerek dünyadaki mevcut durum irdelenmiştir. Uygulama aşamasında, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak çalışma alanı için yürünebilir ve bisiklete binilebilir yol güzergahı tasarımı yapılmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) metodu kullanılarak, uzman kişilerden alınan anket verileri ile yer seçim analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen uygunluk haritalarında en uygun alanlar 5 puan, en az uygun alanlar ise 1 puan ile puanlandırılarak yürünebilirlik ve bisiklete binilebilirlik için en uygun güzergahların mahalle sınırının merkezinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, çalışma alanında bisiklet yol güzergahının olmadığı ve yürüyüş yolu için tasarlanan kaldırımlarının yetersiz olduğu belirlenmiştir.

## Bicycle and walking path site selection for a sustainable transportation system: A case study of Ege neighborhood in Mamak district of Ankara province

### Keywords

GIS  
AHP  
Sustainability  
Walkability  
Cycling

### Research Article

Received: 28.07.2022  
Revised: 03.09.2022  
Accepted: 11.09.2022  
Published: 15.02.2023

### Abstract

Efficient and sustainable transportation became mandatory in rapidly developing cities. So, it is vital to grow and improve transportation opportunities. Walking and cycling are the most common sustainable transportation methods, both environmentalist and contribute positively to people in many fields. In this study, walking and cycling paths in a selected region were evaluated with various criteria and analyzed the current situation. The regulations and reports on bicycle and walking paths in Turkey were reviewed. Also, the current situation is examined by evaluating the academic studies on the subject in the world and Turkey. In the application stage, a walkable and cycling paths route was designed for study area by using Geographic Information Systems (GIS). Using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, site selection analyzes were carried out with the questionnaire data taken from the experts. The suitability maps obtained scored the most suitable sites with 5 points and the least suitable sites with 1 point. It was determined that the most suitable routes for walkability and cycling were in the center of the neighbourhood border. In addition, it was determined that there is no bicycle path in the study area, and the pavements designed for walking paths are insufficient.

### \*Sorumlu Yazar

\* (myusufakbaba@hotmail.com) ORCID ID 0000-0001-8221-5790  
(goktanatay@hotmail.com) ORCID ID 0000-0002-6659-0440  
(murat.basegmez@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-7704-9510  
(ceaydin@hacettepe.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-2064-6936

### Kaynak Göster (APA)

Akbaba, M. Y., Atay, G., Başeğmez, M., Aydın, C. C. (2023). Sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için bisiklet ve yürüyüş yolu yer seçimi: Ankara ili Mamak ilçesi Ege mahallesi örneği. *Geomatik*, 8(2), 136-151

## 1. Giriş

### 1.1. Problem Tanımı

İnsanların üzerinde yaşadığı mekân parçacığı olarak tanımlanan kent, Farsça “şehir” sözcüğünün dilimizdeki karşılığıdır. Kentler sürekli toplumsal gelişme içinde bulunan ve toplumun yerleşme, barınma, gidiş-geliş, çalışma, dinlenme, eğlenme gibi ihtiyaçlarının karşılandığı, pek az kimsenin tarımsal uğraşlarda bulunduğu, köylere bakarak nüfus yönünden daha yoğun olan ve küçük topluluk birimlerinden oluşan yerleşme birimleridir. Bir kentte yaşayan insanlar, çevrelerindeki canlı ve cansız bütün varlıklarla sürekli etkileşim içindedir. İnsanların içinde yaşadığı çevrenin sağlıklı yönetilebilmesi ve devamlılığının sağlanabilmesi için kamu ve özel kesim arasında iletişimin sağlıklı olduğu, denetimlerinin düzenli olarak sağlandığı ve elverişli planlamaların yapılabildiği bir sisteme ihtiyaç vardır (Ersoy, 2016).

Şehirlerde nüfus artışı ve yüz ölçüm ile birlikte ulaşımında kat edilecek mesafe de artmıştır. Mesafenin uzaması, ulaşım için yürüyüşün yetersiz kalmasına neden olurken makinenin icadıyla motorlu taşımacılığın gelişmesi, bu teknolojiyi kullanan toplumlara sağlık ve çevre sorunlarıyla baş başa bırakmış, böylece motorlu taşıtlara olan bağımlılık önemli ölçüde artmıştır (ITF, 2012).

Motorlu taşıt sayısının fazla olduğu yerleşkelerde park ve trafik sorununun oluşmasının yanı sıra çevreye de büyük ölçüde zarar verilmektedir (Wu ve ark., 2015; Brown ve ark., 2020; Doluwer ve ark., 2020). Zamanla bu kargaşanın neticesinde kısa mesafeli yolculuklar için yürüyüş veya bisiklet kullanımı benimsenmeye başlanmıştır. Fakat çarpık kentleşmenin olduğu alanlarda bisiklet ve yürüyüş yollarının fiziki yeterliliği henüz olması gereken düzeye ulaşamamıştır.

Bütün dünyada bisiklet kullanımı ve yürüyüş yollarının artırılması için çalışmalar yapılmaktadır (Fishman, 2016; Love ve ark., 2019; Kenyon ve Pearce, 2019; Pawlak ve Pabich, 2020; Fancello ve ark., 2020; Castro ve ark., 2020; Alexandrakis, 2021; Gössling ve McRae, 2022). Sürdürülebilir ulaşımın çok önemli bileşenlerinden olan yürüyüş ve bisiklet yol güzergahlarının tasarımı çevre üzerindeki olumsuz etkileri en az seviyeye indirirken bazı zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bunlardan en önemlisi, mevcut ulaşım ağlarının ve yayaların kullanımına tahsis edilen yoğun yerleşim alanlarındaki fiziki imkânların elverdiği ölçüde birtakım kriterlere ihtiyaç duymalarıdır. Bu bağlamda, bisikletler ve yürünebilir alanlar, ulaşım sisteminin iyileştirilmesi için önemli bir seyahat şekli haline gelmektedir. Bu noktada, bisiklet ve yürüyüş yollarının nerede seçileceği, maliyet, zaman, kapasite, altyapı, işgücü erişimi ve diğer coğrafi, sosyal ve çevre faktörlerini içeren çok kriterli ve çok boyutlu bir problemdir (Abbasi ve Pishvae, 2018; Raad ve ark., 2022).

Bisikletler kent hayatının önemli bir parçasıdır. Fosil enerji kullanmazlar ve önemli sağlık faydalarına sahip olup şehirlerin yaşanılabilirliğini artırırlar. Düşük gelirli bölgelerde bisiklet, işe gitmenin, gelir elde etme amaçlı çalışmanın ve temel yaşam ihtiyaçlarına erişmenin

önemli bir aracıdır (OECD, 2013). Buna ek olarak, bisiklet, demiryolları gibi diğer ulaşım hizmetleriyle beraber kullanılabilir (Güler ve Yomraloğlu, 2021).

Bu çalışmada, bisiklet kullanımının ve yürüyüş yollarının ulaşımındaki önemi, dünyanın çeşitli bölgelerinden örnekler verilerek izah edildikten sonra, sürdürülebilir bir ulaşım sisteminde bisiklet ve yürüyüş yolları yer seçimi kriterleri belirlenerek Ankara ili Mamak ilçesi Ege mahallesinde uygulanmıştır. Uygulama sonucunda ulaşılan bulgular, bisiklet yollarının yetersizliğini ortaya koyarken çalışma alanındaki yürüyüş amaçlı kullanılacak kaldırımların bir planlama ile iyileştirilmeleri ihtiyacını ortaya koymuştur. Ayrıca, bu konuların sürdürülebilirlik kavramı içerisinde kalıcı olabilmeleri için bir arazi politikası içerisinde yer almaları gerekliliği görülmüştür.

### 1.2. Hedefler

Bu çalışmada sürekli büyüyen ve gelişen kentsel alanları için tasarlanabilecek muhtemel bisiklet ve yürüyüş yolu güzergahlarının yer seçimine dair bir yaklaşım ileri sürülmüştür. Bu yaklaşım ile birlikte kent ulaşımının sürdürülebilirliğinin sağlanması, insanların bisiklet kullanmaya ve yürüyüş yapmaya teşvik edilerek motorlu taşıt kullanımının azaltılması ve çevreci bir ulaşım politikası edinerek kentlerin yaşanabilirliğinin artırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda CBS'nin konumsal analiz kabiliyetleri ile örnek bir çalışma yapılarak gelecekte oluşturulacak politika önerileri için değerlendirmelerde bulunulmuştur.

### 1.3. Mevcut Durum Analizi

#### 1.3.1. Bisiklet yolu

Bisikletin icat edildiği tarih tam olarak belli olmasa da en ilkel bisiklet 12. yüzyılda Çin'de görülmüş ve bu bisikletin patentini 1645'te Jean Theson almıştır (Atasoy, 2022). Bisiklet; posta aracı, kişisel ulaşım aracı ve ayrıca devlet görevlileri tarafından resmi işlerde de kullanılmıştır (Hiçyılmaz, 2012). Bisiklet ulaşımı sahip olduğu özellikleri nedeniyle kısa ve orta mesafeli yolculuklar için özel araçların yerini alma potansiyeline sahiptir (Elbeyli, 2012; Winters ve ark., 2012; Hull ve O'Holleran, 2014; Gossling ve ark., 2019).

Brundtland Raporu'na göre, bugünün ve gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını, bugünden taviz vermeyerek karşılayabilmek olarak tanımlanan sürdürülebilirlik; ulaşım planlamaları ve politikaları için önemli bir hedef haline gelmiştir (Birleşmiş Milletler (BM), 1991). Dünyada sürdürülebilirlik kavramı güncelliğini korumakta ve önemli çalışmalara konu olmaktadır. Bu hedefin gerçekleştirilebilmesinde bisikletler çok önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda birçok gelişmiş ülkede, otomobil kullanımının artmasıyla ortaya çıkan enerji tüketiminin fazlaşmasının neden olduğu çevresel problemlerin çözümü için bisiklet, son yılların önemli bir ulaşım türü haline gelmiştir (Oregon, 1995). İnsanların araba ve toplu taşıma araçlarını kullanmak yerine bisiklet kullanımının ekonomik, sağlık ve ekolojik olarak çeşitli faydaları söz konusudur. Otomobil ve toplu taşıma araçları yerine bisiklet

kullanımını teşvik etmenin en önemli nedeni, kentsel alanlarda trafik sıkışıklığını önlemek ve azaltmaktır. Günümüzde dünyanın birçok ülkesinde bisiklet kullanımı artık devlet tarafından teşvik edilen ve politikalarda yerini alan bir değerdir.

Bu politikayı ele alan araştırmalardan bazıları yaşam tarzı ve fiziksel aktivite alışkanlıklarındaki değişiklikleri teşvik ederken (Wendel-Vos ve ark., 2004), diğerleri büyük ölçüde yerleşim yerlerinde bisiklet yollarının nasıl belirleneceği de dahil olmak üzere yapısal çevrenin ve farklı ulaşım sistemlerinin planlanması ve tasarımı için yeni anlayışlara odaklanmaktadır (Huang ve Ye, 1995; Rodriguez ve Joo, 2004; Blečić ve ark., 2015). CBS'nin çeşitli konumsal araçları kullanan çalışmaların büyük bölümü, yeni gelişmekte olan yerleşim yerlerinde bisiklet yollarının planlanmasıyla ilgilidir (Huang ve Ye, 1995; Milakis ve Athanasopoulos, 2014). Bununla birlikte, sağlıklı ve karbonsuz ortamların artırılmasıyla ilgili çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu çalışmaların bir parçası olarak, yoğun nüfuslu şehirlerin halihazırda gelişmiş yapısal ortamlarında bisiklet yollarının nasıl belirlenebileceği konusunda araştırmalar sürdürülmektedir (Huang ve Ye, 1995; Rybarczyk ve Wu, 2010; Milakis ve Athanasopoulos, 2014).

En uygun yer seçimlerinin belirlenmesi ve politika yapımcıların karar verme süreçlerinde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve CBS sıklıkla kullanılmaktadır (Şentürk ve Erener, 2017; Başeğmez ve ark., 2019; Yalçın ve Yüce, 2020; Urfalı ve Eymen, 2021; Başeğmez ve Aydın, 2021a; Başeğmez ve Aydın, 2021b; Arca ve Çıtıroğlu, 2022; Kamran ve Khorrami, 2022). Bisiklet güzergahları belirlenirken de mevcut bisiklet güzergahlarının hacmi ve bölgenin eğimi gibi birçok veriye ve bu verilerin birbiriyle ilişkisini ortaya kuran bir modele ihtiyaç vardır. Bu verilerin elde edilebilmesi ve elde edilen bilgilere göre en uygun bisiklet güzergahlarının tayin edilebilmesi için birçok çalışmada ÇKKV yöntemleri ve CBS kullanılarak modeller üretilmiştir. Bu modeller fiziksel, çevresel ve görsel açıdan birçok kritere dayanmaktadır.

Avrupa'nın en yüksek bisiklet kullanımına sahip ülkeleri Hollanda, Danimarka, Almanya ve Belçika'dır. Hollanda'da son yıllarda bisiklet kullanım yüzdesi %26'dır. Kullanım oranının en yüksek olduğu şehirlerde kullanım %35 ile %40 arasındadır. Kullanımın en düşük olduğu şehirlerde ise bu oran %15 ile %20 arasındadır. Hollanda halkının %5'i yürüyerek, %24'ü ise bisiklet kullanarak işe gidip gelmektedir (Thomas, 2018). Almanya da en çok bisiklet kullanılan ülkeler arasında yer almaktadır. Buna rağmen bisiklet kullanımının artırılması için yoğun çaba göstermektedir. Münih kentinde yapılan bir çalışma kentsel bölgelerin bisiklet için ne kadar uygun olduğunun derecesini ölçmek üzerine genel bir bakış sunmakta ve bisiklet kullanımına katkıda bulunacak faktörleri belirlemektedir. CBS yardımıyla görselleştirilen tasarımın, yapılan analizler ile güçlü ve zayıf yönleri ortaya konmuş ve değerlendirilmiştir (Keler ve Grigoropoulos, 2021).

2013 Yılında Singapur, bisiklet altyapısını önemli ölçüde artırmak ve 2030 yılına kadar tüm ülkede bisiklet sürmeyi teşvik etmek için "Ulusal Bisiklet Planını" açıklamıştır. Singapur'un arazi kısıtlamaları göz önüne alındığında en etkili bisiklet ağını planlamak kritik

öneme sahiptir. Bu nedenle Singapur'da bisiklet yolları planlamasının desteklenmesi için CBS'ye dayalı çok kriterli karar analizi çerçevesi önerilmiştir (Terh ve Cao, 2018).

Türkiye'de de konu ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan bir çalışmada, yoğun nüfuslu şehirlerin hali hazırda gelişmiş yapısal çevrelerinde, bisiklet rotalarının nasıl belirlenebileceği değerlendirilmiştir (Özkan ve ark., 2020). Bu kapsamda, Türkiye'nin üçüncü büyük metropol kenti olan İzmir incelenerek çeşitli CBS araçları kullanılmıştır. Sonuçlar, bu CBS araçlarının Türkiye gibi "veri yetersiz" ülkelerdeki mekânsal politika üretiminde, özellikle ulaşım-rota planlamasında, çok destekleyici etkisi olduğunu göstermiştir.

Türkiye'de yapılan başka bir araştırmada (Olgun, 2020) ise, orta ölçekli kentlerde fiziksel, çevresel ve görsel faktörler dikkate alınarak CBS tabanlı çok kriterli karar verme analizi ile bu kentlere yönelik sürdürülebilir bisiklet yolu önerisi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda orta ölçekli kent olarak değerlendirilen Niğde ele alınmış ve sürdürülebilir bisiklet yolu önerisi geliştirilmiştir.

Bu çalışmada bugüne kadar yapılan çalışmalardaki kriterler göz önüne alınarak genel bir kriter seti oluşturulmuş ve bu kriter seti seçilen bir uygulama alanında değerlendirilmiştir.

### 1.3.2. Yürünebilirlik

Fiziki engeller, zorlu trafik koşulları ve hava kirliliği nedeniyle şehirlerde yürüyüş yapmak gün geçtikçe daha da zorlaşmaktadır. Bu olumsuz etkilerin sonucunda yayalar kendi güvenliklerini ve ulaşım kalitelerini artırmak için motorlu taşıt kullanımını tercih etmek zorunda kalmaktadırlar (ITF, 2012). Bu olumsuzluğun ortadan kaldırılabilmesi için insanlığın en eski fiziksel faaliyeti olan yürüyüş fiilinin artırılması için çalışmalar yapılmaktadır (Akçam ve Karaçor, 2018; Demir, 2019). Akıllı, sürdürülebilir ve yaşanılabilir kentler için önemli bir bileşen olan yürünebilirlik, ulaşım politikaları ve planlamaları için de son derece önemli bir bileşen haline gelmiştir. Çoğunlukla iki merkez arasında ulaşımı sağlamak için kullanılan yürüyüş fiili, diğer ulaşım araçlarını besleyebilir bir özelliğe sahipken; aktif seyahat ve ulaşım aracı olarak da tercih edilebilir. Nüfus yoğunluğu artan şehirlerde otobüs durağı, tren istasyonu, bisiklet paylaşım istasyonu gibi toplu taşımanın yoğun olduğu merkez noktalarına erişimde de yürüyüş fiili yoğunlukla kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalara göre yürünebilirliğin ölçülmesinde bazı merkezlere yakınlık tek başına yeterli bir kriter değildir. Buna ilaveten görsel kalite, fiziki yeterlilik, cadde güvenliği, kaldırımlar ve benzeri kriterler de gereklidir (D'orso ve Migliore, 2019).

Avrupa'nın birçok yerinde sürdürülebilir ulaşım politikaları üretebilmek için çeşitli çalışmalar mevcuttur. Polonya'nın Krakov kenti için yapılan bir çalışmada (Telega ve ark., 2021), kentsel işlevlerin yoğunluk haritalarına ve mevcut kaldırımlar ile yolların güzergahlarına dayanarak yürünebilirliği ölçmek hedeflenmiştir. Sabit kentsel nesnelere ve kentsel alanlar erişime en kolay ve erişime en uzak olarak sınıflandırılmıştır. Yürünebilirlik ölçümünde en büyük

puanı “Ana Meydan” yani eski kentin orta kısmı almıştır. Finlandiya'nın Helsinki şehrinde bir mahallede yaşayan, 25-40 yaş aralığındaki bir grup insan için yapılan bir çalışmada, ulaşım ve konut uyumsuzluğunun yürünebilirlik üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Mahallede gözlemlenen 1 aylık seyahat ve yolculuklarda büyük oranda yürüyüş yapıldığı tespit edilmiştir. Yürünebilirlik ile yürüyüş sonuçları kıyaslandığında; fayda sağlayan yürüyüşlerin gezi-eğlence amaçlı yürüyüşlere kıyasla daha çok yapıldığı gözlemlenmiştir (Kajosaari ve ark., 2019). İtalya Alghero'da yapılan bir çalışmada ise kentsel yürünebilirlik analizi için 358 kişi 11 farklı sosyo-demografik gruba bölünerek, her gruptan alınan anket verilerine dayalı bir ÇKKV analizi yapılmıştır. Her grubun yürüyüş puanını hesaplamak için ÇKKV yöntemlerine bağlı bir yaklaşım öne sürülmüştür (Fancello ve ark., 2020).

Asya kıtasına bakıldığında da durumun pek farklı olmadığı, gelişmişlik düzeyi yüksek olan ülkelerin ulaşım politikalarını mevcut şehir düzenine göre üretme gayreti içerisinde oldukları belirlenmiştir. Kore Seul'de aktif olarak işe gidip-gelmeye yürünebilirliğin rolü incelenmiştir (Kim ve ark., 2020). Üç model kullanılan bu çalışmada; ilk model bireysel değişkenleri; ikinci model bireysel değişkenleri ve yürünebilirlik puanını; üçüncü model ise bireysel değişkenleri, yürünebilirlik puanını ve mahalle düzeyindeki değişkenleri içermektedir. Bu çalışma sonucunda, yürünebilirliğe dayalı kentsel planlama, çevresel planlama ve ulaşım planlaması için yeni politikalar ileri sürülmüştür.

Amerika'da yapılan benzer bir çalışma ile Kanadalı yetişkinler için hangi amaçla yürüyüş yaptıkları ve çevre-yürünebilirlik ilişkisi incelenmiştir (Farkas ve ark., 2019).

Türkiye'de de yürünebilirliği geliştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bir çalışmada, Mersin ilinin kent tarihinin merkezini oluşturan Uray ve Atatürk caddeleri üzerinde yürünebilirlik kapasitesinin ölçümü ve değerlendirilmesi hedeflenmiştir (Akkar Ercan ve Belge, 2016).

Var olan yürünebilir alanların analizi ve yeni yürünebilir alanların inşası için Türkiye-Mersin, Polonya-Krakow, Finlandiya-Helsinki, Almanya-Bielefeld, İtalya-Alghero, Kore-Seul ve Kanada gibi ülkelerde çeşitli çalışmalar yapılmıştır ve ortaya bazı kriterler konulmuştur. Bu çalışmada bu kriterler de değerlendirilerek ülkemiz özelinde yürünebilir alanlar için bir kriter seti geliştirilmiş ve ÇKKV analizi ile CBS ortamında değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Uygulama aşamasında, çalışma alanının belirlenmesi, literatür taraması sonucu belirlenen verilerin temin edilmesi ve sayısallaştırılması, verilerin CBS ortamına aktarılması, konuma dayalı veri tabanı oluşturulması ve uygulamanın sorgulanması ile analiz edilmesine ilişkin bir süreç takip edilmiştir. Literatür taraması sonucu elde edilen kriterlerin çalışma alanına uygunluğu, konuma ve çevreye göre irdelenerek nihai yer seçimi için kullanılacak kriterler kesinleştirilmiştir. Kesinleştirilen kriterlerin uygunluğu ve önem derecesi öğrencilere, akademisyenlere ve kent tasarım alanındaki uzmanlara

anket yoluyla sorulmuş ve elde edilen sonuçların geometrik ortalaması alınarak kriterler sıralanmıştır. Sıralanan kriterlerin alt kriterleri de çalışma alanı ve literatür taramasından elde edilen verilere göre belirlenmiştir. ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi kullanılarak kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır.

ArcGIS yazılımıyla bisiklet yolu ve yürünebilirlik kriterleri kullanılarak raster veriler elde edilmiştir. Elde edilen bu verilerle uygunluk haritaları oluşturularak mevcut durum analiz edilmiştir. Ardından AHP yöntemiyle elde edilen ağırlıklar ile karar haritaları kullanılarak uygunluk haritaları oluşturulmuştur. Çalışmanın sonunda ise yaşanılabilirlik ve kent planlamasına ilişkin değerlendirmeler yapılarak politika önerilerinde bulunulmuştur.

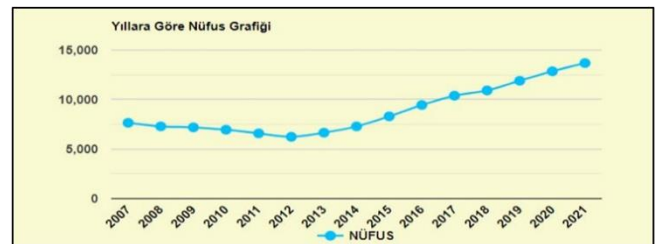
### 2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak Ankara ilinin Mamak ilçesine bağlı Ege Mahallesi (39°.894730, 32°.914435) seçilmiştir (Şekil 1). Bu bölgenin seçilmesinin nedeni hem kentsel dönüşüm kapsamında olması hem de şehrin gelişime açık bölgelerinden biri olmasıdır.



Şekil 1. Çalışma alanı

Ege mahallesi, nüfus olarak Mamak ilçesinin 16. büyük mahallesidir ve nüfusu 13.679'dur (TÜİK, 2022) (Şekil 2). Ege mahallesinin yıllara göre nüfus verileri incelendiğinde nüfusun giderek arttığı ve Mamak ilçesinin gelişen ve büyüyen bir yerleşim alanı olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Nüfus grafiği

### 2.2. Veri toplama

Dünyada bisiklet ve yürüyüş yollarının tasarımı hakkında yapılan mevcut çalışmalar, yönetmelikler ve raporlar incelenerek kriterler belirlenmiştir (Tablo 1, 2).

Çalışmada kullanılan bu kriterlere ait dosyalar poligon, çizgi, nokta ve raster formatında altlık haritalardan ve DEM verisinden elde edilmiştir (Tablo 3).

**Tablo 1.** Bisiklet yolu kriterleri

Sıra	Kriterler
1	Eğim
2	Okullara Yakınlık
3	Toplu Taşıma Sistemine Entegrasyon
4	Park ve Yeşil Alanlara Yakınlık
5	Bisiklet Yolunun Varlığı
6	Bisikletler İçin Otopark Varlığı
7	Sağlık Merkezlerine Yakınlık
8	Alışveriş Merkezlerine Yakınlık
9	Anayollara Yakınlık
10	Spor Merkezlerine Yakınlık

**Tablo 2.** Yürünebilirlik kriterleri

Sıra	Kriterler
1	Toplu Taşıma Sisteminde Entegrasyon
2	Park ve Yeşil Alanlara Yakınlık
3	Alışveriş Merkezlerine Yakınlık
4	Sağlık Merkezlerine Yakınlık
5	Kaldırım Varlığı
6	Kültür ve Eğlence Merkezlerine Yakınlık
7	Okullara Yakınlık
8	Bankalara Yakınlık
9	Eğim
10	Anayollara Yakınlık

**Tablo 3.** Uygulamada kullanılan veri katmanları

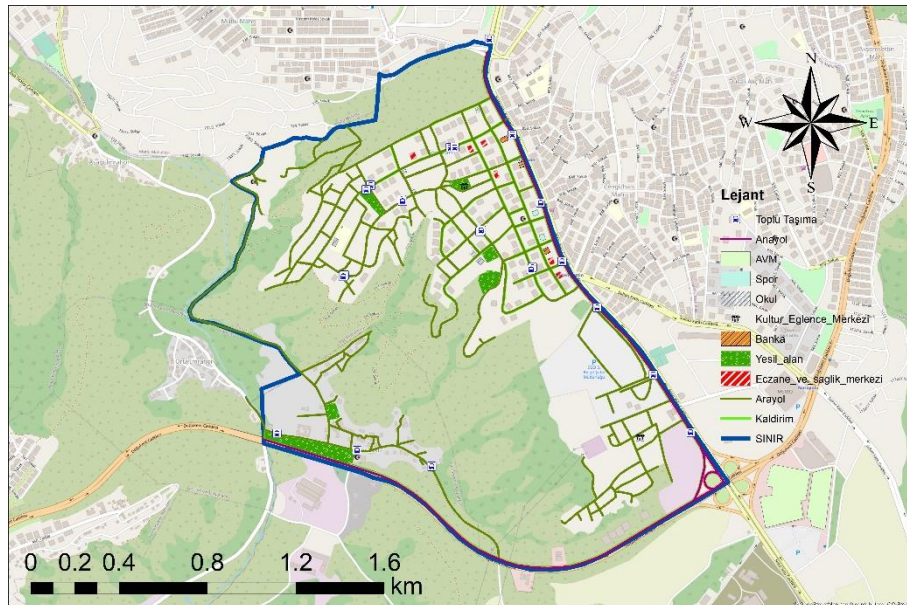
Veri Katmanı	Veri Tipi
Mahalle Sınırı	Çizgi
Eğim	DEM
Okullar	Poligon
Otobüs Durakları	Nokta
Park ve Yeşil Alanlar	Poligon
Sağlık Merkezleri	Poligon
Alışveriş Merkezleri	Poligon
Spor Merkezleri	Poligon
Kültür ve Eğlence Merkezleri	Nokta
Bankalar	Poligon
Kaldırımlar	Çizgi
Anayollar	Çizgi

### 2.3. Veri tabanı tasarımı

Çalışmada kullanılacak kriterler literatür taraması ile birlikte elde edildikten sonra ArcMap 10.3 yazılımı ve internet tabanlı servisler kullanılarak değerlendirilmiştir. Bankalar, okullar, sağlık merkezleri, toplu taşıma durakları, spor merkezleri, kültür ve eğlence merkezleri, yeşil alanlar, kaldırımlar ve yollar ayrı veri katmanlarında Open Street Map ve Google Haritalar yardımıyla sayısallaştırılmıştır. Eğim kriterini analiz edebilmek için farklı internet tabanlı servisler kullanılmıştır. Çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli NASA'ya ait açık kaynakların sunulduğu bir internet servisinden elde edilmiştir (NASA, 2022). ASTER veri setine ait DEM verisi, ArcMap yazılımına TUREF TM33 koordinat sisteminde yüklenerek eğim verisi elde edilmiştir. Çalışmanın ana konusu bisiklet yolu ve yürüyüş yolu yer seçiminin tespit amaçlı olarak analiz edilmesi olduğundan 30 m'lik ASTER verisi yeterli görülmüştür. Ancak ayrı ayrı güzergâhların seçilip bisiklet kullanımı için uygunluğunu tespit etmeyi hedefleyen çalışmalarda daha yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden elde edilecek yükseklik verisi kullanılmalıdır. Veri tabanı hazırlama sürecinin sonucunda, ihtiyaç duyulan tüm veriler nokta, çizgi, alan ve raster veri tipi olarak sayısallaştırılmış ve analizlerde kullanılmıştır (Şekil 3).

### 2.4. Analiz

Dünyada yaygın olarak kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP, alternatifleri ikili karşılaştırmalar yardımıyla sıralayıp analiz etmeye yarayan bir yöntemdir (Saaty ve Vargas, 2001; Yıldırım ve Yomralıoğlu, 2013; Durmaz, 2020). 25 kişinin katıldığı bir anket ile bisiklet ve yürüyüş yolu kriterlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Anket sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları ile ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur (Şekil 4). Böylece kriterler önem derecelerine göre bir sıraya yerleştirilmiştir. Anketlerin tutarlılık oranı (CR) hesaplanmış, CR değeri 0.10'dan küçük olduğu için matrisler tutarlı kabul edilmiştir.



**Şekil 3.** Verilerin konumları

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1	1	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	2.00	1.00
2	0.50	1	2.00	3.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	1.00	2	0.50	1	3.00	1.00	1.00	3.00	2.00	3.00	1.00	1.00
3	1.00	0.50	1	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	1.00	3	0.50	0.33	1	2.00	4.00	2.00	3.00	2.00	2.00	3.00
4	0.50	0.33	0.50	1	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	2.00	4	0.50	1.00	0.50	1	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	2.00
5	1.00	0.50	1.00	1.00	1	2.00	2.00	3.00	2.00	2.00	5	0.50	1.00	0.25	0.50	1	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00
6	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50	1	1.00	1.00	1.00	1.00	6	0.50	0.33	0.50	1.00	0.50	1	1.00	1.00	3.00	2.00
7	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50	1.00	1	2.00	1.00	2.00	7	1.00	0.50	0.33	0.50	1.00	1.00	1	1.00	2.00	1.00
8	1.00	1.00	0.50	0.50	0.33	1.00	0.50	1	2.00	2.00	8	1.00	0.33	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	1	2.00	2.00
9	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	0.50	1	2.00	9	0.50	1.00	0.50	1.00	1.00	0.33	0.50	0.50	1	1.00
10	0.50	1.00	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50	0.50	0.50	1	10	1.00	1.00	0.33	0.50	1.00	0.50	1.00	0.50	1.00	1

(a) (b)  
Şekil 4. Bisiklet güzergahı (a) ve yürünebilirlik (b) için karar matrisleri

Tablo 4. Bisiklet yolunun AHP analizi (CR=0.055)

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Skor	Ağırlık	Öncelik sırası
Eğim	<5%	5	0.121	3
	5% - 10%	4		
	10% - 15%	3		
	15% - 20%	2		
	>20%	1		
Okullara Yakınlık	<300	2	0.150	1
	300 - 600	4		
	600 - 900	5		
	900 - 1200	3		
	1200 - 1500	1		
Toplu Taşıma Sistemlerine Entegrasyon	<250	5	0.102	4
	250 - 500	4		
	500 - 750	3		
	750 - 1000	2		
	1000 - 1250	1		
Park ve Yeşil Alanlara Yakınlık	<250	5	0.088	6
	250 - 500	4		
	500 - 750	3		
	750 - 1000	2		
	1000 - 1250	1		
Bisiklet Yolunun Varlığı	0	1	0.132	2
	1	5		
Bisikletler İçin Otopark Varlığı	0	1	0.080	9
	1	5		
Sağlık Merkezlerine Yakınlık	<300	1	0.094	5
	300 - 600	3		
	600 - 900	5		
	900 - 1200	4		
	1200 - 1500	2		
Alışveriş Merkezlerine Yakınlık	<500	2	0.085	7
	500 - 1000	4		
	1000 - 1500	5		
	1500 - 2000	3		
	2000 - 2500	1		
Anayollara Yakınlık	<250	1	0.082	8
	250 - 500	3		
	500 - 750	5		
	750 - 1000	4		
	1000 - 1250	2		
Spor Alanlarına Yakınlık	<250	5	0.065	10
	250 - 500	4		
	500 - 750	3		
	750 - 1000	2		
	1000 - 1250	1		

**Tablo 5.** Yürünebilir alanların belirlenmesinde kullanılan değerlendirme faktörleri (CR=0.084)

Ana Kriterler	Alt Kriterler	Skor	Ağırlık	Öncelik sırası
Toplu Taşıma Sistemlerine Entegrasyon	<250	5	0.146	3
	250 – 500	4		
	500 – 750	3		
	750 – 1000	2		
	1000 – 1250	1		
Park ve Yeşil Alanlara Yakınlık	<250	5	0.147	2
	250 – 500	4		
	500 – 750	3		
	750 – 1000	2		
	1000 – 1250	1		
Alışveriş Merkezlerine Yakınlık	<500	2	0.152	1
	500 – 1000	4		
	1000 – 1500	5		
	1500 – 2000	3		
	2000 – 2500	1		
Sağlık Merkezlerine Yakınlık	<300	1	0.097	4
	300 – 600	3		
	600 – 900	5		
	900 – 1200	4		
	1200 – 1500	2		
Kaldırım Varlığı	0	1	0.084	5
	1	5		
Kültür ve Eğlence Merkezlerine Yakınlık	<500	5	0.082	7
	500 – 1000	4		
	1000 – 1500	3		
	1500 – 2000	2		
	2000 – 2500	1		
Okullara Yakınlık	<300	2	0.076	8
	300 – 600	4		
	600 – 900	5		
	900 – 1200	3		
	1200 – 1500	1		
Bankalara Yakınlık	<500	5	0.083	6
	500 – 1000	4		
	1000 – 1500	3		
	1500 – 2000	2		
	2000 – 2500	1		
Eğim	<5%	5	0.065	10
	5% – 10%	4		
	10% – 15%	3		
	15% – 20%	2		
	>20%	1		
Anayollara Yakınlık	<250	1	0.089	9
	250 – 500	3		
	500 – 750	5		
	750 – 1000	4		
	1000 – 1250	2		

Analiz ile beraber karar haritalarını elde etmek ve her bir kriter için çoklu tampon bölgeler oluşturulmuştur. Bu tampon bölgelerin kapsadığı alanlar alt kriter olarak belirlenmiştir. Oluşturulan bu tampon bölgeler raster veri setine dönüştürülmüş ve analiz raster veri tipi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Elde edilen raster veriye yeniden sınıflandırma işlemi ile belirtilen puanlar atanmıştır (Tablo 4, 5). Alt kriterlere atanan puanlar önem derecelerini belirtmekte olup, 5 puan en istenen durumu ifade ederken 1 puan istenmeyen durumu ifade etmektedir.

Bu sayede hangi bölgelerin istenilen bölgeler olduğu tespit edilmiştir. Uygunluk haritalarının üretilmesi için raster hesaplama yöntemi (Raster Calculator) kullanılmıştır. Elde edilen uygunluk haritaları ile her bir kriterin AHP ağırlığı çarpılmış ve çıkan değerler

toplanarak karar haritaları elde edilmiştir. Bisiklet yolu ve yürünebilirlik için elde edilen haritalar 5 sınıfta değerlendirilmiştir.

### 3. Bulgular

Ege Mahallesi için tasarımı yapılacak bisiklet ve yürüyüş yollarının AHP analizinde kullanılan bu 10 kriter için uygunluk haritaları elde edilmiştir. Tablo 4 ve 5'te her bir kriter için seçilen alt kriterler gösterilmiştir. Bisiklet ve yürüyüş yollarının bütünlük ilerlemesi uygun görülmüş olup her iki başlık için de belirlenen kriterlerin alt kriterleri ve bu kriterlere atanan puanlar aynı seçilmiştir. Böylece iki başlık altındaki ortak kriterler için sadece bir uygunluk haritası elde edilmiştir. Tüm uygunluk haritaları elde edildikten sonra raster



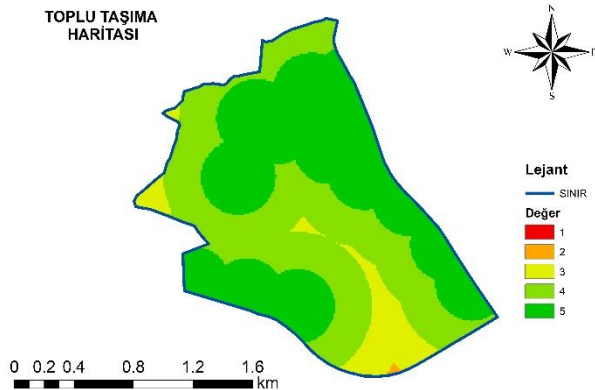
hesaplama yöntemi ile kriterlerin ağırlıklarına göre karar haritaları oluşturulmuştur.

### 3.1. Uygunluk Haritaları

#### 3.1.1. Toplu Taşıma Sistemine Entegrasyon

Şehir içi ulaşımında en önemli alternatiflerden biri hiç şüphesiz toplu taşıma araçlarıdır. Bu nedenle, sürdürülebilir kentsel gelişim için eğitim hizmetleri, sağlık, rekreasyon alanları, toplu taşıma, sanayi alanları vb. yerlerin uygun konumu çok önemlidir (Telega ve ark., 2021). Cervero ve Kockelman (1997)'e göre ise yüksek binaların yoğunluğu, sokak tasarımı ve işlevsellik, araç kullanımını azaltır ve insanları yürüyüş ve bisiklet kullanmaya teşvik eder. Benzer bir çalışmada da toplu taşıma duraklarının sayısının artırılması yaya sayısının artmasını beraberinde getirmiştir (Pikora ve ark., 2003). Bu sayede yürüyüş ve bisiklet yollarının toplu taşıma hatları tarafından kullanılan güzergâhtan geçirilmesi, gerektiğinde insanlar tarafından yolculuğa toplu taşıma araçları tarafından devam edilmesine yahut özellikle yaşanan salgın şartları nedeniyle toplu taşıma araçlarının kalabalıklaşmasından hoşnut olmayan insanların bisiklet veya yürüyüş ile yolculuklarına devam etmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, raylı sistemlerde bisiklet dostu düzenlemeler yapıldığı için bisiklet kullanıcıları toplu taşıma araçlarını rahatlıkla kullanabilmektedir.

Çalışma alanında sadece toplu taşıma araçları kullanıldığından otobüs duraklarının sayısal verileri elde edilmiştir. Bu durakların yürüyüş veya bisiklet yolu kullanımı ile ilişkilendirilmesinde kent merkezlerinin konumları dikkate alınarak değerlendirilmeler yapılmıştır. Telega ve ark. (2021)'a göre, ulaşılabilir merkezlerin 800m-1,5km mesafede bulunması öngörülmüştür. Niğde'de bisiklet yolu tasarımı için yapılan bir çalışmada da bu mesafenin 300m ve altında olması gerektiği belirtilmiştir (Olgun, 2020). Çalışma alanı göz önüne alındığında bisiklet ve yürüyüş yolu güzergâhının toplu taşıma duraklarına olan mesafesinin 250 metre ve altında olması bu çalışmada daha uygun olduğu değerlendirilmiştir. Anket çalışmasından elde edilen bulgular da bu görüşü desteklemektedir. Yürünebilirlik için kriter ağırlığı %14,6 olarak hesaplanırken bu oran bisiklet yolu için %10,2 olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki otobüs duraklarının sayıca fazla olması güzergâh için uygun alanların geniş yer kaplamasını sağlamıştır.

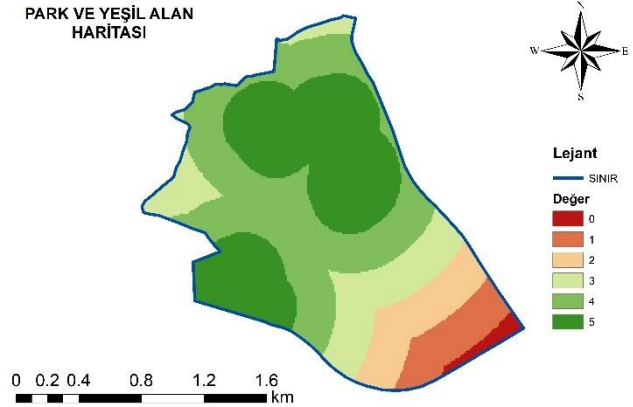


Şekil 5. Toplu taşıma sistemleri için uygunluk haritası

#### 3.1.2. Park ve Yeşil Alanlara Yakınlık

Hem bisiklet hem de yürüyüş yolu tasarımı için park ve yeşil alanların varlığı ve bu alanlara olan yakınlık oldukça önemlidir. Ayrıca, yeşil alanların varlığının insanların bisiklet ve yürüyüş yolu güzergâhı kullanımını etkileyebileceği düşünülmektedir (Cervero ve Kockelman, 1997). Ek olarak, bisiklet kullanımının ulaşımında etkili bir yer edindiğini gösteren çalışmalarda yolların, arazi kullanım şeklinin (ticari, konut, kamusal alan vb.), nüfus yoğunluğunun, trafik yoğunluğunun ve açık ve yeşil alan varlığının bireylerin bisiklet kullanımını etkilediği ifade edilmiştir (Forsyth ve Krizek, 2011; Buehler ve Pucher, 2012; Willis ve ark., 2013).

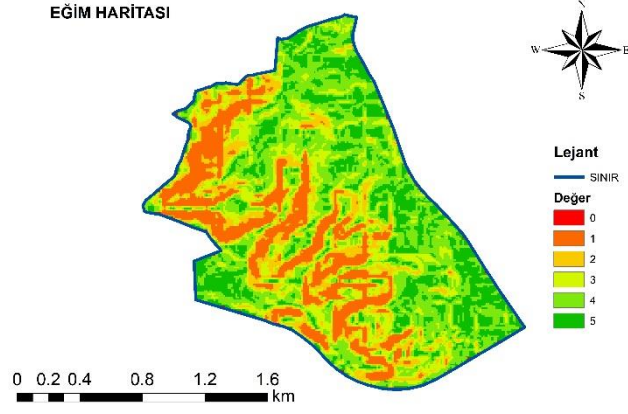
Bisiklet yolu için kriter ağırlığı %8,8 iken yürünebilirlik için bu oran %14,7'dir. Bilimsel çalışmalarda bisiklet yolu tasarımı için kullanılan tampon bölgeler 200 ve 300 metre aralıklarla oluşturulmaktadır (Olgun, 2020). Bu nedenle çalışma alanımız için 250 metre ve altındaki mesafelerin en ideal uzaklık olduğu tarafımızca kararlaştırılmıştır. Elde edilen uygunluk haritasından da anlaşılacağı üzere mahalle merkezinde birbirine yakın mesafede bulunan parklar ve çevreleri, bisiklet ve yürüyüş yolu güzergâhı için en uygun yerlerdir.



Şekil 6. Park ve yeşil alanlar için uygunluk haritası

#### 3.1.3. Eğim

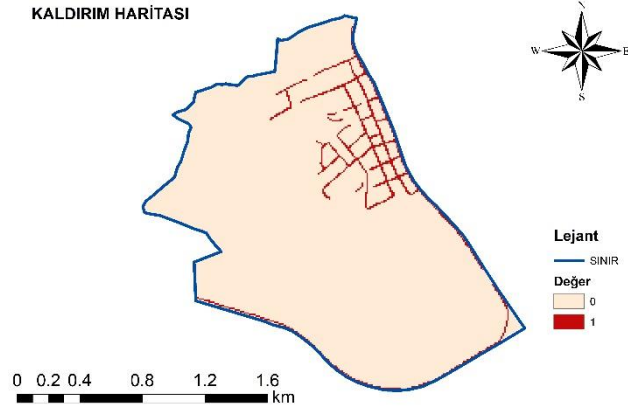
Eğim, yeryüzü üzerinde ulaşımı etkileyen önemli bir faktördür. Eğimin fazla olduğu bölgelerde yapıların inşası ve şehirlerin gelişimi yüzyıllardır karşılaşılan bir sorundur (El Kechebour, 2015). Sadece ulaşımında değil, yerleşimde de eğimin önemli bir unsur olduğu, taşkın riskinin artması ve buna bağlı olarak toprak kayması gibi afetlerin meydana gelmesinde büyük rol oynadığı bilinmektedir (Oğuz ve ark., 2022). Ege Mahallesinde eğimin kısa mesafelerde büyük değişimlere uğraması araçların yanında yürüyüş ve bisiklet kullanımını da oldukça olumsuz etkilemektedir. Bölgenin batı kesimlerinde eğim değerinin %15'in çok üstünde olduğu belirlenmiş ve bu nedenle konut yoğunluğunun da fazla olduğu ve eğimin %5'in altında olduğu yerler bisiklet ve yürüyüş yolları için uygun görülmüştür. Ülkemizde yapılan ulaşım çalışmaları eğimin düşük olmasının gerektiğini göstermektedir. Bisiklet yolları için anket sonuçlarına göre kriter ağırlığının %12,1 gibi önemli bir değere sahip olması da bu tespiti desteklemektedir (Olgun, 2020).



Şekil 7. Eğim için uygunluk haritası

### 3.1.4. Kaldırım Varlığı

Kaldırımların, bir yerleşim bölgesinin yaklaşık %30-45'ini kapladığı araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir (Ma ve ark., 2019). Bu nedenle kamu kurumları tarafından kaldırımların bakımlarının düzenli olarak yaptırılması büyük önem arz etmektedir (Mariani ve ark., 2012). Bisiklet yolları ve yürüyüş yollarının beraber seyrettiği yerleşim yerlerinde kaldırım kalitesinin özellikle bisiklet kullanıcıları için önemlidir (Hsu ve Lin, 2011). Bu nedenle güzergahta kaldırım bulunması veya kaldırım inşa edilebilir alanların varlığı önemlidir. Ege Mahallesi'nde var olan kaldırım haritası, konut yoğunluğunun fazla olduğu yerleri göstermektedir. Sonuç olarak yolun geçeceği güzergahta kaldırımların olması zorunlu olduğu için kriter (5 puan) değerlendirmesi bu hususa göre yapılmıştır.



Şekil 8. Kaldırımlar için uygunluk haritası

### 3.1.5. Bisiklet Yolu ve Parkı Varlığı

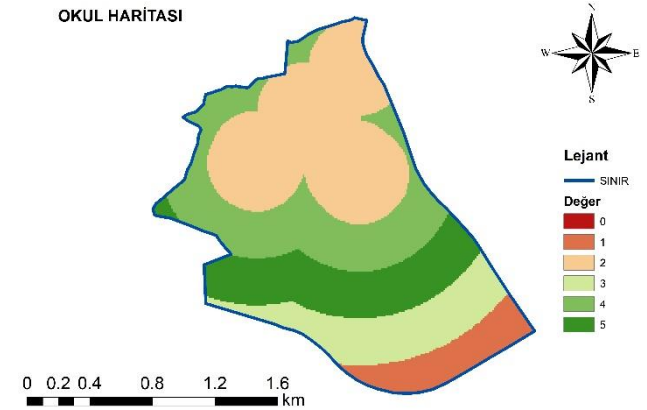
Dünya nüfusunun giderek artması, trafik yoğunluğunun artmasına ve ulaşım sorunlarına yol açmaktadır. Bu sebeple insanlar, çeşitli yerler arasında ulaşım, alışveriş ve turizm faaliyetleri için bisiklet kullanmaktadır (Karanikola ve ark., 2018). Bisikletin bir ulaşım aracı olarak sürdürülebilirliğini koruyabilmesi için gerekli bisiklet yolu altyapısının ve bisikletler için park alanının sağlanması gerekmektedir. Bisiklet altyapısının diğer ulaşım araçlarına kıyasla önemli ölçüde daha az alana ihtiyacı vardır ve daha ucuzdur (Pucher ve Buehler, 2008). Ayrıca bisiklet yolu altyapısı

sağlandıktan sonra, bisikletleri hırsızlıktan ve hava koşullarından güvenli bir şekilde saklamak için bisiklet park yeri çok önemlidir. Almanya'nın Münih kentinde, bisiklet kullanımını ölçmek üzerine yapılan bir çalışmada, bisiklet yolu varlığı ve bisikletler için park olanakları kriterleri ele alınmıştır (Keler ve ark., 2020). Şehir merkezlerinde, yaya trafiğinin yoğun olduğu sağlık kurumları, kamu hizmet binaları gibi yerlere bisiklet park yeri konulabilir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2015; 2019).

Çalışmada, bisiklet yolu ve parkı varlığı bir kriter olarak ele alınmıştır. Yapılan anket çalışmasında bisiklet yolunun varlığı %13,2 ile en önemli ikinci kriter olarak seçilmiştir. Bisikletler için otopark varlığı ise %8 ağırlığa sahiptir. Ege Mahallesi sınırları içerisinde bisiklet yolu ve bisikletler için otopark imkânı bulunmamaktadır. Bu nedenle bir uygunluk haritası elde edilememiştir.

### 3.1.6. Okullara Yakınlık

Okulların bulunduğu yerler öğrenci ve öğretmenlerin okula güvenli, rahat ve kolay erişebilmesi için önemlidir (Uslu ve ark., 2017). Milli Eğitim Bakanlığı tarafından yayımlanan "İmar Planı Yapım ve Değişiklik Teklifleri İle Eğitim Alanlarında Arazi ve Arsa Düzenlemesi" konulu 2017/5 Sayılı Genelge 'de okul yer seçimleri için gerekli kriterler ve hususlar belirtilmiştir (Milli Eğitim Bakanlığı, 2017). Okul yer seçimi problemi ulaşım imkânları, çevre kirliliği, altyapı imkânları gibi birçok kriterin birlikte değerlendirilmesini gerektiren çok kriterli bir karar verme problemidir. Okullara ulaşım için kullanılan motorlu taşıtlar, trafiğe ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle, bisiklet ve yürüyüş yolu yer seçimi için okullara yakınlık önemli bir kriterdir.



Şekil 9. Okullar için uygunluk haritası

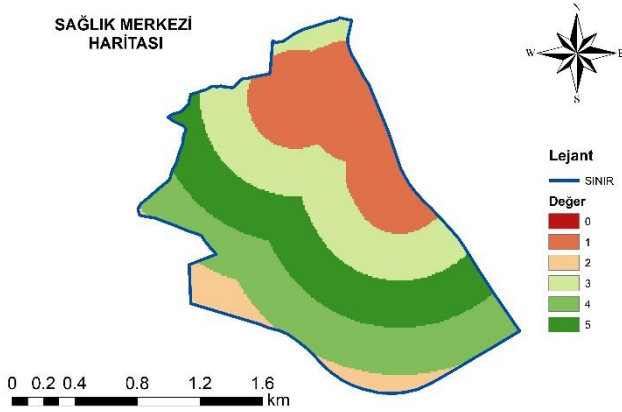
Okullara yürümek veya okullara bisiklet ile erişmek okul çağındaki çocukların fiziksel faaliyetlerine katkı sağlamak için çok faydalı iki ulaşım aracıdır (Mehdizadeh ve ark., 2017). Öyle ki yapılan anket çalışmasında bisiklet yolu kriterleri için en fazla ağırlık okullara yakınlık kriterine verilmiştir. Ayrıca, genç yaşta insanları bisiklet kullanımına alıştırmak hem insan sağlığına hem de çevreye olumlu etki edecektir. ABD'nin Washington eyaletinde okullara ulaşım da yürünebilirlik analizi yapılan bir çalışmada (Lee ve ark., 2020), 400 metrelik tampon bölgeler kullanılmıştır. Türkiye'de yapılan çalışmalarda ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği

Bakanlığınca yayımlanan “Mekansal Planlar Yapım Yönetmeliği”nde okullara yürüyerek ulaşılabilmesi için okulların yerleşim alanlarına 300-2500 metre mesafeler arasında planlanması gerektiği belirtilmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2014; Başeğmez ve ark., 2017; Başeğmez ve ark., 2019). Çalışmamızda okulların bisiklet ve yürüyüş yolu güzergahına orta mesafede yani 600-900 metre uzaklıkta bulunmasının en uygun seçenek olduğu tarafımızca uygun görülmüştür.

### 3.1.7. Sağlık Merkezlerine Yakınlık

Sağlık hizmetlerinin konumu sürdürülebilir kentsel gelişim için çok önemlidir (Telega ve ark., 2021). Çünkü sağlık hizmetleri araç trafiğinin yoğun olduğu yerlerdir. Bu bölgelerde ulaşımın aksamasını engellemek için bisiklet ve yürüyüş yolu yapılabilir.

Hırvatistan’ın İmotski şehrinde bisiklet güzergâh planlaması yapılan bir çalışmada (Derek ve Sikora, 2019), sağlık merkezlerine yakınlık kriteri ele alınmıştır. Modelleme yapılırken sağlık merkezlerine mümkün olduğunca yakın bir rota oluşturulmak amaçlanmıştır. Bu çalışmada, sağlık merkezlerine yakınlık bir kriter olarak ele alınmıştır. Çünkü bisiklet ve yürüyüş yolu kullanımında düşmeye bağlı yaralanma veya herhangi bir hastalık durumunda insanların sağlık merkezlerine gitmesi gerekebilir. Yapılan anket sonuçlarına göre bisiklet yolu için %9,4 ağırlığa sahip olan bu kriter, yürüyüş yolu için %9,7 ağırlığa sahiptir. Hastaneler ve çevrelerinin günün her saati kalabalık olabileceği göz önünde bulundurularak en iyi mesafenin 600-900 metre arasında olması gerektiği düşünülmüştür. Bu sayede hem ulaşım aksamamış hem de yaya ve araç trafiğine olumsuz bir etki yapılmamış olacaktır.

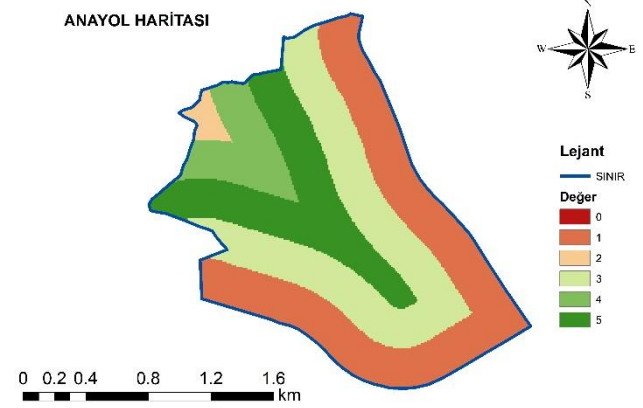


Şekil 10. Sağlık Merkezleri için uygunluk haritası

### 3.1.8. Anayollara Yakınlık

Bisiklet ve yürüyüş yollarının planlanmasında, güzergahın anayollara olan mesafesi oldukça önemlidir. Karayolu trafik kazaları 15 ila 29 yaş arasındaki insanlar için ölümlerin önde gelen sebeplerinden biridir (Eurostat, 2015). Singapur’da bisiklet yolları planlaması üzerine yapılan bir çalışmada, anayollar kriteri ele alınmıştır. İlgili çalışmada, planlanan rotanın anayollara olan mesafesinin artması, araç trafiğinin gerçek ve algılanan tehlikelerine ve araç emisyonlarına maruz kalmayı azaltabileceği varsayılmıştır (Terh ve Cao,

2018). Bu çalışmada, anayollara yakınlık bir kriter olarak ele alınmıştır. Çalışma alanı sınırları içerisinde iki anayolun mevcut olduğu tespit edilmiştir. Nato Yolu Caddesi ve Doğukent bulvarının kesişiminde kalan Ege Mahallesi için bu yollar ana arterlerdir. Bisiklet ve yürüyüş yolunun anayollara çok yakın olması tehlikelidir. Çok uzak olması ise bisiklet yolu alanını daraltacak ve işlevsiz bir model oluşturacaktır. Bu nedenle, orta mesafe yani 500-750 metre uzaklığının alınması uygun görülmüştür.

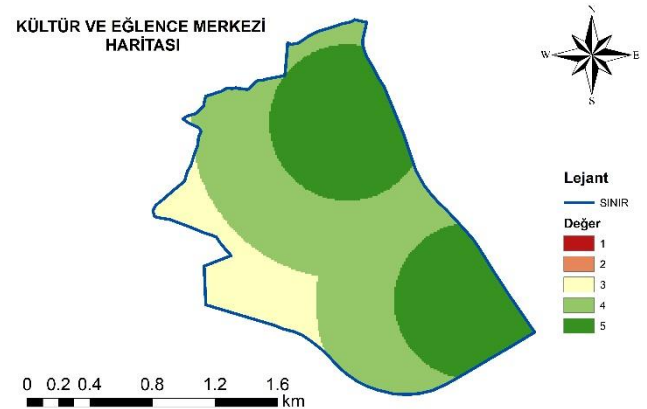


Şekil 11. Anayollar için uygunluk haritası

### 3.1.9. Kültür ve Eğlence Merkezlerine Yakınlık

Şehirler kültürleriyle, kimlikleriyle bir bütündür. Sürdürülebilir bir kentsel çevrenin şekillenmesinde kültürel yapının korunması ve yeni sosyal alanların tesis edilmesi çok önemli bir faktördür (James, 2015; Telega ve ark., 2021). Polonya’nın Krakow kentinde CBS ile ilgili yürünebilirliğin ölçülmesi üzerine yapılan bir çalışmada (Telega ve ark., 2021) bu değerler ele alınmıştır. Yürünebilirliği artırmak için mevcut yöntemler incelenerek yeni yaklaşım önerilerinde bulunulmuştur.

Ege Mahallesi’nde bisiklet ve yürüyüş yolu yer seçimi için yapılan bu çalışmada, kültür ve eğlence merkezlerine yakınlık bir kriter olarak ele alınmıştır. Çalışma alanı sınırları içerisinde bir adet eğlence mekânı, bir adet sinema ve bir adet de kütüphane mevcuttur. Bu merkezlerin yürünebilir yakınlıkta olmaları burada bir yürüyüş yolu ihtiyacı oluşturmaktadır.

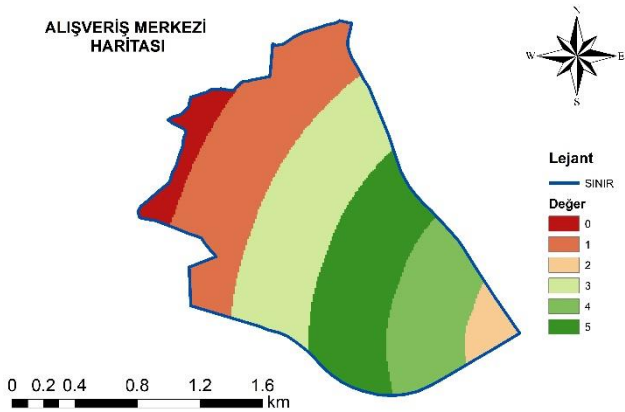


Şekil 12. Kültür ve eğlence merkezleri için uygunluk haritası

### 3.1.10. Alışveriş Merkezlerine Yakınlık

Alışveriş merkezleri, insanların ihtiyaçlarını karşılamak ve eğlenceli vakit geçirmek için önemlidir. Bu nedenle alışveriş merkezlerinin konumu dikkate alınması gereken bir değerdir. Planlanan bisiklet ve yürüyüş yollarının alışveriş merkezlerine yakın olması insanları motorsuz ulaşımaya teşvik edecektir. Singapur'da bisiklet yolları planlaması üzerine yapılan bir çalışmada (Terh ve Cao, 2018), alışveriş merkezlerine yakınlık kriteri ele alınmıştır. Kısa mesafeli yolculuklar için alışveriş merkezlerine bisiklet kullanılarak ulaşımın sağlanması gerektiği üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada, yürünebilirlik için yapılan anket sonucunda alışveriş merkezlerine yakınlık kriteri %15,2 ile ağırlığı en fazla olan kriterdir. Fakat bölge sınırları içinde alışveriş merkezi bulunmamaktadır. Bölge sınırlarının hemen dışında 2 adet alışveriş merkezi bulunmasından dolayı güzergaha olan uzaklığın 1000-1500 metre arasında bulunması en uygun seçim olarak düşünülmüştür.



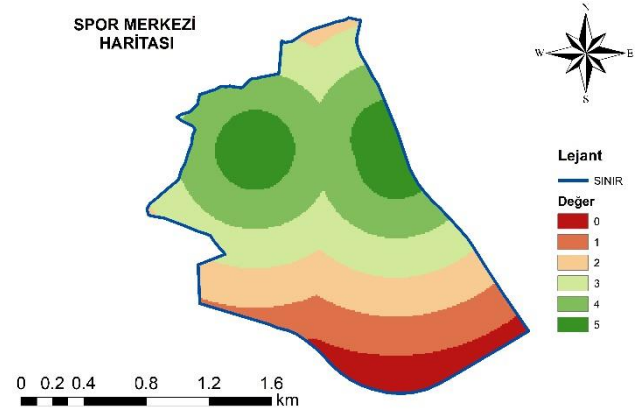
Şekil 13. Alışveriş merkezleri için uygunluk haritası

### 3.1.11. Spor Alanlarına Yakınlık

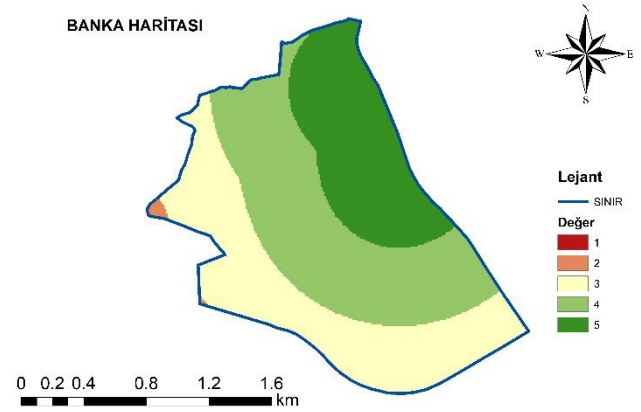
Günümüzde spor sadece insanların fiziki ve psikolojik açıdan güçlenmesi için sürdürülen bir faaliyetler bütünü olmaktan daha ileri gitmiştir. Bununla birlikte spor, sorumluluk ve iş birliği eğilimi ile düzen sağlama kabiliyetini ortaya çıkararak kişinin sosyalleşmesine yardımcı olan önemli bir etkinlik olarak karşımıza çıkmaktadır (Küçük ve Koç, 2004). Singapur'da yapılan bisiklet yolları planlaması çalışmasında (Terh ve Cao, 2018) bu kriter ele alınmıştır. Kısa mesafeli yolculuklar için spor alanlarına bisiklet sürerek ulaşım sağlanacağı öne sürülmüştür. Spor ve yürüyüş alanlarına giderken bisiklet sürmek veya yürüyüş yapmak sporu destekleyecektir. Yapılan anket sonucu, bu kriterin ağırlığı %6,5 olarak elde edilmiştir. Spor alanlarının, bisiklet ve yürüyüş yolu güzergahına yakınlığının 250 metre ve altı mesafelerde en uygun olacağına karar verilmiştir.

### 3.1.12. Bankalara Yakınlık

Çalışma alanında çok sayıda eğitim, kültür ve eğlence merkezi bulunmaktadır. Bu nedenle yürüyüş yolunun banka ve ATM'lere yakın olması önem arz etmektedir. Bu kriter yapılan anket sonucu %8,3 ağırlık değeri almıştır.



Şekil 14. Spor alanları için uygunluk haritası

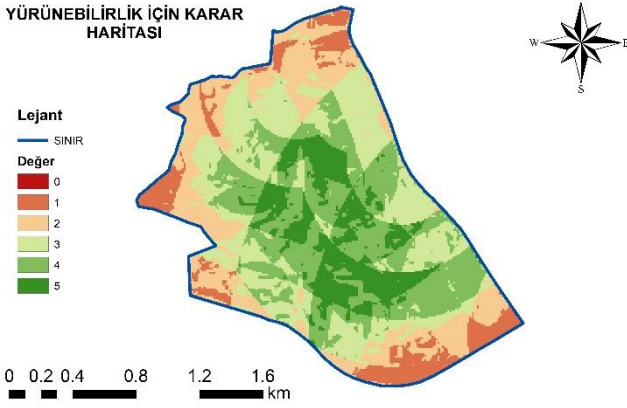


Şekil 15. Bankalar için uygunluk haritası

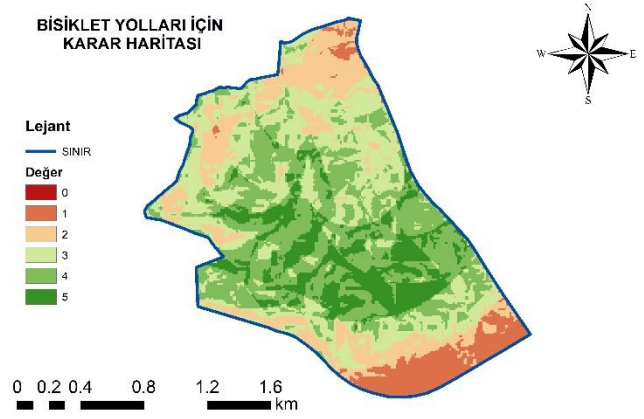
### 3.2. Karar Haritaları ve İrdeleme

Yürünebilirlik ve bisiklet yolları için hazırlanan karar haritalarında (Şekil 16, 17) 5 puan alan yerlerin en uygun olduğu, 1 puan alan yerlerin en az uygun olduğu, 0 puan alan yerlerin ise herhangi bir veriye sahip olmadığı gösterilmiştir. 5 puan alan bölgeler en uygun yerler olmasına rağmen, bazı kısımlarının yerleşim yerlerinden uzak ve tenha olduğu görülmüştür. Güzergâh yer seçimi yapılacağı zaman en uygun bölgelerin gerçekte nerelere denk geldiğini görebilmek için saha çalışması yapmak daha sağlıklı sonuçlara ulaşmayı sağlayacaktır.

AHP analizi sonucunda yürünebilirlik için en fazla ağırlığa sahip 3 kriter (alışveriş merkezleri ile park ve yeşil alanlara yakınlık ve toplu taşıma sistemlerine entegrasyon) Tablo 5'te sıralanmıştır. Bisiklet yolları için en fazla ağırlığa sahip 3 kriter ise okullara yakınlık, eğitim ve toplu taşıma sistemlerine entegrasyon şeklinde Tablo 4'te sıralanmıştır. Yer seçimi için en uygun bölgelerin belirlenmesinde bu kriterlerin etkisi oldukça fazladır.



Şekil 16. Yürünebilirlik için karar haritası



Şekil 17. Bisiklet yolları için karar haritası

#### 4. Sonuçlar

Yürüyüş ve bisiklet kullanımı, sürdürülebilir bir kalkınma için büyük bir potansiyele sahiptir. Kente ait ulaşım politikalarının oluşturulmasında yönetimlerin bu kriterleri daha fazla dikkate alması önem arz etmektedir. Motorlu ulaşımın alternatifleri ve aynı zamanda tamamlayıcıları olan bu iki yöntem, iklim değişikliği, fosil yakıt bağımlılığı, çevre kirliliği, yaşlanan bir nüfus için hareketliliğin korunması için ciddi faydalar sağlayacaktır.

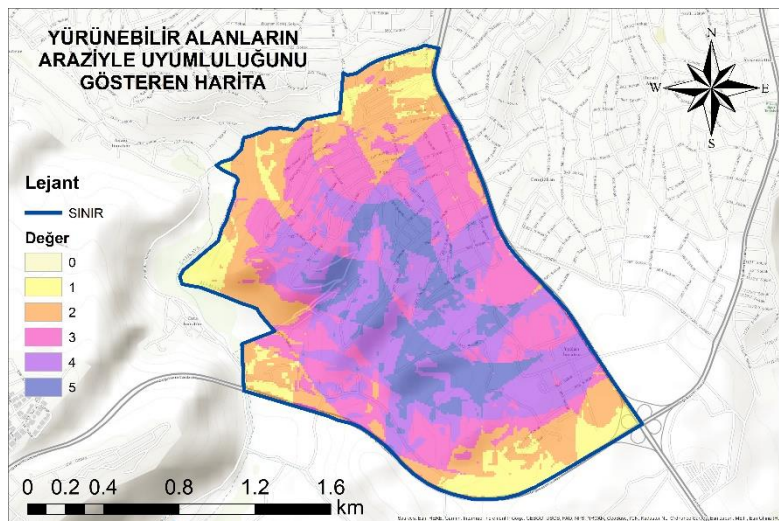
Bu çalışmada bisiklet yolu ve yürüyüş yolları için en uygun yer seçimi yapılmaya çalışılmıştır. Çalışma için gereken kriterler ülkemizde ve dünyadaki örnek çalışmalarından çıkarılmış olup, bir dizi yeni kriter de anket çalışmalarından elde edilmiştir.

Üretilen haritalara göre, en uygun alanlar genel olarak Ege mahallesinin merkezindedir. Bunun oluşmasında seçilen kriterlerin ağırlığı, alt kriterler ve okul, hastane, durak gibi yapıların konumları etkili olmuştur. Tespit edilen alanlar arasında seçim yapılması aşamasında özellikle kaldırım kalitesi, yol genişliği gibi saha özelliklerinin de değerlendirilmesi gerekecektir. Bunun için tasarım yapılmadan önce gerekli saha çalışmaları yapılmalıdır. AHP sonucuna göre yürünebilirlik için en önemli kriterin alışveriş merkezlerine yakınlık olduğu, bisiklet yolu tasarımı için ise en önemli kriterin okullara yakınlık olduğu tespit edilmiştir.

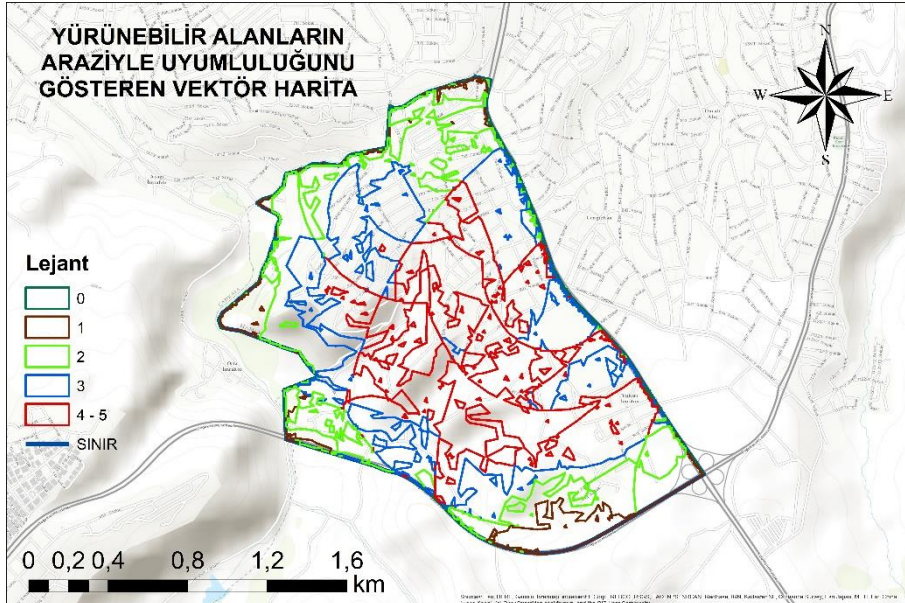
Çalışma sonucunda üretilen karar haritalarının çalışma alanı üzerindeki uygunluğu ve değerlendirilmesi Şekil 18-21’de gösterilmiştir. Buna göre, 5 puanlık alanlar yerleşim alanlarının içerisinde kalmakta ve imar planları noktasında gelişimini tamamlamıştır. Dolayısıyla yürünebilirlik kalitesi ve yaşanabilirlik bu alanda istenilen seviyededir. Fakat, 5 puanlık alanların uygun olmaması durumunda 4 puanlık olan daha az uygun alanların değerlendirilmesi gerekmektedir. 0 puanlık alanlarda ise hiçbir veri bulunmamaktadır. Çalışma alanındaki sınırlar genellikle 1 puanlık alanlardır. Bunun sebebi kriterlere uygunluğun bu alanlarda en az seviyede olmasıdır. Bu alanlarda ilgili kriterlerle yapılacak tasarımlar işlevsel olmayacaktır.

Çalışma alanında bisiklet yolu ve bisikletler için park alanı bulunmadığından bu iki kriter analize dahil edilmemiştir. Bölgedeki mevcut kaldırımların fiziki yetersizliğinin, yürünebilir alanların geliştirilmesinde büyük bir engel olduğu görülmüştür. Ek olarak, yol kenarlarına park edilen araçların motorsuz ulaşım olumsuz etki katabileceği göz önünde bulundurulmalı ve belirli yerlere otopark inşa edilmesi önerilmektedir.

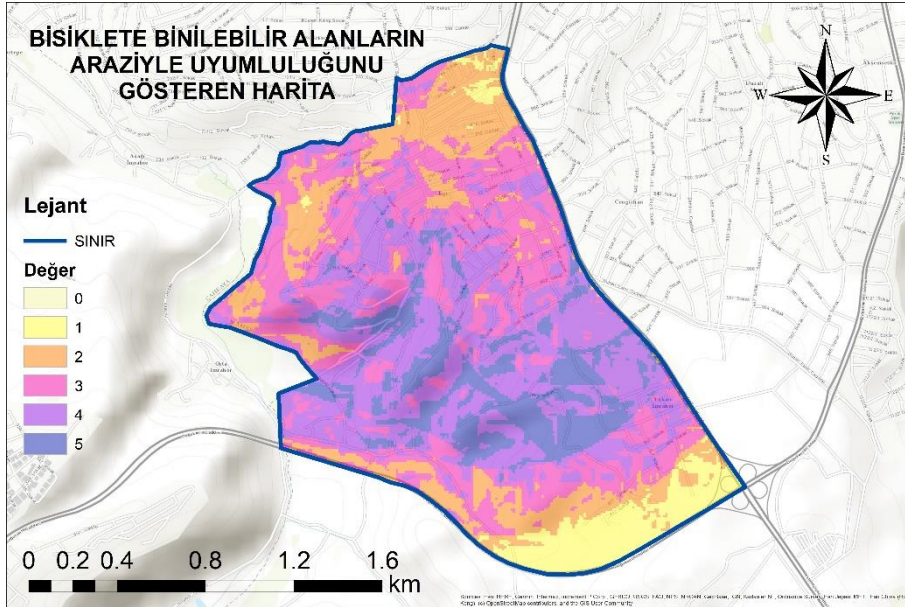
Sürdürülebilir ulaşımın önemli alternatiflerinden olan bisiklet ve yürüyüş için uygun alanların belirlendiği bu çalışma, gerçek alana uygulanabilir nitelikte olup harici birçok kriterin de sürece dâhil edilerek ve ilgili mühendislik yöntemlerinden faydalanarak mevcut ulaşım problemleri için farklı politikalar üretilmesine katkı sağlayacaktır.



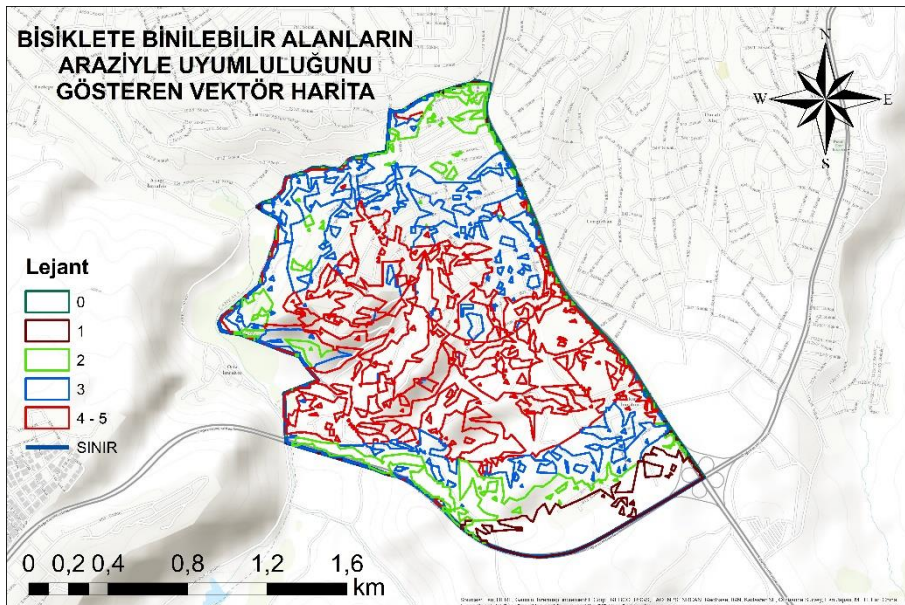
Şekil 18. Yürünebilir alanların araziyle uyumluluğu



Şekil 19. Yürünebilir alanların araziyle uyumluluğunun vektör (çizgi) gösterimi



Şekil 20. Bisiklete binilebilir alanların araziyle uyumluluğu



Şekil 21. Bisiklete binilebilir alanların araziyle uyumluluğunun vektör (çizgi) gösterimi

## Bilgilendirme/Teşekkür

Bu makale Hacettepe Üniversitesi Geomatik Mühendisliği bölümü lisans bitirme öğrencilerinin bitirme projesinden üretilmiştir.

## Araştırmacıların katkı oranı

**Muhammed Yusuf Akbaba, Göktan Atay:** Literatür taraması, Arazi çalışması, Makale Yazımı; **Murat Başeğmez:** Modelleme; **Cevdet Coşkun Aydın:** Düzenleme

## Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynakça

- Abbasi, M., & Pishvae, M. S. (2018). A two-stage GIS-based optimization model for the dry port location problem: a case study of Iran. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 11(1), 50-73.
- Akçam, E., & Karaçor, E. K. (2018). Sosyo-demografik yapı ve fiziksel çevre özelliklerinin yürünebilirlik algısı üzerine etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1364-1376.
- Akcar Ercan, M., & Belge, Z. S. (2016). Daha yaşanabilir kentler için mikro ölçek bir yürünebilirlik modeli. *METU JFA*, 231-265.
- Alexandrakis, J. (2021). Cycling towards sustainability: The transformative potential of urban design thinking in a sustainable living lab. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9, 100269. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100269>
- Arca, D., & Çıtıröğlü, H. K. (2022). Güneş enerjisi santral (GES) yapım yerlerinin CBS dayalı çok kriterli karar analizi ile belirlenmesi: Karabük örneği. *Geomatik*, 7(1); 17-25. <https://doi.org/10.29128/geomatik.803200>
- Atasoy, H. (2022). Spor tarihine katkı: bisiklet sporu ve Konya'ya etkileri. *Tarihin Peşinde Uluslararası Tarih ve Sosyal Araştırmalar*, 65-75.
- Başeğmez, M., & Aydın, C. C. (2021a). The Covid-19 pandemic teaching modalities in Turkey: An evaluation of school gardens and classes. *Health Policy and Technology*, 10(3), 100546. <https://doi.org/10.1016/j.hlpt.2021.100546>
- Başeğmez, M., & Aydın, C. C. (2021b). Türkiye'de COVID-19 sürecinde alınan önlemler bakımından okul bahçelerinin ve sınıflarının CBS ile değerlendirilmesi. *Geomatik*, 7 (3), 209-219. <https://doi.org/10.29128/geomatik.971403>
- Başeğmez, M., Taşdemir, İ., & Gül, Ç. (2017). Eğitim alanlarının yer seçim kriterlerinin belirlenmesinde yaşanan problemler ve çözüm önerileri. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, pp. 188-194.
- Başeğmez, M., Yıldırım, V., & Bediroğlu, Ş. (2019). CBS ve AHP yöntemiyle en uygun okul yer seçimi analizi: Uşak- Merkez Örneği. *TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Ankara, 122-132.

- Blečić, I., Cecchini, A., Congiu, T., Fancello, G., Trunfio, G. A. (2015). Evaluating walkability: a capability-wise planning and design support system. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(8), 1350-1374.
- BM Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu (1991). *Ortak geleceğimiz. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını*, Ankara.
- Brown, A. L., Fleming, K. L., & Safford, H. R. (2020). Prospects for a highly electric road transportation sector in the USA. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 84-93.
- Buehler, R., & Pucher, J. (2012). Cycling to work in 90 large american cities: new evidence on the role of bike paths and lanes. *Transportation*, 409-432.
- Castro, C., Muela, I., Doncel, P., & Garcia-Fernandez, P. (2020). Hazard perception and prediction test for walking, riding a bike and driving a car: "understanding of the global traffic situation". *PLoS One*, 15 (10), 238605. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238605>
- Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 199-219.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2014). *Mekansal planlar yapım yönetmeliği*. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/06/20140614-2.htm>. Erişim Tarihi: 27 Haziran 2022
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2015). *Şehir içi yollarda bisiklet yolları, bisiklet istasyonları ve bisiklet park yerleri tasarımına ve yapımına dair yönetmelik*. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/11/20151103-1.htm>. Erişim Tarihi: 27 Haziran 2022
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2019). *Bisiklet yolları kılavuzu*. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/mesleki hizmetler/haberler/b-s-klet-yollari-kilavuzu-23.12.2019-20191223102511.pdf>. Erişim Tarihi: 27 Haziran 2022
- D'Orso, G., & Migliere, M. (2019). A GIS-based method for evaluating the walkability of a pedestrian environment and prioritised investments. *Journal of Transport Geography*.
- Demir, Z. (2019). Mekânsal planlamanın fiziksel aktivite ve yürünebilirlik üzerine etkisi: Bursa cumhuriyet ve atatürk caddeleri. *Social Sciences Research Journal*, 115-124.
- Derek, J., & Sikora, M. (2019). Bicycle route planning using multiple criteria GIS analysis.
- Doluwera, G., Hahn, F., Bergerson, J., & Pruckner, M. (2020). A scenario-based study on the impacts of electric vehicles on energy consumption and sustainability in Alberta. *Applied Energy*.
- Durmaz, K. İ. (2020). Türkiye'deki düzey-1 bölgelerinin eğitim göstergeleri açısından çok kriterli karar verme yöntemleri ile değerlendirilmesi. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 13, 1.
- Elbeyli, Ş. (2012). Kent içi ulaşımda bisikletin konumu ve şehirler için bisiklet ulaşımı planlaması: Sakarya örneği. *Istanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul

- Oregon (1995). Oregon bicycle plan, an element of the Oregon transportation plan. Oregon Bikeway/Pedestrian Office, Salem, Oregon, USA. Publishing. [http://www.oregon.gov/odot/hwy/bikeped/docs/or\\_bicycle\\_ped\\_plan.pdf](http://www.oregon.gov/odot/hwy/bikeped/docs/or_bicycle_ped_plan.pdf). Erişim Tarihi: 12 Nisan 2022
- El Kechebour, B. (2015). Relation between stability of slope and the urban density: Case study. *Procedia Engineering*, 824-831.
- Ersoy, M. (2016). *Kentsel planlama ansiklopedik sözlük*. İstanbul: Ninova Yayıncılık.
- Eurostat (2015). Eurostat regional yearbook 2015. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/7018888/KS-HA-15-001-EN-N.pdf>.
- Fancello, G., Congiu, T., & Tsoukiàs, A. (2020). Mapping walkability. A subjective value theory approach. *Socio-Economic Planning Sciences*.
- Farkas, B., Wagner, D. J., Nettel-Aguirre, A., Friedenreich, C., & McCormack, G. R. (2019). A systematized literature review on the associations between neighborhood built characteristics and walking among Canadian adults. Canada: Government of Canada.
- Thomas, G. (2018). *The bicycle capitals of the world: Amsterdam and Copenhagen*. Fietsbraad Publication.
- Forsyth, A., & Krizek, K. (2011). Urban Design: Is there a Distinctive View from the Bicycle? *Journal of Urban Design*, 531-549.
- Fishman, E. (2016). Cycling as transport. *Transport Reviews*, 36, 1. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1114271>
- Güler, D., & Yomralioglu, T. (2021). Location evaluation of bicycle sharing system stations and cycling infrastructures with best worst method using GIS, *The Professional Geographer*, 73:3, 535-552
- Gossling, S., Humpe, A., Litman, T., & Metzler, D. (2019). Effects of perceived traffic risks, noise, and exhaust smells on bicyclist behaviour: an economic evaluation. *Sustainability*, 11 (2), 408. <https://doi.org/10.3390/su11020408>
- Gössling, S., & McRae, S. (2022). Subjectively safe cycling infrastructure: New insights for urban designs. *Journal of Transport Geography*, 101, 103340. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103340>
- Hiçyılmaz, E. (2012). 1912-2012 Türkiye'de bisikletlin yüzyıllık tarihi.
- Hsu, T. P., & Lin, Y. T. (2011). A model for planning a bicycle network with multi-criteria suitability evaluation using GIS. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* (s. 243 - 252). Taiwan: WIT Press.
- Huang, Y., & Ye, G. (1995). Selecting bicycle commuting routes using GIS. *Berkeley Planning Journal*, 10(1).
- Hull, A., & O'Holleran, C. (2014). Bicycle infrastructure: can good design encourage cycling?. *Urban Plann. Transp. Res.*, 2 (1), 369-406.
- ITF (2012). *Pedestrian safety, urban space and health*, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789282103654-en>. Erişim Tarihi: 10 Mayıs 2022
- James, P. (2015). *Sustainability in theory and practice: Circles of sustainability*; routledge: London, UK,
- Kajosaari, A., Hasanzadeh, K., & Kytä, M. (2019). Residential dissonance and walking for transport. *Journal of Transport Geography*, 134-144.
- Kamran, K. V., & Khorrami, B. (2022). A fuzzy multi-criteria decision-making approach for the assessment of forest health applying hyper spectral imageries: A case study from Ramsar forest, North of Iran. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 214-220. <https://doi.org/10.26833/ijeg.940166>
- Karanikola, P., Panagopoulos, T., Tampakis, S., & Tsantopoulos, G. (2018). Cycling as a smart and green mode of transport in small touristic cities.
- Keler, A., Schmiedlau, F., & Grigoropoulos, G. (2020). Evaluating bicycle traffic efficiency using bicycle traffic counts at sparse locations in cities-comparing NYC with Munich. In *Proceedings of the GISRUK 2020-28th GIS Research UK Conference*, London, UK, 21-23 June 2020.
- Keler, A., & Grigoropoulos, G. (2021). The Munich bikeability index: a practical approach for measuring urban bikeability.
- Kenyon, A., & Pearce, J. (2019). The socio-spatial distribution of walkable environments in urban Scotland: A case study from Glasgow and Edinburgh. *SSM - Population Health*, 9, 100461.
- Kim, E. J., Kim, J., & Kim, H. (2020). Does environmental walkability matter? the role of walkable environment in active commuting. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Küçük, V., & Koç, H. (2004). Psiko-sosyal gelişim süreci içerisinde insan ve spor ilişkisi.
- Lee, S., Lee, C., Nam, J. W., Abbey-Lambertz, M., & Mendoza, J. A. (2020). School walkability index: Application of environmental audit tool and GIS. *Journal of Transport & Health*.
- Love, P., Villanueva, K., & Whitzman, C. (2019). Children's independent mobility: the role of school-based social capital. *Children's Geographies*, 2020, 18(3), 253-268. <https://doi.org/10.1080/14733285.2019.1634244>
- Ma, T., Yang, H., Gu, W., Li, Z., & Yan, S. (2019). Development of walkable photovoltaic floor tiles used for pavement. *Energy Conversion and Management*, 764-771.
- Mariani, M., Bianchini, A., & Bandini, P. (2012). Normalized truncated Levy walk applied to flexible pavement performance. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 1-8.
- Mehdizadeh, M., Mamdoohi, A., & Nordfjaern, T. (2017). Walking time to school, children's active school travel and their related factors. *Journal of Transport and Health*, 313-326.
- Milakis, D., & Athanasopoulos, K. (2014). What about people in cycle network planning? Applying participative multi-criteria GIS analysis in the case of the Athens metropolitan cycle network. *Journal of Transport Geography*, 35, 120-129.
- Milli Eğitim Bakanlığı (2017). İmar planı yapım ve değişiklik teklifleri ile eğitim alanlarında arazi ve arsa düzenlemesi konulu 2017/5 sayılı genelge. <https://iegm.meb.gov.tr/www/quotimar-plani-yapim-ve-degisiklik-teklifleri-ile-egitim-alanlarinda-arazi-ve-arsa-duzenlemesi-quot-konulu-20175-sayili-genelge-yayimlanmistir/icerik/351>. Erişim Tarihi: 22 Nisan 2022



- NASA (2022). Advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (aster) global digital elevation model. <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>. Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022.
- OECD/International Transport Forum (2013). Cycling, health and safety, OECD Publishing/ITF. <http://dx.doi.org/10.1787/9789282105955-en>. Erişim Tarihi: 10 Mayıs 2022
- Oğuz, E., Oğuz, K., & Öztürk, K. (2022). Düzce bölgesi taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesi. *Geomatik*, 7(3), 220-234.
- Olgun, R. (2020). Sustainable bicycle path planning for medium-sized cities by using gis-based multicriteria decision-making analysis: a case study from turkey. *Turkish Journal of Science & Technology*, 19-28.
- Özkan, S., Senol, F., & Ozcam, Z. (2020). Bicycle route infrastructure planning using GIS in an urban area: the case of Izmir.
- Pawlak, M. M. C., & Pabich, M. (2020). Walkability – the New urbanism principle for urban regeneration. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, <https://doi.org/10.1080/17549175.2020.1834435>
- Pikora, T., Giles-Corti, B., Bull, F., Jamrozik, K., & Donovan, R. (2003). Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling. *Soc. Sci. Med.*, 1693-703.
- Pucher, J., & Buehler, R. (2008). Making cycling irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark and Germany.
- Raad, N. G., Rajendran, S., & Salimi, S. (2022). A novel three-stage fuzzy GIS-MCDA approach to the dry port site selection problem: A case study of Shahid Rajaei Port in Iran. *Computers & Industrial Engineering*, 168, 108112.
- Rodriguez, D. A., & Joo, J. (2004). The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9(2), 151-173.
- Rybarczyk, G., & Wu, C. (2010). Bicycle facility planning using GIS and multi-criteria decision analysis.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process. Springer Science & Business Media, New York, 346 s.
- Şentürk, E., & Erener, A. (2017). Determination of temporary shelter areas in natural disasters by gis: A case study, Gölcük/Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2 (3), 84-90. <https://doi.org/10.26833/ijeg.317314>
- Telega, A., Telega, I., & Bieda, A. (2021). Measuring walkability with gis—methods overview and new approach proposal. *Sustainability*.
- Terh, S. i., & Cao, K. (2018). GIS-MCDA based cycling paths planning: a case study in Singapore.
- Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) (2022). <https://www.tuik.gov.tr/>. Erişim Tarihi: 28 Haziran 2022.
- Urfalı, T., & Eymen, A. (2021). CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Kayseri İli Örneğinde rüzgâr enerji santrallerinin yer seçimi. *Geomatik*, 6(3); 227-237. <https://doi.org/10.29128/geomatik.772453>
- Uslu, A., Kızıloğlu, K., İşleyen, S. K., & Kahya, E. (2017). Okul yeri seçiminde coğrafi bilgi sistemine dayalı AHP-TOPSIS yaklaşımı: Ankara ili örneği. *Politeknik Dergisi*, 933-943.
- Wendel-Vos, G. C., Schuit, A. J., De Niet, R., Boshuizen, H. C., Saris, W. H., Kromhout, D. A. A. N. (2004). Factors of the physical environment associated with walking and bicycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(4), 725-730.
- Willis, D. P., Manaugh, K., & El-Geneidy, A. (2013). Uniquely satisfied: Exploring cyclist satisfaction. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 136-147.
- Winters, M., Babul, S., Becker, H. J., Brubacher, J. R., Chipman, M., Cripton, P., & Teschke, K. (2012). Safe cycling: how do risk perceptions compare with observed risk?. *Can. J. Public Health*, 103 (3), 42-47.
- Wu, X., Freese, D., Cabrera, A., & Kitch, W. A. (2015). Electric vehicles' energy consumption measurement and estimation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52-67.
- Yalçın, C., & Yüce, M. (2020). Burdur'da Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırımına Uygun Alanların CBS Tabanlı AHP Yöntemiyle Tespiti. *Geomatik*, 5(1), 36-46. <https://doi.org/10.29128/geomatik.561962>
- Yıldırım, V., & Yomraloğlu, T. (2013). Coğrafi bilgi sistemleri ile çizgisel mühendislik yapılarında güzergâh optimizasyonu: doğalgaz iletim hattı örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13,1, 1-10.

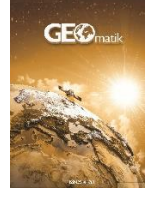




## Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



# Yersel lazer tarama yöntemi ve ortofotoların kullanımı ile kültür varlıklarının cephelerindeki malzeme bozulmalarının dokümantasyonu: Mardin Mungan Konağı örneği

Lale Karataş\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Mardin Artuklu Üniversitesi, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Mardin, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Mimari belgeleme  
Yersel lazer tarama  
Fotogrametri  
Kültürel miras  
Ortofoto

### Araştırma Makalesi

Geliş:23.07.2022  
Revize: 05.11.2022  
Kabul:12.11.2022  
Yayınlanma:15.02.2023



### Öz

Yapılarda meydana gelen malzeme bozulmalarına etki eden faktörlerin ve süreçlerin doğru bir şekilde belirlenmesi ve anlaşılması, uygun koruma müdahalelerinin uygulanması ve yapılarda meydana gelecek bozulmalara önlem alınması açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışmaya konu olan ve yöreye özgü geleneksel konutların özelliklerini yansıtan tarihi taş bir yapı olan Mardin Mungan Konağı; topografya, malzeme gibi bölgesel unsurların belirleyiciliği altında oluşmuş bir yapıdır. Çalışmanın amacı Mardin ilinde geleneksel konutların özelliklerini yansıtan tarihi bir konak olan Mardin Mungan Konağı'nın, taş malzeme sorunlarının araştırılmasıdır. Malzeme sorunlarının araştırılmasında, gözlemsel tespit ve yersel lazer tarama yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, gözlemsel tespitten elde edilen veriler ile yersel lazer taramadan elde edilen ortofotolar birleştirilerek, hızlı ve kolay bir şekilde malzeme bozulmalarının tespiti ve restorasyon analizi için bir bozulma haritası oluşturulabildiği görülmektedir. Bozulma haritalarından elde edilen sonuçlarda ise, tarihi Mardin Mungan Konağı cephelerinde taş malzeme bozulma türlerinden yüzey kirliliği, çiçeklenme, çimento kullanımından kaynaklı hatalı onarımlara ve yine çeşitli hatalı onarımlar sonucu yapılmış sıvaların dökülmesi sorunlarına rastlanmıştır. Yapıda meydana gelen hasarların en önemli olası nedenleri arasında, kullanıcı kaynaklı bozulmaların olumsuz etkileri olduğu görülmektedir.

# Documentation of material deterioration on the facades of cultural assets with the use of topographic laser scanning method and orthophotographs: Case of Mardin Mungan Mansion

### Keywords

Architectural documentation  
Terrestrial laser scanning  
Photogrammetry  
Cultural heritage  
Orthophoto

### Research Article

Received:23.07.2022  
Revised:05.11.2022  
Accepted:12.11.2022  
Published:15.02.2023

### Abstract

It is of great importance to determine and understand the factors and processes that affect the material deterioration in buildings, to apply appropriate protection interventions, to know in advance of the deterioration that will occur in the structures and to take precautions. Mardin Mungan Mansion, which is the subject of the study and is a historical stone structure reflecting the characteristics of traditional houses unique to the region. It is a structure formed under the determination of regional elements such as topography and materials. The aim of the study is to investigate the stone material problems of Mardin Mungan Mansion, which is a historical mansion reflecting the characteristics of traditional houses in the province of Mardin. In the investigation of material problems, observational detection and terrestrial laser scanning methods were used. As a result of the study, it is seen that by combining the data obtained from observational detection and orthophotos obtained from terrestrial laser scanning, a deterioration map can be created quickly and easily for the detection of material deterioration and restoration analysis. In the results obtained from the deterioration maps, on the facades of the Historical Mardin Mungan Mansion, surface pollution, blooming, faulty repairs due to the use of cement, and the problems of pouring the plaster made as a result of various faulty repairs were encountered. It is seen that the most important possible causes of damage to the structure are the negative effects of user-induced deterioration.

\*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster (APA)

\*(lalekaratas@artuklu.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-8582-4612

Karataş, L. (2023). Yersel lazer tarama yöntemi ve ortofotoların kullanımı ile kültür varlıklarının cephelerindeki malzeme bozulmalarının dokümantasyonu: Mardin Mungan Konağı örneği. *Geomatik*, 8(2), 152-162

<https://doi.org/10.29128/geomatik.1147639>

## 1. Giriş

Mardin'in tarihi kent dokusu, 1979 yılında 'Kentsel Sit Alanı' ilan edilerek koruma altına alınmış, 2000 yılında ise, bu alan UNESCO (Birleşmiş Milletler, Eğitim, Bilim ve Kültür Kurumu) Dünya Mirası Geçici listesine girmiştir. Mardin'in UNESCO Dünya Mirası Listesi'ne tam üyelik başvurusu ise 2002 yılında yapılmış, ancak 2003 yılında ICOMOS' un yaptığı değerlendirmeye göre kent, Dünya Mirası listesine girmeye uygun görülmemiştir. ICOMOS'un Mardin için yapmış olduğu değerlendirme raporu içeriğinde (UNESCO,2003); Mardin'in geleneksel dokusunun bütünlük anlamında bariz derecede hasar gördüğü, kentin genel tarihi dokusunun bozulmuş olduğu, birçok yapının kentteki mevcut dokuyu ve malzemelerini dikkate almaksızın inşa edildiği belirtilmektedir. Ayrıca raporda birçok yapının acil onarım gerektirdiği, alandaki en büyük risklerden birisinin koruma ihtiyaçlarının yeterince anlaşılmamış olduğu ve koruma organizasyonunda yetişmiş yetersiz teknik personel ve kaynak sorunu olduğu açıklanmıştır (Çağlayan, 2021). Bu rapor göz önüne alındığında, Mardin'de kentsel sit alanı içerisindeki yapıların koruma sorunlarına yönelik en dikkat çekici problemlerin; malzeme bozulmasına yönelik problemler olduğu görülmektedir. Özellikle tarihi kentte cephelerde görülen malzeme bozulmaları, şehrin yüzünü karakterize etmekte, turizm amaçlı gelen ziyaretçiler ilk olarak cephelerdeki bu bozulmalar ile karşı karşıya kalmaktadır. Dolayısı ile Mardin Kentsel Sit Alanı'ndaki ICOMOS'un kente yönelik hazırladığı raporda da belirtilen koruma ihtiyaçlarına yönelik olarak, Mardin'deki tarihi yapıların cephelerinde olan malzeme bozulmalarının doğru bir teknikle belgelenmesi ve onarılması gerekmektedir.

Mardin'deki tarihi yapıların cephelerinde olan malzeme bozulmalarının tedavisi için öncelikle bozulma türlerinin teşhis edilmesi gerekmektedir. Taş yapıları incelerken; sorunları anlamak, koruma ihtiyaçlarını belirlemek ve koruma eylemlerini tanımlamak için bozulma modellerini doğru bir şekilde tanımlamak temel bir gerekliliktir. Bu konuda Cesare Brandi, restorasyon konusunu korumaya yönelik diğer modern yaklaşımlardan ayırarak fenomenolojik ve ontolojik bir yaklaşım sunmuş (Meraz ve Magar Meurs ,2019) ve ontolojik yaklaşım yönteminin yeni koşullara göre uyarlayarak geliştirilmesi gerektiğini savunmuştur (Meraz ve Magar Meurs ,2019). Taş yapılarıdaki malzeme bozulmalarına dair teşhis -tedavi yöntemlerini standardize etmek ve kolaylaştırmak amacıyla bozunma türleri çeşitli uluslararası kuruluşlar ve ülkelerce belirlenen komisyonlar tarafından çeşitli kategorilerde sınıflandırılmıştır (Fitzner ve ark., 1995; VDI 3798, 1998; Fitzner, 2002; Jo ve Lee, 2014). Bu belgelere göre tarihi taş yapılarda malzeme bozulma türleri; başta atmosfer kaynaklı sebepler olmak üzere çeşitli sebeplerden dolayı çatlama, kabarma, yüzey kaybı, parçalanma, renk değişimi, biyolojik bozulma ve önceki müdahaleden kaynaklanan hasarlar dahil olmak üzere birçok farklı türde görülmektedir. Literatürde bu bozulma türleri sınıflandırmalarını temel alarak taş yapılarıdaki malzeme bozulmalarının belgelenmesi ve haritalanması, literatürde uzun zamandır çeşitli çalışmalarda yerinde

gözlem yoluyla tahribatsız bir teknik olarak kullanılmaktadır (Fitzner, 2002; Cutler ve ark.,2013; Adamopoulos ve Rinaudo,2021; Hatır ve ark.,2021; Patil ve ark.,2021; Kramar ve ark., 2011; Bozdağ ve ark.,2019; Rodrigues, 2015; Siegesmund ve Sneathlage, 2011)

Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ve çeşitli tarama teknolojilerinin tarihi binaların belgelenmesi çalışmalarına dahil edilmesiyle beraber, tarihi yapılarda malzeme bozulmasının manuel haritalama veya bir uzman tarafından basit göz muayenesi gibi geleneksel yöntemlerle tespiti, günümüzde zaman alıcı ve zahmetli prosedürler olarak kabul edilmektedir (Barber ve ark., 2006). Gelişmiş teknolojik aletler kullanılarak tarihi yapıların 3 boyutlu nokta bulutlarının elde edilmesi, zaman kaybını ve hata oranını en aza indirmiştir (Yakar ve Doğan, 2018; Alptekin ve Yakar 2020a). Lazer tarama sonucu elde edilen nokta bulutu verileri, yapının birebir, 3 boyutlu modellenmesinin yanında, rolöve planları için gerekli olan cephe, plan ve kesit çizimi için altlık olacak verileri sağlamaktadır (Comert ve ark., 2012). Örneğin Zeybek (2021) çalışmasında; mobil lazer tarama sistemleri ile önerilen bir yöntemle, iç mekân çizimlerinin kolaylaştırılması ve 3B nokta bulutlarının karmaşıklığından 2B düzlemsel ve geometrik bilgilerin çıkarılması sağlanmıştır. Zeybek & Kaya (2020) çalışmasında; Tbeti (Cevizli) kilisesinin yapısal durumunun belirlenmesi ve malzeme bozulmalarının tespiti için fotogrametrik olarak elde edilen veriler kullanılmış, değerlendirme sonucunda kullanılan yöntemle malzeme bozulmalarının tespit edilebileceği açıklanmıştır. Polat ve ark., (2021), insansız hava aracı (İHA) fotogrametrisi kullanılmış, ortofotolar kullanılarak topografik ürünler elde edilebilmiştir. Özellikle taş yüzeylerin, belgelenmesi ve değerlendirilmesinde uzun ve zahmetli ölçümler gerektiren geleneksel yöntemler yerine yersel lazer tarama yöntemlerinin kullanılması çok büyük bir kolaylık getirmektedir (Karataş ve Alptekin, 2022). Leronis ve ark., (2010) yaptığı çalışma sonuçları, belgeleme çalışmalarında geleneksel yöntemler yerine lazer tarama yönteminin kullanılmasının arazi çalışmalarında ihtiyaç duyulan zamanı %75 ve çizim işlemlerinde ihtiyaç duyulan zamanı %25 oranında azalttığı göstermiştir.

Özellikle son on yılda umut verici bir teknik olduğu kanıtlanmış olan yersel lazer tarama yönteminin potansiyel uygulamasını doğrulamak için literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır (Özdemir ve ark., 2021; Karataş ve ark., 2022a; Diaz ve ark.,2022; Yakar ve ark. 2009; Yakar ve ark. 2014; Alptekin ve Yakar 2020b; Sevgen, 2019; Sefercik, 2021). Literatürdeki çeşitli çalışmalar, TLS (Yersel Lazer Tarayıcı) teknolojisi ve görüntü işleme metodolojilerinin; taş malzeme yüzeyindeki patolojilerin saptanmasına, deformasyonların tanımlanmasına, malzemedeki değişikliklere, taş cephe dokümantasyonuna ve koruma durumunu tahmin etmek için yersel lazer tarayıcının yerinde tespit tekniğine önemli bir alternatif olduğunu doğrulamaktadır (Kottke ve ark.,2011;; Fais ve ark.,2017; Quagliarini ve ark.,2017; Casula ve ark.,2009; Meroño ve ark.,2015; Del Pozo ve ark.,2016; Willis ve Sui,2010; Burgerb ve ark., 2007; González ve ark., 2010). Corso ve ark., (2017) taş cephelerin geometrik analizi ve taş değişikliklerinin teşhisini analiz etmek için yersel lazer

teknolojisinden elde edilen görüntü katmanları ve bunların 3B modelle ilişkilerini, yerinde incelemeyen elde edilen verilerle birleştirerek taş üzerindeki yüzey pürüzlülüğü, taş kabartması, taş erozyonu veya değişimi, renk değişimi gibi bozulma kalıplarını tespit etmiştir.

Kültürel miras alanında taş yapıların belgelenmesi için yersel lazer tarama kullanılarak elde edilen yapılara dair 3 boyutlu nokta bulutlarının üzerinden malzeme bozulması analizlerinin yapıldığı lazer taramadan elde edilen verilerden çeşitli yazılımlarla ortofotolar oluşturularak bunlar üzerinden rölöve planları için gerekli olan cephe, plan ve kesit çizimi için altlık olacak verileri elde edebildikleri sonucuna ulaşan çeşitli çalışmalar mevcuttur (Mol ve ark., 2020; Stober ve ark., 2018). Gabriele ve ark., 2010 yapmış oldukları çalışmada, İtalya Carignano Vallinotto tapınağının içten ve dıştan taramasını gerçekleştirerek 3 boyutlu modelini ve bu tapınağa ait ortofoto görüntülerini oluşturmuşlar ve ortofoto görüntüler ile rölöve planları için gerekli olan cephe, plan ve kesit çizimi için altlık olacak verileri elde etmişlerdir. Comert ve ark., (2012) yaptıkları çalışmada Eskişehir Seyitgazi ilçesinde bulunan eski askerlik şubesi olarak bilinen tarihi bir yapının üç boyutlu belgelenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu belgeleme çalışması sonucunda, elde edilen veriler bilgisayar ortamında işlenerek yapının 3B modeli, ortofoto görüntüleri, cephelerinin ve planının çizimleri üretilmiş ve yersel lazer tarama yönteminin kültürel mirasın belgelenmesinde kullanılabilirliği kanıtlanmıştır. Ortofoto görüntü; eğiklik, dönüklük ve yükseklik farkından dolayı meydana gelen hataların düzeltildiği ve dik izdüşüm haline getirildiği sayısal görüntülerdir (Yastıklı, 2009). Lazer tarama verilerinden elde edilen nokta bulutları sayesinde çeşitli yazılımlarla oluşturulabilen ortofoto görüntüler mimari belgeleme için oldukça kullanışlı ürünlerdir. Çünkü elde edilen ortofoto görüntüler ölçekli ve binanın birebir ölçüleri elde edilebildiği için mimari çizimlerde altlık olarak kullanılabilir. Ortofoto görüntüler mimari cephe çizimlerine de büyük oranda kolaylık getirmektedir. Nokta bulutundan elde edilen ortofoto görüntüler ofis ortamında cephelerin milimetre hassasiyetinde ölçüm yapılmasına imkân verir ve cepheye ait birçok detay içerir. Koruma çalışmalarında çok büyük bir öneme sahip olan cephelerde meydana gelen bozulmalar ortofoto görüntüler kullanılarak kolaylıkla çizilebilmektedir (Comert ve ark., 2012).

Literatürde yersel lazer tarama yönteminden elde edilen nokta bulutlarının ve 3 boyutlu modellerin malzeme bozulması analizlerinde kullanılması çalışmaları çok sayıda olmasına rağmen, lazer tarama yöntemiyle elde edilen verilerin ortofotolar haline getirilerek bunlardan elde edilen verilerle malzeme bozulmalarını belgelemek için gerekli olan cephe, plan ve kesit çizimlerini altlık olarak kullanan çalışmalar sınırlıdır. Meroño ve ark. (2015) çalışmasında Santa Marina Kilisesi'nin (Córdoba, İspanya) yapımında kullanılan biyokalkarenit taşı etkileyen hasarı tespit etmek ve yerini tespit etmek için Fujifilm IS-Pro dijital tek lensli refleks kamera ile çekilen fotoğrafların nesne yönelimli sınıflandırma tekniğinin uygulanması ve sınıflandırılmış görüntülerin yersel lazer tarama

verileriyle elde edilen üç boyutlu bir modele entegrasyonunu ile ortofotolarından faydalanarak tematik haritalar elde edilmiştir.

Tematik haritalar elde etme bağlamında Rodrigues (2015)'e göre; ICOMOS Sözlüğü ve Fitzner ve ark., (1995) gibi çalışma araçları ve haritalama metodolojileri belirtilen hedeflere ulaşmak için uygundur ancak bu metodolojiler karmaşık durumlarda, durumu yorumlamak için yetersiz olabilir. Daha tutarlı tanılamayı desteklemek için tamamlayıcı veriler gerekebilir. Taş malzeme bozulmalarında bozulma kalıplarına dair terimlerin özümsemesi ve yenilerinin getirilmesi coğrafyaya ve kültüre bağlıdır. Herhangi bir ulusal ve hatta bölgesel topluluğun aynı bozulma sorunlarını tanımlamak için tamamen farklı sözlükler kullanması gerekebilir. Bozulma kalıplarının ülkelerin coğrafi bağlarına uygun olarak tanımlanması ve bunların kesin karakterizasyonu ve haritalanması en uygun prosedürlerdir çünkü bozulma kalıpları, doğrudan geçmiş genetik bağlarına bağlı iyi parmak izleridir. Bu yüzden taş malzemeye dair bozulma kalıplarının diğer ülkelerde de uygulanabilirliğinin sağlanması bağlamında, tarihi yapılarıdaki malzeme sorunları ve müdahalelerine yönelik gerekli olan tespit ve ifadelendirme etaplarını coğrafi bağlamda sistematik olarak örneklemek gerekmektedir.

Bu bağlamda, yapılan çalışma yersel lazer tarama araştırmalarına dayalı olarak bir coğrafi bağlamda taş cephelerin malzeme bozulmalarını analizi için, lazer taramadan çeşitli tekniklerle elde edilen verileri yerinde incelemeyen elde edilen verilerle birleştirerek taş cephelerin malzeme bozulmalarının sistematik olarak belgelenmesine odaklanan bir değerlendirme yapmaktadır. Mardin'de koruma altına alınan kentsel sit alanı içerisinde bulunan Mungan Konağı, birçok çevresel etkiye maruz kalmasına rağmen yıllardır varlığını sürdüren eşsiz bir kültür anıtıdır. Çalışma Mardin Mungan Konağı'nın malzeme sorunlarını ele almaktadır. Araştırma kapsamında seçilen ve ana yapı malzemesi taş olan Mungan Konağı'nda malzemeler, malzeme bozulma türleri ve koruma müdahaleleri için tespit ve belgelendirmeye yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Çalışma, tarihi yapılarıdaki özgün malzemelerin korunabilmesi için gerekli olan çalışma etaplarını lazer taramadan elde edilen verilerin ortofotolar haline dönüştürülerek malzeme bozulmalarının belgelenmesini sistematik olarak örneklemesi yönüyle önemlidir. Çalışma sonucunda belgelenen taş malzeme bozulmalarına yönelik temel koruma önerileri getirilmiştir. Belirlenen amaç doğrultusunda, makale kapsamında öncelikle yapıya dair bir kaynak araştırması ve yapı üzerinde gözlemsel bir analiz yapılmıştır. Sonraki aşamada cepheler üzerinde malzeme bozulmalarına dair analitik rölövelerinin oluşturulması için izlenmesi gereken aşamaların sistematigi sunulmakta ve malzeme bozulmalarına yönelik çeşitli bulgular elde edilmektedir. Tartışma bölümünde yapılan çalışmaya dair sonuçlar tartışılmakta ve sonuç bölümünde yapı üzerinde belirlenen malzeme bozulmalarına yönelik önerilerde bulunulmaktadır.

## 2. Yöntem

Çalışmada belirlenen yapının cephelerinin malzeme bozulması analitik rölövelerinin oluşturulması için literatür araştırması, gözlem yoluyla tespit ve fotogrametrik belgeleme yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen bilgiler, betimsel ve sistematik analiz yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Araştırmanın ilk aşamasında, vaka çalışmasının uygulanacağı tarihi yapı hakkında bir durum analizi yapılarak bu kapsamda yapıya genel bilgiler bir arşiv taraması ve Mardin Büyükşehir Belediyesi Kudeb arşivinden elde edilen veriler kapsamında sunulmuştur. Ayrıca yapının malzeme bozulmalarının belgelenmesi için yapı üzerinde gözlemsel bir analiz yapılmış ve malzemelerde tespit edilen bozulmalar, bir çizelge şeklinde ile Bölüm 2.1.'de sunulmuştur. Çalışma kapsamında hazırlanan çizelge taş malzeme bozulmalarının cephelerde tespiti ve belgelendirilmesine ilişkin bir çizelgedir (Çizelge 1). Çalışmanın ikinci aşamasında fotogrametrik yöntemler kullanılarak yapının malzeme bozulmalarına dair analitik rölövelerinin hazırlanması için izlenen aşamalar sistematik olarak açıklanmaktadır. Aşağıdaki şekil iş akışına yönelik durumu özetlemektedir (Şekil 1).

Durum analizi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mungan Konağı konumu ve tarihçesi</li> <li>Yapının mekânsal planı ve cephe özellikleri</li> <li>Yapım tekniği ve malzeme özellikleri</li> <li>Mungan Konağı Malzeme bozulmaları</li> </ul>
Belgeleme	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tarama İşlemi ve Verilerin İşlenmesi</li> <li>Ortofoto Görüntülerden Cephe Çizimi</li> </ul>
Analitik rölöve	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cephe çizimleri üzerinde malzeme bozulmalarına dair analitik rölövelerin oluşturulması</li> </ul>

**Şekil 1.** Malzeme bozulmalarını belgelemede yersel lazer tarama verilerinden ortofoto oluşturma ve entegrasyona yönelik önerilen süreci gösteren iş akışı

### 2.1. Durum analizi

Yapıya dair koruma önerileri getirmeden önce yapının bulunduğu çevre ile ilişkini anlayabilmek için genel strüktürü, formu, malzemesi ve çevresiyle ilgili olarak yapıya ilişkin araştırmaların yapılması gereklidir (Karkas ve Özgünler, 2021) Bu bağlamda bu ilk aşamada; yapıyla ilgili tarihi belgeler, zaman içerisinde yaşadığı değişiklikler, mekânsal ve cephe özellikleri, malzeme ve yapım tekniği ve mevcut durumdaki malzeme bozulmalarına dair tüm bilgiler toplanmıştır. Bu bölümde bu aşamalar açıklanmaktadır.

#### 2.1.1. Mungan Konağı konumu ve tarihçesi

Yapı Mardin İli, Artuklu İlçesi Savurkapı Mahallesiinde 196 nolu ada 1 nolu parselde yer almaktadır. Korunması gerekli taşınmaz kültür varlığı Mardin Merkez Koruma Amaçlı imar planı sınırları içerisinde yer almakta ve 2. grup yapı olarak nitelendirilmiştir (T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı Şanlıurfa Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu kararı, 2020).

Elde yeterli belgeler olmadığı için sonradan yapılan eklerin devirleri hakkında bilgi edinilememektedir (Kudeb, 2016). Yapı günümüzde konut olarak

kullanılmaktadır. İki katlı olan yapıda moloz taş ve düzgün kesme taş kullanılmıştır. Zemin kat bir avlu etrafında revak kısmı ile depo, mutfak ve oda olarak kullanılan hacimlerden oluşmaktadır. Avluda duvarların iç kısmında nişler yer almaktadır. Avludan kabaralı bitkisel motifli bordürün yer aldığı basık kemerli yapılarla içeri girilmektedir. Üst katta taraçanın etrafında eyvan ve diğer hacimler sıralanmıştır (Eski eserler ve Müzeler genel müdürlüğü tescil fişi, 2016) (Şekil 3).



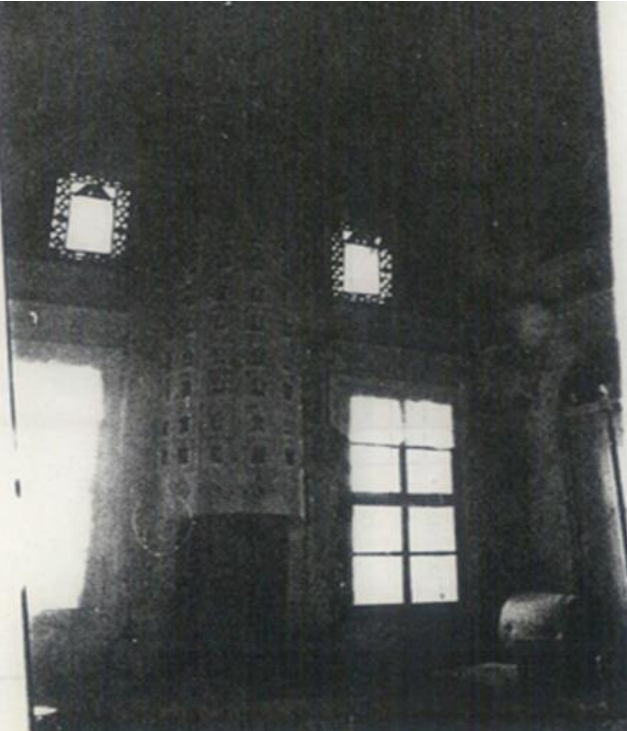
**Şekil 2.** Mungan Konağı (Moreno Mimarlık arşivi, 2022)

### 2.1.2. Yapının mekânsal planı ve cephe özellikleri

Cephe dönemini yansıtan özellikleri taşımaktadır. Yapının cephe malzemesi olarak düzgün kesme kullanılmıştır. Yapının batı cephesinde orta kısımda, cephenin masif duvar etkisini ortadan kaldıran derin bir sivri niş içerisine alınmış yuvarlak kemerli bir ahşap bir kapı bulunmaktadır. Yapının doğu cephesi ise kot farkından dolayı üç kat olarak görünmektedir. Doğu cephesinde yapının zemin katında cepheye ana beden duvarından yuvarlak kemerli bir giriş kapısı mevcuttur. Birinci katta ise cephenin orta aksı referans alındığında birinci katta duvar içerisinde derin nişler içerisine yerleştirilmiş iki adet pencere boşluğu bulunmaktadır. Pencereelerde ahşap malzeme kullanılmıştır, dış kısımlarında lokma parmaklıklar mevcuttur. Cephenin ikinci katında ise yine duvar içerisinde derin nişler içerisine yerleştirilmiş iki adet pencere boşluğu görülmektedir. Cephenin birinci katı ve ikinci kat arası yer boylu boyunca geometrik motifli bir silmeyle çerçevelenmiştir.

### 2.1.3. Yapım tekniği ve malzeme özellikleri

Yapı, geleneksel Mardin mimarisinde özgü olarak yığma yapım sistemi ile inşa edilmiş olup, ana yapım malzemesi doğal Mardin taşıdır. Yapının pencere ve kapı dışındaki ve bazı iç mekândaki kaplamalar dışında tüm yapı elemanları düzgün kesme taş olup yapıda kullanılan özgün malzemeler taş, ahşap, metal, harçtır. Metal malzeme pencere şebekelerinde, kapı menteşeleri ve kuşaklarında, kapı kilit ve sürgülerinde, kapı tokmakları, halkaları ve kulplarında kullanılmıştır. Yapıda taş malzemeyi bağlamak için harç kullanımı görülmektedir. Mardin taşının özelliğinden de yararlanılarak sıva kullanımına rastlanmamaktadır. Avlu zemini kesme taşla döşenmiştir. Avludan kabaralı bitkisel motifin yer aldığı basık kemerli kapılarla içeri girilmektedir.



**Şekil 3.** Mungan Konağı'nın 2016 yılına ait fotoğrafları (Mardin Büyükşehir Belediyesi Kudeb arşivi,2016)

#### 2.1.4. Mungan Konağı Malzeme bozulmaları

Taşların bozulma morfolojilerinin haritalanması için yapının çeşitli ölçekli çizimlerle (rölöveler) ve yakın çekim fotoğraf gibi diğer görsel imkanlarla belgelenmesi gerekmektedir. Böylece çizimler üzerinde taşın hasar tipleri işlenerek hasar lejantları oluşturularak belirlenen hasar tipleri görsel analizlere dayalı olarak oluşturulabilir (Acun ve Arıoğlu, 2006). Bu bağlamda çalışmada yapının koruma durumunu değerlendirmenin ilk adımında, hasar haritalamadan oluşan görsel bir inceleme yapılmıştır. Taş malzeme bozulmalarının belirlenmesi amacıyla hazırlanmış bir çizelge üzerinde yer alan malzeme bozulması türleri Çizelge 1.'de açıklanmaktadır.

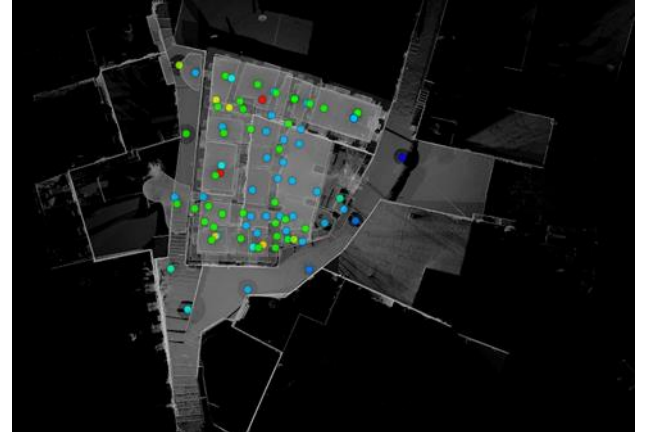
#### 2.2. Malzeme Bozulmalarının Belgelenmesi

Yapının mevcut durum analizinden sonra malzeme bozulmalarının fotogrametrik yöntemlerle belgelenmesi için izlenen aşamalar bu bölümde sistematik olarak sunulmaktadır.

##### 2.2.1. Tarama İşlemi ve Verilerin İşlenmesi

Arazide tarama işlemine geçmeden önce tarama işleminin planlanması gerekmektedir. Planlama aşamasında tarama yapılacak istasyonların konumları ve sayısı, belirlenmesi gerekmektedir (Riveiro ve ark., 2011).

Tarama yapılacak istasyonların konumları yapının tamamını ve tüm detayları kapsayacak şekilde yeterli sayıda belirlenmelidir. Bu çalışmada; Mardin Mungan Konağı binasının tarama işleminde binanın dış kısmı için 11 istasyon yeri belirlenmiştir (Şekil 4).



**Şekil 4.** Tarama işleminde kullanılan istasyonlar

Çalışmada ilk tarama istasyonun alet merkezli koordinat sistemi proje koordinat sistemi olarak belirlenmiş ve diğer tüm istasyonlardan elde edilen nokta bulutu verileri bu koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Verilerin temizleme işleminden sonra tüm yapıya ait 3 boyutlu nokta bulutu oluşturulur. Bu aşamada Mardin Mungan Evi'nin belgelenmesi amacıyla tarama işleminde yersel lazer tarama yöntemi kullanılmıştır. Yapı yersel lazer tarama cihazı kullanılarak (Faro Focus Laser Scanner) dış cephe taraması yapılmış ve yapılan tarama işleminde elde edilen nokta bulutları elde edilmiştir.

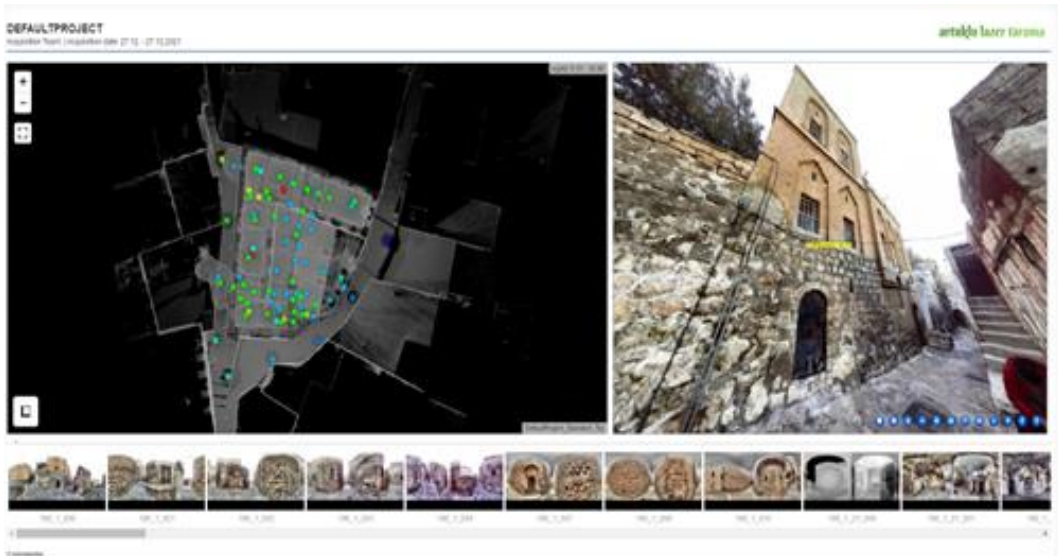
**Çizelge 1.** Mardin Mungan Konağı cephelerinde kâgir malzeme ile üretilmiş yapı elemanlarında karşılaşılan sorunların tespiti ve belgelenmesi (Not: Karataş, 2016 üzerinden düzenlenmiştir).

DOĞAL TAŞ YAPI ELEMANLARI		SORUNLAR																									
		Yüzey kaybı	Parça kopması	Boşluk/ delik oluşumu	Oyuklanma	Çatlak	Kavlanma	Yapraklanma	Derz boşalması	Yüzey kirliliği	Kabuk oluşum	Çiçeklenme	Şekerlenme	Bitki oluşumu	Yosun oluşumu	Korozyon (Pas lekesi)	Aşınma	Form kaybı	Renk değişimi	Hatalı Onarımlar							
																				Çimento kullanımı	Taşın boyanması	Diğer					
DÜŞEY TAŞIYICILAR	Tek Taşyıcılar	Ayak																									
	Sürekli Taşyıcılar	Sütun																									
YATAY TAŞIYICILAR	Döşemeler	Düz																									
		Eğrisel	Tonoz																								
DÜŞEY TAŞIYICILAR	Kapı	Lento/söve																									
		Eşik	Lento/söve																								
DÜŞEY TAŞIYICILAR	Kemer	Lento/söve																									
		Denizlik																									
YARDIMCI ELEMANLAR	Şebeke																										
	Silme																										
	Çörtten																										
	Baca																										
	Örtüye Geçiş Elemanı																										

## 2.2.2. Ortofoto görüntülerden cephe çizimi

Bu bölümde nokta bulutu verisi kullanılarak ortofoto oluştururken izlenen adımlar detaylı bir şekilde verilmiştir. Lazer tarama işleminde elde edilen nokta bulutları PointCab Origins 4.0 adlı yazılım kullanılarak yapının 3B görüntüleri elde edilmiştir. İlk olarak ortofotosu oluşturulacak objeyi kapsayacak şekilde bir projeksiyon yüzeyi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yüzeye noktalar dik olarak iz düşürülmüştür. İz düşürülen noktalar projeksiyon yüzeyinde piksel olarak tanımlanmıştır, nokta yoğunluğuna bağlı olarak bir noktanın ifade ettiği piksel boyutu belirlenmiştir. Ayrıca

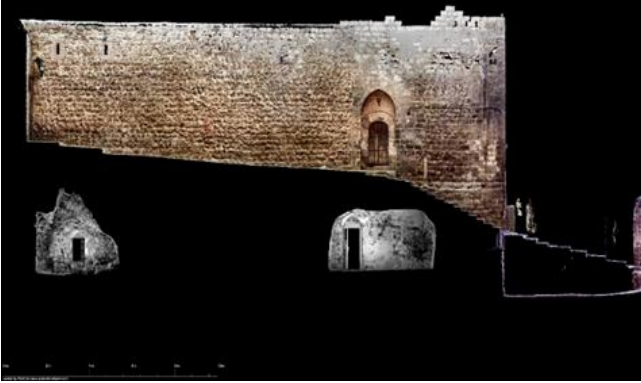
oluşturulan ortofotoda noktaların düzleme olan uzaklık bilgilerinden faydalanarak her bir piksele derinlik değeri atanmış ve oluşturulan ortofotonun çözünürlüğü bir pikselin bir kenar uzunluğuna karşılık gelen gerçek uzunluk değeri ile tanımlanmıştır. Ortofoto üretim aşamasında projeksiyon yüzeyi olarak düzlem kullanılmış ve düzlem oluşturulduktan sonra ortofoto oluşturma işlemine geçilmiştir. Projeksiyon düzlemi, ortofotosu alınacak cephe üzerinden seçilen noktalar ile belirlenmiştir. Projeksiyon düzleminin genişlik ve yükseklik değerleri istenilen ortofotoya göre ayarlanmıştır (Şekil 5).



**Şekil 5.** Yersel Lazer Tarama Elde edilen 360 derece panoramik görüntülerin PointCab Origins 4.0 adlı program kullanılarak üç boyutlu hale getirilmesi

Bir sonraki aşamada PointCab Origins 4.0 adlı yazılım kullanılarak yapının 3 boyutlu görüntüleri üzerinde istenilen yerlerden kesitler alınarak yapıya dair ortofotolar üretilmiştir (Şekil 6-7).

Cephelerin çizimlerinin oluşturulması işleminde ise AutoCAD programı kullanılmıştır. Çizim işlemine geçilmeden önce PointCab Origins 4.0 yazılımında üretilen ortofoto görüntüleri AutoCAD ortamına aktarılmıştır. AutoCAD yazılımlarının ortak veri formatı olan .tif ya da .tiff uzantılı TIF dosyası formatında AutoCAD ortamına aktarılabilir. Elde edilen ölçekli ortofoto görüntüleri kullanılarak, Autocad programı ile yapının cephe çizimleri elde edilmiştir.



Şekil 6. PointCab Origins 4.0 adlı programında yapının ölçekli ortofotoların elde edilmesi (Batı Cephesi)



Şekil 7. PointCab Origins 4.0 adlı programında yapının ölçekli ortofotoların elde edilmesi (Doğu Cephesi)

### 3. Bulgular

Önceki bölümde yapılan makro ve mikro görsel gözlemler, yapının veya anıtın mevcut durum analizi ve lazer taramadan elde edilen ortofotolardan elde edilen cephe çizimleri karşılaştırmalı olarak değerlendirildikten sonra, aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

#### 3.1. Batı Cephesi Malzeme Bozulmaları

Tarihi Mardin Mungan Konağı batı cephesinde taş malzeme bozulma türlerinden yüzey kirliliği, renk değişimi, çiçeklenme ve çimento kullanımından kaynaklı hatalı onarımlara ve yine çeşitli hatalı onarımlar sonucu yapılmış sıvaların dökülmesi sorunlarına rastlanmıştır. Yapılarda yüzey kirliliği hava kirliliğine bağlı olarak ortaya çıkıp gri renkli ve yüzeyde ince bir tabaka halinde görülen bozulmalardır. Renk değişimi ise gün ışığı, su, nem ya da herhangi bir akıntı (metallerin korozyonu sonucu yıkanması vs.) etkisiyle taşı oluşturan minerallerin kimyasal değişime uğraması sebepleriyle taşlarda renklenme, solma, nemli bölge koyuluğu ve lekelenme olarak kendini göstermektedir. Yapıda onarım amacıyla yapılan yanlış uygulamalar çimento kullanımı, görülmektedir (Şekil 8).

Taş yüzeyinin çimento ile kaplanmış olması taşın yüzeyini kapatmaktadır. Bunun sonucunda da taşın dış çevre ile etkileşimi kesilmekte ve malzeme bozulması süreci hızlanmaktadır. Çiçeklenme ise taş malzeme yüzeyinde atmosferik dış etkilere bağlı olarak yüzeydeki tuz birikimi oluşmasıdır. Çiçeklenme ile taş ve sıva kabırır, çözünür, dökülür veya yüzeydeki tuz birikimi kabuk oluşturarak kirliliğe neden olmaktadır. Mardin de ibadet yapıları atmosfer olayları sonucu gerçekleşen ıslanma-kuruma süreci, rüzgârla yapının herhangi bir duvardaki boşluk-delik kısmına çeşitli maddelerin taşınımı, yapıya çeşitli kimyasal maddeler ve çimento gibi hatalı uygulamalar yapılması sonucu çeşitli tuz etkilerine maruz kalmaktadır. Tuzların zaman içinde yağmur gibi etkenler sonucu taşın bünyesine alınmasıyla taş yüzeyinde baskı meydana getirmektedir. Yine yağmur etkisiyle taşın iç yüzeyindeki tuzlar taşın yüzeyinde ya da gözeneklerinde birikmektedirler (Karataş ve ark., 2022b).

#### 3.2. Doğu Cephesi Malzeme Bozulmaları

Tarihi Mardin Mungan Konağı doğu cephesinde taş malzeme bozulma türlerinden yüzey kirliliği, renk değişimi, çiçeklenme ve çimento kullanımından kaynaklı hatalı onarımlara ve yine çeşitli hatalı onarımlar sonucu yapılmış sıvaların dökülmesi sorunlarına rastlanmıştır (Şekil 9).





Şekil 8. Yapının batı cephesinde malzeme bozulmalarına dair analitik rölöve



Şekil 9. Yapının doğu cephesinde malzeme bozulmalarına dair analitik rölöve

#### 4. Tartışma

Yapılan çalışma yersel lazer tarama araştırmalarına dayalı olarak taş cephelerin malzeme bozulmalarını analizi için, lazer taramadan çeşitli tekniklerle elde edilen verileri yerinde incelemeye dayalı olarak elde edilen verilerle birleştirilerek taş cephelerin malzeme bozulmalarının belgelenmesine odaklanan bir değerlendirme yapmaktadır. Çalışmamızda elde edilen bulgulara göre vurgulanması gereken ilk sonuç; Comert ve ark., (2012); Gabriele ve ark., (2010)' nin çalışma sonuçlarında elde ettiği lazer taramadan elde edilen nokta bulutları sayesinde çeşitli yazılımlarla oluşturulabilen ortofoto görüntüler üzerinden rölöve planları için gerekli olan cephe, plan ve kesit çizimi için altlık olacak verileri elde edebildikleri sonucuna katkı sağlayarak ortofotoların malzeme bozulmalarına yönelik analitik rölövelerin oluşturulmasının da sağlanabileceğini göstermektedir. Ayrıca lazer tarama yönteminden elde edilen nokta bulutlarından belirlenen yöntemle malzeme bozulmalarına yönelik analitik rölövelerini kolaylıkla

Karataş ve ark., (2022c) çalışma sonuçlarında elde ettiği özellikle taş yüzeylerin, belgelenmesi ve değerlendirilmesinde uzun ve zahmetli ölçümler gerektiren geleneksel yöntemler yerine fotogrametrik yöntemlerin kullanılması çok çok büyük bir kolaylık getirdiği bulgusuna destek vermektedir. Ayrıca sunulan yöntemle istenen verilerin çok kısa bir zaman içerisinde oluşturulabilmesi Leronis ve ark., (2010) yaptığı çalışma sonuçlarında belirttiği, belgeleme çalışmalarında geleneksel yöntemler yerine lazer tarama yönteminin kullanılmasının arazi çalışmalarında ihtiyaç duyulan zamanı % 75 ve çizim işlemlerinde ihtiyaç duyulan zamanı % 25 oranında azalttığı gösterdiği çalışmasına destek vermektedir.

Vurgulanması gereken bir diğer önemli bulgu; incelen yapıda yapılan çalışmalar sonucu elde edilen verilere göre; taş malzeme ile üretilmiş yapı elemanlarında genel olarak en fazla karşılaşılan sorun insan kaynaklı sebeplerden oluşan hatalı onarımdır. Yapıda onarım amacıyla yapılan yanlış uygulamalar çimento kullanımı, sıva kullanımı ve dökülmeleri görülmektedir. Bu sonuçta

ICOMOS'un Mardin için yapmış olduğu değerlendirme içeriği raporunda sunduğu UNESCO, (2019); kentin genel tarihi dokusunun bozulmuş olduğu, birçok tarihi yapıda kentteki mevcut dokuyu ve malzemelerini dikkate almaksızın onarım yapıldığı, birçok yapının acil onarım gerektirdiği ve alandaki en büyük risklerden birisinin koruma ihtiyaçlarının yeterince anlaşılmamış olduğu ve koruma organizasyonunda yetişmiş yetersiz teknik personel ve kaynak sorunu olduğunu doğrulamaktadır.

Bir diğer bulgu; incelen yapıda yapılan gözlemler sonucu elde edilen verilere göre; Mardin ili kentsel sit alanında yer alan Mungan Konağı cephelerinde taş malzeme ile üretilmiş yapı elemanlarında genel olarak en fazla karşılaşılan sorun insan kaynaklı sebeplerden oluşan hatalı onarımdır. Taş malzeme üzerinde onarım amaçlı çimento kullanımı bu konuda ön sıradadır. Bu sorunları sırasıyla; yüzey kirliliği, renk değişimi, çiçeklenme sorunları izlemektedir. Bu sonuç Kramar ve ark. (2011) çalışmasında kireçtaşının farklı bir coğrafi bağlamda incelediği anıt üzerindeki taş malzemede oluşan yüzey kirliliği, renk değişimi, çiçeklenme gibi bozunma türlerinin görüldüğü bulgusuyla benzerdir. Ancak o çalışmada varılan sonuç olan kireçtaşında en önemli bozulmanın çözünür tuz oluşumu olduğu bulgusuyla tezat oluşturmaktadır. Ayrıca diğer bir çalışmada ulaşılan bulgu olan Patil ve ark. (2021) bazaltın bozulma sebeplerinin en fazla hava kirliliği ve iklim nedeniyle olduğu sonucu ile de tezatlık oluşturmaktadır. Bu sonuçlar ülkemizde taş anıtların bozulma sebeplerinin diğer ülkelerle kıyaslandığında atmosferik şartlardan öte insan kaynaklı sebeplerden kaynaklandığı ve acil bir şekilde buna bir tedbir alınması gerektiğini göstermektedir.

## 5. Sonuç

Yapılan çalışma yersel lazer tarama araştırmalarına dayalı olarak taş cephelerin malzeme bozulmalarını analizi için, lazer taramadan çeşitli tekniklerle elde edilen verileri yerinde incelemeyen elde edilen verilerle birleştirilerek taş cephelerin malzeme bozulmalarının belgelenmesine odaklanan bir değerlendirme yapmaktadır. Çalışma, tarihi yapılarındaki özgün malzemelerin korunabilmesi için gerekli olan çalışma etaplarını lazer taramadan elde edilen verilerin ortofotolar haline dönüştürülerek malzeme bozulmalarını belgelemek için bir altlık oluşturulmasının yöntemlerini sistematik olarak örneklemesi yönüyle önemlidir. Ulaşılan bulgular kapsamında, Tarihi Mardin Mungan Konağı cephelerinde taş malzeme bozulma türlerinden yüzey kirliliği, çiçeklenme, çimento kullanımından kaynaklı hatalı onarımlara ve yine çeşitli hatalı onarımlar sonucu yapılmış sıvaların dökülmesi sorunlarına rastlanmıştır. Yapıda meydana gelen hasarların olası nedenleri arasında kullanıcı kaynaklı bozulmalar ve doğa şartlarının olumsuz etkileri sıralanabilir.

Tüm sonuçlar doğrultusunda yapılacak müdahaleler kapsamında atmosfer kaynaklı bozulmalar olan renk değişimi, yüzey kirliliği, çiçeklenme türündeki bozulmalarda kimyasal uygulama yapılmadan önce kullanıcıların, mutlaka bu alanda uzmanlaşmış kişilerden teknik tavsiye alması gerekmektedir. Eğer taş su girişi

var ise bu durum taşın bozulma süreçlerini hızlandıracaktır. Bu durumun önüne geçilmesi için taştaki yüzey gerilimini azaltarak taşın kirlenmesini geciktirmek ve taşta su ve sulu çözeltilerin nüfuz etmesini önlemek gerekmektedir. Bu kapsamda ise su itici kimyasal uygulamalar taş koruma çalışmaları kapsamında uzmanlar tarafından gerekli görülürse tercih edilebilir.

Dünyada özellikle restorasyon ve koruma çalışmalarında önde gelen ülkelerde taş koruma uygulamaları, tarihi yapıları koruma kuralları, standartlar ve yönetmelikler çerçevesinde yapılmaktadır. Türkiye'de de daha başarılı sonuçlar elde edilebilmesi ve özgün tarihi yapı taşlarında bu uygulamaların daha fazla zarara neden olmaması için taş sağlamlaştırma uygulamalarının mutlaka coğrafya bağlamında standartlaşması gerekmektedir. Taş koruma çalışmalarının planlanması, disiplinler arası bir hiyerarşiye dayandığından taş koruma ve sağlamlaştırma uygulamaları yapan malzeme firmalarının teknik elemanları ile restorasyon firmalarında çalışıp bu alanda uygulama yapan uzmanların iş birliği süreci yönetmeleri ileride yaşanacak geri dönüşümü olmayan hataların önüne geçilmesini sağlayacaktır (Karkaş ve Özgünler, 2021).

Çalışmamızda; bir coğrafi bağlamda yapılan malzeme ve malzeme bozulmaları analizinin tespit ve ifadelendirilmesinin, bu coğrafi bağlamdaki malzeme sorunlarının tanımlanmasında ve teşhis edilmesinde literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Daha spesifik olarak, bozulma kalıpları, görsel inceleme ile desteklenerek tanımlanabilir ve bilgisayar destekli tasarım (CAD) veya coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ortamında farklı ölçeklerde haritalanabilir. Haritalama nispeten uygun maliyetli bir tekniktir ve diğer yerinde incelemelerle birleştirildiğinde, numune alma ve laboratuvar testlerinin planlanmasına yardımcı olarak teşhis ve koruma prosedürlerinin maliyetini azaltabilir.

## Bilgilendirme/Teşekkür

Makalede veri toplama amaçlı kullanılan veriler olan Mardin Mungan Konağı'na ait nokta bulutu verileri için Moreno Mimarlık'a teşekkür ederiz.

## Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynakça

- Acun, S., & Arioğlu, N. (2006). A method for the preservation and restoration of the stones used in historical buildings. *Architectural Science Review*, 49(2), 143-148.
- Adamopoulos, E., & Rinaudo, F. (2021). Combining multiband imaging, photogrammetric techniques, and FOSS GIS for affordable degradation mapping of stone monuments. *Buildings*, 11(7), 304.

- Alptekin, A., & Yakar, M. (2020a). Kaya Bloklarının 3B Nokta Bulutunun Yersel Lazer Tarayıcı Kullanarak Elde Edilmesi. *Türkiye LİDAR Dergisi*, 2(1), 1-4.
- Alptekin, A., & Yakar, M. (2020b). Mersin Akyar Falezini 3B modeli. *Türkiye Lidar Dergisi*, 2(1), 5-9.
- Armesto-González, J., Riveiro-Rodríguez, B., González-Aguilera, D., & Rivas-Brea, M. T. (2010). Terrestrial laser scanning intensity data applied to damage detection for historical buildings. *Journal of Archaeological Science*, 37(12), 3037-3047.
- Barber, D. M., Dallas, R. W., & Mills, J. P. (2006). Laser scanning for architectural conservation. *Journal of Architectural Conservation*, 12(1), 35-52.
- Bozdağ, A., İnce, İ., Bozdağ, A., Hatır, M. E., Tosunlar, M. B., & Korkanç, M. (2020). An assessment of deterioration in cultural heritage: The unique case of Eflatunpınar Hittite Water Monument in Konya, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79, 1185-1197.
- Burgerb, A., Grimm-Pitzinger, A., & Thaler, E. (2007, October). A combination of modern and classic methods of surveying historical buildings—The Church St. Valentin in the South Tyrol. In *Proceedings of the XXI International CIPA Symposium, Athens, Greece* (pp. 1-6).
- Casula, G., Fais, S., & Ligas, P. (2009). An experimental application of a 3D terrestrial laser scanner and acoustic techniques in assessing the quality of the stones used in monumental structures. *International Journal of microstructure and materials properties*, 4(1), 45-56.
- Corso, J., Roca, J., & Buill, F. (2017). Geometric analysis on stone façades with terrestrial laser scanner technology. *Geosciences*, 7(4), 103.
- Cutler, N. A., Viles, H. A., Ahmad, S., McCabe, S., & Smith, B. J. (2013). Algal 'greening' and the conservation of stone heritage structures. *Science of the Total Environment*, 442, 152-164.
- Çağlayan, M. (2021). Mardin'in UNESCO Dünya Mirası Listesi'ne Alınma Süreci. *International Journal of Mardin Studies*, 2(2), 7-16.
- Çömert, R., Avdan, U., Muammer, T. Ü. N., & Ersoy, M. (2012). Mimari belgelemede yersel lazer tarama yönteminin uygulanması (Seyitgazi Askerlik Şubesi Örneği). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(1), 1-18.
- Del Pozo, S., Herrero-Pascual, J., Felipe-García, B., Hernández-López, D., Rodríguez-González, P., & González-Aguilera, D. (2016). Multispectral radiometric analysis of façades to detect pathologies from active and passive remote sensing. *Remote Sensing*, 8(1), 80.
- Diaz, B. S., Mata-Zayas, E. E., Gama-Campillo, L. M., Rincon-Ramirez, J. A., Vidal-Garcia, F., Rullan-Silva, C. D., & Sanchez-Gutierrez, F. (2022). LiDAR modeling to determine the height of shade canopy tree in cocoa agroecosystems as available habitat for wildlife. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 283-293.
- Eski eserler ve Müzeler genel müdürlüğü tescil fişi, (2016). Mardin Büyükşehir Belediyesi, Mardin.
- Fais, S., Cuccuru, F., Ligas, P., Casula, G., & Bianchi, M. G. (2017). Integrated ultrasonic, laser scanning and petrographical characterisation of carbonate building materials on an architectural structure of a historic building. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 76, 71-84. <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0815-9>
- Fitzner, B. (2002, May). Damage diagnosis on stone monuments-in situ investigation and laboratory studies. In *Proceedings of the International Symposium of the Conservation of the Bangudae Petroglyph* (Vol. 7, pp. 29-71). Seoul, Korea: Seoul National University.
- Fitzner, B., Heinrichs, K., & Kownatzki, R. (1995). *Weathering Forms, Classification and Mapping: Verwitterungsformen-Klassifizierung und Kartierung*. Ernst and Sohn.
- Gabriele, G., Danilo, G., & Marco, B. (2010). The employment of terrestrial laser scanner in cultural heritage conservation: the case study of Vallinotto Chapel in Carignano-Italy. *Applied Geomatics*, 2, 59-63.
- Hatır, M. E., İnce, İ., & Korkanç, M. (2021). Intelligent detection of deterioration in cultural stone heritage. *Journal of Building Engineering*, 44, 102690.
- Jo, Y. H., & Lee, C. H. (2014). Quantitative modeling of blistering zones by active thermography for deterioration evaluation of stone monuments. *Journal of Cultural Heritage*, 15(6), 621-627.
- Karataş, L. (2016). *Mardin Kenttsel Sit Alanındaki İbadet Yapılarında Malzeme Kullanımı ve Sorunları Üzerine Bir Araştırma* (Master's Thesis, Uludağ University, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 340p).
- Karataş, L., & Alptekin, A. (2022). Kagir Yapılardaki Taş Malzeme Bozulmalarının Lidar Tarama Yöntemi ile Belgelemesi: Geleneksel Silvan Konağı Vaka Çalışması. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4(2), 71-84.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022a). Analytical Documentation of Stone Material Deteriorations on Facades with Terrestrial Laser Scanning and Photogrammetric Methods: Case Study of Şanlıurfa Kışla Mosque. *Advanced LiDAR*, 2(2), 36-47.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022b). Creating Architectural Surveys of Traditional Buildings with the Help of Terrestrial Laser Scanning Method (TLS) and Orthophotos: Historical Diyarbakır Sur Mansion. *Advanced LiDAR*, 2(2), 54-63.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022c). Detection and documentation of stone material deterioration in historical masonry structures using UAV photogrammetry: A case study of Mersin Aba Mausoleum. *Advanced UAV*, 2(2), 51-64.
- Karkaş, Z. S., & Özgünler, S. A. (2021). Tarihi Yapılarda Kagir Yapı Malzemelerinin Koruma Uygulamalarında Kullanılabilecek Bir Yöntem Önerisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(3), 564-577.
- Kottke, J., Matero, F., & Hinchman, J. (2011). Terrestrial laser scanning: imaging, quantifying, and monitoring microscale surface deterioration of stone at heritage sites. *Change Over Time*, 1(2), 268-287.
- Kramar, S., Mladenović, A., Pristacz, H., & Mirtiç, B. (2011). Deterioration of the black Drenov Grič limestone on historical monuments (Ljubljana, Slovenia). *Acta Carsologica*, 40(3), 483-495.

- Lerones, P. M., Fernández, J. L., Gil, Á. M., Gómez-García-Bermejo, J., & Casanova, E. Z. (2010). A practical approach to making accurate 3D layouts of interesting cultural heritage sites through digital models. *Journal of cultural heritage*, 11(1), 1-9.
- Mardin Büyükşehir Belediyesi Kudeb arşivi (2016). Mardin.
- Meraz, F. (2019). Cesare Brandi (1906 to 1988): his concept of restoration and the dilemma of architecture. *Conversaciones con...*, (7), 160-174.
- Meroño, J. E., Perea, A. J., Aguilera, M. J., & Laguna, A. M. (2015). Recognition of materials and damage on historical buildings using digital image classification. *South African Journal of Science*, 111(1-2), 01-09.
- Mol, A., Cabaleiro, M., Sousa, H. S., & Branco, J. M. (2020). HBIM for storing life-cycle data regarding decay and damage in existing timber structures. *Automation in Construction*, 117, 103262. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103262>
- Moreno Mimarlık arşivi (2022). Moreno Mimarlık, Mardin.
- Özdemir, S., Akbulut, Z., Karsli, F., & Hayrettin, A. C. A. R. (2021). Automatic extraction of trees by using multiple return properties of the lidar point cloud. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(1), 20-26.
- Patil, S. M., Kasthurba, A. K., & Patil, M. V. (2021). Characterization and assessment of stone deterioration on Heritage Buildings. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00696.
- Polat, N., Çokoğullu, S., Memduhoğlu, A., Ulukavak, M., Şenol, H. İ., Muharrem, O. R. A. L., ... & Marangoz, Ö. (2021). İHA fotogrametrisinin arkeolojik yüzey araştırmalarına katkılarının incelenmesi. *TÜBA-AR Türkiye Bilimler Akademisi Arkeoloji Dergisi*, (28), 175-186.
- Quagliarini, E., Clini, P., & Ripanti, M. (2017). Fast, low cost and safe methodology for the assessment of the state of conservation of historical buildings from 3D laser scanning: The case study of Santa Maria in Portonovo (Italy). *Journal of Cultural Heritage*, 24, 175-183.
- Riveiro, B., Morer, P., Arias, P., & De Arteaga, I. (2011). Terrestrial laser scanning and limit analysis of masonry arch bridges. *Construction and building materials*, 25(4), 1726-1735.
- Rodrigues, J. D. (2015). Defining, mapping and assessing deterioration patterns in stone conservation projects. *Journal of Cultural Heritage*, 16(3), 267-275.
- Sefercik, U. G., Ateşoğlu, A., & Atalay, C. (2021). Orman meşcere yükseklik haritası üretiminde hava kaynaklı lazer tarama performans analizi. *Geomatik*, 6(3), 179-188.
- Sevgen, S. C. (2019). Airborne lidar data classification in complex urban area using random forest: a case study of Bergama, Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(1), 45-51.
- Siegesmund, S., & Snethlage, R. (2011). Stone in Architecture, 680, Characterisation of Stone Deterioration on Buildings. ISBN: 10.1007/978-3-642-14475-2
- Stober, D., Žarnić, R., Penava, D., Podmanicki, M. T., & Virgej-Đurašević, R. (2018). Application of HBIM as a research tool for historical building assessment. *Civil Engineering Journal*, 4(7), 1565.
- T.C Kültür ve Turizm Bakanlığı Şanlıurfa Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kurulu kararı. (2020)
- UNESCO (2019). Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention. Paris: World Heritage Centre
- UNESCO. (30 June-5 July 2003). Evaluations of Cultural Properties. World Heritage Convention World Heritage Committee (27th Ordinary Session), Paris: UNESCO Headquarters.
- VDI 3798 (1998). Untersuchung und Behandlung von immissionsgeschädigten Werkstoffen, insbesondere bei kulturhistorischen Objekten. Die Graphische Dokumentation. VDIRichtlinien, 1-27.
- Willis, A., Sui, Y., Galor, K., & Sanders, D. (2010, June). Estimating gothic facade architecture from imagery. In *2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition-Workshops* (pp. 43-48). IEEE.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50-55.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoğlu, Ö. (2009). Hacim Hesaplamalarında Lazer Tarama ve Yersel Fotogrametrisinin Kullanılması. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoğlu, O. (2014). Performance of Photogrammetric and Terrestrial Laser Scanning Methods in Volume Computing of Excavation and Filling Areas. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(1), 387-394.
- Yastıklı, N. (2009). Ortofoto ders notları. *Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü Fotogrametri Anabilim Dalı*.
- Zeybek, M. (2021). Indoor Mapping and Positioning Applications of Hand-Held LiDAR Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) Systems. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(1), 7-16. <https://doi.org/10.51946/melid.927004>
- Zeybek, M., & Kaya, A. (2020). Tarihi yığma kiliselerde hasarların fotogrametrik ölçme tekniğiyle incelenmesi: Artvin Tbeti kilisesi örneği. *Geomatik*, 5(1), 47-57. <https://doi.org/10.29128/geomatik.568584>





## Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



# PM10, SO<sub>2</sub> hava kirleticilerinin çoklu doğrusal regresyon ve yapay sinir ağları ile sezonsal tahmini

Burak Kotan\*<sup>1</sup>, Arzu Erener<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Jeoinformasyon Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Coğrafi Bilgi Sistemleri  
Çoklu Doğrusal Regresyon  
Hava Kirliliği  
Tahmin Modeli  
Yapay Sinir Ağı

### Araştırma Makalesi

Geliş: 06.08.2022  
Revize: 13.12.2022  
Kabul: 19.12.2022  
Yayınlanma: 15.02.2023



### Öz

Nüfus artışıyla birlikte kentleşme, sanayileşme ve taşıt sayısındaki artışlar hava kirliliğinin artmasına sebep olmaktadır. Hava kirliliği insan ve çevre sağlığına zarar vermektedir. Bu nedenle bu çalışmada hava kirliliğinin önlenmesi, tedbirlerin alınması ve planlamaların yapılabilmesi için 1 yıl önceden hava kirliliğinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Hava kirliliği parametrelerinden olan PM10 ve SO<sub>2</sub> parametrelerinin mevsimsel ortalamalarının tahmin edilmesi için çoklu doğrusal regresyon analizi ve yapay sinir ağı yöntemleri kullanılmıştır. Kocaeli, Türkiye'nin sayılı sanayi bölgelerinden olması dolayısı ile çalışma alanı olarak seçilmiştir. Tahmin modellerinde meteorolojik veriler, kirletici konsantrasyonları, kentleşme, sanayileşme, topografik ve demografik veriler kullanılmıştır. Çalışmada enterpolasyon yöntemleri ile verilerin sürekliliğinin sağlanmasında, veri setlerinin oluşturulmasında ve haritaların yapılmasında coğrafi bilgi sistemleri kullanılmıştır. Çalışmada 2008 ile 2017 yılları arasındaki veriler ile tahmin modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modellere 2018 verileri sunularak 2019 yılına ait tahmin değerleri elde edilmiştir. Elde edilen tahmin değerleri 2019 yılına ait gerçek değerler ile karşılaştırılmıştır. Model performansları ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) değerine göre değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda yapay sinir ağının çoklu regresyon analizine göre performansının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, mekânsal verilerin hava kirliliği tahmin modellerinde coğrafi bilgi sistemleri ile kullanılabilirliği gösterilmiştir.

## Seasonal forecasting of PM10, SO<sub>2</sub> air pollutants with multiple linear regression and artificial neural networks

### Keywords

Geographic Information Systems  
Multiple Linear Regression  
Air Pollution  
Prediction Model  
Artificial Neural Network

### Research Article

Received: 06.08.2022  
Revised: 13.12.2022  
Accepted: 19.12.2022  
Published: 15.02.2023

### Abstract

Increases in air pollution are caused by population growth, urbanization, industrialization, and a rise in the number of cars. Human and environmental health are harmed by air pollution. According to this scope, the goal is to forecast air pollution one year ahead of time in order to prevent pollution, take safeguards, and plan ahead. The seasonal averages of PM10 and SO<sub>2</sub> values, which are air pollution metrics, were calculated using multiple linear regression analysis and artificial neural network methods. Because Kocaeli is one of Turkey's few industrial regions, it was chosen as the study area. In the forecast models, meteorological data, pollution concentrations, urbanization, industrialization, topography, and demographic data were all employed. Geographic information systems were employed in the study to assure data continuity using interpolation methods, construct data sets, and create maps. Prediction models were built using data from 2008 to 2017 in the study. The forecast values for 2019 were produced by feeding the 2018 data to the constructed models. The anticipated values were compared to the actual values for the year 2019. The mean absolute percent error (MAPE) was used to assess model performance. As a result of the research, it was discovered that the artificial neural network outperformed the multiple regression analysis. Furthermore, the use of spatial data in air pollution forecasting models using geographic information systems has been established.

### \*Sorumlu Yazar

\*[bkotan19@gmail.com](mailto:bkotan19@gmail.com)) ORCID ID 0000-0003-2105-7498  
([arzu.erenner@kocaeli.edu.tr](mailto:arzu.erenner@kocaeli.edu.tr)) ORCID ID 0000-0002-9168-4254

### Kaynak Göster (APA)

Kotan, B., & Erener, A. (2023). PM10, SO<sub>2</sub> hava kirleticilerinin çoklu doğrusal regresyon ve yapay sinir ağları ile sezonsal tahmini. *Geomatik, 8(2)*, 163-179

## 1. Giriş

Hava, insanların ve birçok canlıının solunumunda en temel unsurlardan biri olduğu için hava kirliliği de tüm insanları ilgilendiren bir konu haline gelmektedir. Hava kirliliğine sebep olan kirletici konsantrasyonlarında meydana gelen artışlar da insan, canlı ve çevre sağlığını büyük oranda etkilemektedir. Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre her yıl dünyada yaklaşık 7 milyon insanın ölümüne hava kirliliğinin sebep olduğu söylenmekte ve hava kirliliğinin akciğer kanserine, kalp hastalıklarına ve akut solunum yolu enfeksiyonlarına bağlı olarak ölüm sayılarının artmasına sebebiyet verdiği söylenmektedir (Du ve ark., 2021).

Dünya nüfusunun çoğunluğu şehirlerde yaşamını sürdürdüğü için kentlerde hava kirliliği insan sağlığı açısından büyük sorun teşkil etmektedir (Bannister ve ark., 2021). Özellikle yaşlılar ve çocuklar üzerindeki etkisinin fazla olmasıyla birlikte sağlık hizmetlerindeki ekstra maliyetlere dolayısıyla ekonomiye de olumsuz etkileri olmaktadır (Gonzalez-Enrique ve ark. 2021). İnsanların hava kirliliğine maruz kalmama ihtimalinin az olmasından dolayı ulusal veya bölgesel düzeyde yerel yönetimler tarafından tedbirlerin alınması gereklidir. Hava kirliliğinin sebep olduğu insan sağlığı üzerindeki etkisinin azaltılması konusunda uzun vadeli politikaların geliştirilip uygulanmaya başlanması, yerleşim alanları, ulaşım, enerji üretimi ve sanayi alanları gibi birçok sektörde gerekli olduğu belirtilmektedir (Kolasa-Wiecek ve Suszanowicz, 2019).

Hava kalitesinin belirlenmesinde birçok kirletici olmasına rağmen DSÖ partikül madde 10 (PM<sub>10</sub>) ve kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) ölçümlerinin kullanılmasını yeterli görmektedir (Yılmaz, 2017). PM<sub>10</sub>, havada asılı duran 10 mikrometre (µm) ve daha küçük boyuttaki katı ve sıvı partikülleri ifade etmektedir. SO<sub>2</sub> ise renksiz, kokusuz ve doğrudan zehirleyici bir gaz olma özelliği taşımaktadır. Hava kirliliği doğal nedenler ve insan faaliyetleri sonucunda olmak üzere 2 şekilde gerçekleşmektedir. Volkanik aktiviteler, orman yangınları ve bataklıklar doğal nedenlere, ısınma, ulaşım, enerji üretimi, sanayileşme ise insana bağlı olarak hava kirliliğine sebep olan faktörler arasında yer almaktadır. Isınma ihtiyacı doğrultusunda oluşan hava kirliliği, düşük kalitedeki yakıtların kullanılması, konutlarda fosil yakıtların kullanılması, yüksek oranlarda kül ve kükürt içermeleri, yanlış yakma sistemleri ve bu sistemlerin düzenli bakımlarının yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Motorlu taşıt sayısındaki artışla birlikte trafik yoğunluğuna bununla beraber kentlerde hava kirliliğine neden olmaktadır. Nüfus artışının doğal bir sonucu olarak kentleşme ve sanayileşme bunların yanında topografik özellikler, iklimsel ve meteorolojik olaylar da hava kirliliğini büyük oranda etkilemektedir. Sanayi alanlarının yanlış konumlandırılması veya zaman içerisinde kent alanlarının içinde kalması, arıtma sistemlerinin olmaması veya yeterli olmaması da hava kalitesini son derece etkilemektedir.

Türkiye'de hava kirliliğini doğru tespit edebilmek, temiz hava politikaları oluşturabilmek ve hava kalitesini iyileştirebilmek amacıyla illerde hava kalitesi izleme istasyonları kurularak Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı oluşturulmuştur. Bu ağ sayesinde saatlik ortalamalar

şeklinde veriler elde edilmektedir. Belirli ve sınırlı sayıdaki istasyonlardan elde edilen veriler sebebiyle jeostatistiksel yöntemler kullanılarak gözlem veya ölçüm yapılmayan konumlarda enterpolasyon ile değerler tahmin edilerek sürekli veri oluşturulabilmektedir (Akyürek ve ark., 2013).

Hava kirliliğine etki eden parametreleri ile kirlilik ilişkilerini inceleyen çalışmalara bakıldığında; (Erener ve ark., 2019), Kocaeli'nde hava kirliliğinin mevsimsel olarak meteorolojik verilerle ilişkisini incelemişlerdir. 2015 yılına ait günlük SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> parametreleri ile sıcaklık, rüzgâr yönü, rüzgâr hızı, bağıl nem ve hava basıncı gibi meteorolojik verileri ile regresyon analizi yapılarak değerlendirmeler yapmışlardır. Bai ve ark., 2019, Yangtze Nehri Ekonomik Bölgesinde 2015 yılına ait kentsel hava kalitesi izleme verileri ile birlikte hava kirliliğine etki eden doğal ve sosyoekonomik faktörler üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda topografik, meteorolojik, ekonomik kalkınma ve kentleşme faktörleri hava kirliliği ile ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır. Birtakım bilim insanları yaptıkları araştırmalarda hava kirliliğine meteorolojik faktörlerin (sıcaklık, yağış, nem, atmosferik basınç, rüzgâr hızı vb.) önemli etkisinin olduğunu göstermişlerdir (Liu ve ark., 2017; Li ve ark., 2014; Lu ve ark., 2017). Lin ve Wang (2016) Çin'de yaptıkları çalışmada ise hava kirliliğinin enerji tüketimine, sanayileşmeye ve teknolojik gelişmelere önemli derecede bağlı olduğunu söylemişlerdir. Bazı bilim insanlarının yaptığı çalışmalarda ise topografik yapının kirleticilerin kümelenmesini ve dağılmasını engellediği gibi sonuçlara ulaşırken nüfus ve gelir seviyesinin artmasıyla birlikte fosil yakıt kullanımı, araç sayısındaki artışlar, kentleşme ve sanayileşme gibi faktörlerin artarak kirletici emisyonların artmasına sebebiyet verdiği dolayısıyla bu faktörlerin hava kirliliğini etkilediği ortaya koyulmuştur (Alvarez ve ark., 2013; Jiang ve ark., 2018).

Kirletici maddelerin insan sağlığına, hayvanlara, bitkilere, doğal çevreye, ticari ve özel mülklere zarar verebilecek seviyelerde ve sürede atmosferde olması olarak tanımlanan hava kirliliğinin izlenmesi, değerlendirilmesi, dağılımının ve değişiminin haritalanması önemlidir (Çetin ve ark., 2019; Kaplan ve Avdan 2020; Aydınoglu ve ark. 2022). Hava kirliliğinin tahmin edilmesi ve bu tahmin doğrultusunda tehlikeleri öngörebilmek ve tedbirler almak insanların, hayvanların, bitki ve tüm canlıların sağlığı olmak üzere doğal çevrenin sürdürülebilirliği açısından yerel yönetimlerce önem arz etmektedir (Yüksek ve ark., 2007).

Hava kirliliğinin tahmini için deterministik yöntemler ve istatistiksel yöntemler olmak üzere 2 farklı yöntemden söz edilmektedir. Deterministik yöntemlerde meteorolojik, emisyon ve kimya modelleri kullanılarak kirleticilere ait deşarj, biriktirme veya transfer süreçleri gibi fiziksel ve kimyasal süreçleri modelleyen bir yöntem olmakla birlikte bu yöntemlerin doğruluğu, kullanılan verinin kalitesi ve ölçüğüne bağlı olarak değişen aynı zamanda bu yöntemlerin büyük veriler ile uygulanmasının oldukça zaman alıcı olduğu söylenmektedir. Deterministik yöntemlerinin eksik ve zayıf noktalarını kapatan istatistiksel yöntemlerin tahmin çalışmalarında öneminin arttığı söylenmektedir.

İstatistiksel yöntemler arasında kriging, regresyon ve yapay sinir ağları (ANN) gibi yöntemler sayılmaktadır (Wang ve ark., 2015; Ghaemi ve ark., 2018).

Hava kirliliğinin tahmini üzerine yapılmış çalışmalara bakıldığında: (Caselli ve ark., 2009), meteorolojik veriler kullanarak hava kirliliğinin tahmini için hem çok değişkenli regresyon analizi hem de yapay sinir ağı yöntemlerini kullanarak 1 ve 2 günlük tahmin modelleri oluşturmuşlar ve çalışma sonucunda yapay sinir ağı modelinin daha doğru sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. (Campos ve ark., 2021), yaptıkları çalışmada meteorolojik veriler kullanarak yankı durumu ağları (ESN-Echo State Networks) ve aşırı öğrenme makineleri (ELM-Extreme Learning Machines) yöntemleri kullanarak tahmin sonuçlarını çok katmanlı algılayıcı sinir ağı ve çok değişkenli regresyon modelleri ile karşılaştırmaları yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda aşırı öğrenme makineleri ve çok değişkenli regresyon modellerinin en iyi sonuçları verdiği kanısına ulaşmışlardır. (Moustris ve ark., 2012), çalışmalarında hava kirliliği ve meteorolojik verileri kullanarak ozon konsantrasyonunu tahmin etmek için yapay sinir ağı ve çoklu regresyon yöntemi kullanmışlar ve yapay sinir ağının daha üstün olduğunu saptamışlardır. (Mansor ve ark., 2021), saatlik kirlilik verileri ve meteorolojik verileri kullanarak 1, 2 ve 3 saat sonrası için çoklu doğrusal regresyon ile tahmin modelleri geliştirmişlerdir. (Maleki ve ark., 2019), çalışmasında meteorolojik parametreler, kirlenici konsantrasyonları, zaman ve tarih verilerini kullanarak yapay sinir ağları ile hava kalitesi indeksi değerinin tahmini için model oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda yapay sinir ağlarının, yetkililerin ve karar vericilerin hava kalitesi indeksinin tahmini için kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır. (Dahari ve Wahid, 2017), ileri beslemeli sinir ağı kullanarak O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarını tahmin modeli için girdi verileri CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, partikül madde olan kirlenici parametreler ve rüzgâr hızı, sıcaklık gibi meteorolojik veriler kullanmışlardır. Girdi verilerinin farklı kombinasyonları ile modelleri denemişlerdir. Zaman ve meteorolojik verilerin etkisinin fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. (Yadav ve Nath, 2020a), hava kirlenicilerinden olan PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> parametrelerinin 1 ay öncesinden konsantrasyon değerlerinin tahmin edilmesi için yapay sinir ağı ile model oluşturmuşlardır. (Özcan ve ark., 2006), İstanbul ili için 6 kirlenici parametre kullanmışlar ve 8 meteorolojik parametre ile troposferik O<sub>3</sub> konsantrasyonunu yöntem olarak seçtikleri hücreli yapay sinir ağı ile modellemişlerdir. (Dutta ve Jinsart, 2021), PM<sub>10</sub> konsantrasyonunun 1 yıl önceden tahmini için çoklu doğrusal regresyon (ÇDR, MLR-multiple linear regression), yapay sinir ağı doğrusal olmayan çok katmanlı algılayıcısı (ÇKA, MLP ANN) ve doğrusal olmayan sınıflandırma yöntemi ile regresyon ağacı (CART) metotları olmak üzere 3 yöntem kullanmışlar. Çalışma sonucunda en iyi tahmin değerlerini yapay sinir ağı doğrusal olmayan çok katmanlı algılayıcısı yönteminin verdiğini tespit etmişlerdir.

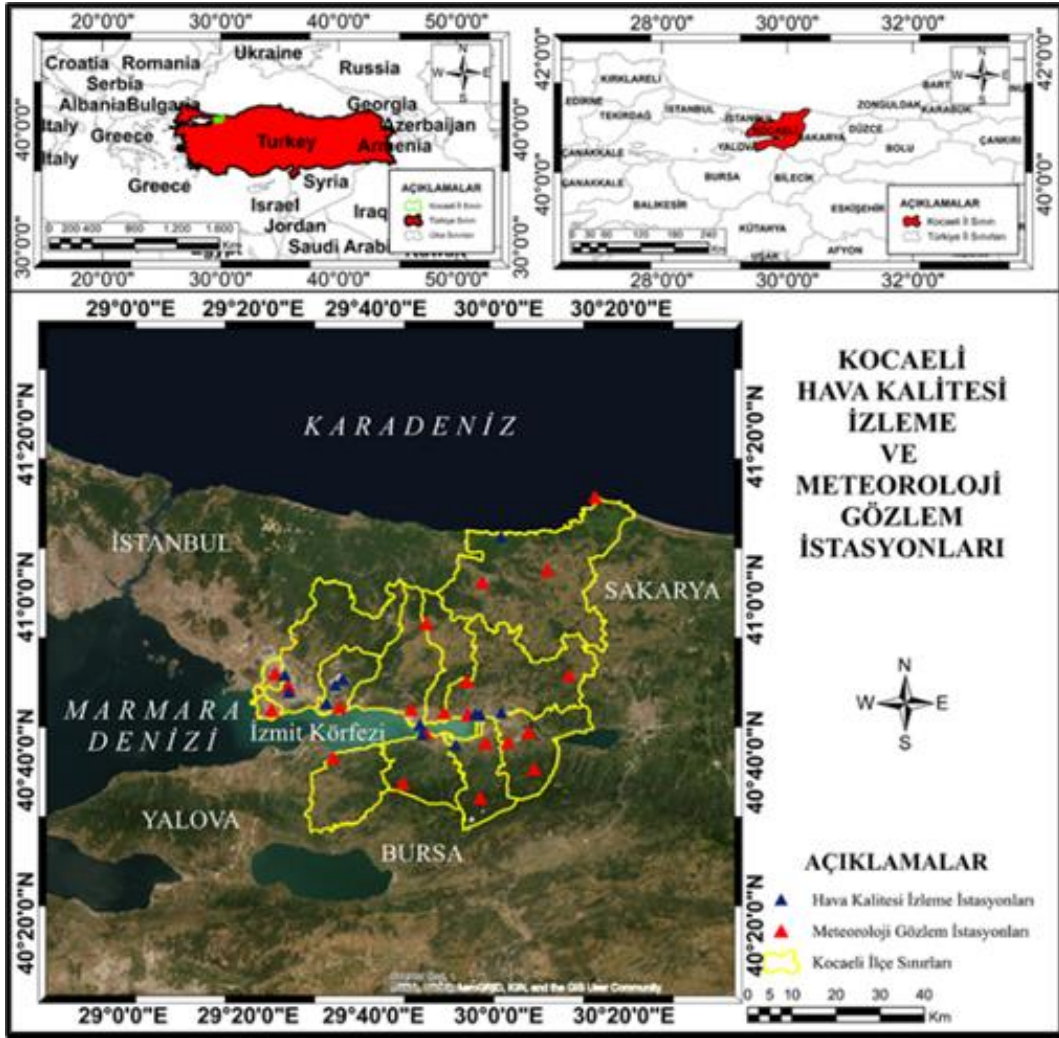
## 2. Amaç ve Yöntem

Literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında hava kirliliğini etkileyen parametrelerde meteorolojik

verilerin yanında topografik ve demografik yapının, trafik emisyonlarının, yerleşim ve sanayi alanlarının da hava kirliliğindeki etkisi görülmektedir. Yapay sinir ağları ve regresyon ile hava kirliliği tahmin modelleme çalışmalarına bakıldığında ise girdi parametrelerinde ağırlıklı olarak meteorolojik veriler kullanılarak modellerin oluşturulduğu görülmektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin sanayi açısından önde gelen kentleri arasında yer alan ve nüfus yoğunluğu bakımından İstanbul'dan sonra Türkiye'de 2. kent olan Kocaeli ili için kirlenici maddelerden PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> parametrelerine ait mevsimsel ortalama konsantrasyon değerlerinin literatürdeki çalışmaların aksine saatlik veya günlük olarak değil konsantrasyon değerlerinin 1 yıl önceden tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada; meteorolojik veriler ve hava kirliliği parametre konsantrasyon verilerine literatürdeki çalışmalara ek olarak coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak ve uzaktan algılama (UA) teknolojilerinden faydalanılarak nüfus, sayısal yükseklik modeli (SYM) verileri, yol ağı, sanayi alanları ve bina izi verileri kullanılarak hem ÇRA stepwise yöntem hem de ileri beslemeli geri yayılım algoritması ile YSA yöntemi kullanılarak PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> parametrelerinin mevsimlik ortalama konsantrasyon değerleri için tahmin modellerinin oluşturulması ve model performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

### 2.1. Çalışma Alanı

Kocaeli, Türkiye'nin Marmara Bölgesi'nde bulunan 29°22'- 30°21' doğu boylamları ve 40°31'- 41°13' kuzey enlemleri arasında yer alan bir büyükşehirdir. Kocaeli Şekil 1'de görüldüğü gibi doğusunda Sakarya; batısında Yalova, İstanbul ve Marmara Denizi; güneyinde Bursa, kuzeyinde Karadeniz bulunmaktadır. Yüz ölçümü 3397 km<sup>2</sup> olan kent 12 ilçeye sahiptir (URL-1). Kocaeli nüfusu 2021 verilerine göre 2033441 kişidir (URL-2). Türkiye'nin nüfus bakımından 10. kenti; nüfus yoğunluğu bakımından Türkiye'nin en yoğun 2. kent özelliğini taşımaktadır. Kocaeli sanayi alanında Türkiye için önde gelen illeri arasında yer almaktadır. Kocaeli sanayisi il ekonomisine katkısı %51 iken Türkiye sanayisine %13'lük katkı sağlamaktadır. Türkiye'deki araç üretiminin %36,4'ü, kimya sanayisinin %27'si, metal sanayinin %19'u Kocaeli tarafından karşılanmaktadır. Ayrıca bölgede kurulan Bilişim Vadisi ile ar-ge ve inovasyonun merkezi olma konusunda da ilerlemektedir (URL-3). Asya ve Avrupa kıtasını birbirine bağlayan yol üzerindedir ayrıca doğal liman özelliği taşıyan İzmit Körfezi 35 limanı ile işlek bir deniz yoluna sahiptir. Asya ve Avrupa'yı birbirine bağlayan D-100 ve Trans Avrupa Otoyolu (TEM) Kocaeli içerisinde yer almaktadır. Ayrıca TEM yük ve yolcu taşımacılığı açısından Türkiye'nin trafik talebinin en yoğun olduğu trafik koridorları arasındadır. Kocaeli'nin Dilovası ilçesinde bulunan Dil Burnu ile Yalova'nın Altınova ilçesinde bulunan Hersek Burnu arasında inşa edilen dünyanın en uzun açıklıklı asma köprüleri arasında gösterilen özelliği taşıyan otoyol kapsamında inşa edilen İzmit Körfezi'nin geçme süresi 1 saatten 6 dakikaya indiren Osmangazi Köprüsü de mevcuttur (URL-4).



Şekil 1. Kocaeli lokasyon haritası ve meteorolojik gözlem ile hava kalitesi izleme istasyonları

## 2.2. Veri Seti

Çalışmada kullanılan  $PM_{10}$  ve  $SO_2$  parametrelerine ait konsantrasyon değerleri, 2008 yılından 2019 yılına kadar günlük olarak Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından oluşturulan Hava Kalitesi İzleme Ağından (Şekil 1), 12 istasyondan temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan bir diğer veri seti meteorolojik (rüzgâr hızı, hava sıcaklığı, buhar basıncı, rüzgâr yönü, bağıl nem) verilerdir. Bu veriler Kocaeli sınırları içinde bulunan (Şekil 1) 21 istasyondan 2008 yılından 2019 yılına kadar günlük olarak temin edilmiştir. Günlük olarak 2008 ile 2019 yılları arası için temin edilen hava kirlenici parametrelerinden olan  $PM_{10}$  ve  $SO_2$  konsantrasyon değerleri ile meteorolojik veriler için aylık ortalama değerleri hesaplanarak, aylık ortalama değerlerinden de mevsimlik ortalama değerleri hesaplanmıştır. İstasyonlardan temin edilen kirlenici parametrelerine ait ortalama mevsimlik değerleri  $PM_{10}$  için Şekil 2'de,  $SO_2$  için Şekil 3'te gösterilmektedir. İstasyonlardan temin edilen meteorolojik parametrelere ait ortalama mevsimlik değerleri kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri sırasıyla Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmektedir.

Kocaeli iline ait nüfus verileri TÜİK web sayfasından, kullanılan yol ağı verisi Karayolları Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Meteorolojik veriler ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden talep edilmiştir.

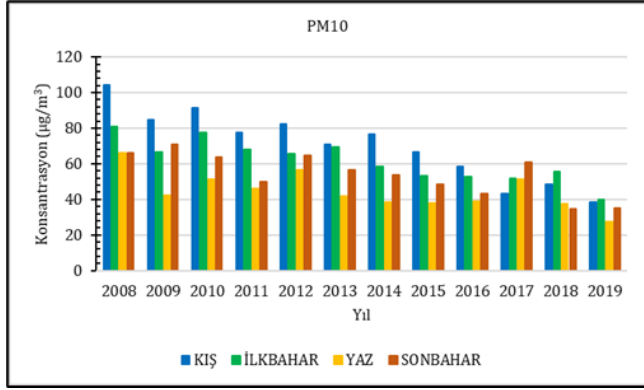
Yol ağı şehirlerarası yolları içeren otoyol, şehir içi yolları ve köy yolları olmak üzere 3 ayrı kategoride sınıflandırılmıştır. Çalışma alanına ait topografik bilgi sağlayacak sayısal yükseklik modeli (SYM) verisi <https://search.earthdata.nasa.gov/search> sayfasından temin edilmiştir. Nüfus verileri Şekil 8'de, binalar, sanayi alanları, yol ağı ve sayısal yükseklik modeli ise Şekil 9'da gösterilmektedir.

Sınırlı sayıda istasyondan veri temin edildiği için sürekli verinin oluşturulması amacıyla çalışma alanını kapsayacak şekilde ölçüm ve gözlem yapılmayan alanlarda ters mesafe ağırlıklandırma (TMA) metodu ile bilinen komşu değerler dikkate alınarak tüm çalışma alanı için hem  $PM_{10}$  ve  $SO_2$  değerleri hem de meteorolojik değerler üretilmiştir. TMA tekniğinin hava kirliliği parametrelerinin enterpolasyonu için uygun olduğu söylenmekte ve buna örnek olarak 2019 yılında hava kalite endeksinin tahmin edilmesi üzerine yapılan çalışma kapsamında parametrelerin enterpolasyonunda TMA tekniği kullanılmıştır (Jumaah ve ark., 2019). Ayrıca başka bir çalışmada ise  $PM_{10}$  değerlerini 3 farklı enterpolasyon yöntemleri ile üreterek en iyi performansla sahip yöntemin TMA olduğu tespit edilmiştir (Vorapracha ve ark., 2015). Çalışmada kullanılan kaynak veri ve üretilen veriler Tablo 1'de sunulmaktadır.

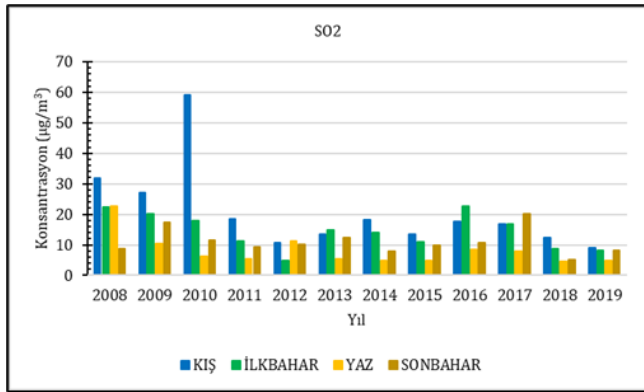
Bina, sanayi ve yol ağı verileri için (Şekil 10 ve Şekil 11) kernel yoğunluk (density) analizi ve öklid mesafesi



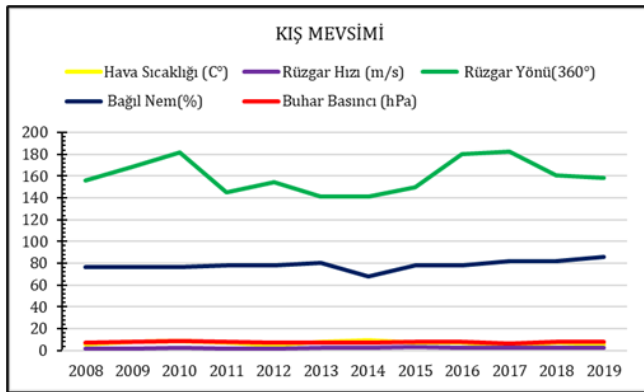
(euclidean distance) analizleri yapılarak, veriler çoklu regresyon analizi ve yapay sinir ağı modelinde girdi olarak kullanılacak hale getirilmiştir.



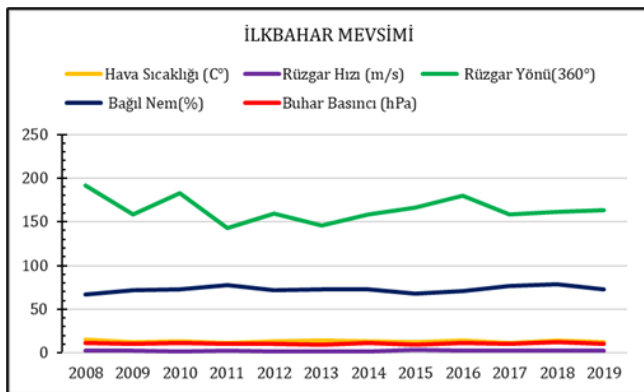
Şekil 2. PM<sub>10</sub> mevsimsel ortalama değerleri



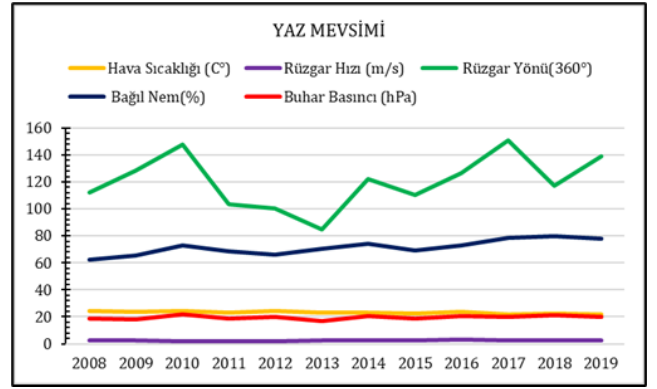
Şekil 3. SO<sub>2</sub> mevsimsel ortalama değerleri



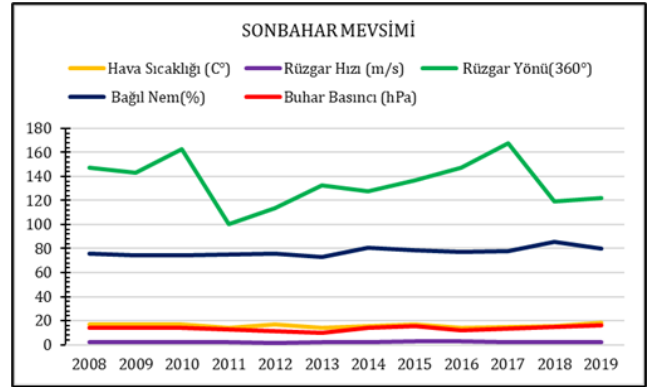
Şekil 4. Kış mevsimi meteorolojik parametrelerin ortalama değerleri



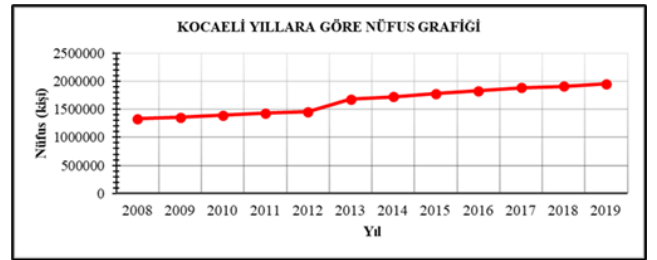
Şekil 5. İlkbahar mevsimi meteorolojik parametrelerin ortalama değerleri



Şekil 6. Yaz mevsimi meteorolojik parametrelerin ortalama değerleri



Şekil 7. Sonbahar mevsimi meteorolojik parametrelerin ortalama değerleri



Şekil 8. Kocaeli ilinin yıllara göre nüfus bilgisi

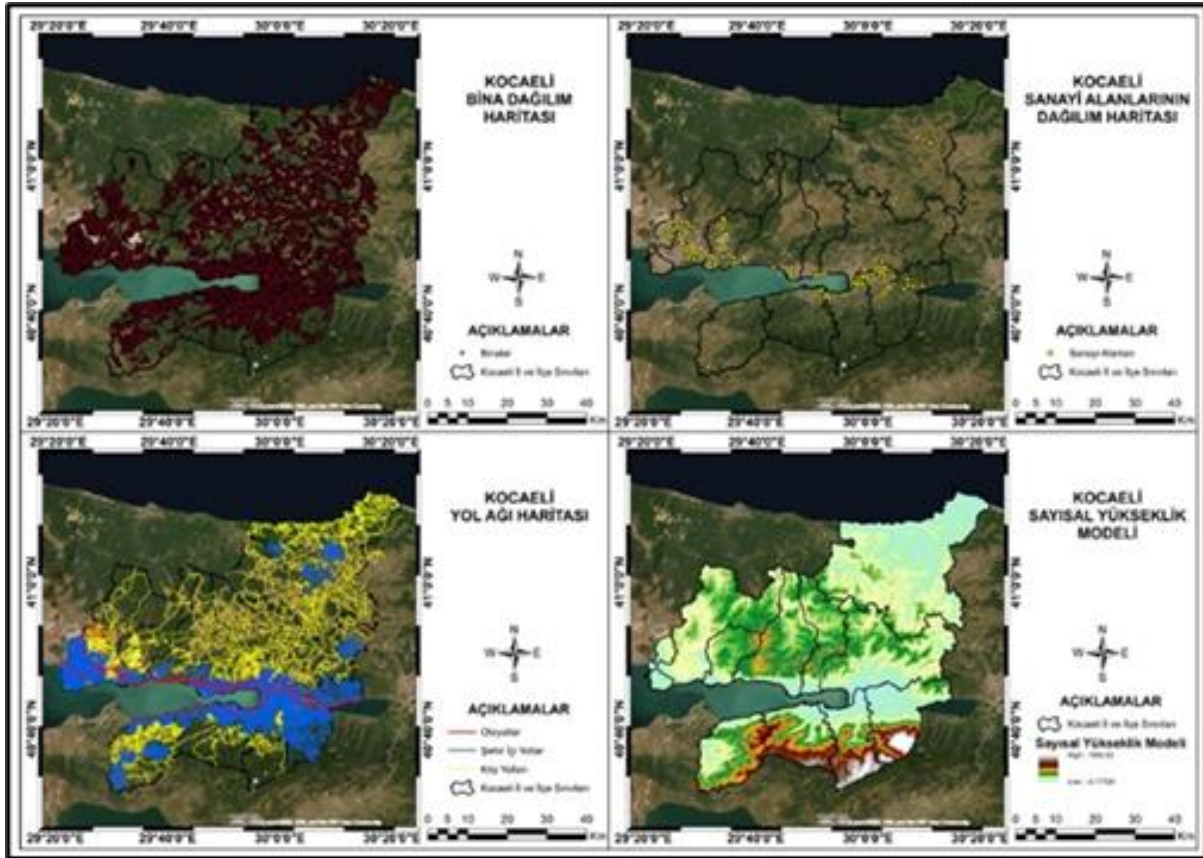
Tablo 1. CBS yazılımı kullanılarak kaynak verilerden mekânsal değişkenlerin üretilmesi

Veri Tipi	Kaynak Veri	Kaynak Veri Sınıflandırması	Üretilen Veri
Hava Kirlenmeleri	Kirlenme Parametreleri	PM10	TMA
		SO2	
Meteorolojik	Meteorolojik Parametreler	Hava Sıcaklığı	TMA
		Bağıl Nem	
		Rüzgâr Hızı	
		Rüzgâr Yönü	
Demografik	Nüfus	Nüfus	TMA
		Otoyol	Mesafe
Arazi Kullanımı	Yol Ağı	Şehir İçi Yollar	Mesafe
		Yoğunluk	
	Endüstriyel Alan	Köy Yolları	Mesafe
			Yoğunluk
Topografik	Yerleşim Alanı	Sanayi Alanları	Mesafe
		Yoğunluk	
Topografik	SYM	Bina İzi	Mesafe
		Yoğunluk	
Topografik	SYM	Yükseklik	Değerleri
		Değerleri	

Modelde kullanılacak nüfus verisi Kocaeli’ndeki tüm mahalleler için 2008 yılından 2019 yılına kadar temin edilmiştir. Çalışma alanının tümünde veri sürekliliğini sağlamak amacıyla her mevsime ait nüfus, meteorolojik ve kirletici parametre verileri için TMA yöntemi ile tüm alan üzerinde veriler üretilmiştir. Çalışma alanı üzerinde bina verisi, yol ağı ve sanayi alanları için Kernel yoğunluk ve Öklid mesafeleri kullanılarak sürekli veriler üretilmiştir. Daha sonra yaklaşık mahalle merkezleri kullanılarak 485 örneklem noktasına ait veri tabanı oluşturulmuştur (Şekil 12).

Oluşturulan veri tabanı 12 yılı (2008-2019) kapsayan her yıl için 485 örneklem noktasından oluşan toplamda 5820 satırlık veridir. Her satır ise 42 parametreyi (x

koordinatı, y koordinatı, nüfus, bina mesafe, bina yoğunluk, sanayi mesafe, sanayi yoğunluk, şehir içi yolları mesafe, şehir içi yolları yoğunluk, otoyol mesafe, otoyol yoğunluk, köy yolları mesafe, köy yolları yoğunluk, SYM, kış sıcaklık, kış nem, kış basınç, kış rüzgâr hızı, kış rüzgâr yönü, kış PM<sub>10</sub>, kış SO<sub>2</sub>, ilkbahar sıcaklık, ilkbahar nem, ilkbahar basınç, ilkbahar rüzgâr hızı, ilkbahar rüzgâr yönü, ilkbahar PM<sub>10</sub>, ilkbahar SO<sub>2</sub>, yaz sıcaklık, yaz nem, yaz basınç, yaz rüzgâr hızı, yaz rüzgâr yönü, yaz PM<sub>10</sub>, yaz SO<sub>2</sub>, sonbahar sıcaklık, sonbahar nem, sonbahar basınç, sonbahar rüzgâr hızı, sonbahar rüzgâr yönü, sonbahar PM<sub>10</sub>, sonbahar SO<sub>2</sub>) içeren değerlerden oluşmaktadır.

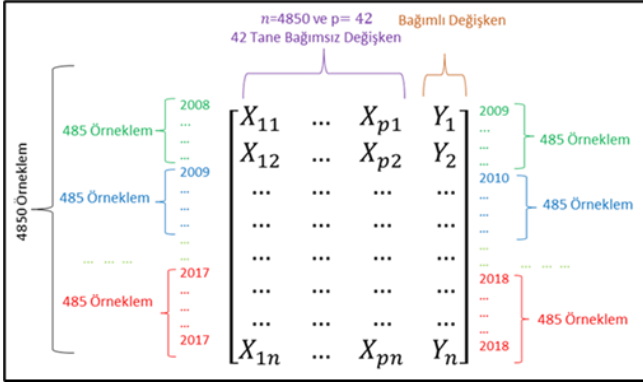


Şekil 9. Kocaeli bina ve sanayi alanlarının dağılımı, yol ağı ve sayısal yükseklik modeli (SYM)

### 2.3. Çalışmada İş Akışı ve Uygulama

Literatürde hava kirliliğinin tahmin edilmesi amacıyla çoklu regresyon analizi (ÇRA) ve YSA yöntemleri ile tahmin modellerinin oluşturulduğu görülmektedir. Oluşturulan tahmin modellerinde genel olarak meteorolojik parametrelerin ve kirletici parametrelerin girdi olarak kullanıldığı, ayrıca saatlik ve günlük olarak tahmin modellerin oluşturulduğu görüldü (Caselli ve ark., 2009; Campos ve ark., 2021; Moustris ve ark., 2012; Mansor ve ark., 2021; Maleki ve ark., 2019; Dahari ve Wahid, 2017; Yadav ve Nath, 2020b; Özcan ve ark., 2006; Dutta ve Jinsart, 2021). Bunun yanında hava kirliliğine etki eden parametreler ve kirlilik ilişkisini inceleyen çalışmalarda ise meteorolojik verilerin yanında kentleşme, sanayileşme, topografyanın ve sosyoekonomik faktörlerinde hava kirliliğine etki etti söylenmektedir (Erener ve ark., 2019; Bai ve ark., 2019;

Liu ve ark., 2017; Li ve ark., 2014; Lu ve ark., 2017; Lin ve Wang, 2016; Alvarez ve ark., 2013; Jiang ve ark., 2018). Bu çalışma kapsamında hava kirliliğinin tahmini için meteorolojik ve kirletici parametrelerin yanında, topografik, demografik, sanayileşme ve kentleşmeyi de dahil edecek verilerle birlikte, ayrıca 1 yıl önceden mevsimsel ortalama tahmin değerlerini elde etme amacıyla tahmin modelleri oluşturuldu. Çalışma amacında belirtildiği üzere 1 yıl sonrası için tahmin modeli üretilmek istendiği için her bağımsız değişken grubu 1 yıl sonraki bağımlı değişken ile ilişkilendirildi. Modelin oluşturulması ve analizlerin yapılması için Şekil 13'te görüldüğü gibi 2008-2017 yıllarına ait bağımsız değişkenler 2009-2018 yıllarına ait bağımlı değişken ile ilişkilendirilip veri setleri her mevsim için hem PM<sub>10</sub> hem de SO<sub>2</sub> için oluşturuldu. Modeller oluşturulduktan sonra 2018 yılına ait bağımsız değişkenler modele sunularak 2019 yılına ait tahmin değerleri elde edildi.



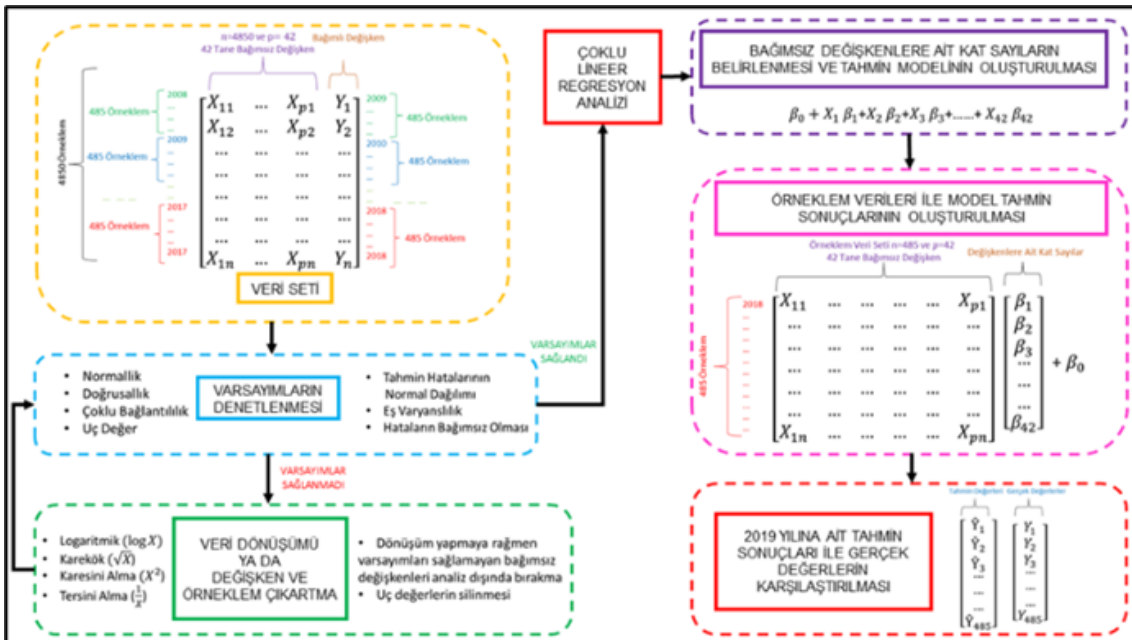
Şekil 13. Veri seti yapısı

### 2.3.1. Çoklu doğrusal regresyon analizi modelleri

Sorunlar ve sorunlara sebebiyet veren faktörler incelendiğinde bunların birbirleri ile ilişkili oldukları görülmektedir. Bu doğrultuda sorunlara sebebiyet veren faktörlerin sorunla ilişkisini açıklayan ya da modelleyen matematiksel ifadeye regresyon denklemi denilirken regresyon denkleminde yer alan değişken veya değişkenlerin diğer bir değişkeni en doğru şekilde modellemesini sağlayarak regresyon denkleminin elde edilmesine ise regresyon analizi denmektedir. Eğer bir bağımsız değişken kullanılarak bağımlı değişken tahmin edilmeye çalışılırsa basit doğrusal regresyon adını alırken, birden fazla bağımsız değişken ile bağımlı değişken tahmin edilmeye çalışılırsa çoklu doğrusal regresyon adını almaktadır (Ghatak, 2017; Adachi, 2020). Regresyon denklemlerindeki model parametrelerinden olan katsayıların ve sabit sayının tahmini tespit edilmesi için en küçük kareler yöntemi en fazla kullanılan yöntemdir (Lee ve ark., 2019; Forsyth, 2019).

Regresyon analizlerinde parametrik testlerin yapılabilmesi, yapılan analizin doğruluğu ve güvenilirliği açısından birtakım varsayımlar mevcuttur. Değişkenlerin normallik varsayımı için basıklık ve çarpıklık değerlerinin  $\pm 2$  içinde olması gerektiği

söylenmektedir (George ve Mallery, 2010). Ayrıca normallik varsayımı için farklı bir görüş olarak da tahminlere ait hataların normal dağılması gerektiği de söylenmektedir (Field, 2009). Bu çalışmada her mevsim için yapılan varsayım analizlerinde normallik için 2 varsayımında sağlanmasına dikkat edildi. Diğer bir varsayım ise bağımlı ve bağımsız değişkenlerin doğrusallığı varsayımıdır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin olmaması beklenir. Bu kapsam doğrultusunda tüm mevsimler için hazırlanan veri setleri için bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında korelasyon analizi yapılmıştır. Çok değişkenli regresyon analizlerinde çoklu bağlantılılık (multicollinearity) problemi ile karşılaşmaktadır. Bu problemin denetlenmesi bağımsız değişkenler arasında yapılacak korelasyon analizi sonucunda analizde kullanılan değişkenler arasında güçlü bir ilişkinin olmaması gerekmektedir (Field, 2009). Bu problemi tespit etmenin başka bir yolu ise varyans tümsek faktörü (VIF, Variance Inflation Factor) değerinin 10'dan büyük olmasıdır. Bu değer 10'dan büyük olması çoklu bağlantılılık probleminin olduğunu göstermektedir (Field, 2009; Tsagris ve Pandis, 2021; Voss, 2005). Yapılacak testlerin gücüne ve tahmin modellerinin sonucuna etki eden uç değerlerin tespiti için Cook distance değerinin 1'den büyük olması ve standartlaştırılmış artık değerinin  $\pm 3,29$  içinde olmaması uç değerlerin göstergesidir (Field, 2009). Eşvaryanslılık (homoscedasticity) varsayımında ise bağımsız değişkenlere karşılık gelen hataların eşit varyansa sahip olması beklenmektedir. Bu kapsam dahilinde bu varsayım için grafik yöntem kullanılmaktadır. Son olarak otokorelasyon varsayımı ise hataların birbirinden bağımsız olması gerekliliğidir. Bu varsayım için Durbin-Watson değerinden faydalanılır. Bu değer 1'den küçük ve 3'den büyük olması otokorelasyon sorununu göstermektedir (Field, 2009). Çoklu lineer regresyon yöntemi ile oluşturulacak tahmin modeli iş akışı Şekil 14'te gösterilmektedir. Analizler SPSS Statistics 26 yazılımında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 14. Çoklu lineer regresyon tahmin modeli iş akışı

**Tablo 2.** Tahminlerde kullanılan bağımsız değişkenler

Bağımlı Değişkenler	Kış		İlkbahar		Yaz		Sonbahar	
	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
Bağımsız Değişkenler	Kış PM <sub>10</sub>	Yaz SO <sub>2</sub>	Kış PM <sub>10</sub>	Kış SO <sub>2</sub>	Yaz SO <sub>2</sub>	Yaz SO <sub>2</sub>	İlkbahar PM <sub>10</sub>	Yaz SO <sub>2</sub>
	Yaz Sıcaklık	İlkbahar PM <sub>10</sub>	Yaz PM <sub>10</sub>	Yaz SO <sub>2</sub>	Sonbahar Sıcaklık	Kış Rüzgâr Hızı	Sonbahar Sıcaklık	Kış PM <sub>10</sub>
	Kış Rüzgâr Hızı	Kış Sıcaklık	Kış Sıcaklık	Sonbahar Sıcaklık	Yaz PM <sub>10</sub>	Kış Sıcaklık	İlkbahar SO <sub>2</sub>	İlkbahar SO <sub>2</sub>
	İlkbahar PM <sub>10</sub>	İlkbahar Sıcaklık	Sonbahar Sıcaklık	Sonbahar SO <sub>2</sub>	Sonbahar SO <sub>2</sub>	Sonbahar PM <sub>10</sub>	Yaz Sıcaklık	Kış Rüzgâr Hızı
	Yaz SO <sub>2</sub>	Yaz Rüzgâr Hızı	Sonbahar SO <sub>2</sub>	İlkbahar Sıcaklık	İlkbahar PM <sub>10</sub>	Sonbahar SO <sub>2</sub>	Yaz SO <sub>2</sub>	Yaz Sıcaklık
	Sonbahar Sıcaklık	Kış PM <sub>10</sub>	Yaz SO <sub>2</sub>	Yaz Sıcaklık	Kış Sıcaklık	Kış PM <sub>10</sub>	Otoyollara Mesafe	Sonbahar PM <sub>10</sub>
	Sonbahar PM <sub>10</sub>	Sonbahar PM <sub>10</sub>	Kış SO <sub>2</sub>	Yaz Rüzgâr Hızı	İlkbahar SO <sub>2</sub>	Kış SO <sub>2</sub>	Sonbahar Nem	Sonbahar Rüzgâr Hızı
	Kış SO <sub>2</sub>	İlkbahar SO <sub>2</sub>	Sonbahar PM <sub>10</sub>	İlkbahar Rüzgâr Hızı	Yaz Sıcaklık	Sonbahar Sıcaklık	Kış PM <sub>10</sub>	İlkbahar Rüzgâr Hızı
	İlkbahar Sıcaklık	Kış Rüzgâr Hızı	Yaz Sıcaklık	İlkbahar SO <sub>2</sub>	İlkbahar Rüzgâr Hızı	İlkbahar Rüzgâr Hızı	Nüfus	İlkbahar Sıcaklık
	Yaz PM <sub>10</sub>	Sonbahar SO <sub>2</sub>	Otoyollara Olan Mesafe		Sonbahar PM <sub>10</sub>	Şehir İçi Yol Yoğunluğu	İlkbahar Rüzgâr Hızı	Kış SO <sub>2</sub>
	Sonbahar Nem	İlkbahar Rüzgâr Hızı	Nüfus			X Koordinatı		Sonbahar SO <sub>2</sub>
	Şehir İçi Yolu Yoğunluğu	Yaz Sıcaklık	İlkbahar PM <sub>10</sub>			SYM		Otoyol Yoğunluğu
	Nüfus	Sonbahar Sıcaklık	İlkbahar Rüzgâr Hızı			İlkbahar PM <sub>10</sub>		İlkbahar PM <sub>10</sub>
		Sanayi Alanlarının Yoğunluğu	Yaz Rüzgâr Hızı			Sonbahar Rüzgâr Hızı		Sanayi Alanlarının Yoğunluğu
		Kış SO <sub>2</sub>						
		SYM						
	Otoyollara Olan Mesafe							

**Tablo 3.** Çoklu regresyon analizi model performansları

Mevsimler	Kış		İlkbahar		Yaz		Sonbahar	
	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
Kirletici Model	15	19	14	9	12	14	10	14
R	0.9	0.9	1.0	0.9	0.7	0.7	0.8	0.8
R <sup>2</sup>	0.8	0.9	0.9	0.8	0.5	0.5	0.7	0.7
Düzeltilmiş R <sup>2</sup>	0.8	0.9	0.9	0.8	0.5	0.5	0.6	0.7
Tahminin Standart Hatası	8.4	0.1	2.9	2.6	0.5	0.1	6.3	0.1
Ortalama Gerçek Değer	64.4	8.4	42.1	7.9	101.6	29.5	60.6	21.6
Ortalama Tahmin Değer	36.2	0.2	34.7	16.5	30.0	5.6	60.1	6.3
Korelasyon	-0.7	0.0	0.9	0.7	-0.7	0.9	-0.5	0.7
OKH	0.3	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.1
KOH	0.5	0.3	0.1	0.1	0.5	0.2	0.5	0.3
OH	-0.2	0.2	0.0	-0.1	-0.2	0.1	-0.1	0.1
OYH	42.4	98.2	19.9	-109.5	70.2	81.5	-2.9	71
OMYH	44.0	100.1	20.2	109.5	70.2	81.5	19.4	71
OMH	0.5	0.2	0.1	0.1	0.4	0.2	0.4	0.2

Varsayımların sağlanması açısından bağımlı değişkenlerin tahminlerinde kullanılacak olan bağımsız değişkenler **Tablo 2**'de gösterilmektedir. Çoklu regresyon analizinde bağımsız değişkenler arasında eş doğrusallık problemine karşılık bir çözüm olduğu

söylenen stepwise metodu kullanılmıştır ([Chen ve ark., 2013](#)).

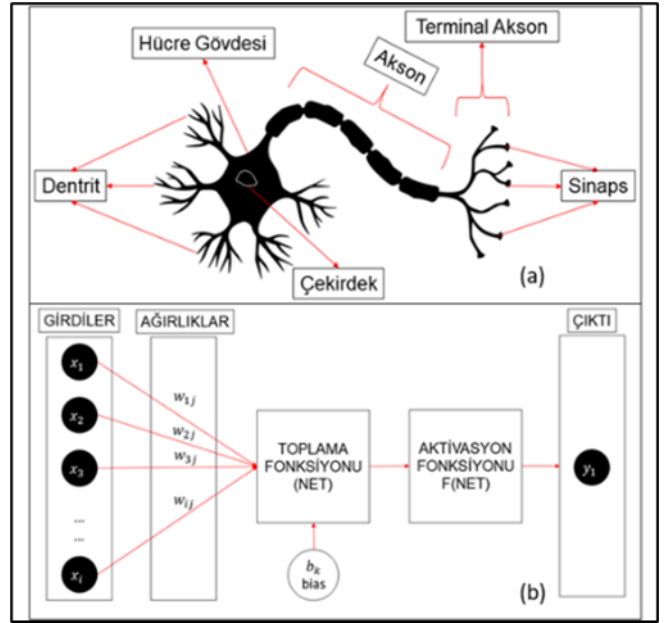
Her mevsim için hem PM<sub>10</sub> hem de SO<sub>2</sub> için toplamda 8 veri seti ile 8 tahmin modeli oluşturuldu. Yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre p<0,01 ile anlamlı

modeller oluşturulduğu görülmüştür. Tablo 3'te her mevsim ve her parametreye ait oluşturulan 8 tahmin modelinin stepwise metodu ile yapılan regresyon analizi sonuçları ve elde edilen tahmin değerleri ile gerçek değerlerin karşılaştırılarak model performansları görülmektedir. 2019 yılı için tahmin değerleri ve gerçek değerlerin karşılaştırılması için gerçek değerler ile hesaplanan tahmin değerlerinin ortalama değeri, korelasyon katsayısı, ortalama yüzde hata (OYH), ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) ve oluşturulan modelin performansının daha kolay anlaşılması açısından min-max normalizasyonu uygulanan gerçek ve tahmin değerlerin ortalama karesel hata (OKH), karekök ortalama hata (KOH), ortalama hata (OH) ve ortalama mutlak hata (OMH) hesaplanarak değerler Tablo 3'te gösterilmektedir.

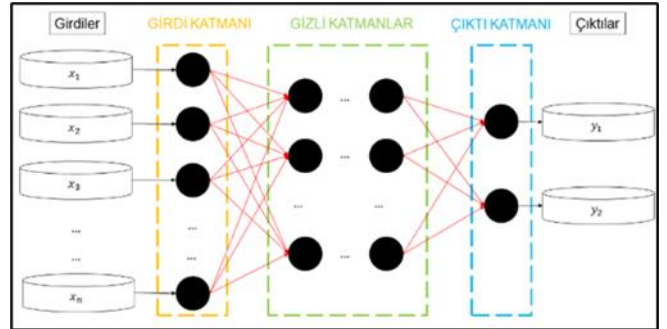
### 2.3.2. Yapay sinir ağı modelleri

Yapay zekanın bir dalı olan YSA, biyolojik beyin çalışma sisteminden faydalanılarak oluşturulmuş veri işleme ve bilgisayar sistemlerindedir. YSA geçmiş verileri kullanarak karmaşık problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Örüntü tanımlama, tahminde bulunma ve sınıflandırma yapma yeteneğine sahip matematiksel yapı olarak tanımlanmaktadır (Moustris ve ark., 2010; Haglin ve ark., 2019; Yadav ve Nath, 2020b). Biyolojik sinir ağından esinlenerek geliştirilen YSA Şekil 15'te gösterilen yapay sinir hücrelerinden meydana gelmektedir.

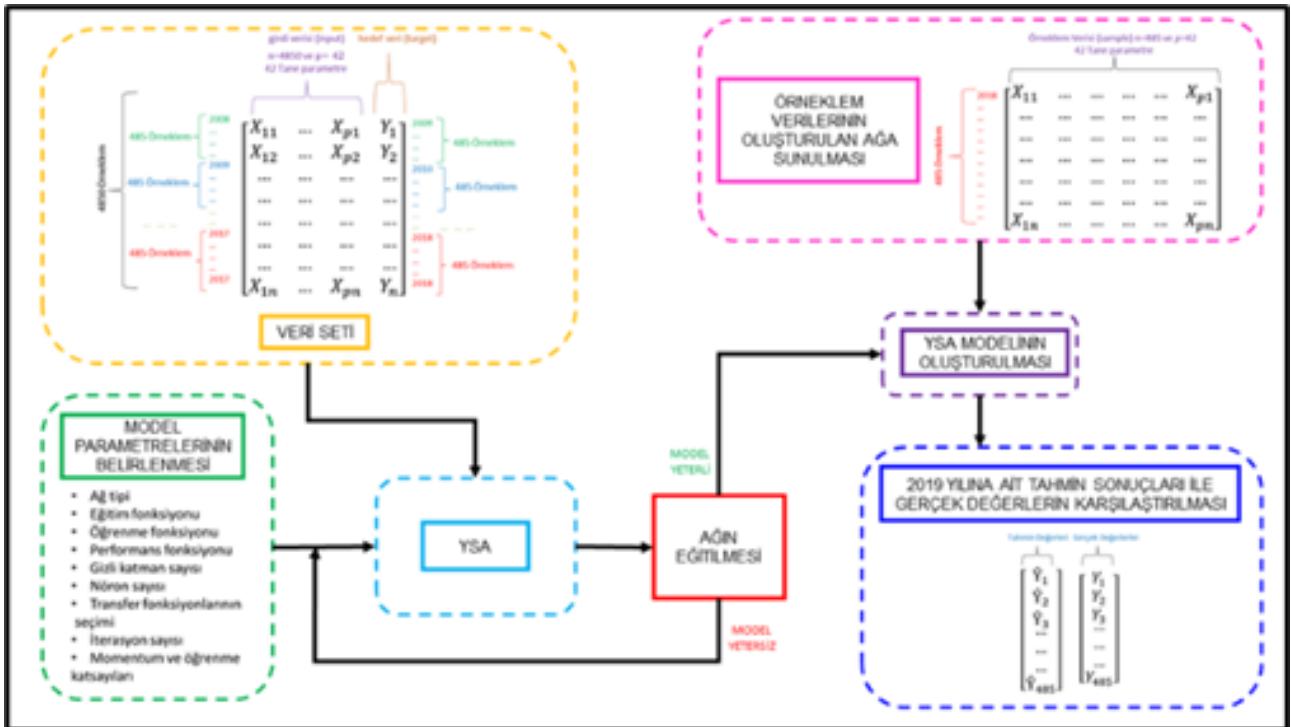
YSA da Şekil 16'da gösterildiği gibi birbirine bağlı şekilde bulunan katmanlar, yapay sinir ağlarının içerisinde barındırdığı yapay sinir hücrelerinin bir araya gelmesiyle oluşturulur.



Şekil 15. Biyolojik hücre yapısı (a), yapay sinir hücre yapısı (b)



Şekil 16. Yapay sinir ağı yapısı, çok katmanlı algılayıcı



Şekil 17. Yapay sinir ağı tahmin modeli iş akışı

**Tablo 4.** Çoklu regresyon analizi model performansları

Deneme	Katman	Gizli Katman	1.Katman Transfer Fonk	Nöron Sayısı	2.Katman Transfer Fonk	Nöron Sayısı	Çıktı Katman Transfer Fonk	Nöron Sayısı
1	2	1	tansig	10			tansig	1
2	2	1	tansig	15			tansig	1
3	2	1	tansig	30			tansig	1
4	2	1	logsig	10			tansig	1
5	2	1	logsig	15			tansig	1
6	2	1	logsig	30			tansig	1
7	2	1	logsig	10			logsig	1
8	2	1	logsig	15			logsig	1
9	2	1	logsig	30			logsig	1
10	2	1	tansig	10			logsig	1
11	2	1	tansig	15			logsig	1
12	2	1	tansig	30			logsig	1
13	3	2	tansig	10	tansig	10	tansig	1
14	3	2	tansig	15	tansig	10	tansig	1
15	3	2	tansig	30	tansig	10	tansig	1
16	3	2	tansig	10	tansig	15	tansig	1
17	3	2	tansig	15	tansig	15	tansig	1
18	3	2	tansig	30	tansig	15	tansig	1
19	3	2	tansig	10	tansig	30	tansig	1
20	3	2	tansig	15	tansig	30	tansig	1
21	3	2	tansig	30	tansig	30	tansig	1
22	3	2	logsig	10	tansig	10	tansig	1
23	3	2	logsig	15	tansig	10	tansig	1
24	3	2	logsig	30	tansig	10	tansig	1
25	3	2	logsig	10	tansig	15	tansig	1
26	3	2	logsig	15	tansig	15	tansig	1
27	3	2	logsig	30	tansig	15	tansig	1
28	3	2	logsig	10	tansig	30	tansig	1
29	3	2	logsig	15	tansig	30	tansig	1
30	3	2	logsig	30	tansig	30	tansig	1
31	3	2	logsig	10	logsig	10	tansig	1
32	3	2	logsig	15	logsig	10	tansig	1
33	3	2	logsig	30	logsig	10	tansig	1
34	3	2	logsig	10	logsig	15	tansig	1
35	3	2	logsig	15	logsig	15	tansig	1
36	3	2	logsig	30	logsig	15	tansig	1
37	3	2	logsig	10	logsig	30	tansig	1
38	3	2	logsig	15	logsig	30	tansig	1
39	3	2	logsig	30	logsig	30	tansig	1

Yapay sinir ağı tahmin modelleri Matlab R2021a yazılımı nntool ile oluşturulmuştur. Yapay sinir ağı ile oluşturulacak hava kirliliği tahmin modeli iş akışı Şekil 17’de gösterilmektedir. Yapay sinir ağı için performansına normalizasyon tekniklerinin etki ettiği söylenmektedir (Jayalakshmi ve Santhakumaran, 2011). Verilerin çok farklı ölçeklerde olmasından dolayı ve literatürde çokça kullanılan yöntem olmasından dolayı min-max normalizasyonu tercih edilerek verilere uygulandı. Yapay sinir ağı modellerinde ileri beslemeli geri yayılım algoritması ile YSA kullanılarak 42 parametrenin hepsi girdi olacak şekilde tahmin modelleri oluşturulmuştur.

Yapay sinir ağı modellerinde en çok tercih edilen ağ tipi olan feed-forward backprop kullanılırken, eğitim fonksiyonunda trainlm, öğrenme fonksiyonu olarak learnsgdm ve performans fonksiyonu olarak OKH (mean squared error) tercih edildi. Oluşturulan 8 model için yapılan denemelerde kullanılan katman sayıları, nöron sayıları ve transfer fonksiyonları Tablo 4’te gösterilmektedir.

Her mevsim için hem PM<sub>10</sub> hem de SO<sub>2</sub> parametreleri için oluşturulan 8 veri seti ile yapay sinir ağı modelleri oluşturuldu. Bu modeller oluşturulurken her bir veri seti için YSA model parametrelerinde yapılan değişiklikler ile farklı denemeler yapıldı. Yapılan denemelerde en iyi performansa sahip model tespit edildi. Tespit sırasında hem performans ölçütlerine dikkat edildi hem de ağın eğitilmesi sırasında eğitim, doğrulama ve test verilerinin grafiklerine göre yorumlanarak seçildi. Denemeler sonucunda en iyi performansa sahip modelin 2019 yılı için tahmin değerleri ve gerçek değerlerin karşılaştırılması için gerçek değerler ile hesaplanan tahmin değerlerinin ortalama değeri, korelasyon katsayısı, OYH, OMYH ve oluşturulan modelin performansının daha kolay anlaşılması açısından min-max normalizasyonu uygulanan gerçek ve tahmin değerlerin OKH, KOH, OH ve OMH hesaplanarak Tablo 5’te gösterilmektedir.

**Tablo 5.** Yapay sinir ağı tahmin model performansları

Mevsim	Kış		İlkbahar		Yaz		Sonbahar	
	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>
Deneme	28	15	29	19	23	31	13	22
Ort. Gerçek	64.4	8.4	42.1	7.9	101.6	29.5	60.6	21.6
Ort. Tahmin	60.6	7.8	42.3	9.3	99.3	5.2	50.8	20.0
Corr.	-0.2	0.9	1.0	0.8	-0.1	0.8	0.1	-0.3
OKH	0.2	0.0	0.0	0.1	0.5	0.1	0.2	0.2
KOH	0.4	0.1	0.1	0.2	0.7	0.2	0.4	0.5
OH	-0.2	0.0	0.1	0.2	-0.5	-0.1	-0.2	-0.1
OYH	5.3	10.3	-1.2	-15	1.9	83.0	14.0	5.2
OMHY	15.6	21.8	4.9	20.9	24.0	83.0	19.5	44.9
OMH	0.4	0.1	0.1	0.2	0.6	0.2	0.3	0.4

### 3. Bulgular

Çalışmada denemeler ve modeller arasındaki karşılaştırmalar OMYH değerine göre yapılmıştır. OMYH değerinin %10’un altında olan modellerin yüksek doğrulukta olduğu söylendiği gibi başka bir görüş ise

%10’un altındaki modellerin çok iyi dereceli olduğu, %10-%20 arasında olan modellerin iyi dereceli modeller olduğu, %20-%50 arasında olan modellerin kabul edilebilir dereceli modeller olduğu ve OMYH değeri %50’den fazla olan modellerin ise hatalı ve yanlış modeller olduğu söylenmektedir (Çuhadar ve Kayacan,

2005; With ve With, 1992; Lewis, 1982). Bu kapsamda CRA ve YSA modellerinin OMYH değerlerine göre performans dereceleri PM<sub>10</sub> için **Tablo 6**'da SO<sub>2</sub> için **Tablo 7**'de gösterilmektedir. PM<sub>10</sub> konsantrasyonunun 1 yıl önceden mevsimsel ortalama değerinin tahmin edilmesi için çoklu regresyon analizi ile oluşturulan tahmin modellerinde sonbahar mevsimi için %19.41 OMYH değeri ile iyi derecede model; kış ve ilkbahar mevsimleri için sırasıyla %44 ve %20.15 ile kabul edilebilir derecede bir model ve yaz için ise %70.20 ile yanlış ve hatalı bir model oluşturulduğu görüldü. PM<sub>10</sub> için yapay sinir ağı ile oluşturulan modellerde ise ilkbahar mevsimi için %4.91 OMYH değeri ile çok iyi derecede bir model; kış ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla %15.61 ve %19.46 ile iyi derecede model ve yaz mevsimi için %24.02 ile kabul edilebilir derecede bir model oluşturulmuştur. SO<sub>2</sub> konsantrasyonunun 1 yıl önceden mevsimsel ortalama değerinin tahmin edilmesi için çoklu regresyon analizi ile oluşturulan tahmin modelleri kış mevsimi %100.14, ilkbahar mevsimi %109.51, yaz mevsimi %81.46 ve sonbahar mevsimi %70.99 OMYH değerleri ile yanlış ve hatalı modellerin oluşturulduğu görülmüştür. SO<sub>2</sub> için yapay sinir ağı ile oluşturulan modeller ise kış mevsimi için %21.76, ilkbahar mevsimi için %20.88 ve sonbahar mevsimi için %44.93 OMYH değerleri ile kabul edilebilir modeller oluşturulduğu ancak yaz mevsimi için %82.99 OMYH değeri ile yanlış ve hatalı bir model oluşturulduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 6.** PM<sub>10</sub> parametresi model performans dereceleri

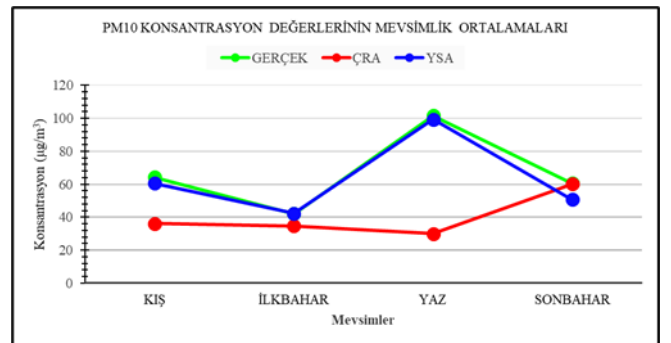
Mevsim	Gerçek Ort.	PM <sub>10</sub>					
		CRA			YSA		
		Tahmin Ort.	OMYH	Derecesi	Tahmin Ort.	OMYH	Derecesi
Kış	64.4	36.2	44.0	Kabul Edilebilir	60.6	15.6	İyi
İlkbahar	42.1	34.7	20.2	Kabul Edilebilir	42.3	4.9	Çok İyi
Yaz	101.6	30.0	70.2	Yanlış ve Hatalı	99.3	24.0	Kabul Edilebilir
Sonbahar	60.6	60.1	19.4	İyi	50.8	19.5	İyi

**Tablo 7.** SO<sub>2</sub> parametresi model performans dereceleri

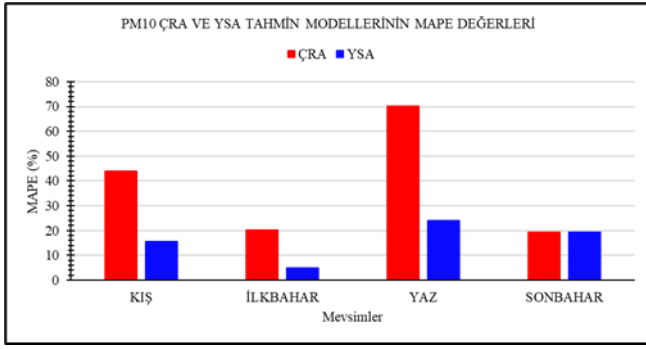
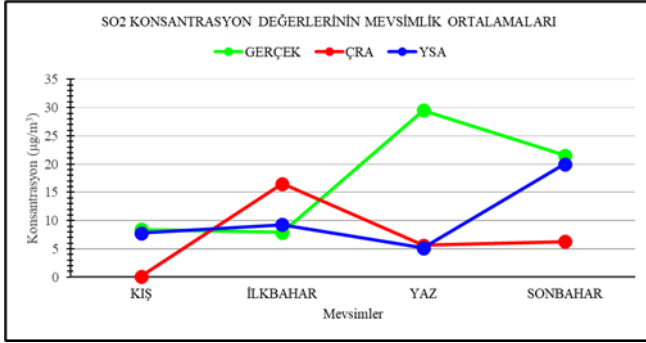
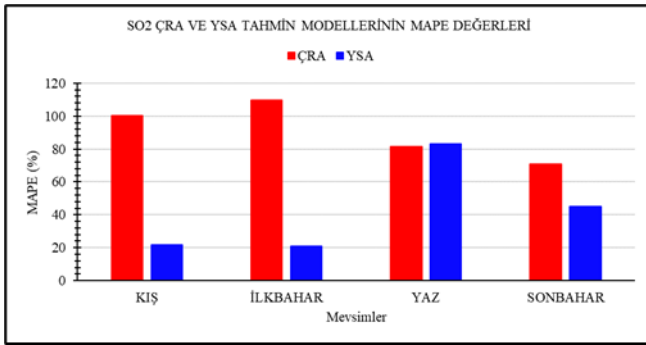
Mevsim	Gerçek Ort.	SO <sub>2</sub>					
		CRA			YSA		
		Tahmin Ort.	OMYH	Derecesi	Tahmin Ort.	OMYH	Derecesi
Kış	8.4	0.2	100.1	Yanlış ve Hatalı	7.8	21.8	Kabul Edilebilir
İlkbahar	7.9	16.5	109.5	Yanlış ve Hatalı	9.3	20.9	Kabul Edilebilir
Yaz	29.5	5.6	81.5	Yanlış ve Hatalı	5.2	83.0	Yanlış ve Hatalı
Sonbahar	21.6	6.3	71.0	Yanlış ve Hatalı	20.0	44.9	Kabul Edilebilir

ÇRA ve YSA yöntemleri ile oluşturulan modellere göre 2019 yılı için PM<sub>10</sub> ve SO<sub>2</sub> parametrelerinin tahmin ve gerçek değerlerinin mevsimsel ortalama değer ve OMYH grafikleri çizildi. PM<sub>10</sub> için mevsimsel ortalama değerleri **Şekil 18**'de, OMYH değerleri **Şekil 19**'da, SO<sub>2</sub> için mevsimsel ortalama değerleri **Şekil 20**'de ve OMYH değerleri **Şekil 21**'de gösterilmektedir.

Parametrelerin tahminine yönelik bu çalışmanın daha kolay yorumlanabilmesi ve gerçek değerler ile karşılaştırılmasını kolaylaştırması açısından PM<sub>10</sub> konsantrasyonuna ait tahmin ve gerçek değerlerin yoğunluk haritaları **Şekil 22**'de gösterilmektedir.



**Şekil 18.** PM<sub>10</sub> konsantrasyonu için mevsimsel ortalama değerleri

Şekil 19. PM<sub>10</sub> konsantrasyonu OMYH değerleriŞekil 20. SO<sub>2</sub> konsantrasyonu için mevsimsel ortalama değerleriŞekil 21. SO<sub>2</sub> konsantrasyonu OMYH değerleri

SO<sub>2</sub> konsantrasyonuna ait tahmin ve gerçek değerlerin yoğunluk haritaları Şekil 23'de gösterilmektedir.

Yapılan çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, grafiklerde ve haritalarda gözüktüğü gibi YSA modellerinin ÇRA modellerine göre performansının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

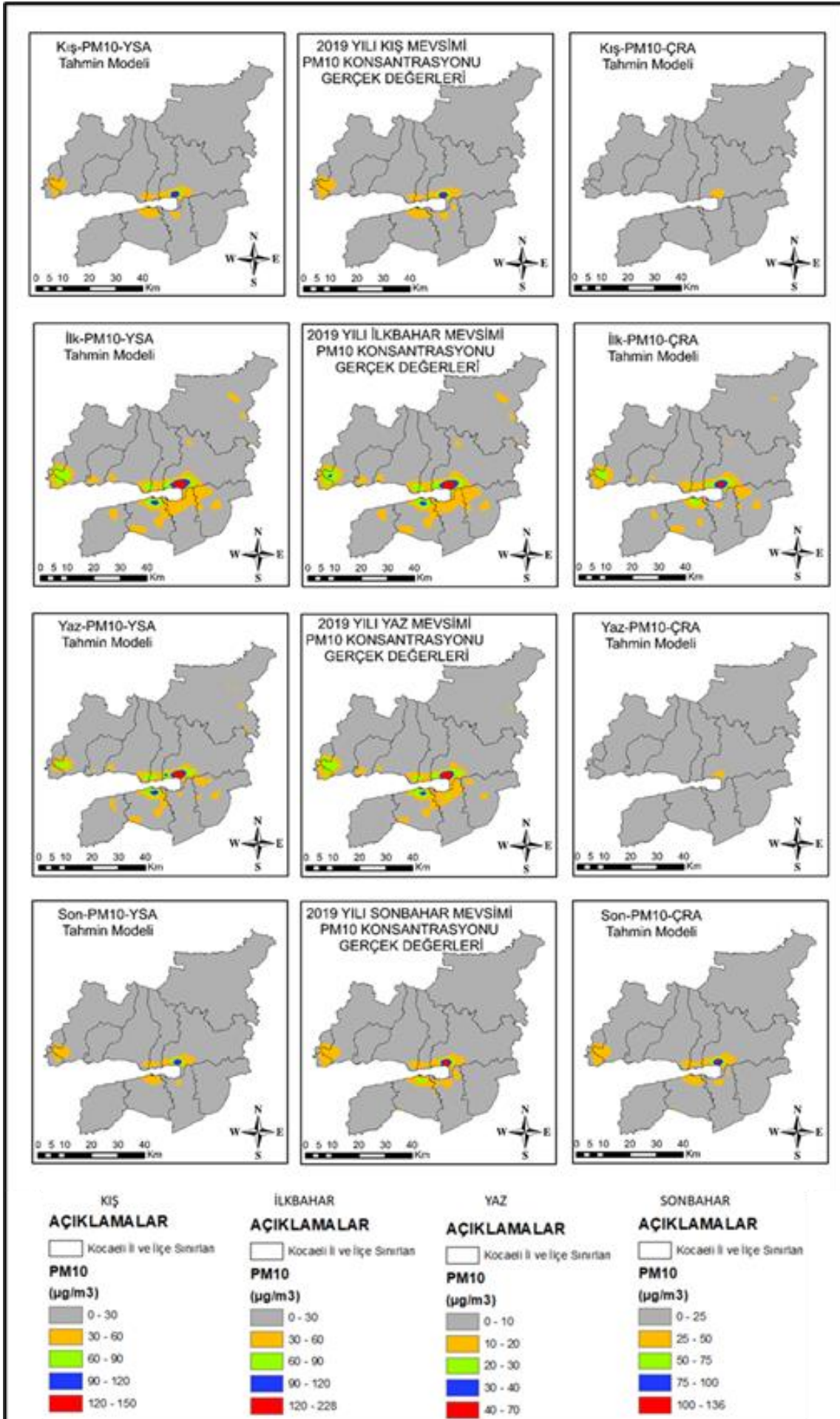
#### 4. Tartışma

Bu çalışmanın amacı hava kirliliğinin izlenmesi, kirlilik verilerinin toplanması, haritalarının oluşturulması ve bunlar doğrultusunda hava kirliliği tahmin modellerinin oluşturularak insan ve çevre sağlığının korunması açısından hava kirliliği hakkında öngörü için karar vericilere fikir vererek tedbirlerin

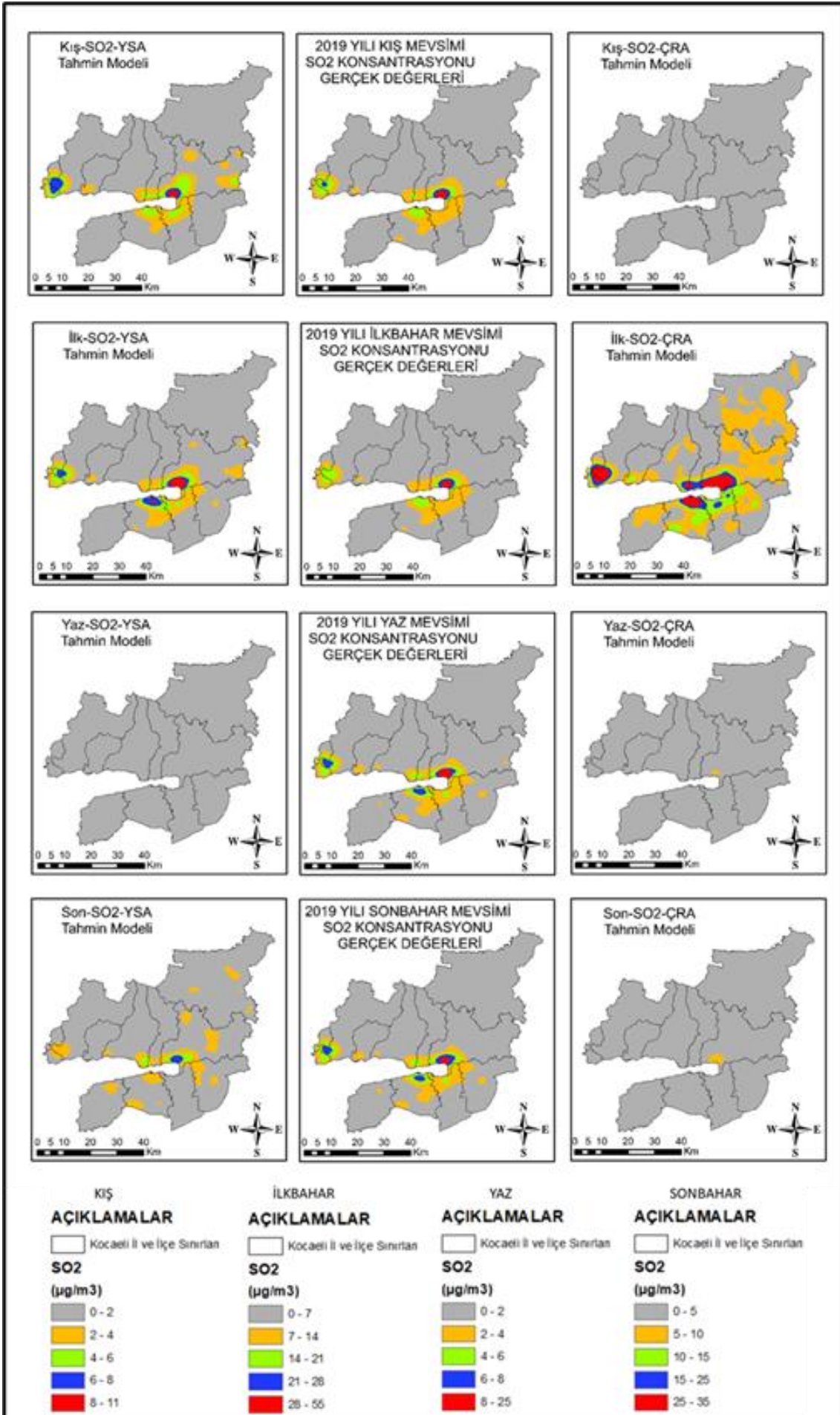
alınmasını ve planlamaların yapılmasını kolaylaştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda literatürde hava kirliliğine etki eden çalışmalardan esinlenerek çalışmada kullanılacak olan veriler elde edildiği gibi yine literatürde hava kirliliğine yönelik tahmin çalışmalarında kullanılan yöntemlerden olan çoklu doğrusal regresyon analizi ve yapay sinir ağı yöntemleri tercih edildi. Hava kirliliğine etki eden çalışmalarda meteorolojik veriler, kirlenici konsantrasyonlarının yanında trafik emisyonları, kentleşme, sanayileşme, topografik ve demografik verilerinde etkilediği söylenmekte bunun aksine hava kirliliğine yönelik yapılan tahmin çalışmalarında genellikle meteorolojik ve kirlenici konsantrasyonlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada ise meteorolojik ve kirlenici parametrelerle birlikte CBS kullanılarak ve UA teknolojileri yardımıyla mekânsal veriler (bina izi, sanayi alanları, yol ağı), topografik veri (SYM), demografik veri (nüfus) ile birlikte kullanılarak literatürdeki bu boşluğun doldurulması düşünüldü. Başka bir açıdan bakıldığında ise literatürde hava kirliliği tahmin modellerinin genellikle saatlik veya günlük olarak tahmin edilirken bu çalışmada 1 yıl önceden mevsimsel ortalamaların tahmin edilmesi üzerine çalışıldı. Bu amaç doğrultusunda ise tahminler sonucunda hava kirliliği konusunda kırmızı alarm verilecek kadar tehlikeli bir durumun 1 yıl önceden öngörülmesi tedbirlerin alınması, planlamaların yapılarak hayata geçirilmesi açısından hayati önem taşımaktadır.

Çalışmada belirli sayıdaki istasyonlardan veriler temin edildiği için çalışmaların güvenilirliği ve doğruluğu açısından bu istasyonların sayısının artırılması model performanslarını artıracakı düşünülmektedir. Son dönemlerde hava kirliliği verileri sürekli olarak uzaktan algılama teknolojisiyle birlikte uydu verileri yardımıyla elde edilebilmektedir. Noktasal olarak istasyonlardan alınarak yapılan bu çalışmalar uydu verilerinden yararlanılarak alınan hava kirliliği verileri ile çalışma sonuçları karşılaştırılabilir. Ayrıca çalışma alanında sürekli verinin sağlanması açısından birçok veri setine TMA tekniği ile enterpolasyona başvuruldu. Diğer enterpolasyon yöntemleri denenerek de bunların performanslarına bakılıp daha iyi tahmin modelleri elde edilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışma kapsamında regresyon analizinde çoklu doğrusal regresyon yönteminde stepwise metodu kullanıldığı gibi diğer regresyon yöntemleri (lojistik, ridge, lasso vb.) de kullanılarak oluşturulan modellerin performansları incelenebilir. Bunların yanında tahmin modellerinin oluşturulmasında kullanılan diğer bir yöntem olan yapay sinir ağlarında hiper parametrelerin seçimi konusunda manuel denemeler yapmak yerine en iyi modeli yakalamak adına hem zamandan tasarruf sağlayacak hem de daha farklı kombinasyonların denemesi açısından grid search gibi yöntemlerin kullanılarak ileri çalışmalarda kolaylık sağlanabilir.





Şekil 22. PM<sub>10</sub> konsantrasyonuna ait tahmin ve gerçek değerlerin yoğunluk haritaları



Şekil 23. SO<sub>2</sub> konsantrasyonuna ait tahmin ve gerçek değerlerin yoğunluk haritaları

## 5. Sonuç

Bu çalışma sonucunda hava kirliliği tahmin modellerinin oluşturulmasında YSA, ÇRA modellerine göre performansının daha iyi olduğu, modellerde mekânsal verilerin (bina izi, sanayi alanları, yol ağı), topografik (SYM) ve demografik (nüfus) verilerin kullanılabilirliği gösterilmiştir. Bu verilerin modellerde kullanılabilir veri formatına getirilmesinde CBS teknolojilerinin aktif bir şekilde kullanılabilirliği ve hava kirliliğinin haritalanmasında ve yorumlanmasında CBS'nin kullanılabilirliği gösterilmiştir. Ayrıca 1 yıl önceden yapılan tahminler ile yerel yönetimler ve karar vericiler açısından insan ve çevre sağlığının korunması amacıyla hava kirliliğinin önlenmesi için tedbirlerin alınması ve planlamaların yapılabilmesi; ulaşım, yerleşim, enerji üretimi, sanayileşme gibi birçok alanı kapsayan uzun vadeli politikaların geliştirilmesine ve bunların sürdürülmesinde altlık oluşturulabileceği; sürdürülebilir kentler oluşturma amacına büyük katkı sağlayabileceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

### Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma, Burak KOTAN tarafından 2022 yılında hazırlanan, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve jeoinformasyon ABD'da Prof. Dr. Arzu Erener'in danışmanlığında yürütülen yüksek lisans tezinden üretilen sonuçlara dayanarak oluşturulmuştur.

### Araştırmacıların katkı oranı

**Burak Kotan:** Kavramsallaştırma, literatür taraması, verilerin analiz ve değerlendirilmesi, sonuçların incelenmesi, **Arzu Erener:** Kavramsallaştırma, verilerin temin edilmesi, yazım denetimi, içerik açısından makalenin kontrol edilmesi, sonuçların incelenmesi

### Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Kaynakça

- Adachi, K. (2020). *Matrix-Based Introduction to Multivariate Data Analysis*, Singapore, Springer.
- Akyürek, Ö., Arslan, O., & Karademir, A. (2013). SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> hava kirliliği parametrelerinin CBS ile konumsal analizi: Kocaeli örneği, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 11-13 Kasım 2013, Ankara, Türkiye.
- Alvarez, H., Echeverria, R., Alvarez, P., & Krupa, S. (2013). Air quality standards for particulate matter (PM) at high altitude cities, *Environmental Pollution*, 173, 255-256.
- Aydinoğlu, A. Ç., Bovkır, R., & Bulut, M. (2022). Akıllı şehirlerde büyük coğrafi veri yönetimi ve analizi: hava kalitesi örneği. *Geomatik*, 7(3), 174-186.
- Bai, L., Jiang, L., Yang, D., & Liu, Y. (2019). Quantifying the spatial heterogeneity influences of natural and socioeconomic factors and their interactions on air pollution using the geographical detector method: A

- case study of the Yangtze River Economic Belt, China". *Journal of Cleaner Production*, 232, 692-704.
- Bannister, E., Cai, X., Zhong, J., & MacKenzie, A. (2021). Neighbourhood-scale flow regimes and pollution transport in cities, *Boundary-Layer Meteorology*, 179(2), 259-289.
- Campos, D. S., de Souza Tadano, Y., Alves, T. A., Siqueira, H. V., & de Nóbrega Marinho, M. H. (2020). Unorganized machines and linear multivariate regression model applied to atmospheric pollutant forecasting. *Acta Scientiarum. Technology*, 42, e48203-e48203.
- Caselli, M., Trizio, L., de Gennaro, G., & Ielpo, P. (2009). A Simple Feedforward Neural Network for the PM<sub>10</sub> Forecasting: Comparison with a Radial Basis Function Network and a Multivariate Linear Regression Model, *Water Air and Soil Pollution*, 201(1-4), 365-377.
- Çetin, M., Onac, A., Sevik, H., & Sen, B. (2019). Temporal and regional change of some air pollution parameters in Bursa, *Air Quality, Atmosphere & Health*, 12(3), 311-316.
- Chen, Y., Shi, R., Shu, S., & Gao, W. (2013). Ensemble and enhanced PM<sub>10</sub> concentration forecast model based on stepwise regression and wavelet analysis, *Atmospheric Environment*, 74, 346-359.
- Çuhadar, M., & Kayacan, C. (2005). Yapay sinir ağları kullanılarak konaklama işletmelerinde doluluk oranı tahmini: Türkiye'deki konaklama işletmeleri üzerine bir deneme, *Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi*, 16(1), 24-30.
- Dahari, N., & Wahid, H. (2017). Determination of modeling parameters for a low cost air pollution measurement system using feed forward neural networks., Editors: Mohamed Ali MS, Wahid H, Mohd Subha NA, Sahlan S, Yunus MA, Wahap, AR. *Modeling, Design and Simulation of Systems*, 685-696, Singapore, Springer Nature.
- Du, M., Liu, W., & Hao, Y. (2021). Spatial correlation of air pollution and its causes in Northeast China, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21).
- Dutta, A., & Jinsart, W. (2021). Air pollution in Indian cities and comparison of MLR, ANN and CART models for predicting PM<sub>10</sub> concentrations in Guwahati, India, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 15(1).
- Erener, A., Sarp, G., & Yıldırım, Ö. (2019). Seasonal air pollution investigation and relation analysis of air pollution parameters to meteorological data (Kocaeli/Turkey). Editors: El-Askary HM, Lee S, Heggy E, Pradhan B. *Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications*, 355-358, Cham, Switzerland, Springer.
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS*, Dubai, SAGE Publications.
- Forsyth, D. (2019). *Applied Machine Learning*. Cham, Springer.
- George, D., & Mallery, P. (2010). *SPSS for Windows step by step: a simple guide and reference*, Boston, Allyn & Bacon.
- Ghaemi, Z., Alimohammadi, A., & Farnaghi, M. (2018). LaSVM-based big data learning system for dynamic

- prediction of air pollution in Tehran, *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(5).
- Ghatak, A. (2017). *Machine Learning with R*, Singapore, Springer.
- Gonzalez-Enrique, J., Ruiz-Aguilar, J. J., Moscoso-Lopez, J. A., Urda, D., Deka, L., & Turias, I. J. (2021). Artificial neural networks, sequence-to-sequence LSTMs, and exogenous variables as analytical tools for NO<sub>2</sub> (air pollution) forecasting: A case study in the bay of algeciras (Spain), *Sensors*, 21(5), 1770.
- Haglin, J. M., Jimenez, G., & Eltorai, A. E. (2019). Artificial neural networks in medicine, *Health and Technology*, 9(1), 1-6.
- Jayalakshmi, T., & Santhakumaran, A. (2011). Statistical Normalization and Back Propagation for Classification, *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 3(1), 89-93.
- Jiang, L., Zhou, H., Bai, L., & Zhou, P. (2018). Does foreign direct investment drive environmental degradation in China? An empirical study based on air quality index from a spatial perspective, *Journal of Cleaner Production*, 176, 864-872.
- Jumaah, H. J., Ameen, M. H., Kalantar, B., & Rizzei, H. M. (2019). Air quality index prediction using IDW geostatistical technique and OLS-based GIS technique in Kuala Lumpur, Malaysia, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 2185-2199.
- Kaplan, G., & Avdan, Z. Y. (2020). Space-borne air pollution observation from sentinel-5p tropomi: Relationship between pollutants, geographical and demographic data. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(3), 130-137.
- Kolasa-Wiecek, A., & Suszanowicz, D. (2019). Air pollution in European countries and life expectancy—modelling with the use of neural network, *Air Quality Atmosphere and Health*, 12(11), 1335-1345.
- Lee, C. F., Chen, H. Y., & Lee, J. (2019). *Financial Econometrics, Mathematics and Statistics*, New York, Springer.
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods*, Londra, Butterworths Publishing.
- Li, L., Qian, J., Ou, C. Q., Zhou, Y. X., Guo, C., & Guo, Y. (2014). Spatial and temporal analysis of air pollution index and its timescale-dependent relationship with meteorological factors in Guangzhou, China, 2001–2011, *Environmental Pollution*, 190, 75-81.
- Lin, X., & Wang, D. (2016). Spatiotemporal evolution of urban air quality and socioeconomic driving forces in China, *Journal of Geographical Sciences*, 26, 1533–1549.
- Liu, H., Fang, C., Zhang, X., Wang, Z., Bao, C., & Li, F. (2017). The effect of natural and anthropogenic factors on haze pollution in Chinese cities: A spatial econometrics approach. *Journal of Cleaner Production*, 165, 323-333.
- Lu, D., Xu, J., Yang, D., & Zhao, J. (2017). Spatio-temporal variation and influence factors of PM<sub>2.5</sub> concentrations in China from 1998 to 2014, *Atmospheric Pollution Research*, 8(6), 1151-1159.
- Maleki, H., Sorooshian, A., Goudarzi, G., Baboli, Z., Birgani, Y., & Rahmati, M. (2019). Air pollution prediction by using an artificial neural network model, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21(6), 1341-1352.
- Mansor, A., Abdullah, S., Che Dom, N., Mohd Napi, N., Ahmed, A., Ismail, M., & Zulkifli, M. (2021). Three-hour-ahead of multiple linear regression (MLR) models for particulate matter, *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 16(1), 53-59.
- Moustris, K. P., Ziomas, I. C., & Paliatsos, A. G. (2010). 3-Day-Ahead Forecasting of Regional Pollution Index for the Pollutants NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, and O<sub>3</sub> Using Artificial Neural Networks in Athens, Greece, *Water, Air, & Soil Pollution*, 209(1), 29-43.
- Moustris, K., Nastos, P., Larissi, I., & Paliatsos, A. (2012). Application of multiple linear regression models and artificial neural networks on the surface ozone forecast in the greater Athens Area, Greece, *Advances in Meteorology*, 2012.
- Özcan, H. K., Şahin, Ü., Bayat, C., & Uçan, O. N. (2006). Modeling of trophospheric ozone (O<sub>3</sub>) concentrations using cellular neural networks, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(2), 239-245.
- Tsagris, M., & Pandis, N. (2021). Multicollinearity, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 159(5), 695-696.
- URL-1:<https://www.harita.gov.tr/urun/il-ve-ilce-yuz-olcumleri/176> Erişim tarihi: 16 Mart 2022
- URL-2:<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2020-37210> Erişim tarihi: 16 Mart 2022
- URL-3:<http://www.kocaeli.gov.tr/kocaeli-ekonomisinde-sanayinin-yeri> Erişim tarihi: 16 Mart 2022
- URL-4:<http://www.kocaeli.gov.tr/lojistikin-merkezinde-bir-kent-kocaeli> Erişim tarihi: 16 Mart 2022
- Vorapracha, P., Phonprasert, P., Khanaruksombat, S., & Pijarn, N. (2015). A Comparison of Spatial Interpolation Methods for predicting concentrations of Particle Pollution (PM<sub>10</sub>), *International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences*, 3(4), 302-306.
- Voss, D. S. (2005) *Multicollinearity*. Editors: Kempf-Leonard K. *Encyclopedia of Social Measurement*, 759-770, New York, Elsevier.
- Wang, P., Liu, Y., Qin, Z., & Zhang, G. (2015). A novel hybrid forecasting model for PM<sub>10</sub> and SO<sub>2</sub> daily concentrations, *Science of the Total Environment*, 505, 1202-1212.
- Witt, S. F., & Witt, C. A. (1992). *Modeling and Forecasting Demand in Tourism*, Londra, Academic Press.
- Yadav, V., & Nath, S. (2020a). Artificial neural networks based condition monitoring of air pollutants for Allahabad cities in India, Editors: Malik H, Iqbal A, Yadav AK. *Soft Computing in Condition Monitoring and Diagnostics of Electrical and Mechanical Systems*, 423-437, Singapore, Springer.
- Yadav, V., & Nath, S. (2020b). Novel Application of Artificial Neural Network Techniques for Prediction of Air Pollutants Using Stochastic Variables for Health Monitoring: A Review. Editors: Malik H, Iqbal A, Yadav AK. *Soft Computing in Condition Monitoring and Diagnostics of Electrical and Mechanical Systems*:

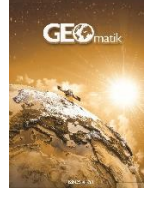
Novel Methods for Condition Monitoring and Diagnostics, 231-245, Singapore, Springe.

Yılmaz, A. (2017). İklim parametrelerinin hava kirliliği parametreleri üzerine etkisi: Bolu ili örneği, *Journal of Current Researches on Social Sciences*, 7(2), 413-436.

Yüksek, A. G., Bircan, H., Zontul, M., & Kaynar, O. (2007). Sivas ilinde yapay sinir ağları ile hava kalitesi modelinin oluşturulması üzerine bir uygulama, *Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 8(1), 97-112.



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## CBS destekli nominal taşınmaz değer haritasının 3 boyutlu sunumu: Berlin Eyaleti örneği

Mert Kayalık \*<sup>1</sup>, Zeynel Abidin Polat<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Nominal  
3B  
Değer Haritası  
Taşınmaz  
AHY  
**Araştırma Makalesi**  
Geliş: 22.09.2022  
Revize:03.12.2022  
Kabul:10.12.2022  
Yayınlanma:15.02.2023



### Öz

Taşınmazlar, sahip olduğu ekonomik potansiyelden dolayı sürekli verginin konusu olmuştur. Dolayısıyla hem ülke ekonomisi hem de yerel yönetimlerin önemli bir gelir kaynağını oluşturmaktadır. Doğru ve adil bir vergi bedeli için taşınmazın güncel değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu ihtiyaç duyulan değer, ancak doğru ve tarafsız bir şekilde yapılan taşınmaz değerlendirme süreçleriyle belirlenebilir. Literatürde taşınmaz değerlendirme yöntemleri “geleneksel”, “modern” ve “istatistikî” yöntemler şeklinde üç gruba ayrılmıştır. Geleneksel yöntemler (ör. Gelir, emsal, maliyet yöntemleri) tekil değerlendirme çalışmalarında kullanılırken; modern (ör. Yapay sinir ağları, bulanık mantık, mekânsal analiz) ve istatistikî yöntemler (ör. Çoklu regresyon, nominal, hedonik yöntemler) toplu değerlendirme süreçlerinde kullanılmaktadır. Bu uygulamada özellikle taşınmaz yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde toplu değerlemeye imkân veren istatistiksel tabanlı nominal değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Bu bağlamda çalışma, Almanya'nın Berlin eyaletinde bulunan 1460 hektarlık bir alanda 12 farklı mekânsal faktör ile yürütülmüştür. Belirlenen 12 faktör Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ile ağırlıklandırılmıştır. Ayrıca yapılan toplu değerlemenin sürdürülebilir ve güncellenebilir olması ve 3B haritalandırılması için CBS'den faydalanılmıştır. 3. boyutun çalışmaya dahil edilmesi ile, bölgede hangi değer aralığından ne kadar taşınmazın olduğu net şekilde görülebilmektedir. Bu sayede karar vericiler için daha kolay yönetilebilir bir veri sağlanırken, vatandaş için daha anlaşılır bir bilgi sunulmaktadır.

## 3D presentation of GIS-assisted nominal real estate value map: The case of Berlin State

### Keywords

Nominal  
3D  
Value Map  
Real Estate  
AHP

### Research Article

Received:22.09.2022  
Revised:03.12.2022  
Accepted:10.12.2022  
Published:15.02.2023

### Abstract

Real estates have always been the subject of tax due to their economic potential. Therefore, it constitutes an important source of income for both the country's economy and local governments. For a correct and fair tax value, the current value of the real estate must be determined. This needed value can only be determined by real estate valuation processes that are carried out accurately and fairly. In the literature, real estate valuation methods are divided into three groups as “traditional”, “modern”, and “statistical” methods. While traditional methods (e.g., Income, Sales comparison, Cost methods) are used in singular valuation studies; modern (e.g., Neural networks, Fuzzy logic, Spatial analysis) and statistical methods (e.g., Multiple regression, Nominal, Hedonic methods) are used in mass valuation processes. In this study, a statistical-based nominal valuation method which allows mass valuation especially in regions with high real estate density was used. In this context, the study was carried out with 12 different spatial factors in an area of 1460 hectares in the state of Berlin, Germany. The determined 12 factors were weighted with the Analytical Hierarchy Process (AHP). In addition, GIS was used to ensure that the mass valuation is sustainable and updatable and for 3D mapping. With the inclusion of the 3<sup>rd</sup> dimension in the study, it can be clearly seen how much real estate is in the region from which value range. In this way, while providing more easily manageable data for decision makers, more understandable information is provided for the citizen.

## 1. Giriş

Taşınmaz değerlemesi, bir taşınmazın, taşınmaz projesinin veya taşınmaza bağlı hak ve faydaların belli bir tarihteki muhtemel değerinin bağımsız ve tarafsız olarak takdirini kapsar (Babuşçu ve ark., 2007'den aktaran: Karaca, 2008). Vergilendirme, alım-satım, kamulaştırma gibi kamusal uygulamaların yanında; bankacılık, sigortacılık, kentsel dönüşüm gibi özel sektör uygulamalarında taşınmaz değerlemesi karşımıza çıkmaktadır (Erdem, 2019). Taşınmaz değerlemesi, mortgage sistemi ile daha da önem kazanmıştır (Ünel ve Yalprı, 2019a). Taşınmazların toplu şekilde değerlendirilmesinde, geleneksel değerlendirme sistemleri (ör. Emsal, gelir ve maliyet yöntemi) yetersiz kalmaktadır (Pagourtzi ve ark., 2003). Bu nedenle son yıllarda artan taşınmaz yoğunluğu ile birlikte toplu taşınmaz değerlendirme yöntemleri önem kazanmaya başlamıştır. Amerika merkezli Uluslararası Değerleme Çalışanları Birliği (IAAO) toplu taşınmaz değerlemeyi; "bir grup taşınmazın, belirli bir tarihteki ortak verilerin, standart metotların ve istatistiksel testlerin kullanıldığı değerlendirme süreci" olarak tanımlamaktadır (Kadastro Dairesi Başkanlığı, 2016). Ülkemizde toplu taşınmaz değerlemenin dikkate alındığının en önemli kanıtı, 5 Şubat 2019 tarihli, 30677 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan Cumhurbaşkanlığı Kararnamesidir. İlgili Kararnamede taşınmazların toplu değerlendirme yöntemleri ile değerini belirlemek, değer bilgi bankasını kurmak, yönetmek ve değer haritalarının üretilmesi ile güncel tutulması Taşınmaz Değerleme Dairesi Başkanlığı özelinde Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünün (TKGM) görevleri arasına alınmıştır (İlhan ve Öz, 2020). Bahsedilen Cumhurbaşkanlığı Kararnamesinden önce TKGM, söz konusu toplu taşınmaz değerlendirme vizyonunu 2008 tarihinde Dünya Bankası ile imzaladığı 'Tapu ve Kadastro Modernizasyon Projesi' kapsamında edinmiştir (Erdem ve Çete, 2015). İlgili proje Güneş ve Yıldız (2015)'ın yürütücülüğünde seçilen iki pilot bölgede (Mamak/Ankara, Fatih/İstanbul) üç farklı metotla uygulanmıştır. Çoklu Regresyon Analizi (ÇRA), Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Karar Ağaçları (Erek Ağaç) metotlarının kullanıldığı toplu değerlendirme çalışmasında en başarılı yöntemin YSA olduğu paylaşılmıştır. Ancak üst düzey uzmanlık gerektiren ve sonuçlarını açıklamakta güçlük çeken YSA yerine daha anlaşılır olan ÇRA'nın tercih edildiği aktarılmıştır. Ayrıca pilot projenin detayları incelendiğinde; mevcut vergi gelirleri ile proje kapsamında hesaplanan vergi değerlerinin ne kadar farklı olduğu, yani taşınmazları toplu değerlendirilmesinin vergilendirme açısından ne kadar avantajlı bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Eğer toplu değerlendirme uygulamasına geçilirse Fatih ilçesi için 2.94 kat, Mamak ilçesi için 1.88 kat daha fazla vergi geliri edinilebilecektir. Bahsedilen vergi gelirinin konut nitelikli toplu değerlemelerde hesaplandığı, Çankaya ilçesi için yapılan ticari nitelikli toplu değerlemelerde ise söz konusu vergi kazancının 8.5 kat artacağı paylaşılmıştır. Ayrıca bahsedilen toplu değerlendirilme belli periyotlarda güncellenmesi ile (ör. Finlandiya büyük şehirlerde her beş yılda bütün ülkede her on yılda, Slovenya her dört yılda, Hollanda ise her yıl toplu değerlendirme yapmaktadır (Erdem, 2017b; Yomralıoğlu ve ark., 2012). Bölgelerin zamansal değer

değişimi tespit edilebilir. Bu sayede hangi kamu ve/veya özel sektör yatırımının hangi öncelikli bölgelere yapılacağı daha doğru planlanabilir. Yani mevcut kaynak, hangi bölgeye aktarılmalı sorusuna en isabetli cevabı bahsedilen zamansal değer değişim haritaları verecektir. Bu sayede kaynaklar daha verimli ve adil şekilde kullanılabilir.

Taşınmazların toplu değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalara bakıldığında stokastik (istatistikî) yöntemlerin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Özgüven ve Erenoğlu (2020), Çanakkale ili, Merkez ilçesi, Esenler mahallesinde bulunan, niteliği arsa olan 87 yapısız parselin, anketle belirlenen ağırlıklarda on beş adet faktörü dikkate alarak değer haritasını üretmiştir. Devenci ve Yılmaz (2009) ise Afyonkarahisar il merkezinde bulunan 80 adet mahalle özelinde bir model kurup nominal değer ile gerçek alım-satım değerini kıyaslamıştır. %90 doğrulukla 202 taşınmazın rayiç bedelinin tespit edildiği çalışmada, eksik beyan ve hatalı değerlendirme yüzünden belediyenin hak ettiği vergi gelirinin sadece %60'ını toplayabildiği vurgulanmıştır. Alkan ve Durduran (2020), turizm bölgesinde CBS destekli bir taşınmaz değer haritası üretmiştir. Bahsedilen çalışmada Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ile ağırlıklandırılmış kriterlerden edinilen değerlerle, taşınmazların satış değerleri arasında yüksek oranda bir uyumluluk tespit edilmiştir. Yani elde edilen toplu taşınmaz değerleriyle piyasa değerleri örtüşmektedir. Benzeri bir çalışma anket ile 60 kişinin katılım sağladığı Niğde kenti özelinde yapılmıştır (Bozdağ ve Ertunç, 2020). 5 ana, 38 alt kriter ile AHY kullanarak, 30 dairenin taşınmaz değeri hesaplanmış ve sonuçların piyasa değeri ile uyumlu olduğu paylaşılmıştır. Toktaş ve Erdoğan (2012), devletin önemli kaynaklarından olan hazine mallarının (Türkiye'nin, yüzölçümünün yaklaşık % 60'ını oluşturan 3.700.000 hazine taşınmazı vardır (Çağatay, 2012). CBS destekli nominal değerlemesini yapmıştır. Afyonkarahisar kent merkezi özelinde yapılan taşınmaz değerlendirme çalışmasında hazine mallarının nominal değerleri ile ihale usulü satılan değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaların bazı satışlar için yakınlık değeri %20 iken, bazı satışlarda %90'lara kadar çıkmaktadır.

Ülkemizde taşınmaz değerlendirilmesi ile ilgili mevzuat sayısı 23 olarak bilinmektedir (Erdem, 2017a). Bu mevzuatlardan değerlendirme alanındaki temel dayanağı, 2709 sayılı T.C. Anayasası (Madde 34,46,47) ve 2942 sayılı Kamulaştırma kanunu (Madde 11,15) oluşturmaktadır (Çakır ve Sesli, 2013). Bahsedilen dayanağa rağmen söz konusu mevzuatların kendi içinde eksikleri mevcuttur. Örneğin, Kamulaştırma kanununda değerlemeyi kimlerin, hangi unsurlara göre belirleyeceğinden bahsedilirken söz konusu değerlendirilmesinin hangi kural ve standartlar dahilinde yapılacağına değinilmemiştir (Erdem, 2019). Değerleme çalışmalarının bir düzen içinde yürütüldüğü Almanya da ise İmar Kanunu, Taşınmaz Değerleme Tüzüğü, Taşınmaz Değerleme İlkeleri olmak üzere birbirini destekleyen 3 temel mevzuat esas alınmaktadır (Çete ve Yomralıoğlu, 2009; Yomralıoğlu ve ark., 2012). Ayrıca Almanya'da taşınmaz değerlendirme çalışmaları sonucunda; güncel alım-satım fiyatları, yerel taşınmaz pazarı raporları ve yaklaşık arazi değerlerine ait haritalar oluşmaktadır

(Işıklı, 2019). Türkiye'deki taşınmaz değerlendirme faaliyetlerini yürüten öncü kuruluşlara bakıldığında iki kurum karşımıza çıkmaktadır. Bu kurumlardan ilki; değerlendirme uzmanlığı lisansı verme yetkisi bulunan Sermaye Piyasası Kurulu (SPK), diğeri ise SPK'nın desteğiyle kurulan lisansa sahip üyeleri koruyan, eğiten, gerektiğinde disiplin sürecini yürüten Türkiye Değerleme Uzmanları Birliğidir (TDUB) (Alkan ve Polat, 2021; Ertaş, 2019). Almanya da SPK'nın karşılığı, taşınmaz pazarını anlaşılır ve şeffaf hale getiren Değerleme Uzmanları Komitesi iken, TDUB'nin karşılığı çalışmaları denetleyen ve bu çalışmalara yapılan itirazlarda hakemlik görevi gören Değerleme Uzmanları Yüksek Komitesidir (Çete ve Yomralıoğlu, 2009). Tüm bu benzerlik ve farklılıklara ek olarak Rissi (2010), yaptığı doktora çalışmasında Almanya'da iyi işleyen değerlendirme sisteminin benzeri mevzuatlarla Türkiye'de uygulanabilir olduğunu paylaşmıştır.

Çalışmanın devamında Yöntem, Bulgular ve Sonuçlar bölümünden oluşan 3 ana başlık bulunmaktadır. Nominal değer haritasının üretimi için yapılan tüm işlemler 5 alt başlık ile (Çalışma alanı, Aşamalı şekilde işlem adımları, Faktörlerin seçimi ve hazırlanması, AHY ile faktörlerin ağırlıklandırılması ve Değer haritasının 2 boyuttan 3 boyuta geçişi) Yöntem bölümünde ele alınmıştır. Ardından Bulgular bölümünde hem faktörlerin hem de 2 ve 3 boyutlu kartografik çıktılarının analizi ve sunumu yapılmıştır. Buna ek olarak çalışma alanında bulunan taşınmazların hangi değer aralığında olduğu yine bu bölümde mevcuttur. Son olarak kullanılan yöntem ve veriler doğrultusunda çıkan sonuçlar, sınırlar ve öneriler Sonuçlar bölümünde bahsedilmiştir.

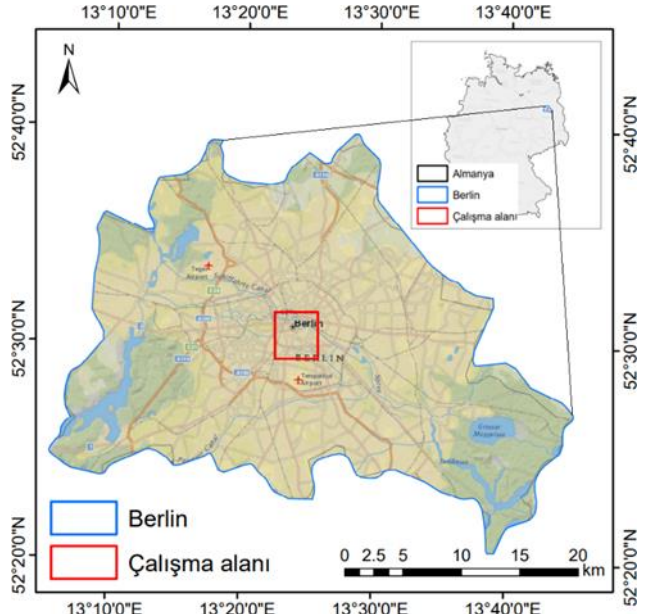
## 2. Yöntem

Bu çalışma 2219 adet bina geometrisinin CBS tabanlı taşınmaz değerlendirme uygulamasını içermektedir. Uygulama toplu değerlendirme yöntemlerinden olan nominal değerlendirme ile yürütülmüştür. Yöntem olarak nominal değerlendirme yönteminin seçilmesinin sebebi, taşınmazların birbiri arasında değer dağılımlarını en doğru şekilde belirlemektir. Bu yöntem ile kıyaslanabilir puanları belirlenen taşınmazlar, istenilen değer aralığında sınıflandırılabilir. Faktörlerin ağırlıklarını belirlemek için ise AHY kullanılmıştır. AHY taşınmaz değerlemesinde en çok kullanılan Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olup kendi içinde kontrol edilebilir bir yöntemdir. Bu sebeple faktörlerin göreceli ağırlığını belirlemek için AHY kullanılmıştır. Ayrıca uygulamanın CBS destekli olması kullanılan faktörlerin belli periyotlarda güncellenmesini mümkün kılmaktadır. Bu sayede faktörlerin zamansal ve konumsal değişimlerine müdahale edebilme imkânı oluşmaktadır. Yani bir faktör bundan beş sene önce yapılan toplu değerlemede önemli iken, günümüzde yapılan toplu değerlemede önemini yitirmiş olabilir. Bunun yanında kullanılan faktörlerin konumundaki değişiklik de yine CBS ara yüzü ile kolayca güncellenebilmektedir. Ayrıca tüm girdi ve çıktı haritalarında veri türü olarak sürekli veri kullanılmıştır.

Ayrı veri kullanımı ile ortaya çıkabilecek veri kayıplarının önüne geçmek ve değer haritasında daha yumuşak geçişler elde etmek için sürekli veri kullanılmıştır.

### 2.1. Çalışma Alanı

Nüfusu 3.6 milyon olan Berlin, Almanya'nın 16 eyaletinden biridir. Almanya'daki en büyük şehir olan Berlin, aynı zamanda başkenttir. Berlin eyaletinin tam ortasında bulunan çalışma alanı 14.6 km<sup>2</sup>'dir, bu da 1460 hektar yapmaktadır. 13° 22' 30"- 13° 25' 30" doğu meridyenleri ile 52° 29' 30"- 52° 31' 30" kuzey paralelleri arasında yer alan Şekil 1'de kırmızı ile renklendirilmiş çalışma alanı yüzölçümü olarak Berlin'in %1.6'sına karşılık gelmektedir. Uygulamada, taşınmaz yoğunluğunun yüksek olduğu bir bölgenin çalışma alanı olarak belirlenmesi, toplu taşınmaz değerlemeyi okuyucu tarafından daha anlaşılır kılmaktadır.

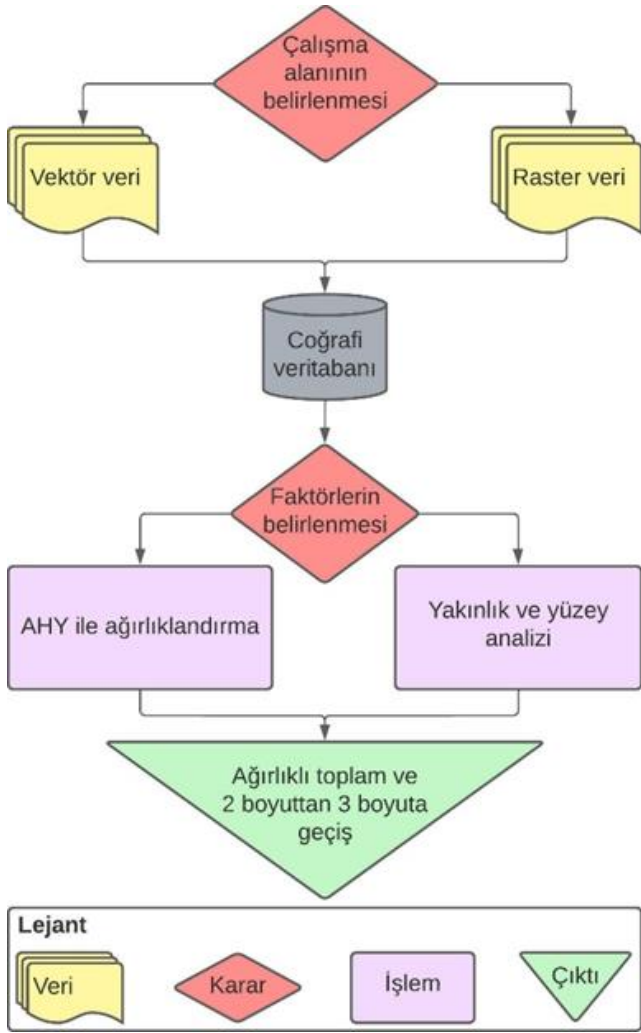


Şekil 1. Çalışma alanı

### 2.2. Aşamalı şekilde işlem adımları

Süreç, çalışma alanının belirlenmesi ile başlar. Belirlenen bölgeye ait vektör ve raster formatındaki veriler farklı veri kaynaklarından edinilerek coğrafi veri tabanında toplanır. Ardından 2.3 bölümünde detayları verilen faktörler belirlenir. Bu belirlenen faktörlerin vektör formatında olanları için yakınlık analizi, raster formatında olanları için yüzey analizi yapılır. Bu uygulamada bahsedilen yakınlık ve yüzey analizleri ArcGIS 10.4 yazılımıyla yürütülmüştür. Değer haritası her faktörden eşit oranda etkilenmeyeceğinden ağırlıklar AHY ile belirlenebilir. Bu uygulama için ağırlıklar, Microsoft Excel yazılımı ile belirlenmiştir. Ardından her faktörün ağırlıkları oranında alt alta toplanması ile değer haritası üretilir. Son olarak bina geometrilerine göre ayıklanan değer haritasına 3B kazandırılarak uygulama sonlandırılır (Şekil 2).





Şekil 2. İş akış diyagramı

### 2.3. Faktörlerin seçimi ve hazırlanması

Taşınmazların nominal değerini tespit etmek için öncelikle kullanılacak faktörlerin belirlenmesi gerekmektedir. Faktörlerin belirlenmesi, söz konusu değer haritasının üretimindeki en önemli ve en karmaşık aşamadır (Mete ve Yomralıoğlu, 2019a; Ünel ve Yalpır, 2019b). Çalışma, değeri etkilediği düşünülen maksimum sayıdaki faktörle yürütülmüştür. Taşınmaz değerlemesinde kesin değere ulaşmak imkânsız olsa da mümkün olduğu kadar faktör kullanılarak kesin değere yaklaşılabılır. Bu yüzden elde edilen değer yaklaşık, diğer bir ifade ile tahmini değerdir (Erbil, 2014). Bu tahmini değerler yeterli olduğu benzer taşınmaz değerlendirme çalışmalarında vurgulanmıştır (Çete ve Yomralıoğlu 2009; Doldur ve Alkan, 2021; Döner ve Alkan, 2011; Özen ve Şiş, 2019). Faktörlerin belirlenmesi, kentsel ve kırsal özelliklere göre farklılık gösterirken, kişisel görüşlerin yoğun şekilde devreye girdiği bir aşamadır. Yani herhangi bir kişi için taşınmazın değerini artıran faktör, başka bir kişi için taşınmazın değerini azaltıcı etkiye sahip olabilir. Örneğin kimi için anayollar, taşınmaza ulaşım kolaylığı sağlarken; kimi için gürültü kaynağı olarak düşünülebilir. Tüm bu farklı görüşlerden kaynaklı bir görecelilik ortaya çıkmaktadır. Söz konusu göreceliliği ortadan kaldırıp faktörlerin standartlaştırılması amaçlayan örnek bir çalışma Çakır ve Sesli (2013) tarafından yapılmıştır. Bahsedilen

çalışmada, arsa vasıflı bir taşınmazın değerine etki eden 15 faktör ağırlıklarıyla sıralanmış olsa da, farklı bölgelerde yapılan taşınmaz değerlendirme çalışmalarında farklı faktörlerin kullanılması gayet tabiidir. Yine aynı çalışmada değeri etkilediği düşünülen faktörlerin sınırlandırılmayacağından bahsedilmektedir. Örneğin bu çalışma büyük deprem bölgelerinden ya da deprem kuşaklarından uzakta yer alan Berlin eyaleti özelinde yapıldığından “deprensellik” çalışmaya dahil edilmemiştir. Ancak benzeri bir çalışmanın deprem riskinin yüksek olduğu bir bölgede yapılması durumunda söz konusu faktör belli bir ağırlıkla çalışmaya dahil edilmelidir. Tüm bunlara ek olarak, çalışma alanındaki yöresel ve bölgesel özellikler de kullanılacak faktörleri önemli ölçüde etkilemektedir (Yalpır ve Ünel, 2021). En nihayetinde denize kıyısı olan bir kent ile ormanlık manzaraya sahip bir kent ya da kırsal alanları olan bir kent aynı faktörlerle değerlemeye tabi tutulamaz. Tüm bu anlatılanlardan hareketle söz konusu varsayımsal çalışmanın kurgusuna uygun 12 faktör ek bilgileriyle Tablo 1’de verilmiştir. Google üzerinden edinilen faktörler (F1, F2, F3, F4, F6, F7, F9, F10, F12) kalite açısından Google Earth Pro ile yapılan sanal turda incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda verilerin doğru ve güncel oldukları anlaşılmıştır. Spree nehrinin (F5) doğruluğu ise ESRI’nin (ESRI, 2022) 1 metre çözünürlüklü altlık haritası ile doğru orantılıdır. Buna ek olarak, OpenStreetMap (OSM) (OpenStreetMap, 2022) üzerinden edinilen yol verisinde (F8) anayolların dışındaki yol sınıfları (bisiklet yolu, patika yolu vb.) filtrelenmiştir. Bu sayede uygulama için kullanılacak nihai yol ağına ulaşılmıştır. Aynı şekilde OSM üzerinden edinilen bina geometrileri de Google Earth Pro ile kontrol edilmiş olup, bina sayısının mevcutta bulunandan daha az olduğu anlaşılmıştır. OSM verisinden kaynaklanan bu eksiklik çalışmanın sınırlılığı olarak paylaşılmaktadır. Eğim faktörü (F11) ise çalışma alanına göre ayıklanmış 30 metre çözünürlüklü NASA SRTM verisinden üretilmiştir.

Üretilen raster formatındaki verilerin piksel boyutları Mete ve Yomralıoğlu (2019b) tarafından yapılan çalışmanın incelenmesi ile kararlaştırılmıştır. Çalışmada İstanbul ili sınırlarında bulunan Gaziosmanpaşa ve Beyoğlu ilçelerine ait piksel tabanlı değer haritası üretiminde en uygun piksel boyutu araştırması yapılmıştır. Bahsedilen bölgelerde 1, 10, 50, ve 100 metre çözünürlüklü değer haritaları oluşturulmuştur. Çalışmanın sonunda il, ilçe düzeyinde yapılan çalışmalarda 10 metre çözünürlüklü; bölgesel ve ulusal düzeyde yapılan çalışmalarda ise 50 metre çözünürlüklü değer haritalarının kullanılabilirliği vurgulanmıştır. Sonuç olarak piksel boyutunun çalışma alanının büyüklüğüne göre değişiklik gösterdiği anlaşılmıştır. Çalışma alanının büyümesi ile daha düşük çözünürlüklü piksel boyutlarının kullanılması daha hızlı analizlerin yapılmasını sağlayacaktır. Çalışma alanı, Berlin eyaletinin %1.6’sını oluşturduğundan hem değer haritası bileşenleri (faktörler) hem de iki ve üç boyutlu değer haritaları 1 metre çözünürlükle üretilmiştir.

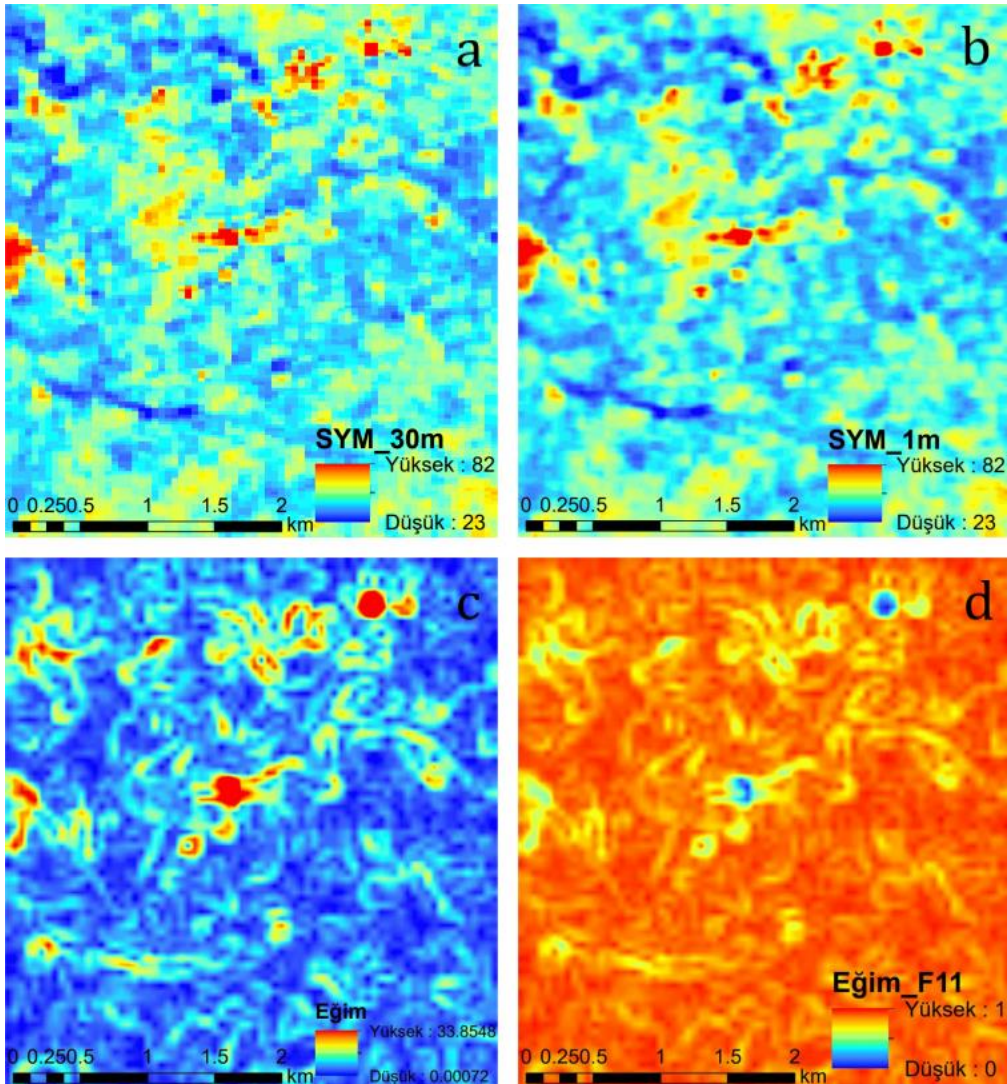
Landsat USGS sitesinden (EarthExplorer, 2022) ücretsiz olarak indirilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), günümüzde CBS uygulamalarının temel veri kaynağını oluşturmaktadır. Arazi yüksekliğinin dijital temsilini

oluşturan SYM verisi, yüzey analizine tabi tutularak eğim verisine dönüştürülmüştür. Ancak öncesinde, indirilen 30 metre çözünürlüklü SYM verisi (Şekil 3a) 1 metrelik piksel değerleri ile yeniden boyutlandırılmıştır (Şekil 3b). Bahsedilen yeniden boyutlandırmanın sebebi, üretilecek değer haritasının yüksek çözünürlüklü (1 metre) olması hedeflendiğindedir. Eğer 30 metre çözünürlüklü bir faktör ağırlıklı toplam sürecine dahil edilirse, değer haritasının piksel değerleri 30 metre olarak sonuç vermektedir. Bu sebeple istenilen piksel değerinde çıktı elde etmek için tüm faktörlerin ortak piksel değerinde girdi olarak tanıtılması önerilmektedir. Tüm bu sebeplerden dolayı SYM verisi 1 metrelik piksel

değerleri ile yeniden boyutlandırılmıştır. Ayrıca eğim, hem yeni yapılacak inşaatın maliyetini hem de halihazırda olan meskenlerin ulaşım masraflarını arttıracığından değeri düşüren bir faktör olarak çalışmaya dahil edilmiştir. Bu sebeple 1 metre çözünürlüklü SYM'den üretilen eğim (Şekil 3c), tam tersi piksel değerleri ile yeniden ölçeklendirilerek eğim faktörüne (Şekil 3d) dönüştürülmüştür. Yani Eğim haritasındaki (Şekil 3c) piksel değerleri yer değiştirilip, nihai eğim faktörüne (Şekil 3d) ulaşılmıştır. Bu işlem, eğimli yerlerin en az değere sahip çıkması için yapılmıştır. Bu sayede değer haritası açısından daha az eğime sahip yerler daha değerlidir.

**Tablo 1.** Tercih edilen faktörler

Faktörler	Faktör no	Vektörden Hücreye	-Değer	+Değer	Ağırlık	Veri kaynağı
Eğitim kurumlarına yakınlık	F1	Öklid uzaklığı	Min	Maks	0.12	Google Haritalar API
Sağlık hizmetlerine yakınlık	F2	Öklid uzaklığı	Min	Maks	0.08	Google Haritalar API
Endüstriyel tesislerden uzaklık	F3	Öklid uzaklığı	Min	Maks	0.03	Google Haritalar API
Yeşil alanlara yakınlık	F4	Öklid uzaklığı	Min	Maks	0.11	Google Haritalar API
Spree nehrine yakınlık	F5	Öklid uzaklığı	Min	Maks	0.11	Topografik halihazır
Polis merkezine yakınlık	F6	Öklid uzaklığı	Min	Maks	0.03	Google Haritalar API
İtfaiye istasyonuna yakınlık	F7	Öklid uzaklığı	Min	Maks	0.04	Google Haritalar API
Anayollara yakınlık	F8	Öklid uzaklığı	Min	Maks	0.06	OpenStreetMap
Otobüs hattına yakınlık	F9	Öklid uzaklığı	Min	Maks	0.07	Google Yön API
Metro duraklarına yakınlık	F10	Öklid uzaklığı	Min	Maks	0.11	Google Haritalar API
Eğim	F11	SYM'den Eğim'e	Maks	Min	0.05	NASA SRTM
Süpermarketlere yakınlık	F12	Öklid uzaklığı	Min	Maks	0.18	Google Haritalar API



**Şekil 3.** (a) 30 m çözünürlüklü SYM verisi (b) 1 m çözünürlüklü SYM verisi (c) Eğim (d) Yeniden ölçeklendirilmiş nihai eğim faktörü

#### 2.4. AHY ile faktörlerin ağırlıklandırılması

Her bir faktör taşınmazın değerini farklı oranda etkileyeceğinden, ağırlıkları belirlemek için Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılmıştır. AHY, Prof. Thomas L. Saaty tarafından 1977 de paylaşılan ve en çok kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biridir. Çalışmada AHY'nin kullanılmasının asıl sebebi, yöntemin tutarlılık oranı ile kendi içinde kontrol edilebilir olmasındandır. AHY, seçilen faktörler arasında ikili kıyaslama yaparak faktörlerin önem derecelerini belirler (Yılmaz, 2022). Bir diğer deyişle öznel yargılar nümerik değerlere dönüştürülür (Alkan ve Durduran, 2020). Mevcut çalışmada ana faktör-alt faktör durumu olmadığından AHY tek seferde faktörlerin tamamına uygulanmıştır. Microsoft Excel yazılımı ile bulunan AHY ağırlıkları, faktörlerin alt alta toplanması aşamasında manuel olarak ArcGIS yazılımına tanıtılmıştır. Faktörlerin ağırlıklarını elde etmek için ikili kıyaslamalarda verilen puanlar yazarlar tarafından belirlenmiştir. Yapılan puanlamada öznel düşüncelere yer verilse de benzeri çalışmalar incelenerek ağırlıklar oluşturulmuştur. Örneğin Çakır ve Sesli (2013); Nişancı (2005), yaptıkları anket çalışmalarına paralel olarak tıpkı bu çalışmada olduğu gibi 'karakola ve itfaiyeye olan mesafe' faktörlerine en düşük ağırlıkları vermişlerdir. Benzeri çalışmalardan hareketle faktörlerin ağırlıkları belirlenmiştir. İkili karşılaştırma puanlarının referans alındığı 1-9 arasında derecelendirilmiş ölçek Tablo 2'de paylaşılmıştır.

**Tablo 2.** İkili karşılaştırma için puan ölçeği (Saaty ve Vargas, 1991; Saaty, 2008)

Ölçek	Önem derecesi
1	Eşit derece önemli
3	Orta derece önemli
5	Daha önemli
7	Çok güçlü oranda önemli
9	Aşırı derece önemli
2,4,6,8	Ara değerler

Ağırlıkların belirlenmesi için öncelikle ikili karşılaştırma matrisi ve normalize edilmiş matris hesaplanmalıdır. AHY'nin en önemli verisini oluşturan ikili karşılaştırma matrisi, faktörlere atanan F numaraları ve yazarların verdiği puanlar ile Tablo 3'te paylaşılmıştır. İkili karşılaştırma matrisinin her hücresinde yazılı olan puanı sütunların toplam puanına bölerek normalize

edilmiş matrisin hücreleri doldurulur. Her bir sütun toplamının 1'i verdiği normalize edilmiş matris Tablo 4'te paylaşılmıştır.

12 farklı faktör için matrisler hesaplandıktan sonra tutarlılık analizi ile AHY süreci tamamlanmaktadır. Yazarlar tarafından titizlikle yapılan puanlamanın uyumunu gösteren tutarlılık oranı (CR) 0.1 den küçük çıkmalıdır (Saaty, 1980). 0.1 den büyük çıkması durumunda yapılan ikili karşılaştırma tekrar gözden geçirilmelidir. Ayrıca bahsedilen tutarlılık oranı ne kadar 0'a yakınsa faktörlerin o kadar uyumlu puanlandırıldığı anlaşılmaktadır. Bu çalışmada yapılan ikili karşılaştırmanın tutarlılık oranı Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'nin işlenmesi ile bulunmuştur.

$$CI (\text{Tutarlılık indeksi}) = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = 0.067 \quad (1)$$

Burada,  $\lambda_{\max}$  (Özdeğer)=12.74, n (Faktör sayısı) = 12.

$$CR (\text{Tutarlılık oranı}) = CI / RI = 0.04 \quad (2)$$

Burada, RI (Rastgele değer indeksi) =1.48 (12 faktörlü bir uygulama için 1.48 olarak paylaşılmıştır (Saaty, 1980).

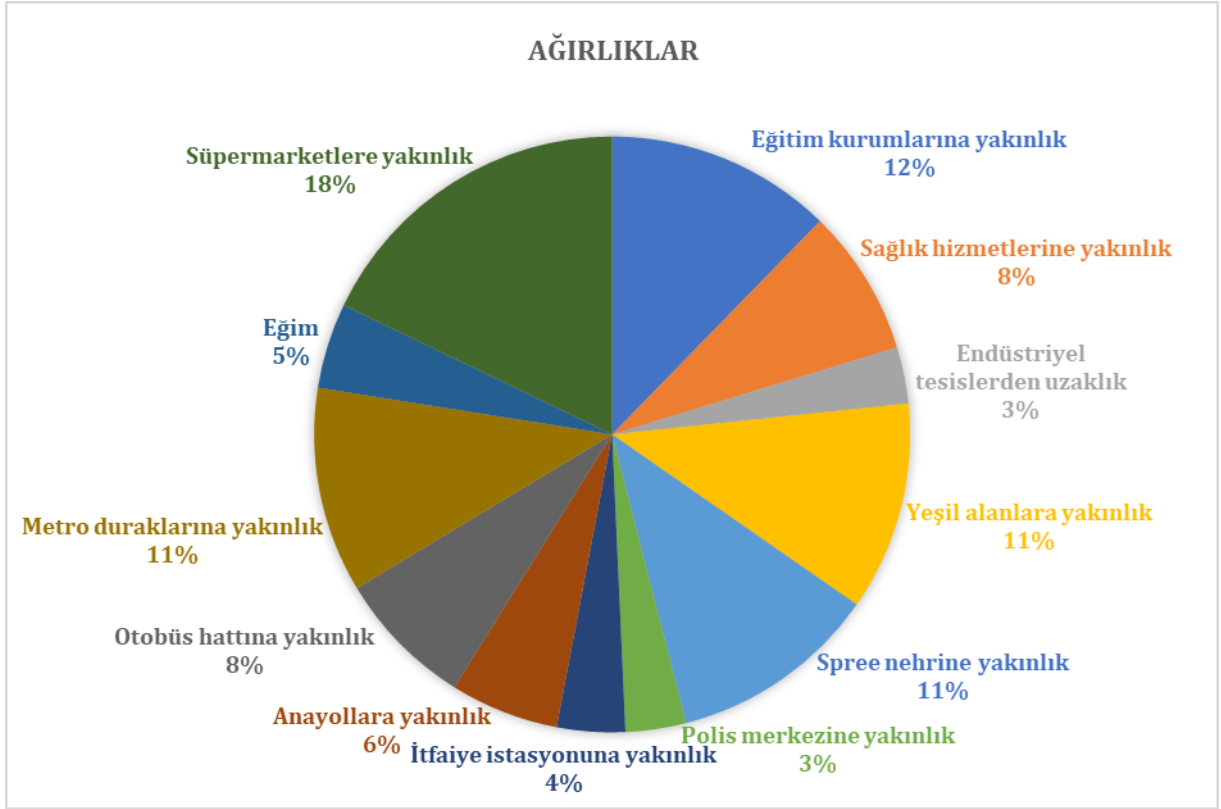
0.04 (<0.1) olarak hesaplanan tutarlılık oranı, mevcut ağırlıkların uyumlu ve söz konusu çalışma için kullanılabilir olduğunu göstermektedir. İstatistiksel olarak tutarlı çıkan ağırlıkların tıpkı faktör seçiminde olduğu gibi kişiden kişiye değişiyor olması çalışmanın sınırlılığdır. Yani bir faktör, herhangi biri için taşınmazın değerine etki eden en önemli faktörken, başka biri için o kadarda önemli olmayabilir. Bahsedilen göreceliliği hesaba katmak için kimi çalışmalarda (Alkan ve Durduran, 2020; Deveci ve Yılmaz, 2009; Erdem, 2019) anket vb. yöntemlere başvurulmuştur. Ancak bu varsayımsal çalışmanın senaryosuna bu tarz bir yöntem dahil edilmemiştir. Tutarlılık analizinden geçen ve nominal değer haritasında kullanılan ağırlıklar, önem sırasının daha iyi anlaşılması için Şekil 4'te dairesel grafik formatında sunulmuştur. Dairesel grafik incelendiğinde en yüksek ağırlığa sahip faktörün "Süpermarketlere yakınlık (%18)" olduğu görülmektedir. Hemen ardından %12'lik oranla "Eğitim kurumlarına yakınlık" faktörü gelmektedir. Tüm faktörlerin toplam etki oranı %100 olup, en az ağırlığa sahip faktörler "Polis merkezine yakınlık" ve "Endüstriyel tesislerden uzaklıktır".

**Tablo 3.** İkili karşılaştırma matrisi

Faktör	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
F1	1	3	2	1	1	3	3	3	2	1	2	1
F2	0.33	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	0.5
F3	0.5	0.5	1	0.33	0.33	0.5	0.5	0.33	0.33	0.25	0.5	0.25
F4	1	1	3	1	1	3	3	3	2	2	3	0.33
F5	1	1	3	1	1	3	3	3	2	2	3	0.33
F6	0.33	0.5	2	0.33	0.33	1	0.5	0.33	0.33	0.25	0.5	0.25
F7	0.33	0.5	2	0.33	0.33	2	1	0.33	0.33	0.25	0.5	0.25
F8	0.33	0.5	3	0.33	0.33	3	3	1	0.5	0.33	2	0.33
F9	0.5	1	3	0.5	0.5	3	3	2	1	0.5	2	0.33
F10	1	1	4	0.5	0.5	4	4	3	2	1	4	0.5
F11	0.5	0.5	2	0.33	0.33	2	2	0.5	0.5	0.25	1	0.33
F12	1	2	4	3	3	4	4	3	3	2	3	1

**Tablo 4.** Normalize edilmiş matris

Faktör	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12
F1	0.13	0.24	0.06	0.10	0.10	0.10	0.10	0.14	0.13	0.09	0.09	0.18
F2	0.04	0.08	0.06	0.10	0.10	0.07	0.07	0.10	0.07	0.09	0.09	0.09
F3	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05
F4	0.13	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.14	0.13	0.18	0.13	0.06
F5	0.13	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.14	0.13	0.18	0.13	0.06
F6	0.04	0.04	0.06	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05
F7	0.04	0.04	0.06	0.03	0.03	0.07	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05
F8	0.04	0.04	0.10	0.03	0.03	0.10	0.10	0.05	0.03	0.03	0.09	0.06
F9	0.06	0.08	0.10	0.05	0.05	0.10	0.10	0.10	0.07	0.05	0.09	0.06
F10	0.13	0.08	0.13	0.05	0.05	0.13	0.14	0.14	0.13	0.09	0.17	0.09
F11	0.06	0.04	0.06	0.03	0.03	0.07	0.07	0.02	0.03	0.02	0.04	0.06
F12	0.13	0.16	0.13	0.31	0.31	0.13	0.14	0.14	0.20	0.18	0.13	0.18

**Şekil 4.** Faktörlerin ağırlıklarını gösteren dairesel grafik (%)

## 2.5. Değer haritasının 2 boyuttan 3 boyuta geçişi

Üç boyutlu görselleştirme; akıllı şehirler, emlak, turizm, planlama vb. birçok farklı CBS uygulamasında yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır (Döner, 2021; Mete ve ark., 2018). Ayrıca bugüne kadar yapılan nominal değerlendirme uygulamalarındaki mevcut ihtiyaç, 2B vektör ve raster formatındaki CBS çıktılarına 3B arazi üzerinde görüntülemektir. Çalışmanın bu kısmında bahsedilen ihtiyacı karşılamak amacıyla ESRI'nin ürettiği ArcGIS yazılımına (ArcGIS, 2022) gömülü ArcScene modülü ile 3B analiz yapılmıştır. Analiz sırasında SYM ve nominal değer haritası kullanılmıştır. Tüm doğal ve yapay özellikleri kaldırarak çıplak dünya yüzeyini temsil eden SYM verisi, nominal değer haritasının iki boyuttan üç boyuta geçiş sürecinde altlık olarak kullanılmıştır. Yani değer haritasının okunabilirliğini arttıracak olan üçüncü boyut, referans yüzeyinin SYM seçilmesiyle sağlanmıştır. Değer haritası gibi bir çıktının 3B model üzerine örtülmesi, değerlendirme sürecine fayda sağlayan anlaşılır bir görsel sunar (Yomralıoğlu ve Nişancı, 2004).

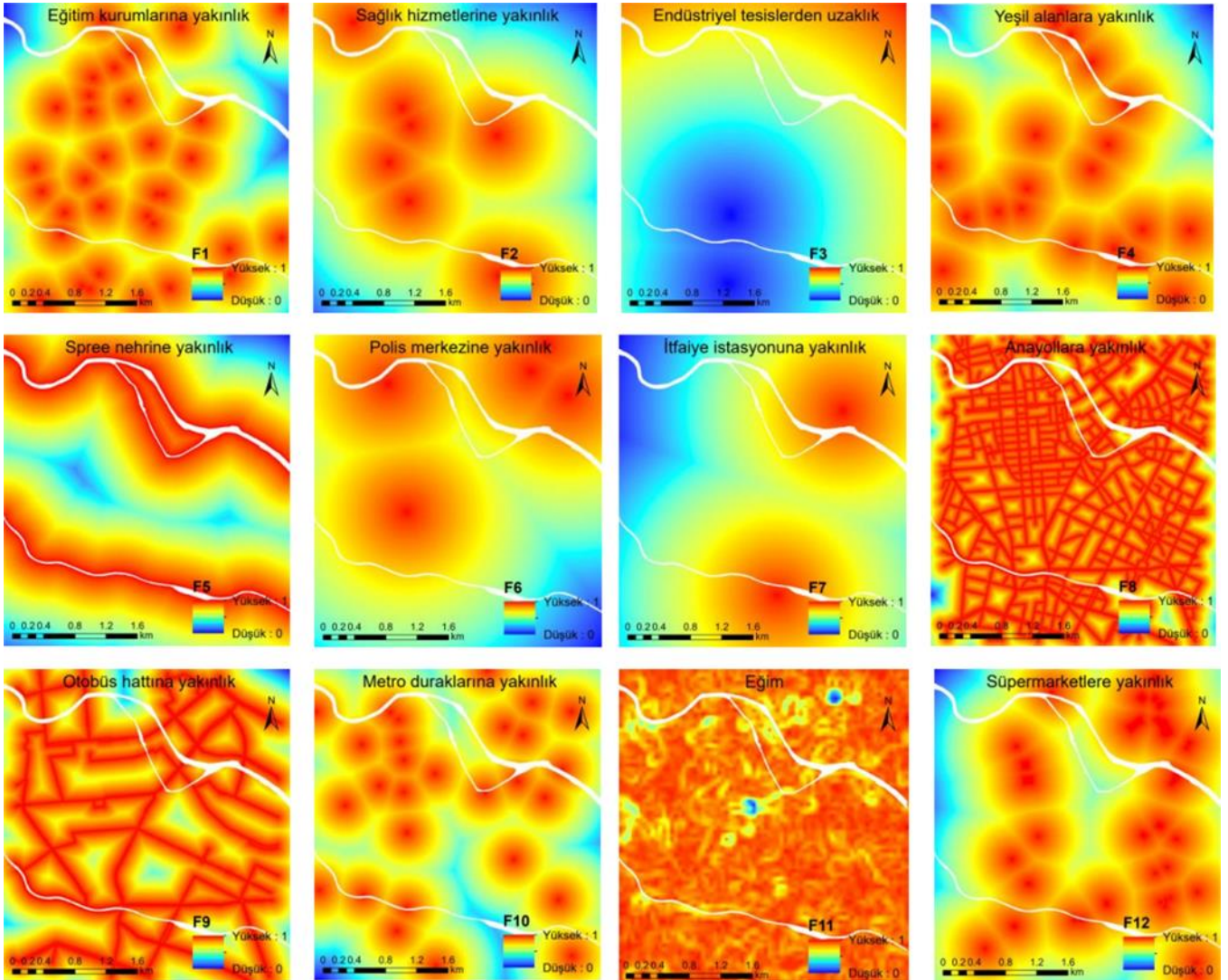
Topografyanın 3 boyut kazandırılmasının ardından, bina geometrilerine de 3 boyut kazandırılmıştır. Bunun için birbiriyle bağlantılı birkaç analiz yürütülmüştür. İlk olarak bina geometrilerine ait değer haritası 'Hücreden Noktaya (Raster to Point)' aracı ile noktalara dönüştürülmüştür. Dönüşüm sonucunda yüksek çözünürlüklü (1 m) raster katmanından kaynaklı 1 milyonun üzerinde nokta elde edilmiştir. Ardından 0 ile 1 arasında piksel değerlerine sahip noktalar, vektör formatındaki bina geometrileri ile alansal kesiştirilmiştir (Intersection). Son olarak, 'Mekânsal birleştirme (Spatial join)' aracı ile ortalama piksel değerlerinin vektör formatındaki taşınmazlara öznitelik olarak eklendiği 'Bindirme analizi (overlay analysis)' yapılmıştır. Yani bir taşınmazın hücre tabanlı iken sahip olduğu ortalama piksel değeri, vektör formatındaki yine aynı taşınmazla öznitelik olarak eklenmiştir. Bu eklenen piksel değerleri belli kategorilerde sınıflandırılarak, bölgenin 3B değer okuması yapılabilmektedir (Yakar ve Doğan, 2018). Hangi bölgenin daha değerli taşınmazları içerdiğini gösteren '3 boyutlu şehir modeli' ile analiz sonlandırılmıştır.

### 3. Bulgular

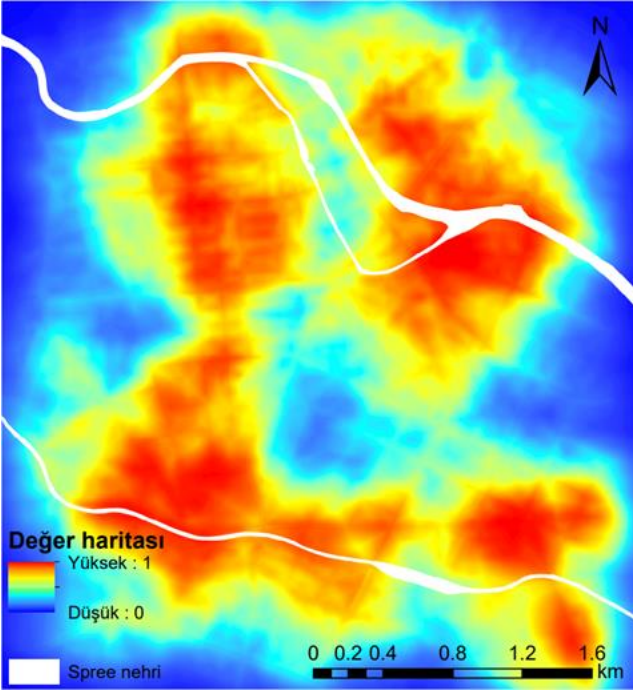
Her bir faktörün raster çıktısı, değer haritasıdır. Bahsedilen değer haritalarının ağırlıkları oranındaki kombinasyonundan bölgenin nihai taşınmaz değer haritası oluşmaktadır. Bazı faktörlere (ör. Anayollar, Spree nehri, yeşil alanlar vb.) yakınlık, bazı faktörlere (ör. Endüstriyel tesisler) uzaklık taşınmazın değerini arttırmaktadır. Örneğin taşınmazın anayollara yakın olması değerlerini arttıran bir husustur. Birçok yolu besleyen, birleştiren, kent merkezlerine bağlayan anayollara yakınlık taşınmazlara ulaşım kolaylığı sağlamaktadır. Ayrıca taşınmazın anayollardan görünmesi tanınırlığını önemli ölçüde arttıracaktır (Erbil, 2014). Bunun yanında Spree nehrine yakın olan yerler de değerli olarak düşünülmüştür. En nihayetinde taşınmazın herhangi bir su kütlesine/birikintisine (ör. Deniz, göl, akarsu) yakınlığından doğacak manzara, değerini olumlu yönde etkileyecektir. Yani taşınmazın değeri ile bahsedilen faktöre olan yakınlığı doğru orantılıdır. R.M. Hurd “Kentsel Arsa Değerlerinin Prensipleri” isimli çalışmasında değerlerin yakınlığa bağlı olduğunu belirtmiştir (Deveci ve Yılmaz, 2009). Tüm bunlara ek olarak faktörlerin önem derecelerinde olumlu ya da olumsuz değişiklikler olabilmektedir. Örneğin yeşil

alanlara yakınlık, özellikle son 2 yılda dünyanın yaşamış olduğu küresel pandemi ile daha da önem kazanmıştır. İnsanların kalabalık yerlerde bulunmaması gereken şu dönemlerde temiz hava almak ve ailesiyle vakit geçirmek için park, bahçe ve rekreasyon alanlarına yöneldikleri görülmüştür. Buna paralel olarak çalışmada yeşil alanlara yakın olan taşınmazlar daha değerli kabul edilmiştir. Söz konusu 12 faktörün benzeri yorumlarla üretilen 0 ile 1 arası lejanta sahip sayısal sonuçları Şekil 5’te sunulmuştur.

Şekil 5’teki değer haritalarının Tablo 1’de paylaşılan ağırlıklarda alt alta toplanması ile çalışma alanına ait nominal değer haritası üretilmiştir. Şekil 6’da görüldüğü üzere nominal değer haritası da 0 ile 1 arasında puanlandırılmıştır. 0 a yakın piksel değerleri az değerli olarak koyu mavi ile renklendirilirken, 1’e yakın piksel değerleri değerli olarak kırmızı ile renklendirilmiştir. Ayrıca çalışmanın kartografik sonucu; bir şeyin para olarak gerçek karşılığını tanımlayan fiyat haritası değil, göreceli bir kavram olan ve bir şeyin yararını gösteren değer haritasıdır. 12 farklı faktör kullanılarak üretilen nominal değer haritası incelendiğinde hangi bölgelerin değerli hangi bölgelerin az değerli olduğu net şekilde görülmektedir.



Şekil 5. Tüm faktörlerin (F1’den F12’ye) piksel tabanlı nominal değer haritaları

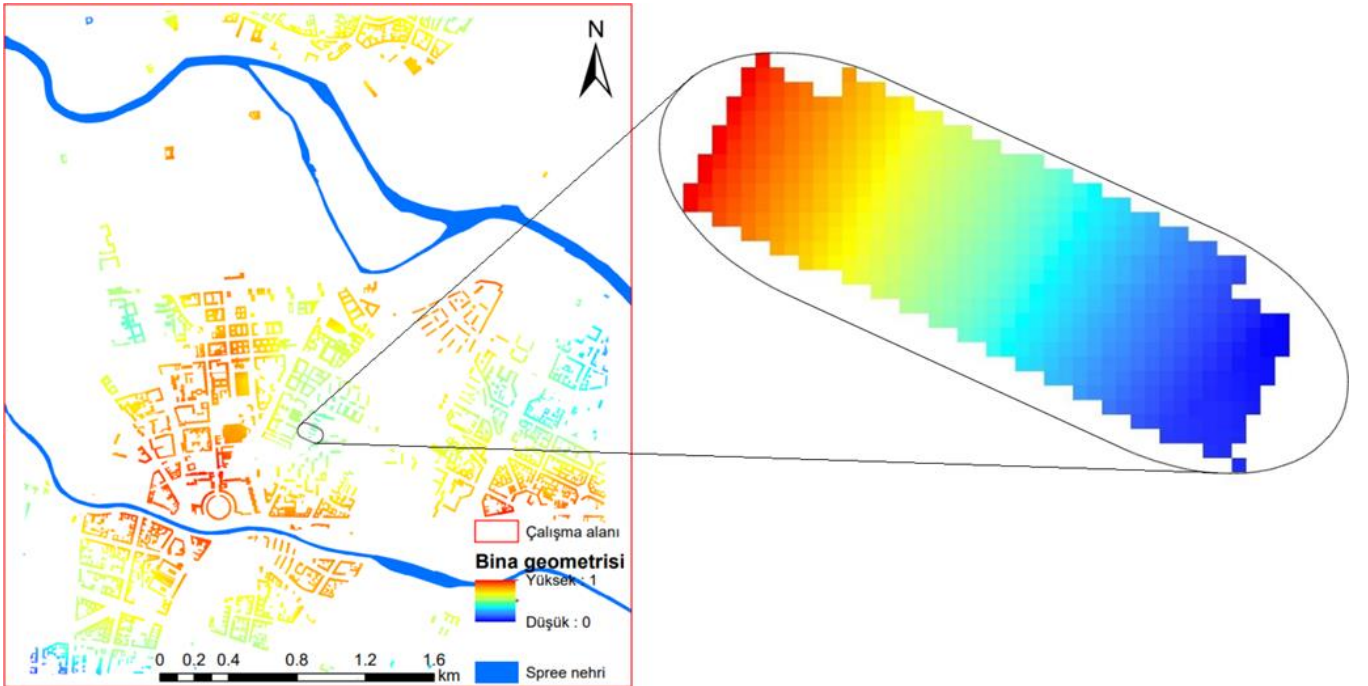


Şekil 6. Nominal değer haritası

Her bir taşınmaz için nominal değer üretilebilir (Yomralıoğlu ve ark., 2012). Bu tanımdan hareketle nominal değerleri bulunan bina geometrileri, Şekil 7’de paylaşılmıştır. Bunun için nihai taşınmaz değer haritası, OSM’den edinilen bina sınırları boyunca ayıklanmıştır. Bahsedilen ayıklamanın ardından bölgedeki hangi taşınmazın değerli, hangi taşınmazın daha az değerli olduğu görülmektedir. Bu sayede taşınmazların kıyaslanması mümkün hale gelmiştir. 0 ile 1 arasında ölçeklendirilen bina geometrilerine ait nominal değer haritasındaki ortalama piksel değeri 0.68’dir. Bu değer için üstünde bir ortalama piksel değerine sahip taşınmaz,

değerli olarak isimlendirilirken; altında bir ortalama piksel değerine sahip taşınmaz, daha az değerli olarak isimlendirilebilir. Örneğin Şekil 7’de yakınlaştırılan taşınmazın ortalama piksel değeri 0.41’dir. Bahsedilen taşınmazın ortalama piksel değeri, çalışma alanının ortalama piksel değerinden düşük olduğundan daha az değerli taşınmaz sınıfına alınabilir. Yani bölgedeki tüm taşınmazlar, ortalama piksel değerine göre değerli ya da daha az değerli olarak sınıflandırılabilir. Tüm bu değer kıyaslamalarına ek olarak, bir taşınmazın değerli cephesini belirlemek de mümkündür. Şekil 7’de büyütülen taşınmazın, yanındaki kuzey okundan hareketle, kuzey-batı yönü güney-doğu yönünden daha değerlidir. Bu ve benzeri analizler sayesinde bölgeye ve taşınmazlara ait değerli-az değerli yorumları daha sağlam temellere dayanacaktır. Bu sayede vatandaşların hem alış hem de satış sürecinde daha tutarlı adımlar atması sağlanacaktır.

Şekil 8’de paylaşılan 3B nominal değer haritasını elde etmek için SYM verisi nominal değer haritasının altına yükselti bilgisi olarak işlenmiştir. Bunu yaparken yarı gerçekçi bir gösterim sağlayan ‘Kaplama tekniği (Draping)’ kullanılmıştır. Basit bir teknik olmasına rağmen, bölgenin topografyasıyla harita çıktısının ilişkilendirilmesi açısından oldukça önemlidir. Harita çıktısını topografik özelliklerle (yükseklik, eğim vs.) ilişkilendirmek, sonuçların daha doğru yorumlanmasını sağlayacaktır. Örneğin Şekil 8’de halka ile işaretlenen yüksek yerler, yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı (kazı/dolgu çalışmalarındaki hafriyat ve aracın yakıt giderleri) daha az değerlidir. Ayrıca Spree nehrinin kıyıları, taşınmaza manzara kazandırdığı için daha değerlidir. Düz bir arazi için bahsedilen teknik önemsiz olabilir, ancak engebeli arazideki karmaşık çıktılarının anlaşılması için oldukça önemlidir.



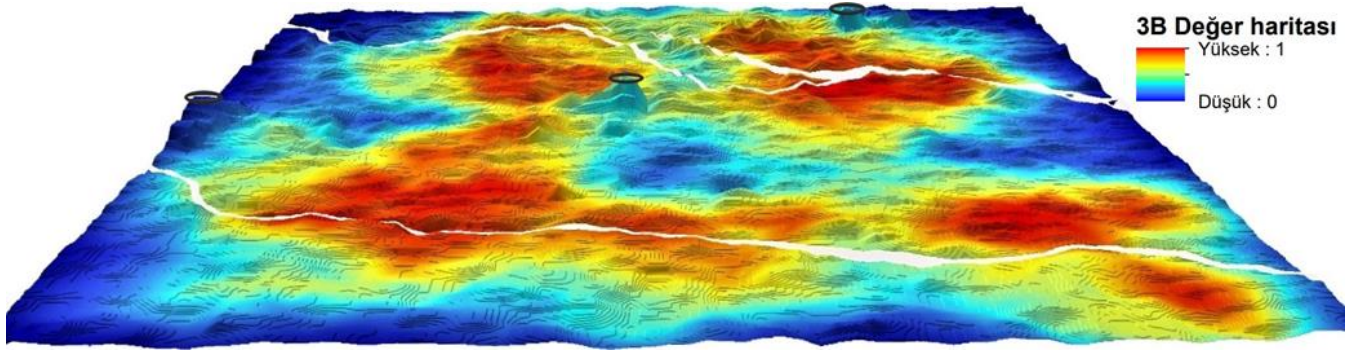
Şekil 7. Bina geometrilerine ait nominal değer haritası

Çalışmanın devamında, bina geometrileri Çok değerli, Değerli, Az değerli ve En az değerli olarak 4 kategoriye ayrılmıştır. Benzeri yeniden sınıflandırmalar birçok CBS uygulamasında yapılmıştır. Örneğin Güler ve Yomralıoğlu (2020), elektrikli araç şarj istasyonu için uygun yer seçimi çalışmasında tüm uygunluk indekslerini Yüksek uygun, Uygun, Düşük uygun, Uygun değil olarak dört grupta sınıflandırmıştır. Bu çalışmada da benzeri sınıflandırma yapılarak, bölgedeki taşınmazların değer durumunu gösteren 3 boyutlu şehir modeli çalışmaya dahil edilmiştir. Şekil 9'daki 2219 adet bina geometrisinden hangilerinin hangi değer aralığında olduğu net şekilde görülmektedir. Bahsedilen sınıflandırmanın sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur. Bu sayede bölgede hangi değer aralığından yüzde kaç taşınmaz olduğu bilinmektedir. Örneğin bölgedeki taşınmazların %84'ü Çok değerli ve Değerli iken, kalan %16'lık taşınmazın Az değerli ve En az değerli olduğu görülmektedir. Bu sonuç ile mevcut çalışma alanının

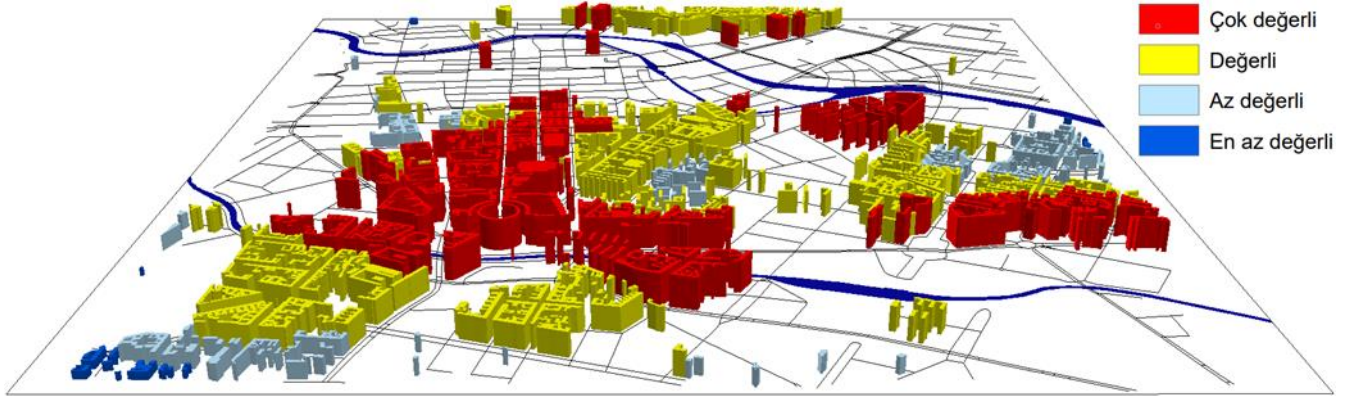
yüksek değerde taşınmazları bir arada içerdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca çalışmada bina geometrilerine üçüncü boyutu kazandırırken gerçek bina yüksekliklerinin mevcutta olmaması sebebiyle çok değerli taşınmazlara yüksek bina yüksekliği, en az değerli taşınmazlara ise düşük bina yüksekliği verilmiştir. Değerli taşınmazların dikkat çekmesi için yapılan bu işlemde ara değerdeki taşınmazlara, ara değerlere sahip bina yükseklikleri verilmiştir.

**Tablo 5.** Bina geometrilerinin piksel değerlerine göre sınıflandırılması

Değer durumu	Piksel aralığı	Adet	Yüzde (%)
Çok değerli	0.75 – 1.0	697	%31.41
Değerli	0.5 – 0.75	1168	%52.64
Az değerli	0.25 – 0.5	325	%14.65
En az değerli	0.0 – 0.25	29	%1.31



**Şekil 8.** Nominal değer haritasının 3B sunumu



**Şekil 9.** Bina geometrilerine ait nominal değer haritasının 3B sunumu

#### 4. Sonuç

Toplu taşınmaz değerlendirme özellikle vergilendirme açısından sağladığı gelir artışları ile birçok ülke tarafından kullanılmaktadır. Bu çalışmada, toplu taşınmaz değerlendirme yöntemlerinden nominal değerlendirme yöntemi Berlin eyaleti özelinde 12 farklı mekânsal faktör ile ele alınmıştır. Tercih edilen faktörler, verilen puan uyumunun kontrol edilebildiği AHY ile ağırlıklandırılmıştır. Çalışmanın piksel tabanlı yürütülmesi sayesinde, farklı taşınmazların değer açısından birbiriyle kıyaslanması mümkün hale gelirken, bir taşınmazın hangi cephesinin daha değerli olduğu da tespit edilebilmektedir. Çalışmanın sonunda nominal değer haritasından ayıklanan bina geometrilerinin 3B

şehir modeli formatında sunulması, taşınmazlar arasında gerçekçi bir değer kıyaslamasını mümkün kılmaktadır. Bu kıyaslama ile hangi taşınmazın değerli, hangi taşınmazın daha az değerli olduğunu net şekilde görülmektedir. Yapılan kıyaslamadan hareketle, çalışma alanında bulunan taşınmazların %84'ünün Çok değerli ve Değerli kategorisinde olduğu anlaşılmıştır. Kalan %16'lık kısım ise Az değerli ve En az değerli kategorisindeki taşınmazlardan oluşmaktadır. Bu sonuç ile çalışma alanının, değerli taşınmazları bir arada içerdiği görülmektedir. İleriki çalışmalarda yeni faktörlerin sürece dahil edilmesiyle daha doğru değer sınıflandırmalarının oluşacağı açıktır. Ayrıca 1 m çözünürlüklü SYM'nin kullanılmasıyla, nihai değer haritasında ek bir dönüşüme ihtiyaç kalmamış ve daha

gerçek çıktılar elde edilmiştir. Buna ek olarak, uygulamada kullanılan bina sayısının (2219 adet) mevcutta bulunandan daha az olduğu, eldeki verinin Google Earth Pro üzerinden kontrol edilmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu eksiklik OSM verisinden kaynaklanmış olup çalışmanın sınırlılığı olarak paylaşılmaktadır. Bahsedilen eksikliğe rağmen mevcut çalışma, bugüne kadar yapılan nominal değerlendirme çalışmalarından ayrılıp hem değer haritasını hem de bina geometrilerine göre ayıklanmış değer haritasını 3 boyutlu sunarak daha anlaşılır ve kolay yönetilebilir çıktılar sağlamıştır. Yapılan çalışmanın uygulamada bir karşılık bulması halinde kamu çalışanı vatandaşa verdiği bilgide nominal değer haritasını dayanak gösterebilir. Aynı şekilde vatandaş da kamu çalışanından aldığı bilgiyi nominal değer haritası ile kontrol edebilir. Bu da kamu kurumları ile vatandaş arasında karşılıklı bir güven ortamının oluşmasını sağlayacaktır. Sonuç olarak, toplu değerlemenin etkin bir şekilde kullanılıp, vergilendirme başta olmak üzere tüm avantajlarından faydalanılması önerilmektedir.

### Bilgilendirme/Teşekkür

Yazarlar Google Haritaları hizmete sunan Google'a, Landsat Uydu görüntülerini sağlayan USGS'e ve ArcGIS'i üreten ESRI'ye teşekkür etmektedir.

### Araştırmacıların katkı oranı

**Mert Kayalık:** Literatür taraması, Metodoloji, Yazılım, Görselleştirme ve Makale yazımı; **Zeynel Abidin Polat:** İnceleme ve Düzenleme.

### Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Kaynakça

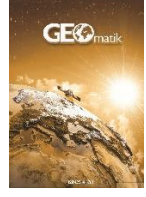
- Alkan, M., & Polat, Z. A. (2021). Lisans ve lisansüstü düzeyinde verilen taşınmaz değerlendirme eğitiminin değerlendirilmesi. *Geomatik*, 6(1), 15–30. <https://doi.org/10.29128/geomatik.650766>.
- Alkan, T., & Durduran, S. S. (2020). Turizm kentlerinde taşınmaz değerlemenin CBS ve AHP yöntemi yardımıyla incelenmesi: Alanya kenti örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 178–187. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.760816>.
- ArcGIS (2022). Erişim: 27 Ekim 2022. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>.
- Babuşcu Ş., Hazar, A., Biçer, İ., & Erkara, A. (2007). SPK, Gayrimenkul değerlendirme uzmanlığı lisanslama sınavlarına hazırlık.
- Bozdağ, A., & Ertunç, E. (2020). CBS ve AHP yöntemi yardımıyla Niğde kenti örneğinde taşınmaz değerlendirme. *Geomatik*, 5(3), 228–240. <https://doi.org/10.29128/geomatik.648900>.

- Çağatay, U. (2012). Kentsel taşınmaz değerlendirme haritaları ve uygulama alanları üzerine bir değerlendirme. *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 25–41.
- Çakır, P., & Sesli, F. A. (2013). Arsa vasıflı taşınmazların değerine etki eden faktörlerin ve bu faktörlerin önem sıralarının belirlenmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2013(13), 1–16.
- Çete, M., & Yomralıoğlu, T. (2009). Türkiye için bir arazi idare sistemi yaklaşımı. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 1(100), 33–43.
- Deveci, E., & Yılmaz, İ. (2009). Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla taşınmaz mal değerlemesi: Afyonkarahisar il merkezi örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(1), 33–47.
- Doldur, M., & Alkan, R. M. (2021). Nominal değerlendirme yöntemi ile CBS destekli taşınmaz değer haritalarının oluşturulması: Avanos/Nevşehir örneği. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 21(4), 846–863. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.888502>.
- Döner, F. (2021). Analysis of literature on 3D cadastre. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 90–97. <https://doi.org/10.26833/ijeg.703244>.
- Döner, S., & Alkan, R. M. (2011). CBS destekli taşınmaz mal değer haritalarının oluşturulması. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.
- EarthExplorer (2022). Erişim: 26 Ekim 2022. <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- Erbil, E. H. (2014). Taşınmaz mal değerlendirme amaçlı Coğrafi Bilgi Sistemi tasarımı. 5. Uzaktan Algılama ve CBS Sempozyumu.
- Erdem, N., & Çete, M. (2015). An approach for Re-engineering organizational structure of real estate valuation system in Turkey. *FIG Working Week*.
- Erdem, N. (2017a). Türkiye için bir taşınmaz değerlendirme yaklaşımı. *Geomatik*, 2(1), 18–36.
- Erdem, N. (2017b). Toplu (küme) değerlendirme uygulama örnekleri ve ülkemiz için öneriler. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.
- Erdem, N. (2019). Türkiye taşınmaz değerlendirme sisteminin etkinliğinin araştırılması. *Geomatik*, 4(1), 1–13. <https://doi.org/10.29128/geomatik.418870>.
- Ertaş, M. (2019). Education for real estate valuation in Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(1), 8–15. <https://doi.org/10.26833/ijeg.416336>.
- ESRI (2022). Erişim: 28 Ekim 2022. <https://www.esri.com/en-us/home>.
- Güler, D., & Yomralıoğlu, T. (2020). Suitable location selection for the electric vehicle fast charging station with AHP and fuzzy AHP methods using GIS. *Annals of GIS*, 26(2), 169–189. <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1737226>.
- Güneş, T., & Yıldız, U. (2015). Mass valuation techniques used in land registry and cadastre modernization project of Republic of Turkey. *FIG Working Week: From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World*, May 2015, 17–21.
- İşıklı, M. (2019). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile taşınmaz değerlendirme. *Yapı Bilgi Modelleme*, 1(1), 21–26.



- İlhan, A. T., & Öz, S. (2020). Yapay sinir ağlarının gayrimenkullerin toplu değerlemesinde uygulanabilirliği: Gölbaşı ilçesi örneği. *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(2), 160–188.
- Kadastro Dairesi Başkanlığı (2016). Taslak politika geliştirme raporu. Tapu ve Kadastro Modernizasyon Projesi Taşınmaz Değerleme Bileşeni, 1–37.
- Karaca, H. (2008). Taşınmaz mal değerlemesi yöntemleri ve karşılaştırılması. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Mete, M. O., & Yomraloğlu, T. (2019a). Open source cloud GIS framework for real estate valuation. *International Symposium on Applied Geoinformatics (ISAG-2019)*, İstanbul, 1(1), 332.
- Mete, M. O., & Yomraloğlu, T. (2019b). CBS ile nominal taşınmaz değer haritası üretiminde çözünürlük araştırması. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 1(1), 16–23.
- Mete, M. O., Güler, D., & Yomraloğlu, T. (2018). Development of 3D web GIS application with open source library. *Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology*, 6 (Special), 818–824. <https://doi.org/10.15317/scitech.2018.171>.
- Nişancı, R. (2005). CBS ile nominal değerlendirme yöntemine dayalı piksel tabanlı kentsel taşınmaz değer haritalarının üretilmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- OpenStreetMap (2022). Erişim: 27 Ekim 2022. <https://www.openstreetmap.org/#map=6/39.031/35.252>.
- Özen, A., & Şiş, A. (2019). Taşınmaz değer haritası üretiminde konumsal analiz- Bolu örneği. *4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences*, 4(6), 142–147.
- Özgüven, M., & Erenoğlu, R. (2020). Taşınmaz değer haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile üretilmesi: Çanakkale örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 29–46.
- Pagourtzi, E., Assimakopoulos, V., Hatzichristos, T., & French, N. (2003). Real estate appraisal: A review of valuation methods. *Journal of Property Investment & Finance*, 21(4), 383–401. <https://doi.org/10.1108/14635780310483656>.
- Rissi, S. B. (2010). Entwicklung türkischer Immobilienbewertungsverfahren, basierend auf den Erfahrungen der deutschen Wertermittlungsmethoden. Technische Universität München, Fakultät Für Bauingenieur- Und Vermessungswesen, Institut Für Geodäsie, GIS Und Landmanagement Lehrstuhl Für Bodenordnung Und Landentwicklung, München, Deutschland. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/982853/982853.pdf>.
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (1991). *Prediction, Projection and Forecasting*. Kluwer Academic Publishers, Norwell, 251.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. New York: McGraw-Hill International Book Co.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, 1, 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>.
- Toktaş, M., & Erdoğan, S. (2012). Hazine arazileri için CBS destekli değer haritalarının üretilmesi: Afyonkarahisar örneği. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2012(3), 23–38.
- Ünel, F. B., & Yalpir, Ş. (2019a). Türkiye’de taşınmazların değerini etkileyen kriterlere yaklaşım. *Geomatik*. <https://doi.org/10.29128/geomatik.499681>.
- Ünel, F. B., & Yalpir, Ş. (2019b). Reduction of mass appraisal criteria with principal component analysis and integration to GIS. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(3), 94–105. <https://doi.org/10.26833/ijeg.458430>.
- Yakar, M., & Doğan, Y. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50–55. <https://doi.org/10.26833/ijeg.378257>.
- Yalpir, Ş., & Ünel, F. B. (2021). Multivariate statistical analysis application to determine the characteristics of legal, physical, locational, and neighbourhood factors affecting the parcel value to be used mass real estate valuation approaches. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(1). <https://doi.org/10.26833/ijeg.862563>.
- Yılmaz, O. S. (2022). Flood hazard susceptibility areas mapping using Analytical Hierarchical Process (AHP), Frequency Ratio (FR) and AHP-FR ensemble based on Geographic Information Systems (GIS): a case study for Kastamonu, Türkiye. *Acta Geophysica*. <https://doi.org/10.1007/s11600-022-00882-9>.
- Yomraloğlu, T., & Nişancı, R. (2004). Nominal asset land valuation technique by GIS. *FIG Working Week 2004*, 1–9.
- Yomraloğlu, T., Nişancı, R., Çete, M., & Candaş, E. (2012). Dünya’da ve Türkiye’de taşınmaz değerlendirme. *Türkiye’de Taşınmaz Değerlemesi: II. Arazi Yönetimi Çalıştayı*, 1–18.





## İdari yargıda yol fazlalıklarının belediye lehine kullanımı gerekçesiyle iptal edilmiş imar uygulamalarında çözüm önerisi

Murat Selim Çepni\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Arazi ve Arsa Düzenlemesi  
İdari Yargıda AAD İptali  
İmar Uygulamasının Geri Dönüşümü  
Bedel ile Denkleştirme

### Araştırma Makalesi

Geliş:28.10.2022  
Revize: 19.01.2023  
Kabul:27.01.2023  
Yayınlanma:15.02.2023



### Öz

İmar planı uygulamalarında, kapanan yol fazlalıklarının belediye adına arazi ve arsa düzenlemesine (AAD) alınması, idari yargı tarafından hukuka uygun görülmemiştir. Yerleşik Danıştay görüşüne rağmen ihdas edilen yol fazlalıkları arsa düzenlemelerine alınmış ve çözümleyici hisse olarak maliklere satılmıştır. En yaygın AAD iptali gerekçesi de bu şekilde oluşmuştur. Yol fazlalıklarından belediyesi adına tescil edilen hisselerin satışı, imar uygulamasının başarısına katkı sağlasa da iptal kararı sonrası geri dönüşüm işlemleri zorlaşmakta, pek çok durumda imkânsız hale gelmektedir. Geri dönüşüm işlemlerinin çıkmaza girmesi çok sayıda imar uygulamasını ilgilendiren önemli bir sorundur ve imar sürecinin akim kalması hem paydaşların hem de kamunun zararına. İmar Kanununa 2020 yılında eklenen bir fıkra ise geri dönüşüm işlemlerinde fiili ve hukuki imkânsızlık durumunda anlaşma ya da bedel ile denkleştirme şeklinde bir usul tanımlamaktadır. Yasa metnindeki tanımın kapanan yol fazlalıklarından elde edilen hisselerin satışını da kapsadığı ve böylelikle önemli bir sorunun aşılacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada sunulan öneri, yol fazlalıklarının geri dönüşmemesi dolayısıyla malikler aleyhine oluşan farkın bedel ile telafisidir. Yöntem, geri dönüşüm sonrası yeniden yapılmış ve idari yargılama süreci tekrar başlamış bir imar uygulamasında kullanılmış, hem birinci hem de ikinci idari yargıda hukuka uygun bulunmuştur.

## A Suggestion for a solution in Land Readjustment canceled due to the use of road surpluses in favor of the municipality in administrative jurisdiction

### Keywords

Land Readjustment (LR)  
Cancelled Land Readjustment (LR)  
Recycling of LR  
Compensation in LR

### Research Article

Received:28.10.2022  
Revised:19.01.2023  
Accepted:27.01.2023  
Published:15.02.2023

### Abstract

Although there was no obstacle in the legislation in acquiring municipality shares from the closed roads as per the zoning plan, it has been counted as a reason for cancellation for Land Readjustment (LR). Despite the established opinion of State Council, the fact that the administration has insisted the use road surpluses is by far the first in reason for cancellation of LR. Although the sale of the municipality's shares to the other shareholders contributes to the success of the zoning implementation, it makes recovery processes difficult after the cancellation decision, and in many cases it corresponds to impossibility. The deadlock of recycling processes is a remarkable problem for zoning implementation and failure of the zoning process is to the detriment of both the shareholders and the public. A paragraph added to the Zoning Law in 2020 defines a procedure in recycling of LR in the form of compensation with the price in case of de facto and legal impossibility. It is thought that the definition in the text of the law also includes the sale of shares obtained from the road surpluses and thus an important problem can be overcome. It is claimed that the definition in the text of the law also covers the sale of shares obtained from the road surpluses. The proposed procedure was used in recovered LR, it was judged to be lawful by the primary administrative court.

## 1. Giriş

İmar uygulamaları; 3194 sayılı İmar Kanunu ve imar planlarına dayalı olarak, kentlerin gereksinimi olan arsaların üretimini amaçlayan idari işlemlerdir. Planlı, sağlıklı ve çevre şartlarına uygun bir yapılaşma hedefleyen İmar Kanunu (1985) (Yıldız, 2016), kentsel alanın geleceğe dönük uzun vadeli ihtiyaçlarını gözeterek planlama ilke ve esaslarına uygun hazırlanan imar planları (Köktürk & Köktürk, 2021) ve uygulama imar planlarını hayata geçiren imar uygulamaları kentleşmenin temel tüzeleridir. İmar planlarının genel uygulama yöntemi olan arazi ve arsa düzenlemelerinin (AAD) yansırı kamulaştırma ve isteğe bağlı tekil uygulamalar ile de mülkiyet dokusu imar planına uyumlu hale getirilmektedir. (Yakar ve ark., 2022, Çepni ve Doğuyıldız, 2022). Ülkemizde AAD, alan denkliliği esasına dayansa da hem kentsel hem de kırsal düzenlemelerde yeni yöntemler ve değer esaslı uygulama arayışları halen tartışılmaya devam etmektedir. (Güngör ve İnam, 2019; Yalpir ve Ekiz, 2017; Çınar & Ünel, 2022).

Arazi ve arsa düzenlemeleri, düzenleme sınırının geçirilmesi, düzenleme ortaklık payının (DOP) hesabı, yoldan ihdas alanların kullanımı, parsellerin tasarımı ve tahsisi gibi konular başta olmak üzere sıklıkla itirazlar ile karşılaşmakta (Şimşek, 2021) ve itiraz süreci mahkemeye taşınarak imar uygulamasının iptaline kadar gitmektedir. Bu makale de kapanan yol fazlalıklarının idareler lehine kullanılması nedeniyle yaşanan iptal kararı sonrası üzerinde durmaktadır.

İmar planlarında imar adaları içerisinde kalarak yol niteliğini kaybeden kısımların arsa düzenlemelerinde belediyeler adına imar uygulamasına girmesi Danıştay içtihatları ve emsal kararlarında net ve kesin bir tutumla işlem kusuru ve idari işlemin iptal gerekçesi sayılmıştır (Koçak, 2013; Köktürk, 2013; Çelik ve ark., 2000). Buna karşılık imar uygulamalarını düzenleyen İmar Kanunu 18.maddesinde ve onun 1985 tarihli Yönetmeliğinde imar planı gereği kapanan yolların kamusal alanlara terkin edilmesi gerektiği yönünde bir hüküm veya atıf 2019 yılındaki değişikliklere kadar yer almamıştır (Çepni ve Doğuyıldız, 2022; Çay ve Kandemir, 2022).

İmar Kanunu 18.maddesi ve Yönetmeliği hatta ihdasen tescilin dayanağı olan Tapu Kanunu 21.maddesi ile Danıştay kararları arasındaki farklılık çokça tartışılmış, çok sayıda çalışmaya konu edilmiş (Yıldız, 2015; Özdemir, 2014; Köktürk ve Köktürk, 2007) ve nihai olarak İmar Kanunu 18.maddesi ve Yönetmeliği 2019 yılı değişiklikleri ile Danıştay içtihadıyla paralel hale getirilmiştir (Çepni ve Akıncı, 2020, HKMO Rapor, 2021).

Ancak Danıştay'ın konu ile ilgili ilk kararlarını verdiği 1994 yılından bugüne değin imar uygulaması iptallerinin en yaygın gerekçesi kapanan yol fazlalıklarının imar uygulamalarında kullanılma biçimi olmuştur (Haciosmanoğlu ve Demir, 2020; Şimşek ve Uzun 2018; Pamuk ve Demir, 2017).

İdari yargı kararlarında kapanan yol fazlalıklarının bu kadar fazla yer tutmasının en önemli nedeni ise yargı aşamasına kadar ihdas işleminin kusurlu görülmemesi daha doğru söyleyişle ihdas sürecinde yasaya ve yönetmeliğe bir aykırılık bulunmamasıdır (Köktürk, 2013). İmar uygulamalarındaki yoldan ihdaslara ilişkin

yargı görüşü ile tüze arasındaki örtüşmeme haline bağlı olarak ta çok fazla sayıda imar uygulaması idari yargıda iptal edilmiş, sonrasındaki geri dönüşüm süreçleri ciddi zorluk oluşturmıştır.

2019 yılı değişikliklerine kadar Danıştay görüşü aksi yönde olsa da, idareler (belediyeler) farklı motivasyonlar ile kapanan yol fazlalıklarının imar uygulamalarına girmesi konusunda ısrarcı olmuşlar ve idari yargıdaki iptal riskine karşın yasanın verdiği bu opsiyonu kullanmaktan geri durmamışlardır.

İdari yargıya taşınan her imar uygulaması ise davacıların itiraz konuları arasında olmasa dahi, kapanan yol fazlalıkları yönünden incelenmiş, yol fazlalıklarının DOP hesabından düşülmemesi AAD iptal gerekçelerinin ilk sırasında yer almıştır (Pamuk, 2016).

AAD'nin idari yargıda kapanan yol fazlalıkları dolayısıyla iptali sonrası süreç gerçekten de açmazlarla doludur. İptal gerekçelerinin yerine getirilerek yeniden imar uygulaması yapılması aşamasında en zorlayıcı durum ise yol fazlalıklarının belediyeler tarafından satılmış olması halidir ve bu durumda geri dönüşüm işlemleri nerede ise yapılamaz duruma düşmektedir.

Bu makalenin konusu, 'kapanan yol fazlalıklarının idareler lehine kullanılması' gerekçesiyle iptal edilmiş imar uygulamalarının yeniden yapılabilmesine ilişkin bir çözüm önerisini tartışmaya açmaktır. Bu nedenle daha önce birçok çalışmada yeterince tartışılmış yoldan ihdaslar konusu ve yargısal bakış açısı özetlenerek, güncel tartışma konusu üzerinde durulmuştur.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Yol Fazlalıkları Sorununa Genel Bakış

İmar planında imar adası içerisinde kalan yol fazlalıklarının belediye adına tescil edilmesi işlemine yoldan ihdas denilmektedir (Koçak, 2013). İhdas işlemi İmar Kanunu gereği yürüyen bir işlem olmakla birlikte, tescilin belediyeler adına yapılmasının yasal dayanağı 2644 sayılı Tapu Kanunu 21.maddesidir (Tapu Kanunu, 1934, 21). İmar planının uygulanabilmesi için imar adaları içerisinde kalan tescil harici bu kısımların ihdas edilmeleri kaçınılmazdır ve dolayısıyla kapanan yol fazlalıklarının ilçe belediyesi adına tescil edilerek kamu özel taşınmazı haline gelmesinde olağan dışı herhangi bir durum yoktur.

Kamu özel taşınmazı haline gelen ihdas parsellerinin diğer taşınmazlar gibi arsa düzenlemesi kapsamına alınmasında 1985 tarihli İmar Kanununun 18.maddesi ve aynı tarihli uygulama Yönetmeliğinde bir sakınca görülmemiştir. Bununla birlikte belediye adına tescil edilmiş yol fazlalıklarının imar uygulamasına girerek belediyesi adına tahsise dönüşmesi Danıştay kararlarında uygun görülmemiş ve 1994 yılından beri tüm emsal kararlar belediyelerin bu yolla taşınmaz edinimini iptal gerekçesi saymıştır. Anayasa Mahkemesinin 12.01.2012 tarih K.2012/3 kararında tam aksi yönde hüküm kurmasına rağmen konu ile ilgili Danıştay görüşü değişmemiştir (Özdemir, 2014, Yıldız, 2015).

Danıştay içtihadı; kapanan yolların imar uygulamasında düzenleme ortaklık payını malikler lehine düşürecek şekilde kamuya terk etmeleri gerektiği şeklinde kısaca özetlenebilir (Koçak, 2013). Hukuka

aykırı bulunan, yol fazlalıklarının belediyeler adına tescili değil, kamusal alanlara bağışlanmamasıdır. Danıştay kararları, imar planında yeni başka kamusal alanlar söz konusu iken belediyelerin yol fazlalıklarını bu alanları karşılamak üzere terkin etmesini ve belediye faydasına değil maliklerin külfetini azaltıcı yönde kullanmasını istemektedir (Yıldız, 2015).

2019 yılındaki yasa değişikliğine kadar belediyeler idari yargıya taşınması halinde iptal edilecek olmasına karşın, yoldan ihdas edilen taşınmazları imar uygulamalarında terk etmeyerek tahsise dönüştürmekten pek çok zaman vazgeçmemişlerdir (Çepni ve Doğuyıldız, 2022). Yaptıkları işin tüzeğe aykırı olmadığına inanmaları ve Danıştay görüşünü isabetli bulmamaları (Köktürk ve Köktürk, 2007; Yıldız, 2015), bunun yanında arsa düzenlemesinde çözümleyici hisseye sahip olmalarının getirdiği yarar ve de hisselerin satışından elde edilecek gelir belediyelerin ısrarındaki başlıca nedenlerdir.

Uygulayıcı idareler kapanan yol fazlalıklarından tescil edilen hisseleri çözümleyici hisse olarak görmüş ve özel kişilerin paydaşlığının uygun olmadığı yerlerde tamamlayıcı nitelikte kamu hissesi olarak kullanmıştır. Üzerinde kat irtifakı/kat mülkiyeti veya yapı bulunan taşınmazlarda şuyulandırma sonrası müşterek mülkiyeti önlemek adına bu hisseler çok daha yararlı olmuş ve arsa düzenlemesine ciddi katkı vermiştir (Köktürk, 2013).

Dahası tamamlayıcı belediye hisselerinin diğer malike satışı önemli bir gelir kaynağı yaratmış bu da belediyelerin yol fazlalıklarını benimsemesinde belirleyici olmuştur. Dolayısıyla bazı belediyeler yasal açıdan engeli bulunmayan, imar uygulamalarını kolaylaştıran ve başarısını yükselten, bunların yanı sıra da yeni bir bütçe kaynağı oluşturan işlem den vazgeçmemişlerdir. Ancak, belediyelerin kapanan yol fazlalıklarını tamamlayıcı-çözümleyici hisse olarak kullanma konusundaki Danıştay görüşüne uymayan istekli tutumları idari yargıda net bir şekilde iptal ile karşılık bulmuştur (Özdemir, 2014; Atasoy ve ark., 2002; Koçak, 2012).

Danıştay kararları üzerinden arsa düzenlemelerinin iptal nedenlerini araştıran bir yüksek lisans tezi kapsamında, 233 dosyanın 158 tanesinde imar uygulamasının iptaline karar verildiği, bunlardan 46 tanesinin sadece 'kapanan yolların DOP'tan düşülmemesi' gerekçesine dayandırıldığı tespit edilmiştir (Pamuk, 2016). Hatta diğer bazı iptal kararlarının da konu ile ilgili olduğu düşünüldüğünde her üç iptal kararından en az bir tanesinin kapanan yollardan ihdas edilen fazlalıkların belediyeler adına imar uygulamasına girmesi nedeniyle olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır.

Aynı alandaki erişilebilen tüm benzer çalışmalarda yaklaşık aynı oranlara erişilmiş (Şimşek ve Uzun, 2018; Haciosmanoğlu ve Demir, 2020), imar uygulaması iptallerinin başlıca gerekçesinin kapanan yol fazlalıklarının kamu özel taşınmazına dönüşmesi olduğu verilerle de ortaya konulmuştur.

## 2.2. Güncel Durum

İmar Kanunu 18.maddesi 10.07.2019 tarihli 7181 sayılı Kanun ile önemli değişiklikler yapılmış ardından da

22.02.2020 Arazi ve Arsa Düzenlemeleri Hakkında Yönetmelik yayımlanarak uygulama yönetmeliği yenilenmiştir. Değişiklikler arasında ilk göze çarpanlardan bir tanesi de kapanan yol fazlalıklarının belediyeler adına tahsise dönüşmesinin net bir şekilde kısıtlanmış olmasıdır (İmar Kanunu, 1985, Değişiklik, 2019, 18/3). Kısıtlılık hali Yönetmelik içerisinde detaylandırılarak açıklanmıştır (AAD Yönetmelik, 2020, 14/4-5).

Böylece Yasa ve Yönetmelik, Danıştay görüşüne ve tespitine uygun şekilde düzenlenmiş, imar uygulamaları için adeta kapan haline gelen ikilik hali ortadan kaldırılmıştır.

Bununla birlikte imar uygulamalarında idari yargının 'kapanan yol fazlalıklarının aykırı kullanımı' gerekçeli iptal kararları olduğu yerde durmaktadır. Daha açık ifadesiyle, bu yöndeki birçok iptal kararının gereği yerine getirilerek geri dönüşüm işlemi ve yeniden imar uygulaması halen yapılamamıştır.

İmar Kanunu'nda yapılan diğer bir değişiklik te bedele dönüştürme ile ilgilidir (İmar Kanunu, 1985, Değişiklik, 2019, 18/10). Bedele dönüştürme, belirlenmiş bir dizi koşulun ve gerekliliğin varlığı halinde DOP kesintisinin bedel olarak karşılanması şeklinde kısaca tanımlanabilir (Çepni, 2022, Sarı, 2008).

Bedel ile denkleştirme mantığına dayalı bir yaklaşım İmar Kanunu 18.maddesine 20.02.2020 tarihli 7221 sayılı Yasa ile eklenen fıkrada (7221 Sayılı Kanun, 2020, 7) yer almaktadır. Bu fıkra hükmüne göre; kesinleşmiş mahkeme kararlarıyla iptal edilen imar uygulamalarında fiili veya hukuki imkânsızlıklar nedeniyle geri dönüşüm işlemlerinin yapılamadığı hallerde taşınmazların rayiç bedeli üzerinden değerinin ödenebilmesi mümkün görülmüştür. Böylece, önemli bir değişiklik olarak, yasaya eklenen fıkra bedel ile denkleştirmeye imkân tanımaktadır.

## 2.3. Yol Fazlalıklarının Belediye Adına Düzenlemeye Girmesi Nedeniyle İptal Edilen İmar Uygulamalarında Geri Dönüşüm İşlemleri

İmar uygulamalarının yargı kararı ile iptali sonrasında, uygulama öncesindeki 'kök' parsellerin yeniden ihya edilmesi geri dönüşüm olarak isimlendirilir (Koçak, 2015). İptal edilen imar uygulamasında tescil edilmiş imar parselleri geri dönüşüm tamamlanmaya kadar yolsuz tescil durumunda kalır (Köktürk ve Köktürk, 2007, Türk Medeni Kanunu, 2001, 1025).

Geri dönüşüm işlemleri çoğunlukla iptal kararından hemen sonra değil yeni imar uygulamasından hemen önce yapılmaktadır. Aradan geçen sürede yolsuz tescil durumuna düşmüş parseller üzerinde yapılan tasarruflar ise geri dönüşüm işlemlerini zorlaştırmaktadır (Pamuk ve Demir, 2017).

Satış suretiyle mülkiyet hakkının el değiştirmesi, parsel üzerindeki yapı ruhsatı veya kurulu kat mülkiyetleri, irtifak ve ipotek gibi kısmi aynı haklar ile fiili durumdan memnun paydaşların sosyolojik tepkileri geri dönüşüm işlemlerindeki başlıca zorluklar arasındadır (Çalışkan, 2014).

'Yol fazlalıklarından belediyeler adına hisse edinilmesi' gerekçeli iptal kararlarındaki en büyük güçlük ise, yol fazlalıklarından edinilmiş bazı hisselerin

tescilin hemen akabinde, satışının yapılmış olmasıdır. Bu tür durumlarda, ihdas edilen hisse önce bir imar parselinde tamamlayıcı hisse olarak değerlendirilmekte, imar uygulamasının tescilinin ardından da diğer paydaşa satışı yapılmaktadır. Böylelikle yoldan ihdas edilen kısım özel mülkiyete konu hale gelmekte, imar uygulamasının iptali halinde de tekrar belediye mülkiyetine geri dönüşü yapılamamaktadır.

İdari yargıdaki iptal gerekçesinin yol fazlalıklarının terkin edilmemesi olması halinde, yargı kararının yerine getirilmesi için geri dönüşüm işlemlerinde bu hisselerin terkinini gerekir. Ancak satışı yapılmış hisse belediye mülkiyetine dönemediğinden terkinini de söz konusu olamamaktadır.

Böyle bir durumda aynı miktarda hissenin özel mülkiyetten tekrar kamu mülkiyetine geçişi görünür tek seçenektir. Makalenin üzerinde durduğu çıkmaz tam da bu konudur. Satışı yapılmış yol fazlalıklarının mülkiyetlerinin artık belediyede olmayışı dolayısıyla imar uygulaması öncesi eski durumun tekrarlanması mümkün değildir. Yargı kararı gereğince bu hisselerin yol fazlalığı olarak geri tescili ve sonrasında da DOP oranını düşürmek üzere terkinini gerekmekte ise de idarelerin satışını yaptığı hisseleri geri alabilmeleri için zorlayıcı bir hukuk yolu yoktur. Bir yanda idari hukukun gereği olarak yeniden imar uygulaması yapmak ve düzenleme sahasındaki imar işleyişini olağan haline çevirme gerekliliği diğer yanda ise satışı yapılmış hisselerin geri alınma yolunun olmayışı idareler için gerçek bir sorundur.

Uzman kurum olan Çevre ve Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Mekânsal Planlama Genel Müdürlüğü'nün görüşü; 'geri dönüşüm işlemleri öncesinde belediyelerin satış yaptığı kadar hisseyi satın alması gerektiği' şeklindedir. Bu yaklaşıma göre yargı kararının yerine getirilmesi, belediyelerin aynı düzenleme sahası içerisinde satın alacağı hisseyi terkin etmesi ile mümkündür.

Ancak bu görüş olağan işleyişte karşılığı olan bir yaklaşım değildir. İmar parseli niteliği kazanmış taşınmazlarda satın alma işlemine rıza gösterecek malik bulmak kolay değildir. Ne maliklerin belediyeye hisse satışı yapmak için anlamlı bir nedenleri ne de belediyelerin satın alma konusunda yaptırım güçleri yoktur. Satılan hissenin geri alınması kamulaştırma tanımı içerisinde yer almadığından böylesi bir durumda kamulaştırma da hukuki bir seçenek teşkil etmez.

Dolayısıyla geri dönüşün sağlanamadığı, uzman kurum önermelerinin çözüm sunmadığı, bağlayıcı nitelikte yasal düzenlemenin veya yargı kararının bulunmadığı bir durum özelinin varlığı açıktır.

#### 2.4. Çözüm Önerisi

İmar Kanunu 18.maddesine [7221 sayılı Yasa \(2020\)](#) ile eklenen fıkra geri dönüşüm işlemlerinin mümkün olamadığı durumlar için yeni bir yaklaşımı tanımlamaktadır:

*(Ek fıkra:14/2/2020-7221/7 md.) Bu madde kapsamında yapılmış olan imar uygulamalarının kesinleşmiş mahkeme kararlarıyla iptal edilmesi nedeniyle; davaya konu parselin imar planı kararları ile umumi ve kamu hizmetlerine ayrılan alanlara denk*

*gelmesi veya iptal edilen uygulama ile tahsis ve tescil edilmiş parsellerde hak sahiplerince yapı yapılmış olması ve benzeri hukuki veya fiili imkânsızlıklar nedeniyle geri dönüşüm işlemleri yapılarak uygulama öncesi kök parsellere dönülemeyeceğinin parselasyon planlarını onaylamaya yetkili idarelerin onay merciince tespiti halinde, öncelikle davaya konu parselin hak sahiplerinin muvafakati alınmak kaydıyla uygulama sahası içerisinde idarece uygun bir yer tahsis edilir veya anlaşma olmaması halinde davacı hak sahibinin kök parseldeki yeri dikkate alınarak uygulamadaki düzenleme ortaklık payı kesintisi düşüldükten sonraki taşınmazın rayiç bedeli üzerinden değeri ödenir.*

Yasa maddesinin istisnai haller için öngördüğü denkleştirme işlemine, alan olarak verilemeyen tahsis bedel olarak ödenebilmektedir.

Esasında yasa maddesinin kapanan yol fazlalıklarının dönüşümü ile ilgili açık bir hükmü yoktur ve uzman kurum görüşünün de o yönde bir yorumu desteklemediği söylenmelidir. Ayrıca yasa maddesini detaylandıran AAD Yönetmeliği 37/5 maddesi de (Ek: [RG-21/10/2020-31281](#)) böyle bir atıfta bulunmamıştır. Bununla birlikte yasa metnindeki "benzeri hukuki veya fiili imkânsızlıklar" ifadesinin 'kapanan yol fazlalıklarından edinilen hisselerin satılmış olması' halini de kapsadığını ileri sürmek zorlama bir yorum değildir. Zira satışı yapılan ve özel mülkiyete geçen bu hisselerin geri dönüşümü hem fiili hem de hukuki imkânsızlık tanımına tam olarak uymaktadır.

Makalenin ileri sürdüğü önerme bedel ile denkleştirme seçeneğinin, idari yargıda 'kapanan yol fazlalıklarından belediye adına hisse edinilmesi' gerekçesiyle iptal edilmiş imar uygulamalarında da kullanılabilirdir. Belediyelerin yol fazlalıklarından edindiği hisseleri özel kişilere devretmesi nedeniyle yargı kararının yerine getirilebilir olmadığı hallerde, malikler aleyhine kalan tahsis farkının bedel ile mahsuplaşmaya taşınması tartışılmaya değer bir çözüm arayışıdır.

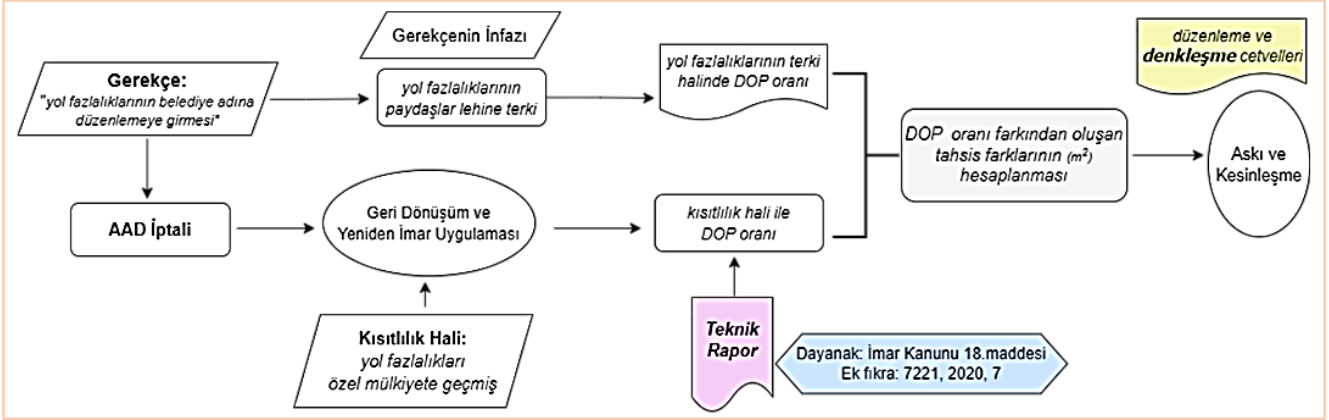
Arazi ve arsa düzenlemelerinde, kapanan yol fazlalıklarının toplam alan içerisindeki payı oldukça küçüktür ve haliyle düzenleme ortaklık payı üzerine etkisi yüksek değildir. Parseller ve kapanan yol fazlalıkları arasındaki yapısal geometri düşünüldüğünde zaten etkinin parselasyon planı geometrisini değiştirmesi de beklenmez. Bedele dönüşecek miktarın düşük olacağı ve işlemin özünü etkilemekten uzak olduğu da önemli bir not olarak düşünülmelidir. Bu yönüyle rutin dışı etkisi çok az bir yöntemin önerildiği buna mukabil çözümsüz kalmış işlemlere katkısının çok olumlu olacağı açıktır.

Önerilen işlem akışı [Şekil 1](#)'de akış diyagramı olarak izlenmektedir. İş akışı kısaca özetlenecek olursa;

- İptal edilen imar uygulamasından sonra satışı yapılmış yol fazlalığının geri dönüşü mümkün olamayacağından, öncelikle fiili ve hukuki imkânsızlığı açıklayan bir teknik rapor hazırlanmalı ve encümen kararında da bu duruma değinilmelidir,
- Diğer taşınmazların geri dönüşüm cetveli ve yeni imar uygulamasının düzenleme cetvellerinin yanı sıra her bir parsel için DOP farkı tahakkuku alan bazında hazırlandıktan sonra ilgili diğer evraklar ile birlikte onaylanarak askıya çıkarılmalıdır,

- İdarenin kıymet takdir komisyonu veya SPK lisanslı değerlendirme uzmanlarının bedel takdiri üzerinden her bir malik için alacak miktarları belirlenmeli ve bu bedeller üzerinden mahsuplaşma gerçekleştirilmelidir.

Bu suretle, açmaza giren ve uygulanabilme kabiliyeti olmayan arsa düzenlemeleri için ne maliklerin ne de kamunun zararına olmayan, basit bir çözüm yasal hale gelmektedir.



Şekil 1. Akış Diyagramı

### 3. Bulgular

Örneklendirme ve tartışma için gerçek bir imar uygulamasına ve onun idari yargılama sürecine yer verilmiştir. İmar uygulaması ve birinci basamak idari yargı kararları üzerinden, önerilen yöntemin uygulanabilirliği ve yargının olası bakış açısı hakkında çıkarsamalar hedeflenmiştir.

Bu makalede örnek olarak verilen imar uygulaması 2018 tarihinde tescil edilmiş, 2020 tarihli idare mahkemesi kararlarıyla da iptal edilmiştir. İptal gerekçesi 'kapanan yol fazlalıklarından belediyesi adına hisse edinilmesidir'. Şekil 2'de iptal edilen 2018 tarihli parsellasyon planı, Şekil 3'te ise iptal işleminin objesi olan yol fazlalıkları görülebilmektedir.



Şekil 2. Parsellasyon Planı

Soldaki haritada mor hat düzenleme sınırını, mavi hat imar adalarını, renkli dolgular ise kamusal alanları temsil etmektedir. Sağdaki haritada gri hatlar kadastro parsellerini, turuncu dolgu ise kapanan yol fazlalıklarından ihdas edilen kısımları göstermektedir.



Şekil 3. Yoldan ihdaslar

İmar uygulamasında kadastral parsellerin toplam yüzölçümü 740 dekar, ihdas edilen yol fazlalıkları 6400 m<sup>2</sup> ve tahsise konu imar adaları 480 dekadır. 2018 tarihli imar uygulamasında DOP oranı %35,1 olarak hesaplanmış ve tahsisler bu oran üzerinden yapılmıştır. İhdas edilen yol fazlalıklarından da DOP kesilmiş ve belediye adına tescil edilmiştir. Bu hisseler çeşitli imar parsellerinde tamamlayıcı hisse olarak değerlendirilmiştir.

İmar uygulamasının iptaline kadar geçen sürede yol fazlalıklarından belediye adına tescil edilen hisselerin 870 m<sup>2</sup>'si iki imar parselindeki paydaşlara satılmış, idare mahkemesinde açılan davadaki ilk bilirkişi raporunun ardından idare diğer hisselerin satışını durdurmuştur.

Yargılama sonunda '6400 m<sup>2</sup> yol fazlasının terkin edilmemesi nedeniyle' imar uygulamasının iptaline karar verilmiştir. Dava dosyasına göre imar uygulamasında başkaca bir işlem kusuru bulunmadığı, davacının tahsis

konusundaki itirazlarının karşılık bulmadığı, tek iptal gerekçesinin yol fazlalıklarının aykırı kullanımı olduğu ve genele yönelik iptal hükmü verildiği de bilgi olarak eklenmelidir.

Yasa ve Yönetmeliğindeki değişikliklerden sonra davalı idare 2021 tarihli yeni imar uygulamasını tesis etmiş, öncesindeki geri dönüşümde, satışı yapılan 870 m<sup>2</sup>'lik kısım hariç diğer tüm parsellerde iptal kararı öncesi kök parsellere dönüş sağlanabilmiştir.

Satılan 870 m<sup>2</sup> hissenin geri alınabilmesi için ise satış yapılan malikler rıza göstermemiş, bu miktarda hisseyi satacak başka bir malik de tespit edilemediğinden yargı kararı bu yolla infaz edilememiştir.

Bunun üzerine davalı idare İmar Kanunu'na 7221 sayılı Kanun ile eklenen fıkrayı kullanmış, DOP oranı farkından paydaşlar lehine gelecek miktarı hesaplayarak bir ipotek cetveli hazırlamış ve onaylayarak askıya çıkarmıştır (Şekil 4).

İle	Kadastro Parseli			Malik Adı/Soyadı	Baba Adı	İmar Parseli		Fazladan Kesilen Oran:0.00114875	
	Eski Ada/Par	Alan	Hisse Miktarı			Ada/Par	Alan(m <sup>2</sup> )	Tahsis Alanı(m <sup>2</sup> )	Fazladan Kesilen Miktar(m <sup>2</sup> )
k	0/336	11360.00	11360.00			313/19	9101.46	7333.56	13.05
k	0/387	16080.00	2738.56			313/19	9101.46	1767.9	3.15
k	0/386	6190.00	1265.31			313/20	16919.96	816.83	1.45
k	0/1785	16103.13	3345.87			313/20	16919.96	3345.87	3.84
k	0/1785	16103.13	1306.76			313/20	16919.96	1306.76	1.50
k	0/1785	16103.13	496.78			313/20	16919.96	496.78	0.57
k	0/1785	16103.13	194.03			313/20	16919.96	194.03	0.22
k	0/1785	16103.13	2716.29			313/20	16919.96	2716.29	3.12
k	0/1785	16103.13	1060.86			313/20	16919.96	1060.86	1.22
k	0/1785	16103.13	434.12			313/20	16919.96	434.12	0.50
k	0/1785	16103.13	169.54			313/20	16919.96	169.54	0.19
k	0/1785	16103.13	1915.29			313/20	16919.96	1915.29	2.20
k	0/1785	16103.13	748.04			313/20	16919.96	748.04	0.86
k	0/1785	16103.13	2671.99			313/20	16919.96	2671.99	3.07
k	0/1785	16103.13	1043.56			313/20	16919.96	1043.56	1.20
k	0/339	4650.00	1550.00			313/21	3001.85	1000.62	1.78

Şekil 4. Askı cetvelinden bir sayfa

Buna göre kapanan tüm yol fazlalıklarının terkinde halinde DOP oranı %34,95 olmaktadır. Geri dönüşü ve terkinde yapılamayan yol fazlalığından dolayı ise DOP oranı %35,06'ya karşılık gelmektedir. Yani geri dönüşü yapılamayan miktarın DOP oranına etkisi on binde 11 olarak hesaplanmıştır.

Daha açık ifade etmek gerekirse terkinde sağlanamayan 870 m<sup>2</sup> dolayısıyla 1000 m<sup>2</sup> hissesi olan bir malik için tahsis miktarındaki azalma sadece 1,1 m<sup>2</sup>'dir. Hatta tüm kapanan yol fazlalıkları satılmış ve geri alınmaları mümkün olmamış dahi olsa DOP oranı farkı binde 5-6 civarını aşmayacaktır.

Önerilen çözümün kullanıldığı 2021 tarihli ikinci imar uygulamasına karşı da idari yargılama davası açılmış, dosyada öncelikle 2018 tarihli iptal kararı açısından inceleme yapılmıştır.

Buna göre; 2018 tarihli iptal kararının yerine getirilmesi, yani kapanan yol fazlalıklarının paydaşlar lehine kullanılması hususunda 2021 tarihli yeni idari işlem yeterli görülmüştür.

Daha açık söyleyişle, davalı idarenin tahsis farkını bedele dönüştürmesi ve alan olarak tedarik edilemeyen tahsis farkının bedel olarak tazmini önce birinci basamak idari yargıda hukuka aykırı bulunmamış daha sonra da ikinci basamak idari yargı itirazı esastan ret etmiştir (İstanbul Bölge İdare Mahkemesi Dördüncü İdari Dava Dairesi 31.10.2022 tarih E.2022/1246, K.2022/1410 sayılı kararı).

#### 4. Sonuçlar

Kapanan yol fazlalıklarının belediyeler adına hisse ediniminde kullanılması, idari yargıdaki imar uygulaması iptallerinin en sık rastlanılan gerekçesidir. Buna rağmen, belediyeler yol fazlalıkları dolayısıyla edindikleri hisseleri

çözümleyici-tamamlayıcı hisse olarak kullanmada ısrarcı davranmışlar, bu yolla arazi ve arsa düzenlemelerindeki paydaş memnuniyetini arttırma ve maddi kaynak sağlama amacı gütmüşlerdir.

Böylece çok sayıda imar uygulaması yerleşik Danıştay içtihadı doğrultusunda iptal edilmiş, tüm bu iptal edilen imar uygulamaları için geri dönüşüm ve yeniden imar uygulaması yapılması zorunluluğu da ortaya çıkmıştır.

İmar Kanunu 18.maddesinde 2019 yılında yapılan değişiklikler ile kapanan yol fazlalıklarından belediyeler adına hisse edinilmesinin önüne geçilmiş olsa da iptal edilmiş çok sayıda imar uygulaması için geri dönüşüm ve yeniden imar uygulaması yapılması zorunluluğu halen ortadadır ve bu nedenle de konu bir anlamda güncelliğini sürdürmektedir.

Yol fazlalıklarından gelen belediye hisselerinin tamamlayıcısı olduğu paydaşa satılması ise geri dönüşüm işlemini fiili ve hukuki imkânsızlık kategorisine düşürmektedir. Uzman kurum yetkililerinin idarenin hisse satın alması şeklinde şifahi yanıtları olsa da çözümsüzlüğün giderilmesine yönelik makul bir yöntem şimdiye değin geliştirilememiştir.

İmar Kanunu 18.maddesine 2020 yılında eklenen 'fili ve hukuki imkânsızlıklar halinde geri dönüşüm işlemlerinde uzlaşmaya veya bedel ile ödemeye imkân veren' yasa hükmü yeni bir çözüm önermesini sunmaya aday niteliktedir. Kapanan yollardan edinilen hisselerin satış yoluyla özel mülkiyete geçmiş olması durumu yasa maddesinin tanımladığı içerikten uzak değildir ve hem idarelerin bu tür bir çözümü uygulama biçimlerinin ve hem de yargının konuya hukuksal yorumunun tartışılması ciddi değer taşımaktadır.

Makale içerisinde ilgili yasa hükmü esas alınarak bedel ile denkleştirme seçeneği açıklanmaya çalışılmış, idari yargıdaki gerçek bir geri dönüşümlü imar

uygulaması örnek olarak verilmiştir. Örnek olarak kullanılan işlemde; kapanan yol fazlalıklarının yargı kararının öngördüğü şekilde kamusal alanlara aktarılması halinde düzenleme ortaklık payı oranı on binde 11 oranında azalmakta, dolayısıyla da tahsis farkının bedel ile karşılanmasının parselasyon işlemine etkisi çok az olmaktadır. Yani maliklerin almaları gereken tahsisin bu kadar az bir kısmının bedel ile tazmini, kendilerine tahsis edilen taşınmazı önemli ölçüde değiştirmemekte, böylece de maliklerin aleyhine bir işlem tesis edilmemektedir.

Tersine arsa düzenlemesi iptallerinde, düzenleme sahasındaki pek çok malik ve kente dair tüm unsurlar bozma kararından olumsuz anlamda etkilenmekte, imar ve mülkiyet hakları kısıtlanmakta, çözüme kavuşturulamayan yani yeniden yapılamayan imar uygulaması herkes için kayıp anlamına gelmektedir. Tam da bu noktada, açmaza girmiş bir geri dönüşüm işleminde, miktarı az olan bir fark alan olarak sağlanamadığında, bedel alınarak imar faaliyetinin sonuçlandırılması gerçekten de tüm paydaşların faydasına olmaktadır.

Örnek olarak sunulan imar uygulamasında önerilen yaklaşım kullanılmış ve hem birinci hem de ikinci basamak idari yargılamada hukuka uygun bulunmuştur. İdari yargı sürecinde Danıştay yolu açık olmakla birlikte, çözümsüz bekleyen çok sayıda benzer uygulama için emsal oluşturacak bir yolun açıldığı düşünülmektedir.

## Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Kaynakça

- Arazi ve Arsa Düzenlemeleri Hakkında Yönetmelik Uygulamaları Çalıştayı Sonuç Raporu. (2021). Ankara, HKMO Yayınları.
- Arazi ve Arsa Düzenlemeleri Hakkında Yönetmelik, (2020). RG. 31027, 22.02.2020
- Atasoy, M., Demir O., Uzun B., & Nişancı R., (2002). İmar Uygulamalarının İptal Nedenleri ve Öneriler, Selçuk Üniversitesi JFM Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu, Konya
- Çalışkan, E. (2014). 3194 Sayılı İmar Kanunu'nun 18'inci Madde Uygulamalarının Geri Dönüşümünde Yaşanan Sorunlar: Aksaray İli Örneği, Dönem Projesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi ABD, Ankara
- Çay, T., & Kandemir, E.S. (2022). Türkiye'de imar uygulama mevzuatındaki gelişim süreci, *Geomatik*, 7(1), 26-40. <https://doi.org/10.29128/geomatik.809393>
- Çelik, K., Uzun B., Demir, O., & Nişancı, R. (2000). İmar Uygulamalarında Yargı Denetimi Sonuçlarının İkinci Uygulama Yönünden Değerlemesi, *Samsun Barosu Dergisi*, 2-3, 87-88
- Çepni, M. S. (2022). Tescil dışı alanların arsa düzenlemelerinde değerlendirilmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 9(2), 127-136.
- Çepni, M. S., & Akıncı, M. (2020). Şekillenmeyen Hamur: İmar Mevzuatındaki Değişiklikler İçin Bazı Tespitler, *Mahalli İdareler Dergisi*, 94 (220), 3-16
- Çepni, M. S., & Doğuyıldız, C. (2022). Arazi ve Arsa Düzenlemeleri Tüzesinde 2020 Yılı Değişikliklerine Dair Bazı Değerlendirmeler, *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 4(2), 54-61. <https://doi.org/10.51765/tayod.1100569>
- Çınar, S., & Ünel, F. B. (2022), 2/B orman vasfını yitirmiş araziden tarım arazisine dönüşen taşınmazların toplu değerlemesi, *Geomatik*, 7(2), 112-127. <https://doi.org/10.29128/geomatik.900457>
- Güngör, R., & İnam, Ş. (2019). İmar Uygulamalarında Farklı Dağıtım Metotlarının Karşılaştırılması. *Geomatik*, 4(3), 254-263. <https://doi.org/10.29128/geomatik.548592>
- Hacıosmanoğlu, S., & Demir, H. (2020). Arazi ve Arsa Düzenlemelerinin Geri Dönüşüm İşlemlerinde Yargı Kararlarına Dayalı Öneriler, *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 7(2), 47-69.
- İmar Kanunu, (1985). 3194 Sayılı İmar Kanunu, Kabul Tarihi: 3/5/1985, Yayımlandığı Resmi Gazete; Tarih: 9/5/1985 Sayı: 18749, Yayımlandığı Düstur; Tertip: 5 Cilt: 24 Sayfa: 378. Değişiklikler 7181 sayılı kanun RG. Tarih: 10.07.2019 Sayı: 30827 ve 7221 sayılı kanun RG. Tarih: 20.02.2020 Sayı: 31045.
- Koçak, H. (2012). İmar Planları ve Parselasyon ile İlgili Danıştay Kararları, <https://tapu-kadastro.net/index.php/mevzuat/yargi-kararlari/317-danistay-kararlari-imar-uygulamalari>, (Son Erişim Tarihi: 15 Ocak 2023)
- Koçak, H. (2013). Kadastronun Tesisi ve Yaşatılması, HKMO Yayınları, 1.Baskı, Ankara
- Koçak, H. (2015). Parselasyonun İptali ve Geri Dönüşüm, <http://www.tapu-kadastro.net/> (Son Erişim Tarihi: 22 Ağustos 2022).
- Köktürk, E. (2013). Arsa Düzenlemesinde Yoldan İhdas ve DOP Tanımı, HKMO İstanbul Bülten, s.18-23, Haziran 2013
- Köktürk, E., & Köktürk E. (2007). Arsa Düzenlemelerinin Hukuksal Dayanağı, *Türkiye Barolar Birliği Dergisi*, 70, 260-283
- Köktürk, E., & Köktürk, E. (2021). İmar Planları-Mekân Politikası, Şehircilik, İmar Hukuku, İmar Planları, İdari Yargı Denetimi, Şeçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, Ankara.
- Özdemir, S. (2014). İmar Kanunu Bağlamında İmar Uygulamalarında Kapanan Kadastral Yollar, *Türk İdare Dergisi*, 479, 171-212
- Pamuk, H. (2016). Türkiye'de Arazi ve Arsa Düzenlemelerinin İptal Nedenleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pamuk, H., & Demir, H. (2017). Türkiye'de Arazi ve Arsa Düzenlemelerinin İptal Nedenleri, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara
- Sarı, M. (2008). İmar Uygulamalarında Bedele Dönüştürmeler, Yüksek Lisans Tezi, Kadir Has Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Özel Hukuk Yüksek Lisans Programı, İstanbul
- Şimşek, N., & Uzun, B. (2018). İptale Konu İmar Planı Uygulamalarında Geri Dönüş İşleminin İrdelenmesi, *Türkiye Adalet Akademisi Dergisi*, 33, 709-720.



- Şimşek, S. (2021). İmar Kanunu 18. Madde Uygulamaları (Arazi ve Arsa Düzenlemeleri) İtiraz ve Dava Yolları, 3. Baskı, Şeçkin Akademik ve Mesleki Yayınlar, Ankara.
- Tapu Kanunu (1934). 2644 sayılı Tapu Kanunu, Kabul Tarihi: 22/12/1934, Yayımlandığı Resmi Gazete; Tarih: 29/12/1934 Sayı: 2892, Yayımlandığı Düstur; Tertip: 3 Cilt: 16 Sayfa: 312.
- Türk Medeni Kanunu (2001), 4721 sayılı Türk Medeni Kanunu, Kabul Tarihi: 22/11/2001, Yayımlandığı Resmi Gazete; Tarih: 8/12/2001 Sayı: 24607, Yayımlandığı Düstur; Tertip: 5 Cilt: 41
- Yakar, M., Ünel, F. B. & Çınar, S. (2022). İmar Bilgisi ve Projesi (Kentsel Alan Düzenlemesi-Arazi ve Arsa Düzenlemesi-18. Madde Uygulaması), Atlas Akademi, Konya.
- Yalpır, Ş., & Ekiz, M. (2017). Eşdeğerlilik Esaslı Arazi ve Arsa Düzenlemesinde Analitik Hiyerarşi Prosesinin Kullanımı. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(1), 59-75. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.297731>
- Yıldız, F. (2016). İmar Bilgisi, planlama, uygulama mevzuat, 11. Basım, Nobel Akademik Yayıncılık, 2012 yılı 8. Basım, Ankara.
- Yıldız, H. (2015). İmar Mevzuatı, İdaremizi ilgilendiren Yönleri, İmar Uygulamaları, Kontrol ve Tescil İşlemleri ile Sorunlar ve Çözüm Önerileri, İnceleme-Araştırma Tezi, TKGM Teftiş Kurulu Başkanlığı, Ankara



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## Taşınır ve taşınmaz kültür varlıklarının yeni nesil LiDAR sensörlü tablet bilgisayar ile belgelenmesi

Adem Yurtsever\*<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Üniversite, Anadolu Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü, Eskişehir, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

LiDAR Tarama  
Şarhöyük/Dorylaion  
Kültür Varlıkları Belgeleme  
Tablet Bilgisayar

### Araştırma Makalesi

Geliş:24.11.2022  
Revize:01.02.2023  
Kabul:07.02.2023  
Yayınlanma:15.02.2023



### Öz

Son yıllarda gelişen teknolojiye bağlı olarak tablet bilgisayarlarda hızlı bir gelişim ve dönüşüm yaşanmaktadır. Teknolojik gelişmeler bu bilgisayarlara yeni ve farklı özellikler kazandırmaktadır. Bu yeni ve farklı özelliklerden biri de LiDAR sensöre sahip tablet bilgisayarlardır. LiDAR (Light Detection and Ranging), ışık tespiti ile uzaklık algılayan yeni nesil bir teknolojinin adıdır. Arkeolojik alanlarda LiDAR belgelemenin yapıldığı önemli çalışmalar vardır ve bu çalışmalarda büyük ölçekteki yapılar uzun soluklu tarama işleminin ardından çalışılabilmiştir. Özellikle taşınmaz kültür varlığı olan Roma Dönemi büyük ölçekli yapılarının LiDAR ile taranması sayesinde hata payı çok az olan ölçüler elde edilmiş, bunun sonucunda oldukça başarılı yayınlar ortaya çıkmıştır. LiDAR teknolojisinin tablet bilgisayar ile buluşması ile uzun ve zahmetli bir belgeleme sürecinin yerine bu teknoloji sayesinde çok daha kısa sürede ve çok daha başarılı sonuçlar doğurabileceği fikri doğmuştur. Bu çalışmada arkeolojik bir kazı alanı, kazı alanındaki ve farklı bir alandaki taşınmaz kültür varlığı, arkeolojik küçük buluntu örnekleri LiDAR sensörlü tablet bilgisayar (iPad Pro) ile belgelenmiştir. Bu belgelemenin sonuçları, söz konusu teknolojinin faydaları ve eksik kalan kısımları ilk defa bu çalışmada sunulacaktır.

## Documentation of movable and immovable cultural heritage with new generation LiDAR sensor tablet computer

### Keywords

LiDAR Scan  
Şarhöyük/Dorylaion  
Cultural Heritage Documentation  
Tablet Computer

### Research Article

Received:24.11.2022  
Revised:01.02.2023  
Accepted:07.02.2023  
Published:15.02.2023

### Abstract

In recent years, there has been a rapid development and transformation in tablet computers depending on the developing technology. Technological developments bring new and different features to these computers. One of these unique and additional features is tablet computers with LiDAR sensors. LiDAR (Light Detection and Ranging) is the name of a new generation technology that detects distance with light detection. There are essential studies in which LiDAR documentation has been done in archaeological areas, and large-scale structures can be studied after long-term scanning. Thanks to the LiDAR scanning of large-scale Roman Period buildings, which are immovable cultural assets, measurements with a very low margin of error were obtained. As a result, very successful publications emerged. With the meeting of LiDAR technology with the tablet computer, the idea was born that a long and troublesome documentation process could lead to much more successful results in a much shorter time thanks to this technology. In this study, an archaeological excavation site, immovable cultural assets in the excavation area, and a different location, small archaeological finds were documented with a LiDAR sensor tablet computer (iPad Pro). The results of this documentation, the benefits, and deficiencies of this technology will be presented for the first time in this study.

## 1. Giriş

Teknolojik gelişmeler son yıllarda önemli bir ivme kazanmıştır. Bu gelişmeler genel anlamda her alanda gerçekleşmeye devam etmektedir ve arkeoloji bilimi de bu gelişmelerden uzunca bir süredir faydalanmaktadır. Multidisipliner bir bilim dalı olarak arkeolojinin teknolojik gelişmelerden kendini soyutlayamayacağı açıktır (Karataş ve ark., 2022a; Kanun ve ark., 2019). Bu nedenle arkeologların yeni çıkan ve arkeolojik alanların belgelenmesi için uygun olan her bir teknolojik unsur zaman içerisinde kullandıkları bilinmektedir. Arkeoloji biliminin yeniliklere açık olması ve kendini bu yeniliklere hızlı bir şekilde adapte etmesindeki önemli etkenlerden biri kültür varlıklarının mümkün olan en iyi şekilde belgelenmesi ve gelecek kuşaklara en iyi biçimde aktarılmasının gerekliliğidir (Karataş ve ark., 2022b).

LiDAR teknolojisinin genel kullanım şemasında başlıca unsur uzaktan algılama sistemidir (Alptekin ve Yakar, 2021). Bu uzaktan algılama sistemi sayesinde arkeolojik alanların belgeleme çalışmaları yapılabilmekte, hata payı çok düşük oranlarda yükseklik, genişlik ve derinlik ölçüleri elde edilebilmektedir (Karataş ve ark., 2022c; Doğan ve Yakar, 2018). Dahası, bu tarama çalışmaları sayesinde 3B modellemeler ve çeşitli teknik çizimler elde etmek de mümkündür.

Son yıllarda LiDAR tarama yöntemi ile belgelenmiş önemli taşınmaz kültür varlıklarının yayını yapılmıştır (Karabacak & Yakar, 2022). Bu çalışmalara güzel bir örnek Ephesos antik kentindeki Kuretler Caddesi üzerinde yer alan ve Hadrianus Tapınağı olarak bilinen yapı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yapı ve yapı elemanları LiDAR sensörlü makinalar ile taranmış, buradan oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca taranan yapı elemanlarının önemli bir kısmı tekrar çizilmeksizin doğrudan tarama çıktısı olarak söz konusu yayında kullanılmıştır (Quatember, 2017). A. Yurtsever'in Side antik kentindeki çalışmasında kentin gymnasium yapısı ve yapının mimari elemanları LiDAR ile taranmış, bu çalışmada hem LiDAR çıktıları hem de geleneksel belgeleme yöntemleri birlikte kullanılmıştır (Yurtsever, 2021). Son olarak, M. Kadioğlu, Nysa antik kentindeki Gerontikon yapısının belgelenmesinde bu teknolojiyi kullanmış ve sonrasında mimari belgeleme noktasında son derece başarılı bir yayın ortaya koymuştur (Kadioğlu, 2014). Burada belirtilen çalışmalarda ve diğer önemli bazı saha araştırmalarında ağırlıklı olarak Yersel Lazer Tarayıcılar kullanılmıştır (Güngör, 2022; Balcı, 2022; Karataş ve Menteşe, 2022; Fidan & Ulvi, 2022).

Belirtilen çalışmaların ortak niteliğine bakıldığında hepsi anıtsal ölçekteki taşınmaz kültür varlıklarının belgelenmesinde kullanılmıştır. Küçük ölçekli kültür varlığının veya bir arkeolojik kazı alanının yeni nesil LiDAR sensöre sahip tablet bilgisayar ile belgelendiği örnekler ise henüz yoktur veya yayınlanmamış değildir. Bununla birlikte son bir araştırmada LiDAR sensörlü tablet bilgisayardan elde edilen veriler Yersel Lazer Tarayıcılar ile karşılaştırılmış, bunun sonucunda tablet bilgisayardaki uygulamalardan elde edilen verilerin özellikle kapalı alanlarda iyi sonuçlar verdiği, +/- 1,5 cm karesel ortalamaya kadar hata payı gözlemlendiği tespit edilmiştir (Kuçak ve ark., 2023; Zeybek & Ediz, 2022).

Son beş yılda LiDAR sensöre sahip tablet bilgisayar ve telefonlar hayatımıza girmiş durumdadır. Bu teknolojinin kolaylıkla taşınabilir olması ile arkeolojik alan yönetimi için yeni bir belgeleme yöntemi de arkeoloji disiplini içine dahil olacaktır (Şasi ve Yakar, 2018). Her ne kadar eski, bilindik, belgeleme yöntemlerinin kullanımı devam edecek olsa da bir şekilde bu yeni teknolojinin de arkeolojik alan yönetimi içinde kendine yer bulacağı açıktır (Karataş ve Menteşe, 2022; Senkal ve ark., 2021). Bu çalışmanın amacı da bir LiDAR sensöre sahip taşınabilir tablet bilgisayar ile arkeolojik kazı alanının yanı sıra taşınabilir ve taşınmaz kültür varlıklarını belgelemektir. Bu doğrultuda ilk defa belirtilen alet ile arkeolojik bir kazı alanı, mimari ve seramik buluntular gibi farklı kültür varlıklarının belgelemesi yapılmıştır. Çalışmanın üzerinde yoğunlaştığı önemli bir nokta söz konusu yeni teknolojinin arkeolojik alanlardaki kullanılabilirliği hakkındadır. Burada belgelenen ne derecede doğru ya da yanlış sonuçlar verdiği, arkeolojik alan yönetiminde uygulanabilirliği, güçlü ve zayıf yönleri tartışılacaktır.

## 2. Malzeme ve Yöntem

Uygulamanın yapıldığı malzeme grubunun çeşitlilik göstermesine özen gösterilmiştir. Burada amaç her bir kültür varlığı için elde edilen sonuçların paylaşılması, bu sayede verimliliğin hangisinde ve ne derece iyi olduğunu ortaya koymaktır. Özellikle bir kazı alanı ve buradan ele geçen buluntuların seçilmesindeki etken bu alanlarda kültür varlıklarının belgelenmesinin son derece önemli olmasıdır. Ayrıca kazı alanları belgeleme çalışmalarının acil yapılması gerekli alanı olarak da öne çıkmaktadır. Çünkü kazının kendisi de bir tahribat olduğu için ortaya çıkarılan alanın en iyi şekilde belgelenmesi ve hızlıca korumaya alınması gerekmektedir. Söz konusu sebeplerden dolayı bir kazı alanı ve buluntularının belgelenmesi yöntemi seçilmiştir. Bu doğrultuda belgelenen kazı alanının ölçüleri ve ne kadar süre içinde belgelendiği metin içinde paylaşılmıştır. Ayrıca yine arkeolojik kazı çalışmasından ele geçmiş bir *pithos* ele alınmıştır.

Önceki paragrafta belirtilen örnekler dışında ise Anadolu Üniversitesi kampüsü içerisinde korunmakta olan bir lahit, sütun, yazıtlı bir blok ve bir altar üzerinde çalışılmıştır. Belirtilen malzeme grubunun tercih edilmesindeki önemli bir etken yüzey araştırmalarında sıklıkla karşılaşılabilecek niteliğinin olmasıdır. Böylece LiDAR sensörlü tablet bilgisayarların bu alandaki verimliliği ölçülmüştür. Dahası malzeme grubu için QR kod oluşturulmuştur. Bu kodların okutulması ile LiDAR sensörlü tablet bilgisayarın (iPad Pro) taramasından elde edilen 3B videolar izlenebilecektir.

Belgeleme sürecinde uygulanan metotta çeşitli aplikasyon ve programların birlikte kullanılması kaçınılmaz olmuştur (Korumaz ve ark., 2011). Çalışmada pek çok farklı uygulama üzerinde araştırma yapılmış, bu uygulamalar içinde belgeleme için en verimli olabilecek niteliğe sahip olanı tercih edilmiştir. Dolayısı ile bu çalışmada PolycamPro uygulaması kullanılmış, buradan alınan uzantı çıktıları ise AutoCAD ve ReCAP programlarında işlenmiştir. Tarama işleminde PolycamPro uygulaması ile elde edilen ham veri hem

uygulamanın kendi işlemleri hem de AutoCAD ve ReCAP programlarından elde edilen çıktılar üzerinde işlenmiştir. Çalışmada arkeolojik materyallerin niteliği ele alınmamıştır. Doğrudan ve sadece belgeleme ve buradan elde edilen çıktılar üzerine yoğunlaşmıştır.

### 3. Arkeolojik Bir Kazı Alanı Üzerinde Çalışma

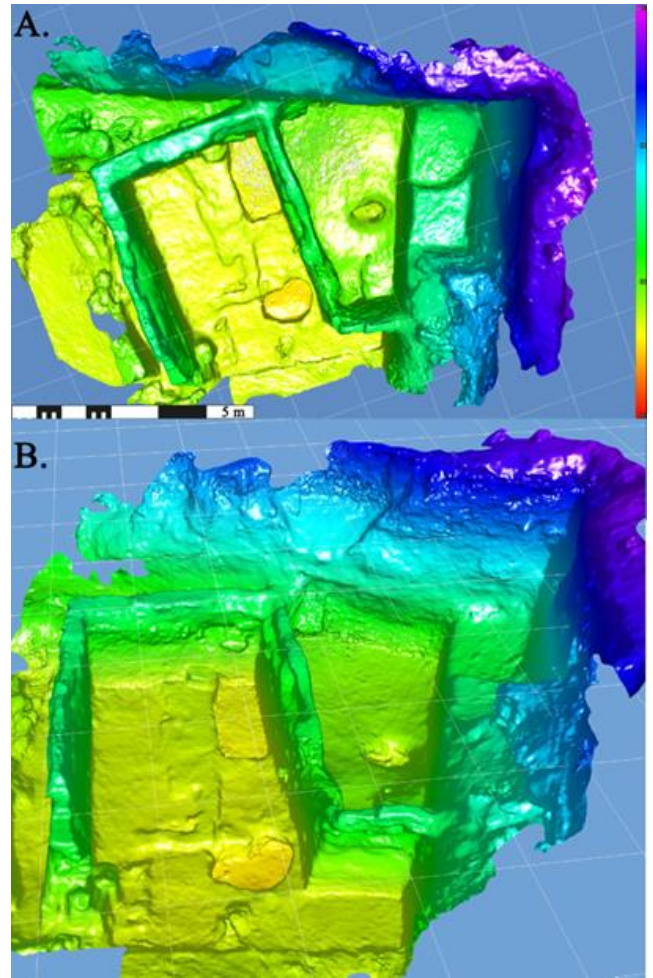
#### 3.1. Şarhöyük/Dorylaion kazı alanı

Eskişehir kent merkezinin 2 km kuzeyindeki Şarhöyük/Dorylaion antik kentinde, höyüğün yamacında önemli bir Hellenistik Döneme ait tabaka kazısı gerçekleştirilmektedir. Söz konusu tabaka kazılarında bir mekân ortaya çıkarılmış ve mekâna araştırma başkanı tarafından “Lysimakhos Evi” adı verilmiştir. Bu adlandırma tamamı ile mekânın tarihlendirilmesi ile ilgilidir ve buradan çıkan malzemeler detaylı olarak yayınlanmıştır (Baştürk, 2018; Baştürk, 2021; Baştürk, 2022). Söz konusu alanın arkeolojik niteliğinden ziyade çalışmada elde edilen tarama verilerinin tanıtılması amaçlanmaktadır. Bu nedenle metnin devam eden bölümü LiDAR sensörlü tablet bilgisayardan elde edilen sonuçlara odaklanmıştır.



**Şekil 1.** Lysimakhos Evi olarak tanımlanan kazı alanının taraması ile elde edilen renklendirilmiş nokta bulutu. ReCAP programı ile perspektifli ve perspektifsiz olarak görünüşü.

Arkeolojik bir kazı alanının belgelemesi son derece önemlidir. Belgeleme çalışmaları hem alanın ileriki yıllarda korunmasına olanak sağlayacak hem de yapılacak yayın çalışmalarındaki düşünceleri önemli derecede temellendirecektir (Kanun ve ark., 2022). Bu nedenle doğru bir metodoloji ile yapılan iyi bir belgeleme hem okuyucu hem de araştırmacı için araştırılan alanın niteliğinin iyi bir şekilde tanıtılmasında dikkate değerdir. Burada LiDAR sensörlü tablet bilgisayar ile belgelenen arkeolojik alan yaklaşık 35 m<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır ve çalışma toplamda beş dakikadan az sürmüştür. Tüm veriler bu beş dakikalık tarama sonuçlarından elde edilmiştir. Öncelikle uygulamanın sağladığı LiDAR ölçümlerinden bir nokta bulutu elde edilmiştir (Şekil 1).

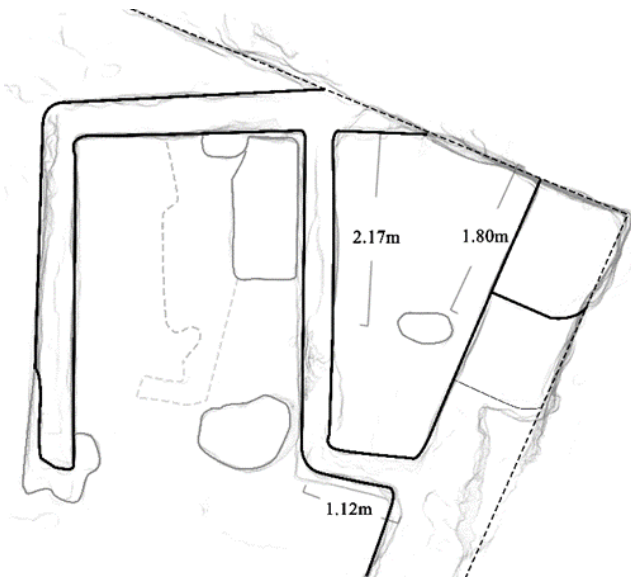


**Şekil 2.** ReCAP programı ile kazı alanının yükseklik seviyelerinin renklendirilmesi. **A:** Perspektifsiz görünüş. **B:** Perspektifli görünüş.

Söz konusu nokta bulutundan x,y,z formatında çıktı alınmış ve nokta bulutu üzerinde ReCAP programı ile çalışılmıştır. Bu çalışmada kazı alanının perspektife girmeyen bir ortofoto görüntüsü elde edilmiştir. Bununla birlikte aynı program ile tüm alanın yükseklik mesafelerini gösteren bir renk grafiğini de elde etmek mümkündür. Her bir renk eşit veya farklı yükseklik mesafelerini sunmaktadır. Aynı renk tonları yüksekliğin bu noktada eşit olduğunu göstermektedir. Bu da düz bir zemin anlamına gelmektedir. Kullanılan uygulama yükseklik ve derinliği ilk tarama noktasından başlayarak algılamakta ve çıktılar bu şekilde elde edilmektedir.

Burada yüksekliğin sadece hareket noktasına göre elde edilebiliyor olması bir eksiklik. Doğru bir sonuç elde etmek için ReCap programında açılan nokta bulutu üzerine daha önceden alınan x,y,z koordinatlarının "update origin" kısmına girilmesi gerekmektedir. Böylece arazinin her bir alanının deniz seviyesine olan mesafesi, yükseklik ve alçak noktaları herhangi bir veri kaybı yaşanmaksızın belgelenmiş olacaktır. Kazı alanın nokta bulutu üzerinden renklendirilebiliyor olmasının yanı sıra perspektif ve plan görüşlerinin elde edilebilmesi ayrıca önemlidir (Şekil 2).

Kazı alanın tarama işlemi sonrasındaki tüm teknik çıktılar, programa uygun uzantılar, PolycamPro uygulaması ile elde edilmiştir. Burada uygulamanın tarama verilerinden yola çıkarak ve otomatik olarak bir yapı planı oluşturduğunu ve bu plan üzerine mesafe ölçülerinin yine otomatik olarak yerleştirildiği görülmektedir. Kazı alanında totalstation ve elle yapılan kontrollerinde ölçülerin büyük oranda doğru olduğu, bazı noktalarda + / - 2 cm mesafelik bir fark tespit edildiği görülmüştür. Ayrıca uygulama AutoCAD uzantılı çıktı da sunmaktadır ve araştırmacı isterse nokta bulutunu AutoCAD ile açarak alanın çizimini yapabilir. Belirtmek gerekir ki elde edilen nokta bulutundan sağlanan verilerin bu niteliği ile oldukça yararlı olduğu açıktır. Beş dakikadan daha az süren bir tarama işlemi sonucunda elde edilen 3B video ise araştırmacıların bu alanda yapacakları sunum, tanıtım ve anlatımlara büyük katkı sağlayacaktır (Şekil 3; QR Kod 1). Tüm bu çıktılar oldukça önemlidir, çünkü bu çalışma ile arkeolojik kazı alanının sağlıklı bir şekilde belgelenmesinin yanı sıra o alanda sorumlu kişiler araziye her yönüyle okuyabileceklerdir. Aynı kazı alanında 2022 yılı içerisinde gerçekleştirilen arkeolojik kazı çalışmalarında bir *pithos* ele geçmiştir. LiDAR sensörlü tablet bilgisayar ile bu *pithos* için de bir tarama uygulaması gerçekleştirilmiştir.

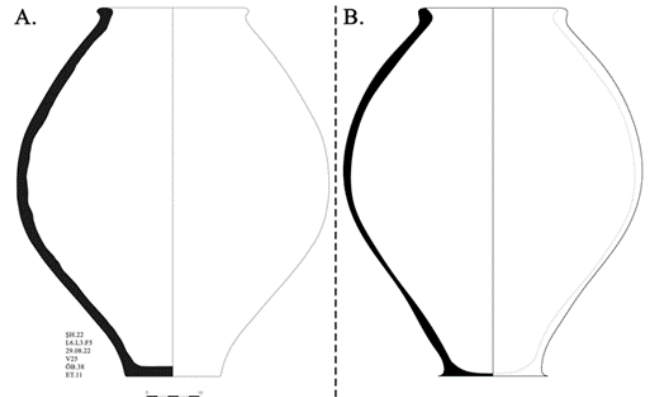


Şekil 3. PolycamPro uygulamasının otomatik olarak tarama verileri üzerinden oluşturduğu plan çıktısı.

*Pithosun* tarama işlemi için açık bir alan tercih edilmiş, herhangi bir şekilde yapay ışık kullanılmamıştır. Tarama esnasında düz bir alan üzerine yerleştirilen *pithosun* etrafında 360 derece dönülmüştür. *Pithosun* üst

yüzeyinden de mümkün olduğu kadar tarama alınmıştır, ancak burada tablet bilgisayarın ölçülerinden dolayı *pithosun* iç kısmına girilememiş, dolayısı ile tarama işlemi iç kısmı için gerçekleştirilememiştir. İşlem tamamlandığında dış yüzeyi oldukça iyi görülen bir 3B video ile iyi bir dış profil görüntüsü elde edilmiştir. Burada iç kısmının taranamamış olması nedeni ile cidar kalınlığı tespit edilememiştir. Tarama verilerinden yola çıkarak bir teknik çizim yapılmış, bu çizim *pithosun* geleneksel seramik çizim yöntemi kullanılarak yapılan çizim ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan karşılaştırmada, LiDAR taraması çıktılarından toplam yükseklik 70 cm ve gövdenin toplam genişliği 59 cm'dir. Her iki belgelemeden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında ölçülerin birbiri ile tutarlı olduğu anlaşılmıştır. Bu önemlidir, özellikle kabın gövdesinin tam oval olmayan formu LiDAR taramasında çok iyi görülebilmektedir. Buna karşın, LiDAR taramasında özellikle kaidenin formu ve buradaki cidar kalınlığı iyi sonuç vermemiştir. Tarama sonucunda elde edilen nokta bulutundan kesit alınarak oluşturulan seramik çiziminde eğer kabın iç kısmı taranabilseydi çok daha iyi bir sonuç elde edilecekti. Ayrıca, *pithosa* ait çizimlerdeki özellikle kaide bölümüne bakılırsa geleneksel yöntemin çok daha iyi sonuç verdiği görülecektir. Burada en azından kabın dış formu hızlıca belgelenebilir, eksik kısımlar geleneksel yöntemde kullanılan teknik çizim ile tamamlanabilir (Şekil 4; QR Kod 2).



Şekil 4. *Pithosa* ait çizim. A: *Pithosun* geleneksel belgeleme yöntemi ile yapılan teknik çizimi. B: LiDAR tarama çıktılarından yapılan teknik çizim.

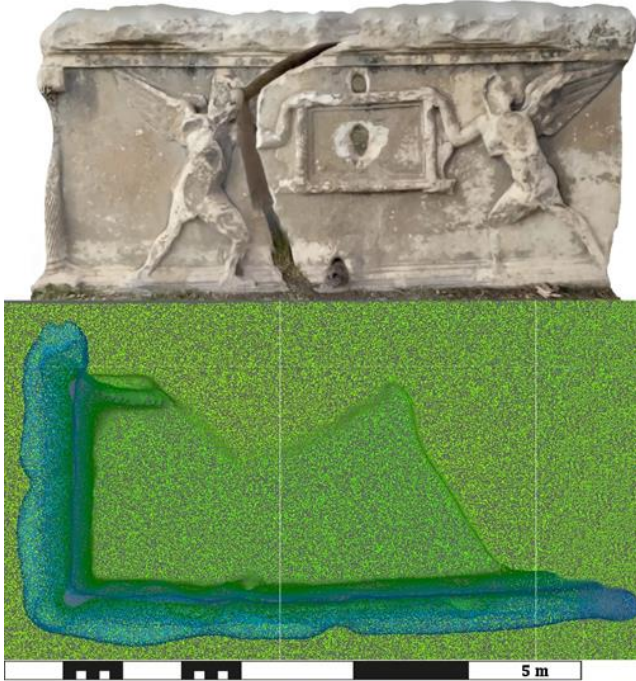
### 3.2. Farklı örnekler ile kültür varlıkları üzerinde belgeleme

Bu bölüme kadar arkeolojik bir alan ile o alandan ele geçen buluntuların belgeleme süreci değerlendirilmiştir. Bu bölümde ise Anadolu Üniversitesi Kampüsü içerisinde yer alan ve bir alanda toplanmış çeşitli Roma Dönemi arkeolojik materyalleri üzerindeki tarama çalışması ele alınacaktır. Çalışmanın sonuçları ve etkisini daha iyi aktarmak adına arkeolojik alanlarda sıklıkla karşılaşılan kültür varlıkları üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu bakımdan inceleyeceğimiz ilk örnek bir lahitir.

Lahit bir uzun ve bir kısa cephesi ile iki parça halinde korunmuş, diğer bölümleri ise kırık ve eksiktir. Özellikle sağlam olan cephesi üzerinde merkezde bir *tabula ansata* ve onu çevreleyen iki Nike figürü yer almaktadır. Figürler üstte ve altta yer alan profil ile sınırlandırılmış, kısa

kenarlarda ise sütunlar ile çevrelenmiş olduğu anlaşılmaktadır.

Tarama çıktılarından elde edilen ölçülere göre genişlik 2,55 m, derinlik 1,30 m, yükseklik ise 1,13 m olarak tespit edilmiştir. Alanda yapılan kontrol çalışmalarında bu ölçülerde herhangi bir hatanın olmadığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte, PolycamPro uygulaması üzerinden lahdin 3B videosu ve nokta bulutu elde edilmiştir. Nokta bulutu ile oluşturulmuş üst görünüş ve uzun cephenin bir ortofotosu sağlanmıştır. Bu veriler söz konusu lahdin belgeleme sürecine katkı sağlayacak niteliktedir. Lahdin tarama ile elde edilen nokta bulutu üzerinden teknik çizimi yapılabilir. Bununla birlikte, açık havada, güneş ışığı altında ayrıca bir çalışma gerçekleştirilmiş, burada elde edilen verilerin iyi sonuç sağlamadığı anlaşılmıştır (Şekil 5; QR Kod 3).

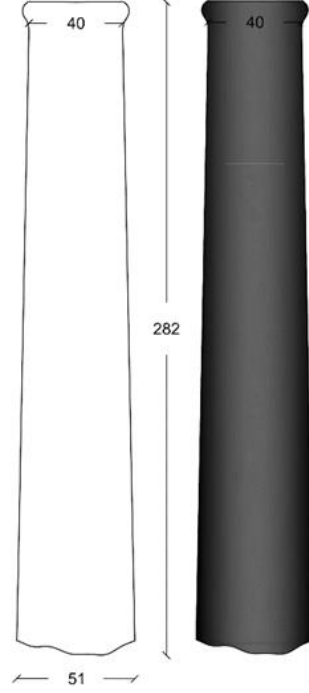


Şekil 5. Lahit için hazırlanmış AutoCAD nokta bulutu ve üstte ReCAP programından elde edilmiş ortofoto görüntüsü.

Lahit dışında ise yine aynı alanda bulunan bir sütun belgelenmiştir. Sütun yere yatılı pozisyonda olduğu için tek bir yüzeyi taranabilmiştir. LiDAR taraması ve ReCap programından elde edilen ölçülere göre yükseklik 2,82 m ve kırıldığı noktadaki genişliği 51 cm'dir. Hem RaCAP programı hem de PolycamPro uygulamasının sunmuş olduğu ölçülerin yapılan kontrollerde doğru sonuç verdiği anlaşılmıştır. Burada tarama verileri üzerinde farklı bir çalışma yapılmış, elde edilen sütun yüksekliği, profili ve profil özelliklerinden yola çıkarak hem teknik çizim hem de teknik çizime göre bir tamamlama önerisi oluşturulmuştur (Şekil 6; QR Kod 4).

Bu alandaki bir diğer saha çalışması yazıtlı bir blok üzerinde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu taramadaki amaç blok üzerindeki yazıtların tarama çıktısında nasıl gözükeceği, buradan elde edilen verin ne derece kullanılabilir olduğudur. Çalışma sonucunda elde edilen çıktılar üzerinde bloğun ölçüleri tam olarak elde edilebilmiştir. Buna göre yükseklik 1,26 m, genişlik 53 cm'dir. Kontrol amaçlı saha çalışmasında bu ölçülerin

hatasız olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte, PolycamPro uygulamasının sunduğu çıktı ile elde edilen 3B video ile yazıtlı bloğun her yönü incelenebilir. Burada, blok üzerindeki harflerin çözünürlüğünün özellikle yoğun güneş ışığı altında çok iyi olmadığını belirtmek gerekir. Bu nedenle saha çalışması ve tarama çıktıları eş zamanlı olarak kontrol edilmeli, bu şekilde alan çalışması tamamlanmalıdır (Şekil 7; QR Kod 5).



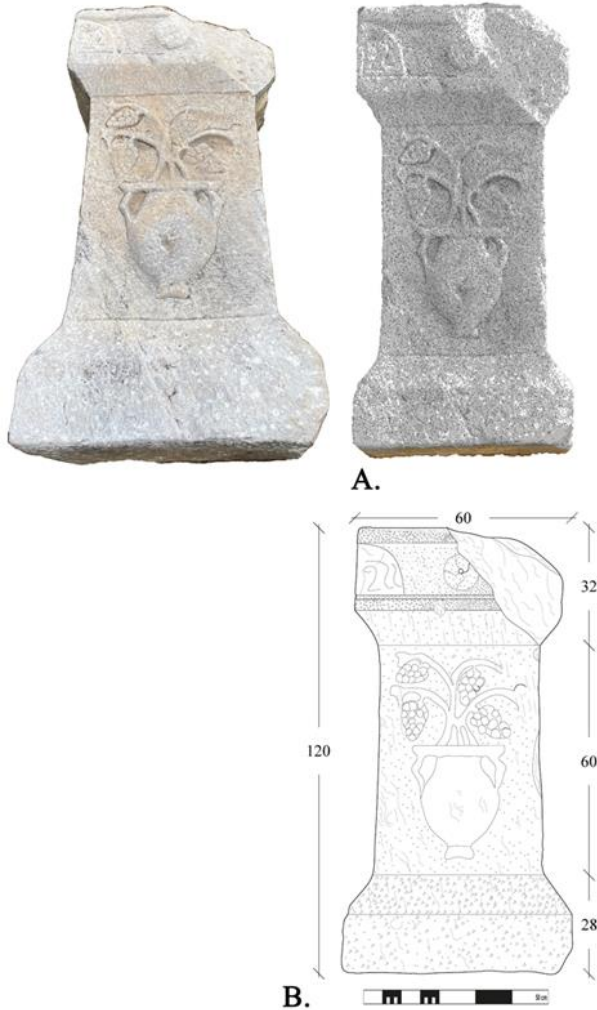
Şekil 6. Sütun için hazırlanmış teknik çizim ve katı modelleme.



Şekil 7. Yazıtlı blok.

Bir diğer saha çalışması yine kampüs içinde sergilenen bir altar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Altarın ön cephesi bir vazo ve ondan çıkan üzüm salkımı ile

bezenmiştir. Altta ve üstte yer alan profiller ortadaki bezemeyi sınırlandırır, kısa kenar köşeleri ise bezeme barındırmaz. Burada uygulanan çalışmada kültür varlığının PolycamPro uygulaması ile elde edilen ortofoto ve dwg çıktısı üzerinden AutoCAD programı ile teknik çizimi yapılmıştır. Örnek bir deneme çizimi için ReCap programından elde edilen ölçülerden faydalanılmıştır. Buna göre yükseklik 120 cm, genişlik 60 cm ve derinlik 37 cm'dir. Yapılan kontrollerde LiDAR taramadan elde edilen ölçülerde herhangi bir hata tespit edilmemiştir. Teknik çizimde ise hem geleneksel yöntemler hem de tarama çıktıları üzerinden bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Buna göre, önce PolycamPro uygulaması üzerinden bir tarama işlemi gerçekleştirilmiş, aynı uygulamadan AutoCAD ve ReCAP çıktısı alınmış ve böylece nokta bulutu üzerinden ilk çizim yapılmıştır. Daha sonra, bu çizimle birlikte tekrar saha çalışması yapılmış, çizimde eksik kısımlar kontrol edilerek belgeleme tamamlanmıştır. Çalışma sonucunda tespit edilen ölçülerin tutarlı olduğu, bezeme detayları da dahil olmak üzere blok üzerindeki detayların neredeyse tamamının teknik çizim üzerine aktarıldığı anlaşılmıştır. Ayrıca ön cephe çizimi yapılan altların istenirse her cephesi bu yöntem ile çizilebilir. Bununla birlikte, tarama sonucunda elde edilen 3B video görüntüsü ile altların tüm cephe görüntüsü detaylı olarak incelenebilmektedir (Şekil 8; QR Kod 6).



**Şekil 8.** Altarın görüntüsü. **A:** ReCAP programı ile elde edilen ölçüklü katı model. **B:** AutoCAD, ReCAP ve

geleneksel yöntemin birlikte kullanılması ile elde edilen teknik çizim.

#### 4. Sonuçlar

Arkeolojik kazı çalışmalarının gerçekleştiği alanlarda, yüzey araştırmalarında gelişen teknolojiye de bağlı olarak yeni belgeleme yöntemleri kullanılmaktadır. Arkeoloji bilimi belgeleme olmaksızın düşünülemez ve verilerin sağlıklı bir değerlendirmesi için elde edilen verilerin de mutlaka tutarlı veriler olması gerekmektedir. Son yıllarda LiDAR teknolojisinin tablet ve telefonlara aktarılması ile zaten kullanılmakta olan bu teknolojinin daha pratik, daha ekonomik yönünü keşfetmeye başlamış durumdayız. Bir anlamda bu çalışma önemli bir soruyu cevaplandırmaya çalışmıştır. Bu soru tablet bilgisayar ve telefonlara adapte edilmiş LiDAR sensörün arkeolojik alanların belgelemesinde ne derece güvenilir veri sunduğudur.

Bu soruyu cevaplandırabilmek için farklı materyaller üzerinde deneme çalışmaları yapılmıştır. Arkeolojik bir kazı alanının tablet bilgisayarın LiDAR sensörü ile taraması, bu sayede belgelenmesi heyecan verici olmuştur. Çünkü tarama verilerinin arkeolojik bir kazı sahasının neredeyse bütün yönleri ile belgelenmeye yeterli olduğu görülmüştür. Kazı alanın plan çizimi, arazinin topoğrafik yapısı, ölçüleri, 3B video sunumu gibi belgeleme süreci kısa sürede yapılabilmektedir. Özellikle yükseklik alçaklık boyutunu gösteren renk skalası ve bununla birlikte elde edilen renkli nokta bulutunun katı modelinin arkeolojik kazı alanlarındaki kesit çizimlerinde büyük kolaylık sağlayacağı açıktır. Dahası tarama sürecinin çok kısa sürede tamamlanmış olması da önemlidir. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus verileri sağlayan tek bir uygulama ile çalışılmaması, mümkün olduğunca farklı programlar ile ham verinin işlenmesi gerekmektedir. Dahası mutlaka ölçülerin doğruluğu teyit dilmelidir. Bunun için de alanın belirli noktalarından kontrol ölçümleri yapılmalıdır. Uygulanan bu yeni yöntemde ham veriyi sağlamak kolaydır ama asıl çalışma prensibi bu verinin işlenmesi ile ilgili süreç ve işlemlerdir.

Arkeolojik bir kazı alanın belgelenmesinin yanı sıra yüzey araştırmalarında yapılacak olan belgeleme de oldukça önemlidir. Bunun için yüzey araştırmalarında karşılaşılabilecek muhtemel bazı malzeme grupları üzerinde tarama çalışması yapılmıştır. LiDAR sensörlü tablet bilgisayarların taşınmasının kolay olması ve dakikalar içinde tarama yapıyor olması ile belgeleme süreci kısılacak, arkeolojik saha çalışmasının verimliliği artmış olacaktır. Özellikle lahit, sütun, yazıtlı bir blok ve altar üzerindeki çalışmalar ve bunlardan elde edilen sonuçlar önemlidir.

Bu teknolojinin kullanılmasını gerektirecek bir nokta da veri saklama ile ilgilidir. Arkeolojik kazılarda veya yüzey araştırmalarında tespit edilen kültür varlıklarının 3B nokta bulutunun saklanması ileride bu varlıkların herhangi bir durumda zarar görmesi durumunda eldeki en önemli veri olacaktır. Dolayısı ile kültür varlıklarının belgelemesinde, bir arkeoloğun veya uzmanın arazi ekipmanları içinde LiDAR sensöre sahip bir tablet bilgisayarın olması kaçınılmaz olarak ileride gerçekleşecektir. Ayrıca, arkeolojik alanlarda ve yüzey

araştırmalarında sıklıkla tespit edilebilen bu gibi buluntularda tarama yapmadan önce x,y,z koordinatlarının alınması, bu koordinatların ise tarama yapılırken tarama alanı içerisinde işaretlenmesi yapılan çalışmayı elde edilen sonuçları bakımından daha tutarlı yapacaktır.

Türkiye kültür varlığı bakımından zengin bir ülkedir ve ülkede her yıl önemli sayıda yüzey araştırması yapılmaktadır. Bu yüzey araştırmalarında belki de daha önce hiç keşfedilmemiş alanlar ve bu alanlardaki kültür varlıkları belgelenmektedir. Belgelemelerde önemli

tespitler yapılırken yayınlarda genellikle fotoğraf ve teknik çizimlere yer verilmektedir. Bu doğru bir yöntemdir, ancak gelişen teknoloji ile önemli kültür varlıklarının LiDAR taramaları kısa sürede yapılabilir ve nokta bulutları sonraki çalışmalar için saklanabilir. Böylece herhangi bir tahribat olursa elde edilen nokta bulutu ile 3B yazıcılar da kullanılarak çeşitli şekillerde bir onarım veya sunum gerçekleştirilebilir. Bu şekilde dünya kültür mirası olan kültür varlıklarının gelecek kuşaklara aktarılması için üzerimize düşen sorumluluğu çok daha iyi yapmış olabiliriz.



QR Kod 1. Lysimakhos Evi olarak adlandırılan arkeolojik kazı alanının 3B video modeli.



QR Kod 2. Kazı çalışmalarında ele geçen pithosun 3B video modeli.



QR Kod 3: Lahit'e ait taramadan elde edilen 3B video.



QR Kod 4. Antik sütunun LiDAR taramasından elde edilen 3B video.



QR Kod 5. Yazıtlı bloğun LiDAR taramasından elde edilmiş 3B video.



QR Kod 6. Altar için hazırlanmış, LiDAR tarama verilerinden oluşturulmuş 3B video.

Şekil 9. QR Kodları Okutarak Çalışmada yer alan kültür varlıklarının 3B videolarını izleyebilirsiniz.

### Bilgilendirme/Teşekkür

Çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No.: 2205E043). Koordinasyon Birimine destekleri için teşekkür ederim. Şarhöyük/Dorylaion kazı başkanı sayın Doç. Dr. Mahmut Bilge BAŞTÜRK, LiDAR taraması için alanda çalışma yapmama büyük bir cömertlik göstererek izin vermiştir. Kendisine teşekkür ederim. Pithos çizimini yapan Kumpas Çizim'e teşekkür ederim.

### Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Kaynakça

Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). Lazer Tarayıcının Jeolojik Olayların Modellenmesinde Kullanımı. *Türkiye Lidar Dergisi*, 3(2), 71-75.

- Balcı, D. (2022). Kültürel Mirasın Belgelenmesinde Lazer Tarayıcıların Kullanılması. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4 (1), 27-36.
- Baştürk, M. B. (2018). Şarhöyük MÖ 2. Binyıl Mimarisi Üzerine Ön Gözlemler. *Anadolu Araştırmaları*, (21), 42-55.
- Baştürk, M. B. (2021). "A Bronze Bowl with Swivelling Handle from Şarhöyük - Dorylaion". *Olba XXIX*, 25-46.
- Baştürk, M. B. (2022). "Dorylaion'da Frig İzleri". *Fetih ve Medeniyet*, 99-109.
- Doğan, Y., & Yakar, M. (2018). GIS and three-dimensional modeling for cultural heritages. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(2), 50-55.
- Fidan, Ş. & Ulvi, A. (2022). Tarsus Aziz Pavlus Kilisesinin Yersel Lazer Tarama Teknikleri ile Üç Boyutlu Modelinin Oluşturulması Sanal Gerçekliğe Hazırlamanın Değerlendirilmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4 (2), 60-70.



- Güngör, M. (2022). Yersel Lazer Tarayıcıların Arkeolojik Alanlardaki Kullanımının İncelenmesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4 (2), 85-90.
- Kadioğlu, M. (2014). Das Gerontikon von Nysa am Mäander. *Forschungen in Nysa am Mäander* 3. Phillipp von Zabern.
- Kanun, E., Alptekin, A., & Yakar, M. (2021). Cultural heritage modelling using UAV photogrammetric methods: a case study of Kanlıdivane archeological site. *Advanced UAV*, 1(1), 24-33.
- Kanun, E., Alptekin, A., Karataş, L., & Yakar, M. (2022). The use of UAV photogrammetry in modeling ancient structures: A case study of “Kanytellis”. *Advanced UAV*, 2(2), 41-50.
- Karabacak, A. & Yakar, M. (2022). Giyilebilir Mobil LİDAR Kullanım Alanları ve Cambazlı Kilisesinin 3B Modellemesi. *Türkiye Lidar Dergisi*, 4 (2), 37-52.
- Karataş, L. & Menteşe, D. H. (2022). Dara Antik Kenti (Anastasiopolis) Nekropol Alanının Malzeme Sorunlarının Yersel Lazer Tarama Yönteminden Elde Edilen Ortofotolar Yardımıyla Belgelemesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 4 (2), 41-51.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022). Analytical Documentation of Stone Material Deteriorations on Facades with Terrestrial Laser Scanning and Photogrammetric Methods: Case Study of Şanlıurfa Kışla Mosque. *Advanced LiDAR*, 2(2), 36-47.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022). Creating Architectural Surveys of Traditional Buildings with the Help of Terrestrial Laser Scanning Method (TLS) and Orthophotos: Historical Diyarbakır Sur Mansion. *Advanced LiDAR*, 2(2), 54-63.
- Karataş, L., Alptekin, A., & Yakar, M. (2022). Determination of Stone Material Deteriorations on the Facades with the Combination of Terrestrial Laser Scanning and Photogrammetric Methods: Case Study of Historical Burdur Station Premises. *Advanced Geomatics*, 2(2), 65-72.
- Korumaz, A. G., Dülgerler, O. N., & Yakar, M. (2011). Kültürel mirasin belgelenmesinde dijital yaklaşımlar. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 26(3), 67-83.
- Kuçak, R. A., Erol, S., & Alkan, R. M. (2023). iPad Pro LiDAR sensörünün profesyonel bir yersel lazer tarayıcı ile karşılaştırmalı performans analizi. *Geomatik*, 8(1), 35-41.
- Senkal, E., Kaplan, G., & Avdan, U. (2021). Accuracy assessment of digital surface models from unmanned aerial vehicles’ imagery on archaeological sites. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 81-89.
- Şasi, A., & Yakar, M. (2018). Photogrammetric modelling of hasbey dar’ülhuffaz (masjid) using an unmanned aerial vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3(1), 6-11.
- Quatember, U. (2017). *Der Sogenannte Hadrianstempel an der Kuretenstrasse*. Wien: ÖAW.
- Yurtsever, A. (2021). *Side Gymnasiumu (M Yapısı). Mimari Araştırmalar ve Araştırmaların Sonuçları*. İstanbul.
- Zeybek, M. & Ediz, D. (2022). Detection of Road Distress with Mobile Phone LiDAR Sensors. *Advanced LiDAR*, 2(2), 48-53.



© Author(s) 2023. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>