

HARİTA MÜHENDİSLİĞİNDE
AKILLI TEKNOLOJİLER
VE **MEKÂNSAL ÇÖZÜMLER**

EDİTÖR
DR. ÖĞR. ÜYESİ RECEP ÇAKIR

EĞİTİM
yayınevi

HARİTA MÜHENDİSLİĞİNDE AKILLI TEKNOLOJİLER VE MEKÂNSAL ÇÖZÜMLER

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Recep Çakır

Yayınevi Grubu Genel Başkanı: Yusuf Ziya Aydoğan (yza@egitimyayinevi.com)

Genel Yayın Yönetmeni: Yusuf Yavuz (yusufyavuz@egitimyayinevi.com)

Sayfa Tasarımı: Kübra Konca Nam

Kapak Tasarımı: Eğitim Yayınevi Tasarım Birimi

T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı

Yayıncı Sertifika No: 76780

E-ISBN: 978-625-8793-88-8

1. Baskı, Haziran 2026

Kütüphane Kimlik Kartı

HARİTA MÜHENDİSLİĞİNDE AKILLI TEKNOLOJİLER VE MEKÂNSAL ÇÖZÜMLER

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Recep Çakır

E-ISBN: 978-625-8793-88-8

III+63 s., 135x215 mm

Kaynakça var, izin yok.

Copyright © Bu kitabın Türkiye'deki her türlü yayın hakkı Eğitim Yayınevi'ne aittir. Bütün hakları saklıdır. Kitabın tamamı veya bir kısmı 5846 sayılı yasanın hükümlerine göre kitabı yayımlayan firmanın ve yazarlarının önceden izni olmadan elektronik/mekanik yolla, fotokopi yoluyla ya da herhangi bir kayıt sistemi ile çoğaltılamaz, yayımlanamaz.

EĞİTİM
YAYINEVİ

Yayınevi Türkiye Ofis:

Konya: Eğitim Yayınevi Tic. Ltd. Şti., Fevzi Çakmak Mah. 10721 Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye

İstanbul: Salon Yayınları, Atakent mah., Yasemen sok., No: 4/B, Ümraniye, İstanbul, Türkiye

Santral: +90 332 351 92 85

Editör hatları: +90 533 151 50 42, +90 507 151 50 43

bilgi@egitimyayinevi.com

Yayınevi Amerika Ofis: New York: Egitim Publishing Group, Inc.

P.O. Box 768/Armonk, New York, 10504-0768, United States of America

americaoftice@egitimyayinevi.com

Lojistik ve Sevkiyat Merkezi: Kitapmatik Lojistik ve Sevkiyat Merkezi, Fevzi Çakmak Mah. 10721

Sok. B Blok, No: 16/B, Safakent, Karatay, Konya, Türkiye

İnternet Satış: www.kitapmatik.com.tr

Whatsapp hattı: +90 553 950 50 37

bilgi@kitapmatik.com.tr

Kitabevi Şubesi: Eğitim Kitabevi, Şükran mah. Rampalı 121, Meram, Konya, Türkiye

Whatsapp hattı: +90 501 651 92 85

bilgi@egitimkitabevi.com

EĞİTİM YAYINEVİ
GRUBU

EĞİTİM
YAYINEVİ

SALON
YAYINLARI

Kitapmatik
YAYINLARI

Kitapmatik
EĞİTİM YAYINEVİ

EĞİTİM
KITABEVİ

İÇİNDEKİLER

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNDE GEOAI: TEMELLER, YÖNTEMLER VE UYGULAMALAR.....	1
---	----------

Ramazan Yoldaş Satılmış

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ İLE ENTEGRE KAPALI ALAN KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ: TEKNOLOJİLER VE UYGULAMALAR.....	16
--	-----------

Ramazan Yoldaş Satılmış

UZAKTAN ALGILAMADAN YAPAY ZEKÂYA: MEKÂNSAL VERİ ANALİZİNDE DÖNÜŞÜM	35
---	-----------

Müslüm Altun

KENTSEL GELİŞİM SÜRECİNDE 18. MADDE UYGULAMALARININ ROLÜ	50
---	-----------

Hasan Çevik

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİNDE GEOAI: TEMELLER, YÖNTEMLER VE UYGULAMALAR

Ramazan Yoldaş Satılmış*

GİRİŞ

Coğrafi Yapay Zeka (GeoAI), Coğrafi Bilgi Bilimi (GIScience) ile Yapay Zeka (AI) tekniklerinin kesişiminde şekillenen ve giderek olgunlaşan disiplinlerarası bir araştırma alanıdır. Temel amacı, yalnızca coğrafi veriyi analiz etmek değil, aynı zamanda bu verinin içinde saklı olan mekânsal ilişkileri, örüntüleri ve süreçleri anlamlandırarak büyük ölçekli mekânsal veri yığınlarından anlamlı bilgi üretmektir (Janowicz vd., 2020; Lavallin ve Downs, 2021). Bu yönüyle GeoAI, klasik anlamda “veri işleyen” bir yaklaşım olmanın ötesine geçerek, coğrafi düşünme biçimini algoritmik sistemlere taşıyan yeni bir analitik paradigma olarak değerlendirilmektedir.

Günümüzde uydu sensörleri, insansız hava araçları, IoT tabanlı şehir sensörleri ve mobil cihazlar aracılığıyla üretilen coğrafi veri miktarı, hem hacim hem de çeşitlilik açısından geleneksel CBS iş akışlarının sınırlarını zorlamaktadır. Bu veri patlaması yalnızca daha güçlü hesaplama altyapılarını değil, aynı zamanda veriyi yorumlama biçimlerinde de köklü bir dönüşümü gerekli kılmıştır. GeoAI tam da bu noktada devreye girerek, mekânsal bağımlılık (spatial dependency), ölçek etkisi ve mekânsal heterojenlik gibi coğrafyaya özgü kuramsal ilkeleri öğrenme süreçlerinin

* Öğr. Gör. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Çameli Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Denizli, rsatilmis@pau.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0003-2907-4022

içine entegre etmektedir. Böylece modeller, yalnızca “nerede ne var?” sorusuna değil, aynı zamanda “neden orada?” sorusuna da yaklaşabilen bir yapıya kavuşmaktadır.

GeoAI’nin gelişimi, bilgisayar bilimi ile coğrafyanın uzun yıllara dayanan etkileşiminin doğal bir sonucudur. Erken dönemlerde kullanılan istatistiksel yöntemler ve mekânsal regresyon modelleri, daha çok betimleyici ve açıklayıcı analizlere odaklanırken; 2012 sonrası derin öğrenme devrimiyle birlikte, özellikle görüntü tabanlı uzaktan algılama uygulamalarında önemli bir kırılma yaşanmıştır. Evrişimli Sinir Ağları (CNN) gibi mimariler sayesinde arazi örtüsü sınıflandırması, nesne tespiti ve değişim analizi gibi görevler, manuel özellik mühendisliğine ihtiyaç duymadan yüksek doğrulukla gerçekleştirilebilir hale gelmiştir (Zhu vd., 2017).

2020’li yıllara gelindiğinde ise GeoAI literatürü daha da ileri bir aşamaya geçerek, tek bir göreve özel tasarlanan modellerden, geniş ölçekli ve çok amaçlı öğrenme kapasitesine sahip Mekânsal Temel Modeller (Geospatial Foundation Models) yaklaşımına evrilmiştir (Lu vd., 2024; Xiao vd., 2025). Bu yeni nesil modeller, yalnızca belirli bir problemi çözmekle sınırlı kalmayıp, farklı coğrafi bağlamlara uyarlanabilen esnek bir öğrenme yapısı sunmaktadır. Böylece GeoAI, hem akademik araştırmalarda hem de pratik CBS uygulamalarında daha genelleştirilebilir ve ölçeklenebilir bir çerçeve haline gelmiştir.

Bu bölümde GeoAI’nin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile nasıl bütünleştiği, bu bütünleşmenin hangi teknik ve kuramsal dönüşümlerle mümkün hale geldiği ve ortaya çıkan yeni analitik kapasitenin toplumsal ve bilimsel etkileri ele alınmaktadır. Amaç, yalnızca teknolojik bir gelişimi anlatmak değil; aynı zamanda GeoAI’nin coğrafi düşüncüyü

nasıl yeniden şekillendirdiğini ve insanın mekânı anlama biçimini nasıl dönüştürdüğünü ortaya koymaktır.

GEOAI'NİN KAVRAMSAL TEMELLERİ

GeoAI, “mekânsal olarak belirgin” (spatially explicit) modelleme yaklaşımına dayanır. Bu yaklaşım, yapay zekâ modellerinin yalnızca değişkenler arasındaki istatistiksel ilişkileri öğrenmesini yeterli görmez; aynı zamanda mesafe, komşuluk, erişilebilirlik ve ölçek gibi coğrafi ilişkilerin de modelin yapısına doğrudan dahil edilmesini gerekli kılar (Janowicz vd., 2020). Çünkü coğrafi veride bir gözlemin anlamı, bulunduğu konum ve çevresiyle kurduğu ilişkiden bağımsız düşünülemez.

Bu çerçevede mekânsal otokorelasyon ve mekânsal heterojenlik, GeoAI modellerinin tasarımında temel belirleyicilerdir. Mekânsal otokorelasyon, birbirine yakın konumların benzer özellikler gösterme eğilimini ifade ederken; mekânsal heterojenlik, bu ilişkilerin farklı bölgelerde değişkenlik göstermesini anlatır. Bu iki ilke, GeoAI’nin klasik makine öğrenmesi yaklaşımlarından ayrıldığı en temel noktalardan biridir.

Kuramsal olarak GeoAI, Mekânsal Bilgi Keşfi (Geographic Knowledge Discovery) sürecine dayanır. Bu süreçte veri, yalnızca analiz edilen bir girdi değil, anlam üretim sürecinin aktif bir bileşeni olarak ele alınır. Böylece model, veriyi sadece işleyen bir araç olmaktan çıkar; verinin yapısıyla birlikte öğrenen bir yapıya dönüşür.

Bu bağlamda “Pragmatik GeoAI” yaklaşımı, modellerin başarısını yalnızca doğruluk üzerinden değerlendirmeyi yeterli görmez. Veri kaynağının güvenilirliği (provenance), kalitesi ve kullanım amacına uygunluğu (fitness for purpose) da değerlendirme sürecinin önemli parçalarıdır (Scheider ve

Richter, 2023). Bu yaklaşım, GeoAI'nin yalnızca teknik bir problem alanı değil, aynı zamanda veri etiği ve bağlamsal doğruluk gerektiren bir alan olduğunu gösterir.

Genel olarak GeoAI, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) içinde statik harita üretiminden dinamik, tahminleyici ve karar destek sistemlerine geçişi temsil eder. Açıklanabilir yapay zekâ (XAI) yaklaşımlarının da sürece dahil olmasıyla birlikte, sistemlerin yalnızca sonuç üretmesi değil, bu sonuçların gerekçelerinin de anlaşılabilir olması hedeflenmektedir (Janowicz vd., 2020; De Sabbata vd., 2023).

GEOAI'NİN TARİHSEL GELİŞİMİ

GeoAI'nin kökleri, 1950'li yıllarda Turing'in “öğrenen makineler” vizyonuna ve 1960'larda geliştirilen ilk perceptron çalışmalarına kadar uzanır. Ancak coğrafi bilimlerle gerçek anlamda kesişimi, 1980'li yıllarda mekânsal analiz ve bilgisayar destekli haritalama tekniklerinin gelişmesiyle belirgin hale gelmiştir. Bu süreç, zaman içinde üç temel evrede ele alınabilir (Lavallin ve Downs, 2021; Zhu vd., 2017).

Klasik Makine Öğrenmesi Dönemi (1990–2010), GeoAI'nin CBS uygulamalarıyla daha sistematik biçimde bulunduğu evredir. Bu dönemde Yapay Sinir Ağları (ANN), Random Forest (RF) ve Destek Vektör Makineleri (SVM) gibi yöntemler, özellikle arazi örtüsü sınıflandırması, çevresel modelleme ve afet duyarlılık analizlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Aynı dönemde CBS yazılımları, bu algoritmaları doğrudan kullanıcıya sunan araç setlerini bünyelerine entegre ederek analitik kapasiteyi genişletmiştir.

Derin Öğrenme Devrimi (2012–2020), GeoAI açısından önemli bir kırılma noktasıdır. 2012 yılında AlexNet’in başarısı ile birlikte Evrişimli Sinir Ağları (CNN) mimarileri hızla yaygınlaşmış ve özellikle uydu görüntüsü analizlerinde standart yaklaşım haline gelmiştir. Bu dönemde artan hesaplama gücü (GPU kullanımı) ve büyük veri setlerinin erişilebilirliği, piksel düzeyinde detaylı analizleri mümkün kılmıştır. U-Net gibi mimariler sayesinde görüntü segmentasyonu ve nesne tespiti görevleri yüksek doğrulukla gerçekleştirilebilir hale gelmiştir (Zhu vd., 2017).

Temel Modeller ve Transformer Çağı (2021–günümüz) ise GeoAI’nin en güncel evresini temsil eder. Vision Transformer (ViT) tabanlı mimarilerin yükselişiyle birlikte, büyük ve etiketsiz veri setleri üzerinde öz-denetimli öğrenme (self-supervised learning) yaklaşımı yaygınlaşmıştır. Bu yeni nesil modeller, yalnızca belirli bir göreve değil, çok çeşitli coğrafi problemlere uyarlanabilen genel amaçlı sistemler olarak öne çıkmaktadır (Lu vd., 2024). Böylece GeoAI, tekil problem çözümlerinden ziyade, farklı CBS görevlerini bütüncül biçimde ele alabilen daha esnek bir analitik yapıya doğru evrilmiştir.

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ VE YAPAY ZEKÂ ENTEGRASYONU

Günümüz CBS ekosistemi, GeoAI ile giderek daha derin ve bütünleşik bir yapıya dönüşmektedir. Bu dönüşüm yalnızca yeni analiz yöntemlerinin eklenmesiyle sınırlı değildir; aynı zamanda verinin toplanmasından işlenmesine, analizinden görselleştirilmesine kadar tüm iş akışının yeniden şekillenmesini ifade eder. Bu entegrasyon süreci, özellikle WebGIS, bulut bilişim altyapıları ve dijital ikiz teknolojileri ile desteklenmektedir.

ArcGIS ve GeoAnalytics gibi modern CBS platformları, GeoAI'nin pratik uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. ArcGIS Pro gibi yazılımlar, derin öğrenme modellerinin doğrudan CBS iş akışlarına entegre edilmesini sağlayan hazır araç setleri ve Python tabanlı API'ler (ArcGIS API for Python) sunmaktadır. Bu sayede kullanıcılar, yalnızca veri görselleştirmekle kalmayıp, aynı ortam içinde model eğitebilmekte ve çıkarım (inference) süreçlerini gerçekleştirebilmektedir (Lavallin ve Downs, 2021; Demissie vd., 2024).

Bununla birlikte Mekânsal Veri Altyapıları (SDI) ve WebGIS teknolojileri, GeoAI'nin ölçeklenebilirliğini önemli ölçüde artırmıştır. Geleneksel masaüstü CBS uygulamalarının aksine, WebGIS platformları tarayıcı üzerinden erişilebilen, dağıtık ve sürekli güncellenen bir yapı sunar. Google Earth Engine (GEE) gibi bulut tabanlı sistemler ise milyarlarca uydu görüntüsünü işleyebilecek kapasiteye sahip altyapılar sağlayarak GeoAI algoritmalarının küresel ölçekte uygulanmasına olanak tanımaktadır (Demissie vd., 2024; Munawar vd., 2022).

Bir diğer önemli dönüşüm alanı ise Dijital İkizler (Digital Twins) yaklaşımıdır. Bu yaklaşımda GeoAI, şehirlerin ve çevresel sistemlerin statik CBS verilerini, IoT sensörlerinden gelen gerçek zamanlı verilerle birleştirerek dinamik ve yaşayan dijital modeller oluşturur. Bu dijital kopyalar, kentsel süreçlerin izlenmesini, analiz edilmesini ve yapay zekâ destekli senaryolar üzerinden simüle edilmesini mümkün kılar (De Sabbata vd., 2023; Scheider ve Richter, 2023). Böylece CBS, yalnızca mevcut durumu temsil eden bir sistem olmaktan çıkarak, geleceğe yönelik tahmin ve karar üretme kapasitesine sahip dinamik bir yapıya dönüşür.

GEOAI'DE KULLANILAN YÖNTEMLER

GeoAI alanında kullanılan yöntemler, klasik makine öğrenmesinden başlayarak günümüzde büyük ölçekli temel modellere kadar uzanan geniş bir yelpazeye sahiptir. Bu çeşitlilik, coğrafi verinin hem yapısal karmaşıklığından hem de uygulama alanlarının çeşitliliğinden kaynaklanmaktadır.

Makine Öğrenmesi

Geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları, özellikle veri miktarının sınırlı olduğu ve model yorumlanabilirliğinin önemli olduğu durumlarda hâlâ temel bir rol oynamaktadır. Random Forest (RF) ve Extreme Gradient Boosting (XGBoost) gibi yöntemler, özellikle heyelan ve taşkın duyarlılık haritalama çalışmalarında güçlü performanslarıyla öne çıkmaktadır (Demissie vd., 2024; Lavallin ve Downs, 2021). Bunun yanında, Stack Generalization gibi topluluk öğrenme yaklaşımları, birden fazla modelin çıktısını bir araya getirerek daha dengeli ve yüksek doğruluklu tahminler üretmektedir.

Derin Öğrenme ve CNN Mimarileri

Derin öğrenme, veriden otomatik olarak hiyerarşik özellikler çıkarabilmesi sayesinde GeoAI alanında önemli bir dönüşüm yaratmıştır. Özellikle Evrişimli Sinir Ağları (CNN), uzaktan algılama görüntülerinde sınıflandırma ve nesne tespiti için standart bir yaklaşım haline gelmiştir (Zhu vd., 2017). CNN'ler, görüntü içerisindeki kenar, doku ve nesne gibi özellikleri katmanlı biçimde öğrenerek piksel düzeyinde yüksek hassasiyetli analizler yapabilir.

ResNet gibi derin mimariler ise gradyan kaybolma problemini aşarak daha derin ağların eğitilmesini mümkün kılmış ve karmaşık coğrafi yapıların modellenmesinde

önemli bir ilerleme sağlamıştır (Lu vd., 2024; Digra vd., 2022).

Vision Transformer (ViT) Modelleri

Vision Transformer (ViT) modelleri, görüntü analizini sıralı veri işleme yaklaşımına dönüştürerek farklı bir bakış açısı sunar. Görüntüleri küçük parçalara (patches) ayırır ve bu parçalar arasındaki ilişkileri öz-dikkat (self-attention) mekanizmasıyla öğrenir (Xiao vd., 2025). Bu yapı, özellikle uzun menzilli bağımlılıkların önemli olduğu büyük ölçekli mekânsal analizlerde avantaj sağlar.

CNN tabanlı yöntemler yerel özelliklere odaklanırken, ViT modelleri küresel bağlamı daha iyi yakalayarak karmaşık arazi desenlerinin yorumlanmasında daha esnek bir yapı sunmaktadır (Lu vd., 2024; Xiao vd., 2025).

Mekânsal Temel Modeller (GFMs)

Mekânsal Temel Modeller (Geospatial Foundation Models), GeoAI alanında son yıllarda ortaya çıkan en önemli dönüşümlerden biridir. Bu modeller, tek bir göreve özel olarak eğitmek yerine, büyük ve çoğunlukla etiketsiz veri setleri üzerinde öz-denetimli öğrenme (self-supervised learning) ile geliştirilir. Daha sonra farklı görevlerde (örneğin sel tespiti, arazi sınıflandırması veya nesne çıkarımı) uyarlanabilir hale gelirler (Lu vd., 2024; Xiao vd., 2025).

Prithvi: IBM Research ve NASA tarafından geliştirilen Prithvi modeli, zaman-mekânsal Vision Transformer (ViT) tabanlı bir Masked Autoencoder mimarisine sahiptir. NASA'nın Harmonized Landsat Sentinel-2 (HLS) veri seti üzerinde eğitilmiştir ve yaklaşık 100 milyon parametreye sahiptir. Sel haritalama, orman değişimi izleme ve tarımsal sınıflandırma gibi görevlerde kullanılmaktadır. Özellikle az

etiketli veriyle hızlı uyum sağlayabilmesi önemli bir avantajdır (Xiao vd., 2025). Bununla birlikte, başlangıçta daha çok optik veriye odaklanması ve eğitim verisinin coğrafi dağılımının sınırlı olması dikkat çeken sınırlılıklar arasındadır.

SkySense: SkySense, Ant Group ve Wuhan Üniversitesi iş birliğiyle geliştirilen çok ölçekli ve çok modlu bir modeldir. 21 milyondan fazla optik ve SAR görüntüsünden oluşan geniş bir veri seti üzerinde eğitilmiştir ve 2.06 milyar parametre ile alandaki en büyük modellerden biridir. Hem optik hem de radar verisini birlikte işleyebilmesi, onu çok yönlü hale getirir. Ancak bu ölçek, yüksek hesaplama maliyetini de beraberinde getirmektedir (Lu vd., 2024; Xiao vd., 2025).

GeoCLIP: GeoCLIP, görüntüler ile coğrafi koordinatları aynı temsil uzayında hizalamayı amaçlayan CLIP tabanlı bir modeldir. Dünya genelinden toplanan konum etiketli uydu ve sokak görüntüleriyle eğitilmiştir. En önemli özelliği, GPS koordinatlarını sürekli bir fonksiyon olarak temsil edebilmesidir. Bu sayede hassas konum tahmini ve görsel arama gibi görevlerde kullanılabilir (Xiao vd., 2025). Ancak görsel olarak benzer farklı coğrafyaları ayırt etmede zaman zaman zorlanabilmektedir.

SatCLIP: Microsoft Research ve Amsterdam Üniversitesi tarafından geliştirilen SatCLIP, konum bilgisini küresel harmonikler ile kodlayarak Vision Transformer mimarisıyla birleştirir. Sentinel-2 tabanlı S2-100K veri seti üzerinde eğitilmiştir. Nüfus yoğunluğu ve çevresel değişkenlerin tahmini gibi görevlerde kullanılmaktadır. Coğrafi olarak dengeli bir temsil üretmesi önemli bir avantajdır; ancak veri miktarının büyük modellere kıyasla sınırlı olması bir dezavantajdır (Xiao vd., 2025).

EarthPT: EarthPT, otoregresif Transformer mimarisine dayanan ve zaman serisi uydu görüntülerini modelleyen bir yaklaşımdır. Sentinel-2 zaman serileri üzerinde eğitilmiştir ve yaklaşık 700 milyon parametreye sahiptir. Gelecekteki çevresel değişimlerin tahmini ve tarımsal süreçlerin izlenmesinde kullanılır. Bununla birlikte, bulutluluk gibi çevresel faktörler performans üzerinde etkili olabilmektedir (Lu vd., 2024).

PANGAEA ve Çok Modlu GeoAI: PANGAEA modeli, optik, SAR, termal ve yükseklik verilerini bir araya getiren çok modlu bir yapıya sahiptir. Farklı sensörlerden gelen verileri birlikte işleyerek özellikle karmaşık arazi analizlerinde ve afet sonrası hasar tespitinde güçlü sonuçlar üretir. Ancak farklı veri türlerinin geometrik ve çözünürlük uyumunu sağlamak teknik açıdan zorlu bir süreçtir (Xiao vd., 2025).

GEOAI UYGULAMA ALANLARI

GeoAI'nin en güçlü yönlerinden biri, çok farklı ölçeklerde ve disiplinlerde uygulanabilmesidir. Uydu görüntülerinden şehir planlamasına, afet yönetiminden halk sağlığına kadar geniş bir yelpazede mekânsal karar süreçlerini dönüştürmektedir.

Arazi Kullanımı ve Arazi Örtüsü Analizleri

Arazi kullanımı ve arazi örtüsü (LULC) analizleri, GeoAI uygulamalarının en olgun ve yaygın alanlarından biridir. Derin öğrenme modelleri ve mekânsal temel modeller, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden ormansızlaşmanın izlenmesi, tarım alanlarının sınıflandırılması ve kentsel büyümenin haritalanması gibi görevlerde etkin şekilde kullanılmaktadır. Özellikle Sentinel ve Landsat veri setleri üzerinden yapılan analizler, küresel

ölçekte arazi değişimlerinin düzenli olarak izlenmesini mümkün kılmaktadır (Digra vd., 2022; Lu vd., 2024).

Uzaktan Algılama

GeoAI, uzaktan algılama alanında hem görüntü yorumlama hem de görüntü iyileştirme süreçlerini önemli ölçüde otomatikleştirmiştir. Nesne tespiti (gemi, uçak, bina gibi), görüntü çözünürlüğünün artırılması (super-resolution) ve atmosferik bozulmaların giderilmesi gibi görevlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Özellikle hiperspektral ve SAR görüntülerinin analizinde, boyut indirgeme ve gürültü azaltma gibi işlemler GeoAI modelleri sayesinde daha etkin hale gelmiştir. Bu durum, karmaşık sensör verilerinin daha hızlı ve güvenilir biçimde yorumlanmasına olanak tanımaktadır (Zhu vd., 2017; Xiao vd., 2025).

Afet Yönetimi

Afet yönetimi, GeoAI'nin doğrudan insan hayatını etkileyen en kritik uygulama alanlarından biridir. Taşkın ve heyelan gibi doğal afetlerin risk haritalanmasında, Random Forest (RF) ve XGBoost gibi makine öğrenmesi modelleri; topoğrafya, yağış ve zemin özellikleri gibi çok sayıda değişkeni birlikte değerlendirerek risk bölgelerini belirleyebilmektedir (Demissie vd., 2024).

Bunun yanında, afet sonrası hızlı müdahale süreçlerinde GeoAI tabanlı görüntü analizleri büyük önem taşır. Özellikle insansız hava araçları (İHA) veya uydu görüntülerinden elde edilen veriler kullanılarak yıkım tespiti saniyeler içinde yapılabilmekte ve afet yönetim ekiplerine hızlı karar desteği sağlanmaktadır (Munawar vd., 2022; Lu vd., 2024).

Akıllı Şehirler

Akıllı şehir uygulamalarında GeoAI, kentsel yaşamın birçok boyutunu analiz etmek için kullanılmaktadır. Trafik akışının tahmini, yaya erişilebilirliğinin ölçülmesi ve enerji tüketim modellerinin çıkarılması bu alanın temel uygulamaları arasındadır.

Sokak görünümü görüntüleri (Street View) ile yapay zekâ modellerinin birlikte kullanılması, kentsel dokunun fiziksel özelliklerinin yanı sıra sosyo-ekonomik göstergelerin de dolaylı olarak analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca GeoAI, kentsel ısı adası etkisinin belirlenmesi gibi çevresel analizlerde de önemli bir rol üstlenmektedir (De Sabbata vd., 2023; Xiao vd., 2025).

Halk Sağlığı

Halk sağlığı alanında GeoAI, “geomedicine” yaklaşımı çerçevesinde hastalıkların mekânsal yayılımını anlamak ve çevresel faktörlerin insan sağlığı üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılmaktadır. Hava kirliliği, gürültü düzeyi ve çevresel maruziyet gibi değişkenler, bireylerin konumsal verileriyle birlikte değerlendirilerek sağlık risk modelleri oluşturulmaktadır (Kamel Boulos vd., 2019).

Özellikle COVID-19 pandemisi sürecinde, hareketlilik verilerinin yapay zekâ ile analiz edilmesi, hastalığın yayılımının anlaşılması ve kontrol stratejilerinin geliştirilmesinde CBS ile entegre şekilde önemli katkılar sunmuştur.

TARTIŞMA VE ARAŞTIRMA BOŞLUKLARI

GeoAI literatüründe en temel tartışma alanlarından biri, derin öğrenme ve temel model tabanlı yaklaşımların “kara kutu” (black-box) niteliğidir. Bu durum, modellerin belirli

bir mekânsal karara nasıl ulaştığının açıklanmasını zorlaştırmakta ve açıklanabilir yapay zekâ (XAI) ihtiyacını artırmaktadır (Janowicz vd., 2020; De Sabbata vd., 2023).

Bir diğer önemli sorun, modellerin mekânsal genellenebilirlik kapasitesidir. Bir bölgede eğitilen modellerin farklı coğrafyalarda (örneğin Avrupa’da eğitilen bir modelin Afrika koşullarında) performans kaybı yaşaması, mekânsal heterojenliğin doğrudan bir sonucudur ve GeoAI uygulamalarının evrenselliğini sınırlamaktadır.

Bunlara ek olarak veri gizliliği, etik kullanım sorunları ve “deepfake coğrafyalar” gibi sentetik mekânsal veri üretimi riskleri, GeoAI’nin geleceğinde dikkatle ele alınması gereken kritik başlıklardır.

Bu bağlamda, güncel mekânsal temel modellerin farklı mimari ve veri yapıları açısından nasıl ayrıştığını görmek önemlidir. Seçili modellerin karşılaştırması Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Seçili Mekânsal Temel Modellerin Karşılaştırılması

Model Adı	Geliştirici Kurum	Mimari Yapı	Temel Kullanım Alanları
Prithvi	IBM Research & NASA	ViT tabanlı Masked Autoencoder	Afet haritalama, tarım, arazi örtüsü analizi
SkySense	Ant Group & Wuhan University	Çok modlu spatiotemporal ViT	Evrensel uzaktan algılama, değişim analizi
GeoCLIP	UCF & Stanford University	CLIP tabanlı hizalama modeli	Hassas konum belirleme, görsel arama
SatCLIP	Microsoft Research & Univ. of Amsterdam	ViT + küresel harmonik konum kodlama	Mekânsal temsil, çevresel tahmin
EarthPT	University of Hertfordshire	Otoregresif Transformer	Zaman serisi analiz, çevresel tahmin

GELECEĞİ VE YAPAY CBS ANALİSTİ

GeoAI'nin uzun vadeli hedefi, yalnızca daha büyük ve daha doğru modeller geliştirmek değil, aynı zamanda insanla doğal etkileşim kurabilen mekânsal karar sistemleri oluşturabilmektir.

Bu bağlamda “Yapay CBS Analisti” kavramı, 2030 yılına kadar mekânsal bir Turing Testini geçebilecek sistemlerin geliştirilmesini hedeflemektedir (Janowicz vd., 2020). Bu sistemler, kullanıcıların doğal dilde sorduğu karmaşık soruları anlayarak gerekli veriyi toplar, analiz eder ve sonuçları harita veya rapor olarak sunar.

Örneğin, “Bu şehirde güneş enerjisi potansiyeli en yüksek binaları belirle” gibi bir sorgu, doğrudan CBS iş akışına dönüştürülebilir. Büyük Dil Modelleri (LLM) ile GeoAI sistemlerinin entegrasyonu (örn. GeoChat yaklaşımları), bu hedefe giden önemli adımlardan biridir (Xiao vd., 2025).

SONUÇ VE ÖNERİLER

GeoAI, Coğrafi Bilgi Sistemlerini statik veri depolama ve sorgulama araçlarından, dinamik ve öğrenen karar destek sistemlerine dönüştürmüştür. Klasik makine öğrenmesinden Vision Transformer ve mekânsal temel modellere uzanan süreç, coğrafi verinin çok katmanlı yapısını daha etkin şekilde analiz etmeyi mümkün kılmıştır.

Bununla birlikte alanın geleceği yalnızca model ölçeğinin büyümesine değil, açıklanabilirlik, etik kullanım ve mekânsal genellenebilirlik gibi temel sorunların çözümüne bağlıdır. GeoAI'nin gerçek potansiyeli, daha büyük modeller üretmekten çok, coğrafi düşüncüyü yapay zekâ sistemleriyle daha uyumlu hale getirebilmekte yatmaktadır.

KAYNAKÇA

- De Sabbata, S., Ballatore, A., Miller, H. J., Sieber, R., Tyukin, I., ve Yeboah, G. (2023). GeoAI in urban analytics. *International Journal of Geographical Information Science*, 37(12), 2455–2463.
- Demissie, Z., Rimal, P., Seyoum, W. M., vd. (2024). Flood susceptibility mapping: Integrating machine learning and GIS for enhanced risk assessment. *Applied Computing and Geosciences*, 23, 100183.
- Digra, M., Dhir, R., ve Sharma, N. (2022). Land use land cover classification of remote sensing images based on the deep learning approaches: a statistical analysis and review. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, 1003.
- Janowicz, K., Gao, S., McKenzie, G., Hu, Y., ve Bhaduri, B. (2020). GeoAI: spatially explicit artificial intelligence techniques for geographic knowledge discovery and beyond. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(4), 625–636.
- Kamel Boulos, M. N., Peng, G., ve VoPham, T. (2019). An overview of GeoAI applications in health and healthcare. *International Journal of Health Geographics*, 18(7).
- Lavallin, A., ve Downs, J. A. (2021). Machine learning in geography—Past, present, and future. *Geography Compass*, 15, e12563.
- Lu, S., Guo, J., Zimmer-Dauphinee, J. R., vd. (2024). Vision Foundation Models in Remote Sensing: A Survey. *ArXiv Preprint*, 2408.03464v2.
- Munawar, H. S., Hammad, A. W. A., ve Waller, S. T. (2022). Remote Sensing Methods for Flood Prediction: A Review. *Sensors*, 22(3), 960.
- Scheider, S., ve Richter, K. F. (2023). GeoAI. *KI - Künstliche Intelligenz*, 37, 5–9.
- Xiao, A., Xuan, W., Wang, J., vd. (2025). Foundation Models for Remote Sensing and Earth Observation: A Survey. *ArXiv Preprint*, 2410.16602v3.
- Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., vd. (2017). Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 5(4), 8–36.

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE ENTEGRE KAPALI ALAN KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ: TEKNOLOJİLER VE UYGULAMALAR

Ramazan Yoldaş SATILMIŞ**

GİRİŞ

Kentleşme hızının artması ve yapıların mimari açıdan giderek daha karmaşık hâle gelmesi, insanların günlük yaşamlarının büyük bir bölümünü kapalı alanlarda geçirmesine neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar, bireylerin zamanlarının yaklaşık %80 ile %90'ını kapalı ortamlarda geçirdiğini ortaya koymakta olup bu durum havaalanları, büyük ölçekli hastaneler, alışveriş merkezleri, üniversite kampüsleri ve benzeri karmaşık yapıların etkin bir şekilde yönetilmesini önemli bir gereklilik hâline getirmektedir (Deng vd., 2013; Teixeira vd., 2021). Buna paralel olarak kullanıcıların bina içerisindeki konumlarının doğru biçimde belirlenmesi güvenilir yönlendirme hizmetlerinin sunulması ve mekânsal karar destek süreçlerinin geliştirilmesine yönelik ihtiyaç da giderek artmaktadır.

Dış mekân konumlandırma uygulamalarında yaygın olarak kullanılan Küresel Konum Belirleme Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems-GNSS), yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlamasına rağmen bina elemanlarının uydu sinyallerini engellemesi veya zayıflatması ile çok yollu yayılım (multipath) etkileri

** Öğr. Gör. Dr., Pamukkale Üniversitesi, Çameli Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Denizli, rsatilmis@pau.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0003-2907-4022

nedeniyle kapalı alanlarda istenen performansı sağlayamamaktadır (Deng vd., 2013; Çakır vd., 2024b). Bu temel teknik sınırlılık, son yıllarda kablosuz haberleşme teknolojileri, mobil cihaz sensörleri ve farklı veri füzyonu yaklaşımlarını temel alan Kapalı Alan Konum Belirleme Sistemlerinin (Indoor Positioning Systems, IPS) geliştirilmesini hızlandırmış ve bu alandaki araştırmaların önemli ölçüde artmasına neden olmuştur (Deng vd., 2022).

Bununla birlikte, kapalı alan konum belirleme yalnızca kullanıcı veya nesnelerin koordinat bilgilerinin elde edilmesine indirgenebilecek teknik bir süreç değildir. Elde edilen konum bilgilerinin bina geometrisi, kat yapısı, mekânsal ilişkiler ve anlamsal bilgilerle birlikte değerlendirilmesi, bu verilerin gerçek anlamda işlevsel hâle gelmesini sağlamaktadır (Teixeira vd., 2021). Bu noktada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), iç mekân verilerinin toplanması, depolanması, modellenmesi, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi için temel bir altyapı sunmakta; iki ve üç boyutlu mekânsal modellerin oluşturulması ile topolojik ilişkilerin tanımlanmasına olanak sağlamaktadır (Zhu vd., 2017).

Son yıllarda akıllı şehir uygulamaları, Nesnelerin İnterneti (IoT), büyük veri analitiği ve Sayısal İkiz (Digital Twin) yaklaşımlarındaki gelişmeler, kapalı alan CBS uygulamalarının önemini daha da artırmıştır. Günümüzde bina içi konum verileri yalnızca navigasyon amacıyla değil, enerji yönetimi, varlık takibi, güvenlik yönetimi, acil durum planlaması, bakım faaliyetleri ve afet sonrası müdahale süreçleri gibi çok sayıda farklı uygulama alanında karar destek mekanizmalarının temel bileşenlerinden biri olarak kullanılmaktadır (Heenkenda vd., 2025; Xia vd., 2022).

Bu bölümde, güncel kapalı alan konum belirleme teknolojileri kapsamlı bir bakış açısıyla ele alınmakta; söz konusu teknolojilerin CBS ve ilgili veri standartlarıyla bütünleşme süreçleri incelenmekte ve sağlık, eğitim, akıllı binalar, lojistik ve afet yönetimi gibi farklı uygulama alanlarındaki kullanım potansiyelleri değerlendirilmektedir. Ayrıca, alandaki güncel gelişmeler doğrultusunda gelecekte öne çıkması beklenen teknolojik eğilimler ve araştırma yönelimleri de tartışılmaktadır.

KAPALI ALAN KONUM BELİRLEME TEKNOLOJİLERİ

Kapalı alan konum belirleme sistemlerinde kullanılan teknolojiler; altyapı gereksinimleri, konum doğruluğu, maliyet, enerji tüketimi, ölçeklenebilirlik ve çevresel koşullardan etkilenme düzeyleri bakımından önemli farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle belirli bir teknoloji tüm kullanım senaryoları için ideal bir çözüm sunmamakta, uygulamanın gereksinimlerine bağlı olarak farklı yaklaşımlar veya bunların hibrit kombinasyonları tercih edilmektedir. Deng vd. (2022), bu sistemleri genel olarak kullanıcının aktif olarak bir cihaz taşıdığı aktif sistemler ile çevresel altyapının esas olduğu pasif sistemler şeklinde iki temel grupta değerlendirmektedir. Günümüzde ise yüksek doğruluk ve süreklilik elde edebilmek amacıyla birden fazla teknolojinin birlikte kullanıldığı çoklu sensör füzyonuna dayalı hibrit yaklaşımlar giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Wi-Fi ve Bluetooth Low Energy (BLE)

Wi-Fi tabanlı konum belirleme sistemleri, mevcut kablosuz ağ altyapısından yararlanabilmeleri sayesinde ek donanım yatırımı gerektirmemeleri ve geniş kullanım

alanına sahip olmaları nedeniyle en yaygın tercih edilen çözümler arasında yer almaktadır (Deng vd., 2013). Bu sistemlerde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri, Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (Received Signal Strength Indicator-RSSI) değerlerine dayalı parmak izi (fingerprinting) yaklaşımıdır. Söz konusu yöntemde farklı noktalardan elde edilen sinyal karakteristikleri önceden oluşturulan bir veri tabanıyla karşılaştırılarak kullanıcının konumu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte bina içindeki fiziksel engeller, kullanıcı yoğunluğu ve elektromanyetik girişimler RSSI değerlerinde önemli dalgalanmalara neden olabildiğinden, konum doğruluğu çoğu uygulamada yaklaşık 3–15 m aralığında değişmektedir (Jeon vd., 2018; Deng vd., 2022).

Son yıllarda Wi-Fi tabanlı sistemlerde yalnızca sinyal gücü yerine sinyalin genlik ve faz bileşenlerini de içeren Kanal Durum Bilgisi (Channel State Information-CSI) kullanılmaya başlanmıştır. CSI tabanlı yaklaşımlar, daha ayrıntılı çevresel bilgilerin değerlendirilmesine olanak sağlayarak yalnızca konum belirleme performansını artırmakla kalmamakta aynı zamanda insan hareketlerinin ve aktivitelerinin algılanmasına yönelik uygulamalarda da önemli avantajlar sunmaktadır (Wi-Fi Sensing, 2025).

Bluetooth Low Energy (BLE) veya Beacon teknolojisi ise düşük enerji tüketimi, ekonomik kurulum maliyeti ve mobil cihazlarla yüksek uyumluluğu sayesinde kapalı alan navigasyonunda yaygın biçimde kullanılan teknolojilerden biridir (Jeon vd., 2018; Çakır vd., 2024a). BLE tabanlı sistemlerde beacon cihazlarından yayılan sinyaller akıllı telefonlar veya diğer mobil cihazlar tarafından algılanmakta ve yakınlık (proximity), RSSI analizi veya üçgenleme (trilateration) gibi yöntemlerle kullanıcının konumu

belirlenmektedir. Özellikle ziyaretçi yönlendirme sistemleri, müzeler, alışveriş merkezleri ve sağlık tesisleri gibi yoğun kullanıcı trafiğine sahip yapılarda BLE teknolojisi pratik ve ekonomik çözümler sunmaktadır. Çakır vd. (2024b) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar, Beacon tabanlı sistemlerin karmaşık hastane ortamlarında yaklaşık %95 düzeyinde başarılı navigasyon performansı sağlayabildiğini ve çok katlı yapılarda kat geçişlerinin doğru biçimde belirlenmesinde etkili sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir.

RFID, Ultra Wideband (UWB) ve Diğer Teknolojiler

Radyo Frekansı ile Tanımlama (Radio Frequency Identification-RFID) teknolojisi özellikle nesne, ekipman ve personel takibi gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük maliyetli altyapısı ve hızlı kimlik doğrulama kapasitesi sayesinde lojistik süreçler ve varlık yönetimi açısından önemli avantajlar sunmasına karşın, sürekli ve yüksek hassasiyetli gerçek zamanlı navigasyon uygulamalarında kapsama alanı ve konum doğruluğu bakımından çeşitli sınırlılıklara sahiptir (Deng vd., 2013).

Buna karşılık Ultra Wideband (UWB) teknolojisi, çok kısa süreli ve geniş bantlı sinyal darbeleri kullanarak zaman tabanlı ölçümler gerçekleştirmekte ve bu sayede kapalı alanlarda oldukça yüksek konum doğruluğu sağlayabilmektedir. Özellikle uçuş süresi (Time of Flight-ToF) temelli hesaplamalar sayesinde santimetre seviyesine yaklaşan doğruluk değerleri elde edilebilmekte ve çoğu uygulamada 10-30 *cm* düzeyinde hassas konumlandırma mümkün olmaktadır (Deng vd., 2022; Heenkenda vd., 2025). Bu nedenle UWB teknolojisi; endüstriyel tesisler, üretim hatları, robotik uygulamalar ve yüksek hassasiyet

gerektiren gerçek zamanlı varlık takip sistemlerinde önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte özel altyapı gereksinimi ve görece yüksek kurulum maliyetleri, teknolojinin yaygın kullanımını sınırlandıran temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Atalet Ölçüm Birimleri (Inertial Measurement Unit-IMU) ile Yayalar İçin Ölü Hesaplama (Pedestrian Dead Reckoning-PDR) yöntemi ise akıllı telefonlarda bulunan ivmeölçer, jiroskop ve manyetometre gibi sensörlerden elde edilen verileri kullanarak altyapıdan bağımsız konum kestirimi gerçekleştirmektedir (Deng vd., 2013). Özellikle radyo sinyallerinin zayıf olduğu veya geçici olarak kesildiği ortamlarda konum sürekliliğinin sağlanmasına katkıda bulunan bu yöntemler, zaman içerisinde biriken hata (drift) nedeniyle tek başlarına uzun süreli kullanımlarda doğruluk kaybı yaşayabilmektedir. Bu nedenle IMU ve PDR tabanlı çözümler çoğunlukla Wi-Fi, BLE veya UWB gibi farklı teknolojilerle bütünleştirilerek hibrit sistemler şeklinde kullanılmaktadır (Deng vd., 2022).

Bunlara ek olarak son yıllarda bilgisayarlı görü tabanlı yöntemler ile Eşzamanlı Konum Belirleme ve Haritalama (Simultaneous Localization and Mapping-SLAM) algoritmaları da kapalı alan konum belirleme çalışmalarında dikkat çekmektedir. Görsel işaretleyiciler, kamera görüntüleri ve derin öğrenme tabanlı analizlerden yararlanan bu yaklaşımlar, yüksek işlem gücü gerektirmelerine rağmen özellikle robotik sistemler, artırılmış gerçeklik uygulamaları ve akıllı bina çözümlerinde yüksek doğruluk potansiyeli sunmaktadır (Teixeira vd., 2021). Güncel araştırmalar, gelecekte farklı sensörlerden elde edilen verilerin yapay zekâ destekli algoritmalarla bütünleştirildiği çoklu sensör füzyonu yaklaşımlarının, kapalı alan konum belirleme

sistemlerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini daha da artıracığını göstermektedir.

COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ İLE ENTEGRASYON

Kapalı alan konum belirleme sistemlerinden elde edilen verilerin yalnızca koordinat bilgisinden ibaret olması, karmaşık bina ortamlarında etkin mekânsal analiz ve karar destek süreçleri için yeterli değildir. Konum bilgilerinin oda, koridor, kat, merdiven ve benzeri mekânsal bileşenlerle birlikte değerlendirilmesi, bu bileşenler arasındaki topolojik ve anlamsal ilişkilerin modellenmesini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle kapalı alan konum verilerinin CBS ile bütünleştirilmesi, yalnızca navigasyon hizmetlerinin geliştirilmesi açısından değil, aynı zamanda mekânsal verilerin etkin yönetimi ve analiz edilebilmesi açısından da temel bir gereklilik olarak kabul edilmektedir (Kang ve Li, 2017).

İç Mekân CBS Kavramı ve Veri Modelleri

İç mekân CBS uygulamalarının temelini, kapalı alanların uygun veri modelleri ile temsil edilmesi oluşturmaktadır. Bu kapsamda kullanılan modeller genel olarak geometrik ve sembolik modeller şeklinde iki ana grupta ele alınmaktadır. Geometrik modeller; nokta, çizgi, poligon ve üç boyutlu geometriler aracılığıyla mekânın fiziksel özelliklerini ve metrik yapısını tanımlarken sembolik modeller esas olarak mekânsal birimler arasındaki hiyerarşik organizasyon ile topolojik ilişkilerin modellenmesine odaklanmaktadır (Heenkenda vd., 2025).

Her iki yaklaşımın kendine özgü avantajları bulunmakla birlikte, günümüzde geliştirilen kapalı alan CBS uygulamalarında hibrit veri modelleri daha yaygın biçimde

tercih edilmektedir. Bu sayede hem ayrıntılı geometrik gösterim sağlanabilmekte hem de navigasyon, erişilebilirlik analizi ve ağ tabanlı mekânsal sorgulamalar için gerekli olan ilişkisel yapı aynı model içerisinde temsil edilebilmektedir (Teixeira vd., 2021). Özellikle çok katlı ve karmaşık bina yapılarında kullanıcı hareketlerinin modellenmesi ve optimum rota analizlerinin gerçekleştirilmesi açısından bu bütünleşik yaklaşım önemli avantajlar sağlamaktadır.

IndoorGML Standartları

Kapalı alanlarda farklı sistemler arasında veri paylaşımının sağlanabilmesi ve birlikte çalışabilirliğin artırılması amacıyla geliştirilen IndoorGML, Açık Coğrafi Konsorsiyumu (OGC) tarafından önerilen en önemli standartlardan biri olarak kabul edilmektedir (Kang ve Li, 2017; Deng vd., 2022). Standart, yalnızca geometrik temsil sunmakla kalmayıp aynı zamanda iç mekân bileşenleri arasındaki topolojik ilişkilerin standartlaştırılmış bir veri modeli içerisinde tanımlanmasına da olanak sağlamaktadır.

IndoorGML yaklaşımında mekânlar hücresel (cellular) bir yapı içerisinde modellenmekte ve bu hücreler arasındaki bağlantılar Node-Relationship Graph (NRG) yapısı kullanılarak ifade edilmektedir (Kang ve Li, 2017). Böylece odalar, koridorlar, merdivenler ve diğer geçiş alanları arasındaki ilişkiler açık biçimde tanımlanabilmekte; en kısa yol hesaplamaları, erişilebilirlik analizleri ve dinamik navigasyon uygulamaları için uygun bir altyapı oluşturulabilmektedir.

IndoorGML 2.0 sürümüyle birlikte İlgi Noktaları (Point of Interest-PoI) yönetimi ve Esnek Mekân Bölümleme (Flexible Space Subdivision-FSS) gibi yeni özelliklerin eklenmesi, standardın farklı kullanım senaryolarına uyarlanabilirliğini önemli ölçüde artırmıştır (Diakit  vd.,

2020). Bunun yanı sıra yalnızca fiziksel mekânların değil, kullanım hakları, erişim kısıtları ve sorumluluk ilişkilerinin de modellenebilmesi amacıyla IndoorGML ile Arazi Yönetim Alan Modeli (Land Administration Domain Model-LADM) arasında bütünleşik yaklaşımlar önerilmektedir (Alattas vd., 2017). Bu tür entegrasyonların özellikle güvenlik gereksinimi yüksek kamu yapıları, üniversite kampüsleri ve akıllı bina uygulamalarında önemli katkılar sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

CityGML ve Üç Boyutlu İç Mekân Modellemesi

Kapalı alan verilerinin kent ölçeğindeki mekânsal bilgi sistemleriyle bütünleştirilmesinde üç boyutlu şehir modelleri önemli bir rol üstlenmektedir. Bu kapsamda geliştirilen CityGML standardı, bina geometrilerinin yalnızca görsel olarak temsil edilmesini değil, aynı zamanda yapı elemanlarının anlamsal özellikleriyle birlikte modellenmesini sağlayan uluslararası bir veri modeli olarak öne çıkmaktadır (Zhu vd., 2017; Zhu ve Wu, 2022). Böylece bina kabuğu, katlar, odalar ve diğer yapısal bileşenler standartlaştırılmış bir yapı içerisinde tanımlanabilmekte ve farklı uygulamalar arasında veri paylaşımı kolaylaştırılabilmektedir.

CityGML'in sunduğu çok seviyeli ayrıştırma (Level of Detail-LOD) yaklaşımı, farklı ölçeklerde mekânsal analizlerin gerçekleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Düşük ayrıştırma seviyelerinde kent ölçeğinde genel bina temsilleri oluşturulurken, daha yüksek ayrıştırma seviyelerinde bina iç mekânlarının ve yapısal bileşenlerinin ayrıntılı biçimde modellenmesi mümkün olmaktadır (Zhu vd., 2017). Bu özellik, özellikle üç boyutlu şehir modellemesi ile kapalı alan analizlerinin bütünleşik olarak yürütülmesini desteklemektedir.

Kapalı alan navigasyonu açısından değerlendirildiğinde ise CityGML ile IndoorGML birbirini tamamlayan iki farklı standart olarak düşünülebilir. CityGML daha çok geometrik ve semantik yapıların temsiline odaklanırken, IndoorGML kullanıcı hareketleri, erişilebilirlik ilişkileri ve navigasyon ağlarının modellenmesine yönelik topolojik bir yaklaşım sunmaktadır (Kim vd., 2014). Bu nedenle her iki standardın birlikte kullanılması hem ayrıntılı bina modellerinin oluşturulmasına hem de bu modeller üzerinde etkin rota planlama ve mekânsal analizlerin gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Son yıllarda özellikle GeoBIM ve dijital ikiz uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte CityGML tabanlı üç boyutlu şehir modellerinin BIM ve IndoorGML veri yapılarıyla bütünleşik olarak kullanılması yönündeki çalışmalar hız kazanmıştır. Bu bütünleşik yaklaşım sayesinde bina ölçeğinde üretilen ayrıntılı verilerin şehir ölçeğindeki CBS altyapılarıyla ilişkilendirilmesi mümkün olmakta; bakım yönetimi, enerji verimliliği analizleri, afet yönetimi ve akıllı şehir uygulamaları için daha kapsamlı mekânsal karar destek sistemleri geliştirilebilmektedir (Zhu ve Wu, 2022; Deng vd., 2022).

BIM ve CBS Entegrasyonu (GeoBIM)

Kapalı alan bilgi yönetimi alanındaki önemli gelişmelerden biri de Yapı Bilgi Modellemesi (Building Information Modeling-BIM) ile Coğrafi Bilgi Sistemlerinin bütünleşik olarak kullanılmasına yönelik yaklaşımlardır. BIM, yapıların tasarım ve inşaat süreçlerinden itibaren ayrıntılı geometrik ve anlamsal bilgileri içeren kapsamlı bir veri modeli sunarken, CBS bu bilgilerin daha geniş coğrafi ölçekte analiz edilmesine ve mekânsal karar destek

süreçlerinde kullanılmasına imkân vermektedir (Zhu ve Wu, 2022).

Bu doğrultuda geliştirilen GeoBIM yaklaşımı, IFC formatındaki BIM modellerinde bulunan ayrıntılı iç mekân bilgilerinin CityGML veya IndoorGML gibi CBS tabanlı veri modellerine aktarılmasını hedeflemektedir (Zhu ve Wu, 2022; Zhu vd., 2017). Böylece bina ölçeğinde oluşturulan detaylı geometrik ve semantik bilgiler, şehir ölçeğindeki mekânsal veri altyapılarıyla ilişkilendirilebilmekte ve bakım yönetimi, enerji analizi, acil durum planlaması ve dijital ikiz uygulamaları gibi çok sayıda farklı kullanım alanına entegre edilebilmektedir.

Kim vd. (2014), IFC veri yapılarının IndoorGML sınıflarına doğru ve tutarlı biçimde eşleştirilmesinin başarılı bir entegrasyon sürecinin temel bileşenlerinden biri olduğunu vurgulamaktadır. Bununla birlikte, BIM modellerinin CBS ortamına aktarılması sırasında geometri dönüşümleri, koordinat sistemleri arasındaki farklılıklar ve anlamsal eşleştirme (semantic mapping) süreçlerinden kaynaklanan çeşitli veri kayıpları ve uyumsuzluklar ortaya çıkabilmektedir (Zhu ve Wu, 2022). Bu nedenle güncel çalışmalar, birlikte çalışabilirliği artıracak standartların geliştirilmesi, otomatik dönüşüm yöntemlerinin iyileştirilmesi ve GeoBIM tabanlı bütünsel dijital ikiz altyapılarının oluşturulması üzerine yoğunlaşmaktadır.

BAŞLICA UYGULAMA ALANLARI

CBS ile entegre çalışan IPS, yalnızca kullanıcıların bina içerisinde yönlendirilmesini sağlayan teknolojiler olmanın ötesine geçmiş; kamu güvenliği, akıllı şehir uygulamaları, endüstriyel otomasyon ve tesis yönetimi gibi birçok alanda karar destek mekanizmalarının temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Gerçek zamanlı konum bilgilerinin

mekânsal veri altyapılarıyla bütünleştirilmesi sayesinde hem operasyonel süreçlerin optimize edilmesi hem de kullanıcı deneyiminin iyileştirilmesi mümkün olmaktadır.

Sağlık sektöründe IPS teknolojileri, özellikle karmaşık hastane yerleşkelerinde hasta yönlendirme, sağlık personelinin koordinasyonu ve kritik tıbbi ekipmanların gerçek zamanlı izlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Beacon tabanlı uygulamalar üzerine gerçekleştirilen çalışmalar, özellikle büyük ölçekli hastanelerde kullanıcıların hedef noktalara daha hızlı ulaşmasına katkı sağladığını ve acil durum müdahalelerinde operasyonel etkinliği artırdığını göstermektedir (Çakır vd., 2024b). Bunun yanında tıbbi cihazların konumlarının sürekli takip edilmesi ve acil müdahale ekipmanlarının optimum yerleşiminin planlanması gibi uygulamalar da sağlık hizmetlerinin verimliliğine önemli katkılar sunmaktadır (Deng vd., 2022).

Üniversite kampüsleri ve akıllı eğitim yerleşkeleri de CBS destekli kapalı alan konumlandırma sistemlerinin yoğun olarak uygulandığı alanlardan biridir. Bu tür uygulamalar yalnızca derslik navigasyonu ile sınırlı kalmamakta, aynı zamanda erişim haklarının yönetimi, kullanıcı yetkilendirmesi ve akıllı bina servislerinin etkin biçimde çalıştırılması gibi süreçleri de kapsamaktadır. Özellikle LADM tabanlı erişim yönetimi ile CBS altyapılarının birlikte kullanılması kampüs güvenliği ve mekânsal yönetim açısından yeni olanaklar sunmaktadır (Alattas vd., 2017; Çakır vd., 2024a).

Endüstriyel tesisler, üretim alanları ve lojistik merkezlerinde IPS teknolojileri; depo yönetimi, envanter kontrolü, iş güvenliği uygulamaları ve otonom mobil robotların navigasyonu gibi kritik süreçlerde yaygın biçimde kullanılmaktadır. RFID, BLE ve diğer sensör

teknolojileriyle elde edilen gerçek zamanlı konum verileri sayesinde üretim süreçleri daha etkin yönetilebilmekte, malzeme hareketleri izlenebilmekte ve operasyonel verimlilik artırılabilir (Jeon vd., 2018).

Benzer şekilde alışveriş merkezleri ve perakende sektöründe müşteri hareketlerinin analiz edilmesi, konum tabanlı hizmetlerin sunulması ve dijital ikiz altyapıları üzerinden mağaza operasyonlarının optimize edilmesi IPS teknolojilerinin önemli kullanım alanları arasında yer almaktadır. Gerçek zamanlı kullanıcı hareketlerinin analiz edilmesiyle mağaza yerleşim planlarının iyileştirilmesi, raf yönetiminin optimize edilmesi ve müşteri deneyiminin geliştirilmesine yönelik önemli kazanımlar elde edilmektedir (Deng vd., 2022; Heenkenda vd., 2025; Jeon vd., 2018).

Akıllı bina ve tesis yönetimi uygulamalarında ise kapalı alan CBS sistemleri, IoT altyapılarıyla birlikte çalışarak enerji tüketiminin izlenmesi, HVAC sistemlerinin optimize edilmesi, karbon emisyonlarının azaltılması ve bakım süreçlerinin etkin şekilde yönetilmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle GeoBIM tabanlı üç boyutlu modellerin kullanılması sayesinde bina performansının sürekli olarak izlenmesi ve dijital ikiz uygulamalarının geliştirilmesi mümkün hâle gelmektedir (Xia vd., 2022).

Afet ve acil durum yönetimi de kapalı alan CBS uygulamalarının en kritik kullanım alanlarından biridir. Yangın, deprem veya benzeri olağanüstü durumlarda bina içerisindeki kullanıcıların güvenli biçimde tahliye edilmesi, kurtarma ekiplerinin en kısa ve en güvenli güzergâhlara yönlendirilmesi ve risk senaryolarının önceden analiz edilmesi üç boyutlu topolojik ağ modelleri sayesinde gerçekleştirilebilmektedir. Benzer şekilde havalimanları, metro sistemleri ve diğer ulaşım terminallerinde yolcu

yönlendirme, bagaj takibi ve çok modlu ulaşım ağlarının yönetimi için de CBS destekli IPS çözümlerinden yararlanılmaktadır (Deng vd., 2013; Jeon vd., 2018; Kim vd., 2014).

Tablo 1’de CBS ile entegre çalışan kapalı alan konum belirleme sistemlerinin öne çıkan uygulama alanlarını, temel kullanım amaçlarını ve ilgili literatürde yer alan örnek çalışmaları özetlemektedir.

Tablo 1. CBS ve IPS Entegrasyonunun Başlıca Uygulama Alanları

Uygulama Alanı	Temel Kullanım Amaçları ve Fonksiyonlar	Referans Kaynaklar
Hastaneler ve Sağlık Hizmetleri	Karmaşık poliklinik yapılarında navigasyon, personel ve varlık takibi, enfeksiyon yayılım izleme ve acil müdahale için tıbbi cihaz konum planlaması	Çakır vd. (2024b); Deng vd. (2022)
Üniversiteler ve Akıllı Kampüsler	LADM tabanlı erişim yönetimi, derslik navigasyonu ve akıllı kampüs uygulamaları	Alattas vd. (2017); Çakır vd. (2024a)
Endüstriyel Tesisler ve İmalat	Akıllı üretim, depo yönetimi, iş güvenliği ve otonom robot navigasyonu	Jeon vd. (2018)
Alışveriş Merkezleri ve Perakende	Müşteri hareket analizi, konum tabanlı hizmetler ve dijital ikiz destekli envanter yönetimi	Deng vd. (2022); Heenkenda vd. (2025); Jeon vd. (2018)
Akıllı Binalar ve Tesis Yönetimi	Enerji optimizasyonu, HVAC yönetimi, karbon emisyonlarının azaltılması ve GeoBIM tabanlı bakım süreçleri	Xia vd. (2022)
Ulaşım Terminalleri	Yolcu yönlendirme, bagaj takibi ve çok modlu ulaşım yönetimi	Deng vd. (2013); Jeon vd. (2018); Kim vd. (2014)

Tabloda özetlenen uygulamalar, kapalı alan CBS çözümlerinin yalnızca konum tabanlı yönlendirme sistemlerinden ibaret olmadığını göstermektedir. Aksine bu teknolojiler; operasyonel verimliliğin artırılması, kamu güvenliğinin güçlendirilmesi, enerji yönetiminin iyileştirilmesi ve sürdürülebilir akıllı şehir uygulamalarının desteklenmesi açısından kapsamlı bir mekânsal karar destek altyapısı sunmaktadır. Özellikle IndoorGML, CityGML ve GeoBIM gibi standartların yaygınlaşmasıyla birlikte semantik bütünlüğü korunmuş veri modellerinin geliştirilmesi mümkün olmakta ve bu sayede daha güvenilir analizler ile gerçek zamanlı yönetim uygulamalarının önü açılmaktadır.

GELECEK EĞİLİMLERİ VE SONUÇ

Kapalı alan konum belirleme sistemleri son yıllarda önemli bir dönüşüm geçirerek yalnızca kullanıcıların bina içerisinde yönlendirilmesini sağlayan teknolojiler olmaktan çıkmış, akıllı şehirler, sayısal ikizler, IoT ve mekânsal karar destek sistemlerinin temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Jeddoub vd., 2024; Xia vd., 2022). Konum bilgisinin gerçek zamanlı olarak üretilmesi, analiz edilmesi ve CBS altyapılarıyla bütünleştirilmesi sayesinde yalnızca navigasyon hizmetleri değil, aynı zamanda enerji yönetimi, güvenlik, bakım planlaması ve operasyonel süreçlerin optimizasyonu gibi çok sayıda uygulama alanında önemli gelişmeler yaşanmaktadır.

Literatürde geliştirilen Wi-Fi, BLE, RFID, UWB, IMU ve görüntü tabanlı konum belirleme yaklaşımları farklı kullanım senaryolarında başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır. Bununla birlikte tek bir teknolojinin tüm uygulama alanları için ideal bir çözüm sunduğunu söylemek mümkün değildir. Sinyal kararlılığı, altyapı maliyetleri,

enerji tüketimi, ölçeklenebilirlik ve çevresel koşullardan etkilenme gibi faktörler farklı sistemlerin performansını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle son yıllardaki araştırmalar, sensör füzyonu yaklaşımına dayalı hibrit mimarilerin geliştirilmesine ve farklı veri kaynaklarının birlikte değerlendirilmesine yönelmektedir (Vanclooster vd., 2016; Deng vd., 2013).

Bir diğer önemli eğilim ise yapay zekâ ve makine öğrenmesi algoritmalarının kapalı alan konum belirleme süreçlerine giderek daha fazla entegre edilmesidir. Özellikle yapay zekâ destekli yöntemler; sinyal gürültülerinin azaltılması, konum tahmin doğruluğunun artırılması, kullanıcı hareketlerinin modellenmesi ve dinamik ortam değişimlerine uyum sağlanması açısından önemli fırsatlar sunmaktadır (Jeon vd., 2018; Heenkenda vd., 2025). Bunun yanında GeoAI tabanlı yaklaşımların CBS altyapılarıyla birlikte kullanılması, büyük hacimli mekânsal verilerin analiz edilmesi ve gerçek zamanlı karar destek mekanizmalarının geliştirilmesi açısından gelecekte daha fazla önem kazanacaktır.

Standartlaşma ve birlikte çalışabilirlik konusu ise araştırılması gereken temel alanlardan biri olmayı sürdürmektedir. IndoorGML, CityGML ve BIM tabanlı veri modelleri önemli bir altyapı sunmasına rağmen, farklı platformlar arasında veri paylaşımı, semantik uyumluluk ve otomatik dönüşüm süreçleri konusunda hâlen çeşitli teknik güçlükler bulunmaktadır. Özellikle GeoBIM yaklaşımının olgunlaşması ve sayısal ikiz uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte bu standartlar arasındaki entegrasyonun daha da önem kazanacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak kapalı alan konum belirleme sistemlerinin geleceği, yalnızca konum doğruluğunun artırılmasına değil, aynı zamanda üretilen verinin standartlaştırılmış CBS altyapıları içerisinde anlamlandırılmasına ve farklı disiplinlerle bütünleşik olarak kullanılmasına bağlı görünmektedir. CBS, IndoorGML, CityGML ve GeoBIM tabanlı yaklaşımların yapay zekâ, IoT ve sayısal ikiz teknolojileriyle birlikte gelişmesi; daha güvenli, daha verimli ve daha sürdürülebilir akıllı bina ve akıllı şehir uygulamalarının oluşturulmasına önemli katkılar sağlayacaktır. Bu bağlamda IPS teknolojilerinin geleceği, yalnızca bir konum belirleme problemi olarak değil, bütünleşik mekânsal bilgi yönetiminin stratejik bir bileşeni olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

- Alattas, A., Zlatanova, S., Van Oosterom, P., Chatzinikolaou, E., Lemmen, C., ve Li, K.-J. (2017). Supporting indoor navigation using access rights to spaces based on combined use of IndoorGML and LADM models. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(12), 384.
- Çakır, R., Tanrıverdi, M., Sarıkaya, B., Şentürk, F., ve Doğanalp, S. (2024a). Kapalı alanda Beacon tabanlı navigasyon uygulaması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 12(1), 118-131.
- Çakır, R., Çiçekdemir, Ç., ve Doğanalp, S. (2024b). Çok katlı mekanların navigasyonu için bluetooth tabanlı Beacon teknolojisi: Pamukkale Üniversitesi Hastanesi Örneği. *Geomatik*, 9(2), 156-163.
- Deng, Y., Ai, H., Deng, Z., Gao, W., ve Shang, J. (2022). An overview of indoor positioning and mapping technology standards. *Standards*, 2(2), 157-183.
- Deng, Z., Yu, Y., Yuan, X., Wan, N., ve Yang, L. (2013). Situation and development tendency of indoor positioning. *China Communications*, 10(3), 42-55.
- Diakité, A. A., Zlatanova, S., Alattas, A., ve Li, K.-J. (2020). Towards IndoorGML 2.0: Updates and case study illustrations. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 343-350.
- Heenkenda, M. S., Goonetilleke, V. N., ve Zaniewski, K. (2025). Indoor mapping as a spatiotemporal framework for mitigating greenhouse gas emissions in buildings: A review. *Remote Sensing*.
- Jeddoub, I., Nys, G.-A., Hajji, R., ve Billen, R. (2024). Data integration across urban digital twin lifecycle: A comprehensive review of current initiatives. *International Journal of Geographical Information Science*.
- Jeon, K. E., She, J., Soonsawad, P., ve Ng, P. C. (2018). BLE Beacons for internet of things applications: Survey, challenges, and opportunities. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2), 811-828.
- Kang, H.-K., ve Li, K.-J. (2017). A standard indoor spatial data model—OGC IndoorGML and implementation approaches. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(4), 116.
- Kim, J.-S., Yoo, S.-J., ve Li, K.-J. (2014). Integrating IndoorGML and CityGML for indoor space. *Web and Wireless Geographical Information Systems*, 184-196.
- Teixeira, H., Magalhães, A., Ramalho, A., de Pina, M. F., ve Gonçalves, H. (2021). Indoor environments and geographical information systems: A systematic literature review. *SAGE Open*, 11(2).

- Vanclooster, A., Van de Weghe, N., ve De Maeyer, P. (2016). Integrating indoor and outdoor spaces for pedestrian navigation guidance: A review. *Transactions in GIS*, 20(4), 491-525.
- Xia, H., vd. (2022). Study on city digital twin technologies for sustainable smart city design. *Sustainable Cities and Society*, 84, 104009.
- Zhu, J., ve Wu, P. (2022). BIM GIS data integration from the perspective of information flow. *Automation in Construction*, 136, 104166.
- Zhu, J., Wright, G., Wang, J., ve Wang, X. (2017). Trends and opportunities of BIM-GIS integration in the architecture, engineering and construction industry: A review from a spatio-temporal statistical perspective. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(12), 397.

UZAKTAN ALGILAMADAN YAPAY ZEKÂYA: MEKÂNSAL VERİ ANALİZİNDE DÖNÜŞÜM

Müslüm Altun **

GİRİŞ

Uzaktan algılama, yeryüzü üzerindeki nesne ve olayların doğrudan temas olmaksızın, sensörler aracılığıyla elde edilen veriler üzerinden analiz edilmesini sağlayan disiplinler arası bir bilim alanıdır. Bu teknoloji; gözlem, izleme, haritalama ve modelleme gibi birçok temel işlemi mümkün kılarak mekânsal veri üretiminde önemli bir rol üstlenmektedir. Özellikle geniş alanların kısa sürede ve tekrarlı biçimde gözlemlenebilmesi uzaktan algılamayı klasik ölçüm yöntemlerine kıyasla daha etkin bir araç haline getirmiştir (Altun ve Türker, 2021).

Uzaktan algılamanın tarihsel gelişimi incelendiğinde, ilk olarak balonlar ve kuşlar aracılığıyla elde edilen görüntülerle başlayan süreç, hava fotoğrafları, uydu sistemleri ve günümüzde insansız hava araçları (İHA) ile devam etmiştir. Bu gelişim süreci yalnızca veri toplama platformlarıyla sınırlı kalmamış, aynı zamanda veri işleme ve analiz tekniklerinin de önemli ölçüde evrilmesine yol açmıştır (Altun ve Türker, 2020). Örneğin hava fotoğraflarından elde edilen klasik haritalama yöntemleri, günümüz uydu ve İHA tabanlı analizlerinin temelini oluşturmuş, mekânsal çözünürlük ve veri sürekliliği açısından sınırlı imkânlar sunmuştur. Günümüzde ise yapay zekâ ve derin öğrenme

** Dr. Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Ankara, altunmuslum06@gmail.com, ORCID: orcid.org/0000-0002-5603-6331

teknikleri, uzaktan algılama verilerinden anlamlı bilgi çıkarımında yeni bir dönemi temsil etmektedir (Altun ve Turker, 2025; Altun ve Turker, 2026).

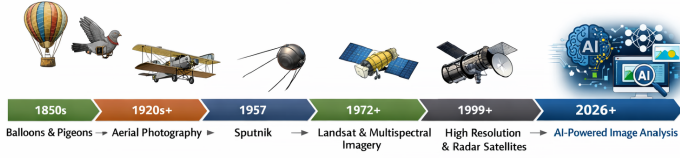
Uzaktan algılama, klasik yöntemlerle yalnızca veri toplama ve haritalama işlevini üstlenirken günümüzde veri işleme ve karar destek sistemlerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bu durum, mekânsal veri analizi ve modelleme süreçlerini daha kapsamlı ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca elde edilen verilerin çok boyutlu yapısı (zamansal, spektral ve mekânsal) analiz süreçlerinin karmaşıklığını artırmış, bu da makine öğrenmesi ve derin öğrenme tekniklerinin önemini ortaya koymuştur.

UZAKTAN ALGILAMADA VERİ YAPISI VE TEMEL BİLEŞENLER

Uzaktan Algılamada Veri Kaynakları ve Sensör Teknolojileri

Uzaktan algılama verileri, farklı platformlar ve sensörler aracılığıyla elde edilmektedir. Uydu sistemleri, hava fotoğrafları ve İHA tabanlı görüntüler bu veri kaynaklarının başlıcalarıdır (Turker ve Arıkan, 2005; Simonneaux vd., 2008). Bu platformlar, farklı konumsal çözünürlük seviyelerinde veri sağlayarak çeşitli uygulama alanlarına hizmet etmektedir.

Şekil 1’de, günümüzde kullanılan başlıca yeryüzü gözlem platformları yer almaktadır. Uydu ve İHA tabanlı sistemlerin birlikte kullanılması hem geniş alanlar üzerinde gözlem yapılmasını hem de yüksek çözünürlükte veri elde edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 1. Yeryüzü Gözlem Platformları (URL-1)

Optik sensörler, güneş ışığını kullanarak yeryüzünden yansıyan enerjiyi algılayan pasif sistemlerdir. Bu sensörler sayesinde renkli ve çok bantlı görüntüler elde edilebilmektedir. Ancak bulutluluk ve atmosferik koşullar optik verilerin kullanımını sınırlayabilmektedir. Buna karşılık, Yapay Açıklıklı Radar (SAR) sistemleri aktif sensörler olup kendi enerjilerini üretirler ve gece-gündüz, her türlü hava koşulunda veri elde edebilirler (Chen vd., 2020; Cao vd., 2020). Bu özellikleri sayesinde süreklilik gerektiren analizlerde önemli avantajlar sunmaktadır.

Günümüzde, ücretsiz veri sağlayan Landsat ve Sentinel uydusu sistemleri, geniş kullanıcı kitlesi tarafından tercih edilmektedir (Immitzer vd., 2016; Sonobe vd., 2017). Bu sistemler, farklı bant sayıları, çözünürlük seviyeleri ve zamansal tekrar süreleri ile uzaktan algılama çalışmalarında önemli bir yer edinmiştir. Landsat serisi, uzun dönemli veri sürekliliği ve orta çözünürlük sunarken, Sentinel-2 serisi daha yüksek konumsal ve spektral çözünürlük sunarak tarımsal, kentsel ve ekolojik çalışmalar için ideal bir kaynak oluşturmaktadır.

Uzaktan Algılamada Çözünürlük Kavramı

Uzaktan algılama verilerinin kalitesini ve kullanım amacını belirleyen en önemli unsurlardan biri çözünürlük kavramıdır. Bu kavram dört temel bileşen altında incelenmektedir:

- **Konumsal çözünürlük**, bir pikselin yeryüzünde temsil ettiği alan büyüklüğünü ifade eder. Yüksek konumsal çözünürlük, küçük nesnelerin tespiti ve detaylı analizler için kritik öneme sahiptir.
- **Spektral çözünürlük**, sensörün algılayabildiği elektromanyetik bant sayısı ve genişliği ile ilgilidir. Çok bantlı sensörler, bitki türü ayırımı ve kentsel yapı tespiti gibi uygulamalarda yüksek performans sağlar.
- **Radyometrik çözünürlük**, sensörün enerji farklarını ayırt edebilme hassasiyetini ifade eder. Daha yüksek radyometrik çözünürlük, sınıflandırma doğruluğunu artırmaktadır.
- **Zamansal çözünürlük**, aynı bölgenin tekrar görüntülenme sıklığını belirtir. Tarımsal izleme ve değişim analizi gibi uygulamalarda bu çözünürlük türü kritik rol oynar (Altun ve Türker, 2022).

Bu çözünürlük türleri, analiz türüne göre farklı önem derecelerine sahiptir. Örneğin tarımsal uygulamalarda zamansal çözünürlük ön plana çıkarken kentsel nesne tespitinde konumsal çözünürlük daha kritik bir rol oynamaktadır. Ayrıca, sensörlerin çözünürlük özelliklerinin veri füzyonuna etkisi literatürde sıkça vurgulanmaktadır.

Uzaktan Algılamada Çok Zamanlı Veri ve Değişim Analizi

Uzaktan algılama verileri tek tarihli veya çok zamanlı olarak elde edilebilmektedir. Özellikle zaman serisi şeklinde elde edilen görüntüler, yeryüzündeki değişimlerin izlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Tarımsal alanlarda bitki gelişim süreçlerinin (ekim, büyüme, hasat) izlenebilmesi

için uygun zamanlarda alınmış görüntülerin kullanılması gerekmektedir.

Literatürde, çok zamanlı görüntülerin tek zamanlı verilere kıyasla daha yüksek sınıflandırma doğruluğu sağladığı belirtilmektedir. Örneğin, farklı dönemlerde elde edilen Sentinel-2 görüntülerinin kullanıldığı çalışmalarda %95'in üzerinde doğruluk değerlerine ulaşılmıştır (Vuolo vd., 2018; Noi ve Kappas, 2018). Bu durum, zamansal bilginin analiz sürecine katkısını açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca çok zamanlı analizler, iklim değişikliği ve arazi kullanım değişimlerini modellemede kritik veri kaynağıdır.

GÖRÜNTÜ ANALİZİ VE SINIFLANDIRMA YAKLAŞIMLARI

Kontrollü ve Kontrolsüz Sınıflandırma

Görüntü sınıflandırma yöntemleri genel olarak kontrollü ve kontrolsüz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kontrolsüz sınıflandırma yöntemlerinde veri, önceden etiketlenmemiş olup algoritmalar veri içerisindeki doğal grupları belirlemeye çalışır. Kontrollü sınıflandırma yöntemlerinde ise etiketli eğitim verileri kullanılarak model eğitilir ve yeni veriler bu modele göre sınıflandırılır (Peña-Barragán vd., 2011; Long vd., 2013).

Kontrollü sınıflandırma yöntemleri özellikle tarımsal ürün tespiti ve ekosistem izleme çalışmalarında yaygındır. Bu yöntemler, yüksek doğruluk sağlamakla birlikte geniş alanlarda veri toplama ve etiketleme maliyetlerini artırmaktadır.

Piksel Tabanlı Yaklaşımlar

Piksel tabanlı yöntemler, her pikseli bağımsız bir birim olarak ele alır ve yalnızca spektral bilgiye dayanarak

sınıflandırma yapar. Ancak yüksek çözünürlüklü görüntülerde piksel içi heterojenlik ve spektral benzerlikler bu yöntemlerin doğruluğunu sınırlamaktadır (Belgiu ve Csillik, 2018).

Nesne Tabanlı Yaklaşımlar

Nesne tabanlı sınıflandırma, görüntüyü segmentlere ayırarak bu segmentleri birer analiz birimi olarak değerlendirir. Bu yaklaşımda yalnızca spektral bilgi değil, aynı zamanda doku, şekil ve konumsal ilişkiler de dikkate alınmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalar, nesne tabanlı yöntemlerin özellikle yüksek çözünürlüklü görüntülerde piksel tabanlı yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir (Immitzer vd., 2016; Sonobe vd., 2017). Bu bağlamda, literatürde uzaktan algılama verileri kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırma ve nesne tespiti çalışmalarında kullanılan yöntemler ve elde edilen doğruluk değerleri Tablo 1’de özetlenmiştir. Tablo 1’de verilen doğruluk değerleri farklı çalışma alanları ve veri setlerine göre değişiklik gösterebilir.

Tablo 1. Uzaktan Algılama Tabanlı Sınıflandırma Çalışmalarının Performans Karşılaştırılması

Yıl	Yazar(lar)	Veri Türü	Yöntem	Temel Bulgular
2005	Turker ve Arıkan	Landsat-7	Çok zamanlı analiz	%81 doğruluk
2008	Simonneaux vd.	Landsat TM	Karar ağacı	%83.7 doğruluk
2011	Peña-Barragán vd.	ASTER	Karar ağacı	%79 doğruluk
2013	Long vd.	Çok zamanlı uydu verisi	Zaman serisi analizi	Tek zamanlı veriye göre üstün
2016	Immitzer vd.	Sentinel-2	Rastgele Orman (RO)	%90 doğruluk

Yıl	Yazar(lar)	Veri Türü	Yöntem	Temel Bulgular
2017	Sonobe vd.	Sentinel-1/2	Makine öğrenmesi yöntemleri	%96.8 doğruluk
2018	Vuolo vd.	Sentinel-2	Bant tabanlı sınıflandırma	%95+ doğruluk
2018	Belgiu ve Csillik	Sentinel-2	Nesne tabanlı sınıflandırma + RO	%92'ye kadar doğruluk
2018	Noi ve Kappas	Sentinel-2	Destek Vektör Makineleri (DVM), RO, En Yakın Komşu	%95 doğruluk
2020	Chen vd.	SAR + Landsat	Veri füzyonu + DVM	%96 doğruluk
2020	Cao vd.	SAR + NDVI	RO, DVM	%94 doğruluk
2019	Nuthammachot ve Stratoulis	SAR + Landsat	Veri füzyonu karşılaştırması	Füzyon yöntemi daha başarılı

Makine Öğrenmesi ve Derin Öğrenme Yaklaşımları

Uzaktan algılama verilerinin analizinde klasik yöntemlerin yerini giderek makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri almaktadır. Bu yaklaşımlar, özellikle büyük veri setlerinde, çok bantlı görüntülerde ve karmaşık mekânsal yapılarla çalışırken doğruluk ve otomasyon açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Makine Öğrenmesi Yaklaşımları

- **Destek Vektör Makineleri (DVM)**, özellikle sınıflandırma problemlerinde yüksek doğruluk sağlar ve küçük veri setlerinde bile etkili çalışabilir. Uzaktan algılamada, tarımsal ürün sınıflandırması, arazi kullanım değişimi ve kentsel yapı tespiti gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmıştır (Cao vd., 2020). Örneğin, SAR ve Landsat verilerinin

birleşimiyle yapılan bir çalışmada SVM kullanılarak %96 doğruluk elde edilmiştir.

- **Rastgele Orman (RO)**, çok sayıda karar ağacının birleşimiyle sınıflandırma ve regresyon yapabilen güçlü bir yöntemdir. Özellikle Sentinel-2 gibi çok bantlı uydu verilerinde tarımsal ürün tespiti ve sınıflandırmada başarılıdır (Immitzer vd., 2016). RF'nin avantajı, fazla parametrik ayarlara ihtiyaç duymadan yüksek doğruluk sağlamasıdır.
- **Karar ağaçları**, veriyi hiyerarşik kurallara göre sınıflandırır. Tek başına kullanılabildiği gibi bütünleşmiş yöntemleriyle (RO, AdaBoost-Uyarlamalı Güçlendirme) doğruluğu artırılabilir. Landsat TM verisiyle yapılan bir çalışmada karar ağaçları, %83.7 doğrulukla sınıflandırma sağlamıştır (Simonneaux vd., 2008).

Derin Öğrenme Yaklaşımları

- **Evrimsel Sinir Ağları (Convolutional Neural Network-CNN)**, uzaktan algılama verilerinde yüksek çözünürlüklü görüntüleri doğrudan işleyebilme yeteneği sayesinde önemli avantajlar sunmaktadır. Piksel ve nesne tabanlı geleneksel öznetelik çıkarım yaklaşımlarının aksine, CNN modelleri ham görüntü verisi üzerinden otomatik olarak öznetelik öğrenebilmekte ve bu sayede özellikle tarımsal ürün tespiti ve kentsel nesne tanıma çalışmalarında yüksek doğruluk oranlarına ulaşabilmektedir (Altun ve Turker, 2025). Örneğin, tek tarihli Sentinel-2 görüntülerinin kullanıldığı bir çalışmada CNN tabanlı segmentasyon yaklaşımı ile %92–95 doğruluk elde edilmiştir (Altun ve Turker, 2026). Ayrıca, U-Net ve

SegNet gibi gelişmiş CNN mimarileri, parsel ve nesne tabanlı analizlerle entegre edilerek tarım arazisi sınırlarının daha hassas bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Derin evrimsel ağların sunduğu en önemli avantajlar arasında, çok bantlı ve yüksek çözünürlüklü görüntülerde manuel öznitelik seçimine ihtiyaç duyulmaması, piksel ve nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımlarını birlikte kullanabilme esnekliği ve çok zamanlı veri setlerinde değişim analizi için Evrimsel Uzun-Kısa Süreli Bellek (ConvLSTM) ve Üç Boyutlu CNN (3D-CNN) gibi gelişmiş mimarilerin etkin biçimde uygulanabilmesi yer almaktadır.

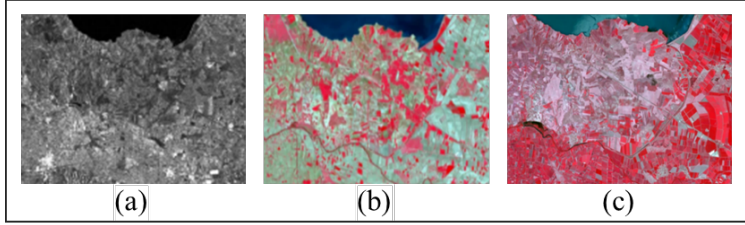
Veri Füzyonu ve Çoklu Sensör Yaklaşımları

Farklı sensörlerden elde edilen verilerin birlikte kullanılması, uzaktan algılama analizlerinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Veri füzyonu, optik, Sentetik Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar-SAR), Işık Algılama ve Mesafe Ölçümü (Light Detection and Ranging-LiDAR) ve multispektral verilerin tek bir analiz çerçevesinde birleştirilmesi işlemidir.

- **Optik ve SAR Füzyonu,** SAR ve optik verilerin birlikte kullanımı, uzaktan algılama analizlerinde hem spektral hem de yapısal bilginin eş zamanlı olarak değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. SAR verisi, bulutluluk ve gece koşullarından bağımsız olarak veri sağlayabilmesi sayesinde süreklilik avantajı sunarken optik veriler yüksek spektral detay ve görsel yorumlanabilirlik sağlamaktadır. Bu iki veri türünün entegrasyonu, özellikle tarımsal ürün tespiti gibi uygulamalarda sınıflandırma doğruluğunu artırmaktadır. Nitekim SAR ve Landsat verilerinin

birlikte kullanıldığı bir çalışmada, RO yöntemi ile gerçekleştirilen sınıflandırmada yalnızca optik verilere kıyasla yaklaşık %4–5 oranında daha yüksek doğruluk elde edilmiştir (Chen vd., 2020).

- **Çoklu Sensör Yaklaşımları,** Çoklu sensör yaklaşımları, farklı veri türlerinin bir araya getirilerek daha kapsamlı analizlerin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Örneğin LiDAR ve optik verilerin birlikte kullanımı, şehir planlama çalışmalarında bina yükseklikleri ve hacimlerinin hassas bir şekilde belirlenmesini sağlarken, Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) ve SAR verilerinin entegrasyonu tarımsal alanlarda bitki sağlığı ve su stresi analizlerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra zamansal füzyon yaklaşımları ile Sentinel-2 ve Landsat gibi farklı uydu sistemlerinden elde edilen veriler birleştirilerek daha uzun ve kesintisiz zaman serileri oluşturulabilmektedir. Bu tür yaklaşımlar, özellikle değişim analizi ve uzun dönemli izleme çalışmalarında önemli avantajlar sunmaktadır (Nuthammachot ve Stratoulas, 2019). Şekil 2’de, (a) SAR görüntüsü, (b) optik görüntü ve (c) SAR ile optik verilerin füzyonu sonucunda elde edilen birleşik görüntü şematik olarak sunulmaktadır.



Şekil 2. SAR ve Optik Görüntülerin Füzyon Süreci ve Elde Edilen Birleşik Görüntü (URL-2)

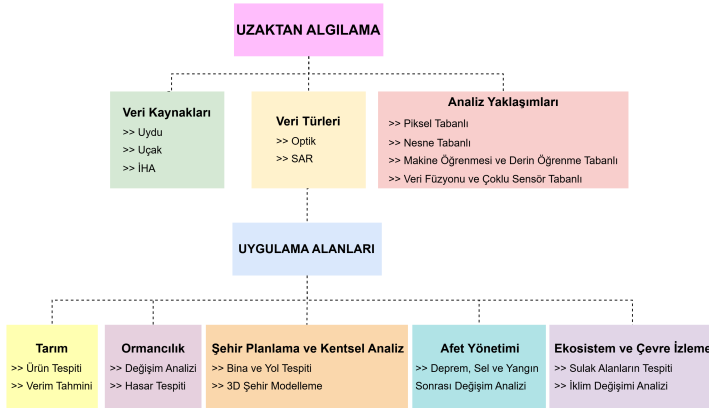
Uygulama Alanları

Uzaktan algılama teknolojisi ve yapay zekâ, farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır:

- **Tarım;** Sentinel-2 ve Landsat uydu verileri kullanılarak CNN tabanlı sınıflandırma yöntemleri ile ürün tespiti yapılması, çok zamanlı veri setleri ve makine öğrenmesi algoritmaları aracılığıyla verim tahmin modellerinin geliştirilmesi ve NDVI gibi göstergeler üzerinden bitki gelişim süreçlerinin izlenmesini kapsamaktadır.
- **Ormancılık;** orman örtüsündeki değişimlerin belirlenmesi, kaçak ağaç kesimlerinin tespiti ile yangın sonrası alanların analiz edilerek yeniden ağaçlandırma planlamalarının yapılmasını içermektedir.
- **Şehir planlama ve kentsel analiz;** bina ve yol tespiti, kentsel yayılımın izlenmesi ve LiDAR ile yüksek çözünürlüklü optik görüntüler kullanılarak üç boyutlu şehir modellerinin oluşturulmasını kapsamaktadır.
- **Afet yönetimi;** deprem, sel ve yangın gibi afetler sonrasında meydana gelen değişimlerin analiz edilmesi ve SAR verileri kullanılarak hızlı ve etkin hasar tespitinin gerçekleştirilmesini içermektedir.

- **Ekosistem ve çevre izleme** ise sulak alanlardaki değişimlerin belirlenmesi, biyolojik çeşitliliğin izlenmesi ve iklim değişikliğinin uzun dönemli etkilerinin değerlendirilmesi gibi uygulamaları kapsamaktadır.

Uzaktan algılamanın başlıca uygulama alanları ve bu alanlara ilişkin alt kullanım başlıkları Şekil 3'te şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3. Uzaktan Algılamanın Uygulama Alanları ve Kullanım Şeması

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uzaktan algılama teknolojisi, tarihsel süreç içerisinde önemli bir dönüşüm geçirmiştir. İlk dönemlerde yalnızca görüntü elde etmeye odaklanan bu alan, günümüzde yapay zekâ destekli analiz yöntemleri ile çok daha kapsamlı bir yapıya kavuşmuştur. Sensör teknolojilerindeki gelişmeler, veri çeşitliliğinin artmasına ve daha yüksek çözünürlüklü verilerin elde edilmesine olanak sağlamıştır.

Makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemlerinin uzaktan algılama ile entegrasyonu, analiz doğruluğunu

önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle nesne tabanlı yaklaşımlar ve çoklu veri kaynaklarının birlikte kullanımı, karmaşık mekânsal yapıların daha doğru bir şekilde modellenmesini mümkün kılmaktadır (Altun ve Turker, 2025; Altun ve Turker, 2026).

Gelecekte gerçekleştirilecek çalışmalar için bazı temel öneriler öne çıkmaktadır. Bu kapsamda, daha gelişmiş derin öğrenme mimarilerinin, özellikle Transformer tabanlı CNN yaklaşımlarının kullanılması, model performansının artırılmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca çok zamanlı veri setlerinin daha etkin ve bütüncül bir şekilde değerlendirilmesi, zamansal değişimlerin daha doğru analiz edilmesine olanak tanıyacaktır. Farklı sensörlerden elde edilen verilerin entegrasyonu ve veri füzyonu yöntemlerinin optimize edilmesi hem spektral hem de mekânsal bilginin birlikte kullanılmasını sağlayarak analiz doğruluğunu artırabilir. Bununla birlikte referans veri kalitesinin iyileştirilmesi ve otomatik hata düzeltme yöntemlerinin geliştirilmesi, model çıktılarının güvenilirliğini artıran önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Son olarak uzaktan algılama verilerinin politika ve yönetim süreçlerine daha hızlı ve etkin bir şekilde entegre edilmesi, bu teknolojilerin karar destek sistemlerindeki rolünü güçlendirecektir.

KAYNAKÇA

- Altun, M. ve Türker, M. (2020). Çok yüksek çözünürlüklü renkli İHA görüntülerinden kentsel alanlarda araç tespiti. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(2), 371–384. DOI: 10.5505/pajes.2019.69649
- Altun, M. ve Türker, M. (2021). Çoklu zamanlı Sentinel-2 görüntülerinden tarımsal ürün tespiti: Mardin – Kızıltepe örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(4), 881–899. DOI: 10.35414/akufemubid.890436
- Altun, M. ve Türker, M. (2022). Kaynaştırılmış Sentinel-1 SAR ve Landsat-8 optik veriden makine öğrenme algoritması ile tarımsal ürün tespiti. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 3(1), 1–19. DOI: <https://doi.org/10.48123/rsgis.999749>
- Altun, M. and Turker, M. (2025). Integration of convolutional neural networks with parcel-based image analysis for crop type mapping from time-series images. *Earth Science Informatics*, 18, 303. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12145-025-01819-8>
- Altun, M. and Turker, M. (2026). On the performance evaluation of segmentation-based CNN classification of agricultural crops from single-date Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing of Earth Systems Science*, 9, 25. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41976-026-00275-2>
- Belgiu, M. and Csillik, O. (2018). Sentinel-2 cropland mapping using pixel-based and object-based time-weighted dynamic time warping analysis. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 138, 26–37.
- Cao, X., et al. (2020). SAR and NDVI data integration for crop classification using machine learning algorithms. *Remote Sensing*, 12(14), 2298.
- Chen, Y., et al. (2020). Fusion of SAR and Landsat data for crop classification using support vector machines. *Remote Sensing*, 12(8), 1253.
- Immitzer, M., et al. (2016). First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classification using random forest. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 203–221.
- Long, T., et al. (2013). Multi-temporal satellite imagery for crop classification using time-series analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 34(12), 4302–4318.
- Noi, P. and Kappas, M. (2018). Comparison of random forest, k-nearest neighbor, and support vector machine classifiers for land cover classification using Sentinel-2 imagery. *Remote Sensing*, 10(7), 1145.
- Nuthammachot, N. and Stratoulas, D. (2019). Multi-source data fusion for crop classification: A comparison between SAR and optical data. *Remote Sensing*, 11(21), 2500.
- Peña-Barragán, J. M., et al. (2011). Object-based crop classification using multi-temporal ASTER imagery and decision trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 76, 113–125.
- Simonneaux, V., et al. (2008). Mapping crop types in irrigated areas using decision trees and Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, 112, 2562–2573.

- Sonobe, R., et al. (2017). Crop classification from Sentinel-1 and Sentinel-2 data using machine learning approaches. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 123–134.
- Turker, M. and Arikan, M. (2005). Sequential masking classification of multi-temporal Landsat7 ETM+ images for field-based crop mapping in Karacabey, Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 26(17), 3813-3830.
- Vuolo, F., et al. (2018). Data fusion of Sentinel-2 and Landsat-8 imagery for improved crop classification. *Remote Sensing*, 10(5), 701.
- URL 1: https://anuwald.github.io/dea_course/images/copied_from_nb/data/history.png (E.T.: 15.04.2026).
- URL 2: <https://doi.org/10.48123/rsgis.999749> (E.T.: 15.04.2026).

KENTSEL GELİŞİM SÜRECİNDE 18. MADDE UYGULAMALARININ ROLÜ

Hasan Çevik*

GİRİŞ

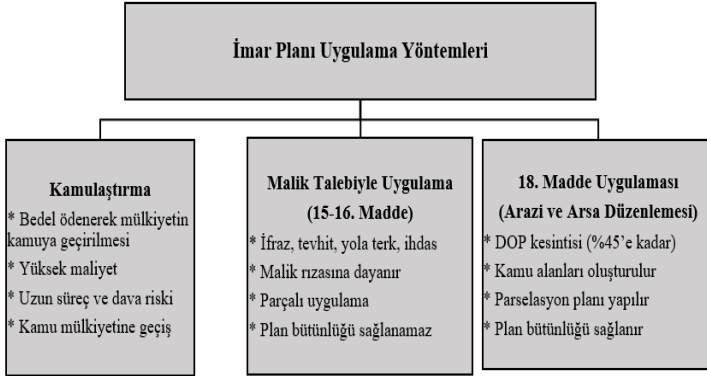
Uygulama imar planlarında bulunan yol, meydan, park, otopark, çocuk bahçesi, yeşil saha, ibadet yeri ve karakol, Milli Eğitim Bakanlığına bağlı öğretime yönelik eğitim tesis alanları, Sağlık Bakanlığına bağlı sağlık tesis alanları, pazar yeri, semt spor alanı, toplu taşıma istasyonları ve durakları, otoyol hariç erişme kontrolünün uygulandığı yol, su yolu, resmî kurum alanı, mezarlık alanı, belediye hizmet alanı, sosyal ve kültürel tesis alanı, özel tesis yapılmasına konu olmayan ağaçlandırılacak alan ve rekreasyon alanı gibi alanların kamuya kazandırılması için üç farklı imar planı uygulama yöntemi bulunmaktadır. Bunlar; kamulaştırma, mal sahibinin isteği üzerine yapılan uygulamalar ile arazi ve arsa düzenlemesidir (İnam ve Akdeniz, 2020). İmar planları, isteğe bağlı veya zorunlu uygulama yöntemlerinden biriyle araziye uygulanır. İsteğe bağlı imar uygulamaları, İmar Kanunu'nun 15. ve 16. maddelerine göre yapılan ifraz, tevhit, yola terk gibi işlemlerdir. Zorunlu imar uygulamaları ise imar Kanunu'nun 18. maddesi kapsamında yapılan arazi ve arsa düzenlemesi ile kamulaştırma işlemleridir (Karaca, 2018). İmar planı uygulama yöntemlerinden olan kamulaştırma yöntemi, imar planında sosyal donatı alanları ve resmi kurum alanlarına denk gelen özel mülkiyetteki

*Dr. Öğr. Üyesi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Gölhisar Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Harita ve Kadastro Programı, Burdur, hcevik@mehmetakif.edu.tr, ORCID: orcid.org/0000-0001-6359-3251

taşınmazların, kamu yararı doğrultusunda bedeli peşin ödenerek kamu mülkiyetine geçirilmesi işlemidir. Kamulaştırma sürecinde yalnızca kamu hizmeti için gerekli olan alanlar plana dahil edildiğinden, planın bütünü mekâna tam anlamıyla uygulanamamaktadır. Kamulaştırma işlemleri, 3194 sayılı İmar Kanunu'nun 10 ve 13. maddelerine dayanırken, uygulamaları 4650 sayılı Kanun ile 2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu çerçevesinde gerçekleştirilir. Bu yöntemde, taşınmaz sahibinin mülkiyet hakkı çoğu kez zarar görürken bedelin peşin ödenmesi idare açısından ciddi bir maddi külfet oluşturur. Kamulaştırma yönteminin yüksek maliyeti, kurumların bütçe yetersizliği, taşınmaz sahiplerinin rızası olmadan gerçekleştirilmesi, uzlaşmazlıklar nedeniyle dava süreçlerinin başlaması ve projelerin uzaması gibi sorunlar bu yöntemin dezavantajları arasındadır. Ayrıca kamulaştırma sonrasında bazı taşınmazların değer kaybederken kamu yatırımları nedeniyle bazı taşınmazların değer kazanması da bu yöntemin olumsuz yönlerinden biridir (İnam ve Akdeniz, 2020). Bazı kamu projelerinde kamulaştırma maliyetleri toplam yatırım giderlerinin önemli bir bölümünü oluşturabilmekte, bu durum ise projelerin gecikmesine hatta kimi zaman uygulanamamasına yol açabilmektedir (Aliefendioğlu ve Duman, 2021). İmar planı uygulama yöntemlerinden ikincisi olan mal sahibinin talebi üzerine gerçekleştirilen imar planı uygulamaları, 3194 sayılı İmar Kanunu'nun 15 ve 16. maddeleri çerçevesinde ifraz, tevhit, yola terk ve yoldan ihdas işlemleriyle yapılan uygulamalardır. Bu aşamada, taşınmaz sahipleri genellikle uygulama imar planına uygun olarak rızaen yola terk işlemleri yapmaktadır. Ancak tüm taşınmazlardan eşit oranlarda yola terk edilmediği için plan zemine parçalı olarak uygulanmaktadır. Bu yöntemde de planın araziye bütüncül bir şekilde uygulanamaması

nedeniyle donatı alanları zamanında kullanıma açılmamakta ve oluşacak değer artışlarından taşınmaz sahipleri eşit şekilde faydalanamamaktadır (İnam ve Akdeniz, 2020). Bu yüzden belediyeler ve diğer kamu kurumları tarafından 3194 sayılı İmar Kanunu'nun 15. ve 16. maddelerine göre yapılan imar uygulamalarında, bu bölgelere hizmet götürmede çeşitli zorluklar yaşanmaktadır. Ruhsatlı yapıların bulunduğu parsellerde dahi terk edilen yolların açılmaması, hem hizmetlerin sağlanmasında hem de kentsel altyapının geliştirilmesinde ciddi sorunlara neden olmaktadır.

İmar planı uygulama yöntemlerinden üçüncüsü 3194 sayılı İmar Kanunu'nun 18. maddesinde belirtilen arsa ve arazi düzenlemesi yöntemidir. Bu yöntem, imar planlarının bütüncül şekilde uygulanmasını sağlayan temel araçlardan biridir. Bu düzenlemede, taşınmazlar kamu hizmetleri ve altyapı yatırımlarıyla değer kazandığı için parsellerden yüzölçümlerine göre kesintiler yapılır. Düzenleme Ortaklık Payı (DOP) olarak adlandırılan bu kesinti, günümüzde düzenlemeye dahil edilen arsa ve arazilerin toplam yüzölçümünün en fazla %45'i olabilir. Eğer DOP oranı %45'i aşarsa aşan kısım için kamulaştırma yoluna gidilir (Boz ve Çay, 2020). Şekil 1'de görüldüğü üzere, kamulaştırma ve mal sahibinin talebine dayalı uygulamalar plan bütünlüğünü tam olarak sağlayamazken 18. madde uygulamaları bütüncül bir planlama yaklaşımı sunmaktadır. Ayrıca bu yöntem, kamusal donatı alanlarının eş zamanlı oluşturulması ve altyapı hizmetlerinin bütüncül biçimde uygulanabilmesi açısından daha etkin bir plan uygulama aracı olarak görülmektedir.



Şekil 1. İmar Planı Uygulama Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Kentsel gelişim sürecinde planlama kararlarının sahaya aktarılmasında 3194 sayılı İmar Kanunu’nun 18. maddesi kapsamında yürütülen arazi ve arsa düzenlemeleri temel bir araçtır. Bu uygulamalar, kentsel alanların yeniden düzenlenmesi, donatı alanlarının oluşturulması ve plan bütünlüğünün sağlanması açısından önemli bir işlev üstlenmektedir (Akdeniz, 2022). Bununla birlikte, uygulamanın teorik çerçevesi güçlü olmasına rağmen pratikte çeşitli yapısal sorunlar ortaya çıkmaktadır. Özellikle mülkiyet sahipleri arasında adaletin sağlanamaması, arsa spekülasyonunun önlenememesi ve düzenleme sonucu oluşan değer artışının kamuya yeterince aktarılamaması bu sorunlar arasında yer almaktadır (Bilim ve Yılmaz, 2025). Bu durum, imar mevzuatının tarihsel gelişimiyle birlikte şekillenen uygulama ilkeleriyle de ilişkilidir. Türkiye’de imar uygulamalarının uzun süre “eş oranlı yöntem” anlayışıyla yürütüldüğü, ancak daha adil bir yaklaşım olarak “eş değerlik” veya “değer esaslı” yaklaşımların giderek daha fazla tartışıldığı ifade edilmektedir (Çay ve Kandemir, 2022).

Bu çalışmanın amacı, kentsel gelişim sürecinde 18. madde uygulamalarının rolünü incelemek, mevcut uygulama sorunlarını ortaya koymak ve daha adil bir sistem için öneriler geliştirmektir. Bu çalışmada, arazi ve arsa düzenlemelerine ilişkin literatür ile güncel mevzuat düzenlemeleri çerçevesinde değerlendirmelerde bulunulmuştur.

KURAMSAL VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

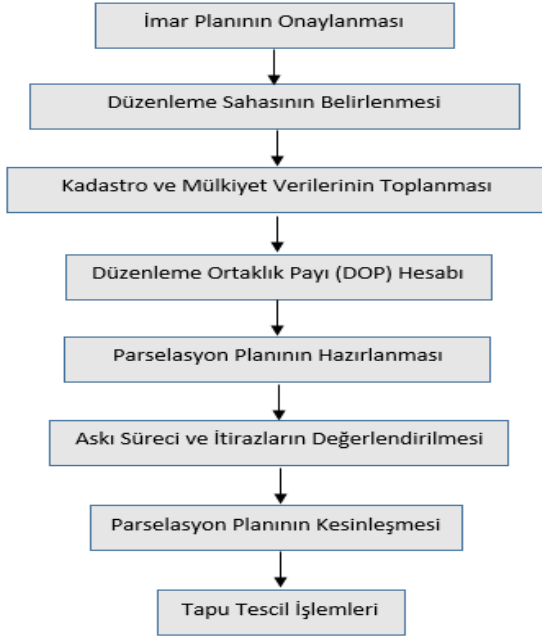
Arazi ve Arsa Düzenlemesi ve Mevzuat Gelişimi

Arazi ve arsa düzenlemeleri, imar planlarının uygulanmasında temel araçlardan biri olup sağlıklı kentleşme açısından kritik bir öneme sahiptir. Özellikle 2019 yılı yasal değişiklikleri ve 2020 tarihli yönetmelik düzenlemeleri ile birlikte uygulama sisteminde önemli bir dönüşüm yaşandığı ve bazı alanlarda değerlendirme ihtiyacının devam ettiği literatürde belirtilmektedir (Çepni ve Doğuyıldız, 2022).

04.07.2019 tarihinde kabul edilen 7181 sayılı “Tapu Kanunu ve Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” ile kamusal ve genel hizmet alanları, umumi hizmet alanları olarak birleştirilmiş ve DOP kapsamında edinilebilecek alan sayısı 15’ten 23’e çıkarılmıştır. 2020 yılında yürürlüğe giren Arazi ve Arsa Düzenlemeleri Hakkında Yönetmelik ile birlikte Arazi ve Arsa Düzenlemesi (AAD) uygulamaları parselasyon planı üretiminde öncelikli yöntem haline getirilmiş; hisse çözümlemesi, ikinci kez DOP kesintisi ve parselasyon planı açıklama raporu gibi birçok konuda önemli düzenlemeler yapılmıştır (Yılmaz ve Yılmaz, 2024). Resmi kurum alanlarının düzenleme ortaklık payından karşılanmasının

temel amacı, tüm kamusal alanların tek bir kategori altında düzenleme ortaklık payı ile karşılanmasını sağlamaktır. Günümüzde, imar uygulamalarında tüm kamusal alanlar ve resmi kurum alanları düzenleme ortaklık payından karşılanmaktadır. Düzenleme ortaklık payının yetersiz kaldığı durumlarda ise hazine arazileri devreye girmektedir. Hazine arazilerinin de yeterli olmaması durumunda, anlaşma yoluyla kamulaştırma yapılmaktadır (Çay ve Kandemir, 2022). Mevzuattaki bu yenilik, DOP ve Kamu Ortaklık Payı (KOP) ayırımını kaldırarak süreci daha basit hale getirmiş ve kamusal alanları genişleterek idarelerin işlerini kolaylaştırmıştır (Çepni ve Doğuyıldız, 2022). 3194 sayılı Kanunun 18. maddesi, daha önce “Arazi ve Arsa Düzenlemesi” başlığı altında imar uygulaması ve parselasyon işlemlerini düzenlemekteydi. Ancak 7181 sayılı Kanunla yapılan değişiklikte madde başlığı “Parselasyon Planlarının Hazırlanması” olarak değiştirilmiştir. Madde metni, imar uygulamalarına ilişkin işlemleri düzenlemekte ve yapılan değişiklikte birçok konu yasal düzenleme kapsamına alınmaktadır. İmar uygulamalarının parselasyon planları esas alınarak gerçekleştirilmesi gerektiği için madde başlığında yapılan bu değişiklik yerinde bir adım olmuştur (Bilgin, 2020).

3194 sayılı İmar Kanunu’nun 18. maddesi kapsamında yürütülen arazi ve arsa düzenleme süreci aşamalı bir yapı göstermektedir. Şekil 2’de görüldüğü üzere bu süreç; düzenleme sahasının belirlenmesi, parselasyon planlarının hazırlanması, DOP hesaplamaları, askı ve itiraz süreçleri ile tescil işlemleri gibi birbirini takip eden aşamalardan oluşmaktadır. Sürecin çok aşamalı yapısı, hem teknik hem de hukuki denetimin önemini ortaya koymaktadır. Bu durum, uygulama sürecinde kurumlar arası koordinasyonun ve mevzuata uygunluğun önemini artırmaktadır.



Şekil 2. Arazi ve Arsa Düzenlemesi (18. Madde) Uygulama Sürecinin Aşamaları

Düzenleme Ortaklık Payı ve Bedele Dönüştürme

3194 sayılı İmar Kanunu'nun 18. maddesi kapsamında yapılan imar uygulamalarında, özellikle ruhsatsız yapıların bulunduğu yapılaşmış alanlarda çeşitli sorunlar ortaya çıkabilmektedir. DOP kesintisi sonrasında maliklere verilen tahsis miktarı, çoğu zaman uygulama öncesinde fiilen kullanılan alanı karşılamamaktadır. Bunun temel nedeni, uygulama öncesinde taşınmaz maliklerinin genellikle taşınmazın brüt tapu alanının büyük bölümünü kullanıyor olmasıdır. Bu nedenle uygulama sonrasında ortaya çıkan alan kayıplarının giderilmesi amacıyla fiilen kullanılan bazı alanların bedel karşılığında yeniden malike verilmesi yönteminin değerlendirilmesi mümkün olabilmektedir.

Ancak bu süreçlerin ilgili mevzuat hükümleri çerçevesinde yürütülmesi gerekmektedir.

3194 sayılı İmar Kanunu'nun 18. maddesinde, 4/7/2019 tarihli ve 7181 sayılı Kanun'un 9. maddesi ile yapılan değişiklik ve 5/12/2024 tarihli 7534 sayılı Kanun'un 6. maddesi ile getirilen düzenleme kapsamında; mevcut yapılar nedeniyle parsellerden DOP alınmadığı durumlarda bu payın bedele dönüştürülebileceği ifade edilmektedir. Düzenleme kapsamında elde edilen bedelin ise fazladan DOP kesintisi yapılmak zorunda kalınan diğer parsel maliklerine ödeneceği belirtilmektedir.

2019 yasal değişiklikleri ve 2020 tarihli AAD Yönetmeliği ile birlikte bedele dönüştürme uygulaması daha sistematik bir yapıya kavuşmuş olsa da teknik ve hukuki yönlerinin hâlen açıklığa kavuşturulması gerektiği ifade edilmektedir (Çepni, 2023). Bu kapsamda AAD, imar planlarının uygulanmasında temel yöntem haline gelmiş ve etkin bir araç olarak değerlendirilmiştir. Ancak ruhsatlı parsellerin sürece dahil edilmesi uygulamada sorunlar oluşturmaktadır. DOP'un bedele dönüştürülmesi ise daha sistematik hale gelse de teknik ve hukuki açıdan açıklığa kavuşturulması gerekmektedir (Uzun vd., 2024).

Değer Esaslı Yaklaşım ve Planlama Tartışmaları

3194 sayılı İmar Kanunu'nun 18. maddesi kapsamında gerçekleştirilen imar uygulamalarında, aynı nitelik ve konumda bulunan taşınmazlar arasında, DOP kesintisi sonrasında farklı nitelikte tahsislerin ortaya çıkabildiği görülmektedir. Bu durum, uygulamada eşitlik ve hakkaniyet ilkeleri açısından tartışmalara neden olmaktadır.

Ülkemizde uygulanan mevcut sistemde parseller aynı değerde kabul edilerek eş oranlı kesinti yapılırken birçok

ülkede dağıtım kriteri olarak birim değer yaklaşımının benimsendiği görülmektedir. Bu durum, alan esaslı yöneme yönelik eleştirileri artırmakta ve değer esaslı yöntemin uygulanabilirliğine ilişkin çalışmaları gündeme getirmektedir (Salalı ve İnam, 2022). Mevcut uygulama sisteminde ağırlıklı olarak alan esaslı dağıtım yöntemi uygulanmakta; ancak taşınmazların konum, cephe, erişilebilirlik ve değer gibi özelliklerinin dikkate alınmaması, uygulama sürecinde çeşitli mağduriyetlere neden olabilmektedir. Mevcut sistem teknik olarak uygulanabilir olsa da sosyal adalet açısından tartışmalı sonuçlar doğurabilmektedir. Oysa kırsal alanlarda gerçekleştirilen arazi toplulaştırma uygulamalarında derecelendirme (sınıflandırma) çalışmaları yapılmakta ve dağıtım sürecinde parsellerin verimlilik, konum ve kalite gibi özellikleri dikkate alınmaktadır. Benzer şekilde, kentsel alanlarda yürütülen imar uygulamalarında taşınmaz değerine dayalı bir yaklaşımın benimsenmesinin, daha adil ve dengeli bir dağıtım sürecine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

2019 yılında 7181 sayılı Kanun ile İmar Kanunu'nun 18. maddesinde değişiklik yapılmış ve yasa metnine "eşdeğer alan" ifadesi eklenmiştir. Bu düzenleme ile 18. madde, "Düzenleme sonucunda taşınmaz maliklerine verilecek parseller, öncelikle düzenlemeye alınan taşınmazın bulunduğu yerden, bu mümkün olmadığında ise en yakınındaki eşdeğer alandan verilir" şeklinde yeniden düzenlenmiştir (Çepni ve Doğuyıldız, 2022). İmar Kanununda yer verilen "eşdeğer alan" kavramının, ilgili yönetmelik düzenlemelerinde açık biçimde karşılık bulmadığı görülmektedir (Akdeniz, 2022).

Arazi ve arsa düzenlemeleri, yalnızca ulusal düzeyde değil, küresel ölçekte de kentleşme baskısı, hızlı nüfus artışı

ve arazi kullanımındaki verimsizlik gibi sorunlarla bağlantılı olarak ele alınmaktadır (Salalı ve İnam, 2022). Mevcut “alan esaslı” uygulamaların adalet, katılımcılık ve kamuya değer aktarımı açısından yetersiz kaldığı; bu nedenle “değer esaslı” yaklaşıma geçişin gerekli olduğu yönünde genel bir görüş bulunmaktadır.

DOP, imar uygulamaları sonucunda taşınmazlarda ortaya çıkan değer artışının kamuya aktarılmasını amaçlayan bir mekanizma olup bu yönüyle bir tür “şerefîye” niteliği taşımaktadır (Ercan, 2025). Bu kapsamda gelişmiş ülkelerde değer esaslı imar uygulamalarının giderek yaygınlaştığı, Türkiye’de ise yüzölçümü esaslı sistemin ağırlığını koruduğu ancak değer esaslı yaklaşımlara yönelik ilginin arttığı ifade edilmektedir (Tıgılı ve Tanrıvermiş, 2025).

Uygulama Sorunları ve Yargı Boyutu

AAD uygulamalarının parsel tahsisi, DOP kesintileri ve mülkiyet haklarının korunması gibi alanlarda çeşitli ekonomik, hukuki ve teknik sorunlar içerdiği literatürde belirtilmektedir. Bu sorunlar nedeniyle birçok uygulamanın yargı sürecine taşındığı ve iptal kararlarının ardından geri dönüş süreçlerinde standart bir yasal çerçevenin bulunmamasının uygulamaları zorlaştırdığı ifade edilmektedir (İnceyol, 2024). AAD uygulamalarının mülkiyet hakkını doğrudan etkileyen idari işlemler olması nedeniyle maliklerin itirazlarına konu olduğu ve bu durumun uygulamada memnuniyetsizlikler oluşturduğu belirtilmektedir. Ayrıca maliklerin dava süreçlerindeki itirazlarının çoğu zaman yargı kararlarındaki iptal gerekçelerinden farklılaştığı ve uygulamaya yönelik beklentilerin ayrı bir inceleme alanı oluşturduğu ifade edilmektedir (Mintemur ve Çepni, 2024). Bu durum, AAD uygulamalarının yalnızca teknik bir süreç olmadığını; aynı

zamanda mülkiyet hakları, toplumsal kabul ve adalet boyutlarıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

SONUÇ

3194 sayılı İmar Kanunu'nun 18. maddesi kapsamında yürütülen arazi ve arsa düzenlemeleri, kentsel gelişim sürecinde imar planlarının uygulanmasını sağlayan en önemli araçlardan biridir. Bu uygulamalar sayesinde yol, park, yeşil alan ve diğer kamusal alanların oluşturulması ile plan bütünlüğünün sağlanması mümkün olmaktadır.

Ancak mevcut uygulama sistemi, özellikle mülkiyet hakkı, değer paylaşımı ve adalet açısından bazı sorunlar içermektedir. Alan esaslı yaklaşımın uygulanması, taşınmazlar arasında oluşan değer farklılıklarını yeterince dikkate almadığı için uygulama sürecinde çeşitli tartışmalara neden olmaktadır. Bu nedenle, değer esaslı yaklaşımlar daha adil bir sistem oluşturulması açısından önemli bir alternatif olarak görülmektedir. Ayrıca 7181 sayılı Kanun ile yapılan düzenlemeler, imar uygulama süreçlerinin daha sistemli ve bütüncül bir yapıya kavuşmasına katkı sağlamıştır.

Bunun yanında, dijital kadastro sistemleri, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve üç boyutlu (3B) şehir modelleri gibi teknolojilerin kullanımı, uygulama süreçlerinde şeffaflık ve denetlenebilirliğin artırılması açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Sonuç olarak 18. madde uygulamaları kentsel gelişim açısından önemli bir araç olmaya devam etmektedir. Ancak daha adil, şeffaf ve sürdürülebilir bir uygulama sistemi için değer esaslı yaklaşımların geliştirilmesi, dijital altyapının güçlendirilmesi ve uygulama standartlarının iyileştirilmesi gerekmektedir.

CBS tabanlı sistemler, arazi ve arsa düzenleme süreçlerinde teknik analiz, veri yönetimi ve uygulamaların sayısal ortamda izlenmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Parselasyon planları ile DOP kesintilerinin dijital ortamda analiz edilmesi uygulama süreçlerinde şeffaflık ve denetlenebilirliğin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Askı süreçlerinde maliklerin eski ve yeni parsel durumlarını dijital ortamda karşılaştırabilmesi ise uygulamaların daha anlaşılır ve erişilebilir hale gelmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca değer esaslı uygulamaların yaygınlaşmasıyla birlikte CBS destekli değer haritaları ve 3B şehir modellerinin planlama, karar verme ve görselleştirme süreçlerinde daha etkin kullanılacağı öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Akdeniz, H. (2022). Kent Planlarının Uygulama Aracı Olarak Arazi ve Arsa Düzenlemesi. *İdealkent*, 13(37), 1753-1771. DOI:10.31198/idealkent.1116956
- Aliefendioğlu, Y., ve Duman, İ. (2021). Çevre Yollarının 3194 Sayılı İmar Kanunun 18. Madde Uygulamaları ile Açılmasının Teorik İlkeler ve Uygulama Yönlerinden Tartışılması: Van İli Örneği. *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 25(2), 407-424.
- Bilgin, H. (2020). 7153 ve 7181 Sayılı Kanunlarla İmar Kanununda Yapılan Değişiklikler Üzerine Bir İnceleme. *Anadolu Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 6(2), 339-385.
- Bilim, N. S., ve Yılmaz, A. (2025). Ülkemizde arazi ve arsa düzenlemesi için önerilen modellerin analizi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 12(2), 90-111. DOI: 10.9733/JGG.2025R0008.T
- Boz, Y., ve Çay, T. (2020). İmar Uygulaması Kapsamında Gerçekleştirilen Bedelsiz Terklerin Danıştay Kararları Çerçevesinde İncelenmesi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(1), 10-17.
- Çay, T., ve Kandemir, E. S. (2022). Türkiye'de imar uygulama mevzuatındaki gelişim süreci. *Geomatik*, 7(1), 26-40. DOI: 10.29128/geomatik.809393
- Çepni, M. S. (2023). Arazi ve arsa düzenlemelerinde düzenleme ortaklık payının alınmadığı durumlarda bedele dönüştürülmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 10(1), 16-29. DOI: 10.9733/JGG.2023R0002.T
- Çepni, M. S., ve Doğuyıldız, C. (2022). Arazi ve arsa düzenlemeleri tüzesinde 2020 yılı değişikliklerine dair bazı değerlendirmeler. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 4(2), 54-61. DOI: 10.51765/tayod.1100569
- Ercan, E. (2025). Düzenleme Ortaklık Payının Vergi Niteliği Üzerine Bir Değerlendirme. *Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 73(4), 2485-2516.
- İnam, Ş., ve Akdeniz, H. B. (2020). İmar Planı Uygulama Yöntemi Seçiminde Mesleki Liyakat ve Etik. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(2), 56-61.
- İnceyol, Y. (2024). Arazi ve Arsa Düzenlemelerinde Mahkeme Kararlarına Dayalı İptal İşlemlerinde Geri Dönüş Süreçlerinin Analizi: Konya İli Meram İlçesi Örneği. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(24), 516-532. DOI:10.54365/adyumbd.1583240
- Karaca, A. G. E. (2018). İmar Planı Uygulama Yöntemlerinden Arazi ve Arsa Düzenlemesinin İlgili Mevzuat Çerçevesinde İncelenmesi. *Uyuşmazlık Mahkemesi Dergisi*(11), 217-261.
- Mintemur, Ş. S., ve Çepni, M. S. (2024). Arazi ve arsa düzenlemesine yapılan itirazların davacı dilekçeleri esas alınarak incelenmesi. *Geomatik*, 9(2), 164-174. DOI: <https://doi.org/10.29128/geomatik.1403073>
- Salalı, V., ve İnam, Ş. (2022). Arazi ve arsa düzenlemesi çalışmalarında değer esaslı uygulama yönteminin benimsenmesi gerekliliği üzerine bir çalışma. *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*(20), 179-190.
- Tıgılı, E., ve Tanrıvermiş, H. (2025). Değer esaslı imar uygulamasıyla yüzölçümü esaslı imar uygulamasının örnek proje üzerinden karşılaştırmalı analizi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 7(1), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.51765/tayod.1521781>

- Uzun, B., Yıldırım, V., Terzi, F., Atasoy, B. A., ve Uzun, S. (2024). Arazi ve Arsa Düzenlemesi Uygulamalarında Bedele Dönüştürme Miktarının Tespiti. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 14(3), 1604-1622. DOI: 10.31466/kfbd.1514770
- Yılmaz, A., ve Yılmaz, O. (2024). Arazi ve arsa düzenlemesinde kamulaştırma amaçlı tahsis yaklaşımının incelenmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 11(2), 171-189. DOI: 10.9733/JGG.2024R0012.T