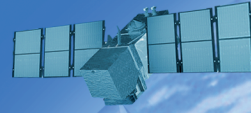


[Cilt/Volume:10] [Sayı/Issue:01] [Mayıs/May 2023] [Dergi No/Journal No.:117] [ISSN: 2147-1339] [e-ISSN: 2667-8519]

# JEODEZİ VE JEOİNFORMASYON DERGİSİ

JOURNAL OF  
GEODESY AND GEOINFORMATION



TMMOB

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers



TMMOB

**Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası**

**Yayıncı / Publisher**

TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası  
UCTEA Chamber of Surveying and Cadastre Engineers, Turkey

**Yayın İdare Merkezi / Head Office**

Mustafa Kemal Mahallesi 2129 Sk. No:1/7-8-9 06530 Çankaya, ANKARA, TURKEY

Tel: +90 (312) 2325777 • Fax: +90 (312) 2308574

jjd@hkmo.org.tr ; hkmojjd@gmail.com

dergipark.org.tr/hkmojjd

**Tasarım ve Mizanpaj / Design & Layout**

Önder Olgun Bökü

**Baskı & Cilt / Printing & Binding**

Elma Teknik Basım

www.elmateknikbasim.com/

Tel: +90 312 229 92 65

**Basım Tarihi / Publication Date: Mayıs 2023 / May 2023**

**Baskı Adedi / Circulation: 2000**

Hakemli bir dergidir. / A Peer - reviewed journal.

Yaygın ve süreli yayındır. / A widely distributed periodical.

Yılda iki defa yayımlanır (Mayıs - Kasım) / Published semiannually (May - November).

[Cilt/Volume:10] [Sayı/Issue:01] [Mayıs/May 2023] [Dergi No/Journal No.:117]

[ISSN: 2147-1339] [e-ISSN: 2667-8519]

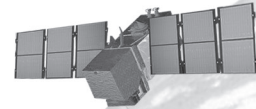


UCTEA

**Chamber of Survey and Cadastre Engineers**

# JEODEZİ VE JEOİNFORMASYON DERGİSİ

JOURNAL OF  
GEODESY AND GEOINFORMATION



TMMOB

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası

1954

UCTEA Chamber of Survey and Cadastre Engineers

# JEODEZİ VE JOURNAL OF GEODESY

## EDİTÖR / EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. Bahattin ERDOĞAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İstanbul

## EDİTÖR YARDIMCILARI / CO-EDITORS

Prof. Dr. Tarık TÜRK  
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi  
Sivas

Prof. Dr. Nursu TUNALIOĞLU  
Yıldız Teknik Üniversitesi  
İstanbul

## EDİTÖR KURULU / EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU  
Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli

Prof. Dr. Atınç PIRTI  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Aydın ÜSTÜN  
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

Prof. Dr. Cemal Özer YİĞİT  
Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli

Prof. Dr. Cengizhan İPBÜKER  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Çetin CÖMERT  
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Prof. Dr. Çetin MEKİK  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Prof. Dr. Devrim AKÇA  
Işık Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT  
Konya Teknik Üniversitesi, Konya

Prof. Dr. Emine Tanır KAYIKÇI  
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Prof. Dr. Erol KÖKTÜRK  
Okan Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Faik Ahmet SESLİ  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

Prof. Dr. Ferruh YILDIZ  
Konya Teknik Üniversitesi, Konya

Prof. Dr. Halil AKINCI  
Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin

Prof. Dr. Haluk ÖZENER  
Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Haluk KONAK  
Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

Prof. Dr. Hülya DEMİR  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Hüseyin TOPAN  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak

Prof. Dr. İbrahim Öztuğ BİLDİRİCİ  
Konya Teknik Üniversitesi, Konya

Prof. Dr. İsmail Rakıp KARAŞ  
Karabük Üniversitesi, Karabük

Prof. Dr. Mahmut Onur KARSLIOĞLU  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

Prof. Dr. Metin SOYCAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Mualla YALÇINKAYA  
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Prof. Dr. Murat UYSAL  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar

Prof. Dr. Mustafa TÜRKER  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Prof. Dr. Naci YASTIKLI  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Nebiye MUSAOĞLU  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Necla ULUĞTEKİN  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Oğuz GÜNGÖR  
Ankara Üniversitesi, Ankara

Prof. Dr. Özgün AKÇAY  
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale

Prof. Dr. Rahmi Nurhan ÇELİK  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Sebahattin BEKTAŞ  
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

Prof. Dr. Süleyman Savaş DURDURAN  
Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya

Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak

Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU  
Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli

Prof. Dr. Uğur AVDAN  
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir

Prof. Dr. Uğur DOĞAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Prof. Dr. Volkan ÇAĞDAŞ  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç. Dr. Ahmet Özgür DOĞRU  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç. Dr. Ayşe YAVUZ ÖZALP  
Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin

Doç. Dr. Caner GÜNEY  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç. Dr. Melis UZAR,  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç. Dr. M. Tefvik ÖZLÜDEMİR  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul

Doç. Dr. Nusret DEMİR  
Akdeniz Üniversitesi, Antalya

Doç. Dr. Saygın ABDİKAN  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Doç. Dr. Sultan KOCAMAN GÖKÇEOĞLU  
Hacettepe Üniversitesi, Ankara

Doç. Dr. Taylan ÖCALAN  
Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Dr. Öğr. Üyesi Emin Özgür AVŞAR  
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Güven KOÇAK  
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, İzmir

Dr. Öğr. Üyesi Utkan Mustafa DURDAĞ  
Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin

SAHİBİ (HKMO adına)  
OWNER (on behalf of CSCE)  
Ali İPEK  
HKMO, Ankara

YAZI İŞLERİ MÜDÜRÜ  
MANAGING EDITOR  
Timur Bilinç BATUR  
HKMO, Ankara

## YAYIN KURULU / PUBLICATION BOARD

Bahattin ERDOĞAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Nursu TUNALIOĞLU, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Tarık TÜRK, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas

Taylan ÖCALAN, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul

Onur SEVENCAN, HKMO, Ankara

# JEOİNFORMASYON DERGİSİ AND GEOINFORMATION

## Dergi Hakkında

Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası'na ait altı ayda bir yayımlanan (Mayıs ve Kasım ayları), hakemli, açık erişimli, süreli, özgün makalelerin yer aldığı bilimsel bir dergidir.

## Amaç ve Kapsam

Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, jeodezi, jeoinformasyon bilimleri ve teknolojileri konularında geniş kapsamlı araştırma alanlarını içermektedir. Geleneksel çalışma alanlarının yanında, yer bilimleri, yere yönelik uzay bilimleri ve ilişkili disiplinler arası çalışmalara da dergide yer verilmektedir.

Dergide en az iki bilim insanı veya araştırmacı tarafından hakem değerlendirmesinden geçmiş, aşağıda listelenen alanlarda Türkçe veya İngilizce makaleler yayımlanmaktadır.

- Ölçme ve Algılama Sistemleri
- Matematiksel, Fiziksel, Uzay ve Mühendislik Jeodezisi
- Yer Bilimleri
- Uzaktan Algılama
- Fotogrametri
- Yere Yönelik Uzay Bilimleri
- Kartografya
- Coğrafi Bilgi Sistem ve Teknolojileri
- Arazi Yönetimi
- Yazılım Geliştirme

## Makale Gönderme

Makale gönderme, değerlendirme ve düzenleme süreçleri <https://dergipark.org.tr/tr/pub/hkmojjd> sistemi üzerinden gerçekleştirilmektedir.

## Telif Hakkı Bildirimi

Jeodezi ve Jeoinformasyon dergisi ücretsiz ve açık erişimli bir dergidir. Uygun şekilde kaynak göstermek koşulu ile makalenin herhangi bir bölümünün araştırma, çalışma, ders veya bilimsel ve teknik dokümanlarda kullanımı ücretsizdir. Ticari amaçla kopyalanması ve kullanımı TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası'ndan alınacak özel izne tabidir.

## Yayın Etiği

Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi bünyesindeki tüm yayınlar için yayın etiğini en yüksek standartlarda uygulamayı amaçlar ve "The Committee on Publication Ethics (COPE)" tarafından ortaya konulan kural ve ilkelere uymayı taahhüt eder.

## About the Journal

Journal of Geodesy and Geoinformation is a peer-reviewed, semiannual (May and November), open access journal, which covers original scientific manuscripts, published by UCTEA Chamber of Surveying and Cadastre Engineers, Turkey.

## Aim and Scopes

Journal of Geodesy and Geoinformation covers a broad range of research topics in geodetic and geoinformation sciences and technologies. Besides the traditional areas, it also includes study fields concerned with the earth sciences, earth-oriented space sciences and related interdisciplinary subjects.

The journal publishes peer-reviewed papers in the fields listed below in both English and Turkish, which are reviewed by at least two scientists and researchers.

- Surveying and Sensoric
- Mathematical, Physical, Space and Engineering Geodesy
- Earth Sciences
- Remote Sensing
- Photogrammetry
- Earth Oriented Space Sciences
- Cartography
- Geographical Information Systems and Technologies
- Land Management
- Software Development

## Submission of Manuscript

Manuscript submission, review and editing processes are available on <https://dergipark.org.tr/en/pub/hkmojjd>

## Copyright Information

Journal of Geodesy and Geoinformation is an open access and free of charge journal. There is no charge for use of any part of this publication in research, study, teaching or republications in scientific and technical documents, but the materials must be cited appropriately. Use and reproduction for commercial purposes requires special permission from Chamber of Surveying and Cadastre Engineers.

## Publication Ethics

Journal of Geodesy and Geoinformation aims to apply high quality ethical standards for all publications and commits to obey the rules and principles of "The Committee on Publication Ethics (COPE)".

# İÇİNDEKİLER

# CONTENTS

---

## ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Bulut bilişimde sunucusuz mimariler ile coğrafi bilgi teknolojilerinin kullanımı üzerine bir inceleme  
A review on the usage of geographic information technologies with serverless architectures in cloud computing..... 1-15  
*Mete Ercan PAKDİL, Rahmi Nurhan ÇELİK*
- Arazi ve arsa düzenlemelerinde düzenleme ortaklık payının alınmadığı durumlarda bedele dönüştürülmesi  
The conversion of the development readjustment share into the price ..... 16-29  
*Murat Selim ÇEPNİ*
- Küresel BeiDou Sistemi (BDS-3) için hassas nokta konumlama performansının değerlendirilmesi  
Evaluation of the precise point positioning performance for Global BeiDou System (BDS-3) ..... 30-44  
*Berkay BAHADUR*
- Açık kaynak kodlu Eo-learn kütüphanesi ve çok zamanlı Sentinel-2 görüntüleri ile tarımsal ürün sınıflandırması  
Agricultural crop classification with open source Eo-learn library and multi-temporal Sentinel-2 ..... 45-62  
*Fatih Fehmi ŞİMŞEK, Süleyman Savaş DURDURAN*
- Toplu taşınmaz değerlemede makine öğrenme algoritmalarının kullanımı ve konumsal/konumsal olmayan özneliklerin tahmin doğruluğuna etkilerinin karşılaştırılması  
Using machine learning algorithms in mass valuation and comparing the effects of geographical/non-geographical features on prediction accuracy..... 63-83  
*Arif Çağdaş AYDINOĞLU, Rabia BOVKIR, İsmail ÇÖLKESEN*
- Yüzölçümü hatalarının giderilmesinde hazine hak/menfaatlerinin korunmasına dair bir araştırma  
A study on the protection of treasury rights/benefits in elimination of surface errors ..... 84-95  
*Mehmet Aziz SAYAR, Mustafa ULUKAVAK*
-

## Bulut bilişimde sunucusuz mimariler ile coğrafi bilgi teknolojilerinin kullanımı üzerine bir inceleme

Mete Ercan Pakdil<sup>1\*</sup>, Rahmi Nurhan Çelik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, Ayazağa Kampüsü, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Sarıyer, İstanbul, Türkiye.

**Öz:** Bulut bilişim, kaynakların yönetimi üzerinden üç farklı kategoriye ayrılmaktadır. Bu kategoriler Hizmet olarak Altyapı (Infrastructure as a Service, IaaS), Hizmet olarak Platform (Platform as a Service, PaaS), Hizmet olarak Yazılım (Software as a Service, SaaS) şeklinde isimlendirilmektedir. Her bir model, kullanıcı ve sağlayıcı üzerindeki altyapı ve uygulama yönetiminin sorumluluğunun paylaşılması ile açıklanabilir. Günümüzde bu modellere ek olarak sunucusuz mimari modeline dayanan Hizmet olarak Fonksiyon (Function as a Service, FaaS) kavramı, bu üç modelin sentezi olarak ortaya çıkmıştır. Bu da kısaca sunucusuz hizmetleri ifade etmektedir. Bu model, kısaca açıklanmak istenirse, geliştirilen kodun servis tarafından bir isteğe veya olaya bağlı olacak şekilde ölçeklenebilir olarak çalıştırılmasını sağlamaktadır. Kullanıcı sadece kodun geliştirilmesinden ve yüklenmesinden sorumludur. Giderek yaygınlaşan bu model sadece kod çalıştırmak için değil veri saklama ve veri analizi gibi servisler için de uygulanmıştır. Böylece modelin kapsamı genişletilmiştir. Bu çalışmada, farklı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılım mimarileri ele alınarak sunucusuz mimarilerle bulut bilişim üzerindeki kullanımı incelenmiştir. Bu kapsamda çeşitli CBS yazılımları seçilmiş, bir bulut bilişim servis sağlayıcısının sağladığı bulut bilişim servisleri üzerinde kullanımları gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Böylece giderek popülerleşen sunucusuz mimarilere dayalı servislerin ve yazılımların farklı CBS uygulamaları ile kullanımları incelenerek bir farkındalığın oluşması hedeflenmiştir. Tüm bunlara ek olarak CBS teknolojileri, mekânsal zekâ, büyük veri gibi bulut bilişim dünyasında her geçen gün popülerliği artan teknoloji ve oluşumların sunucusuz mimarilerle etkileşimi incelenmiş, geleceğin şekillendirilmesine katkı sağlayacak bir yol haritası verilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Bulut bilişim, Coğrafi bilgi sistemleri, Sunucusuz mimariler

### A review on the usage of geographic information technologies with serverless architectures in cloud computing

**Abstract:** From the perspective of resource management, cloud computing falls into three categories, namely, Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS), and Software as a Service (SaaS). Each model can be clarified in the responsibility share of infrastructure and implementation management on the user and provider. Nowadays, as an addition to these models, the notion of Function as a Service (FaaS) has appeared, based on serverless architecture, implying serverless services. With this model, in brief, a developed code is run scalable depending on a request or an event. The user is responsible only for the development and uploading of the code. This increasingly widespread model has been applied not only to run the code but also to services such as data storage and data analysis. Thus, the scope of the model has been expanded. This study deals with various Geospatial Information Systems (GIS) from the viewpoint of their use on cloud computing with serverless architectures. In this context, various GIS applications were selected to deploy a public cloud computing provider's services, and results were discussed. In this way, it is aimed to raise awareness by examining the use of services and software based on increasingly popular serverless architectures with different GIS applications. In addition, the interaction of trending technologies and computing paradigms in the cloud computing area such as GIS technologies, spatial intelligence, and big data, with serverless architectures are reviewed; and a contributory road map for the future is proposed.

**Keywords:** Cloud computing, Geographic information systems, Serverless architectures

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +44 793 103 4753

Geliş Tarihi/Received: 07.11.2021  
Kabul Tarihi/Accepted: 08.03.2022



0000-0002-5998-9779, pakdilme@itu.edu.tr (Pakdil M.E.)  
0000-0002-8131-2879, celikn@itu.edu.tr (Çelik R.N.)

## 1. Giriş

Bulut bilişim teknolojisinin gelişimine paralel olarak, bu teknolojiden faydalanılarak yapılan çalışmalar bilim ve teknoloji dünyasında önemli gelişmelerin kaydedilmesini sağlamıştır. Özellikle büyük veriye dayalı, büyük hesaplama gücü gerektiren işlemler ve yüksek sayıda kullanıcıya sahip uygulamaların ihtiyacı olan altyapının bulut bilişim üzerinden kolay ölçeklenebilir ve düşük maliyetli bir şekilde sağlanabilmesi bu gelişmelerin önünü açmıştır. Bugün bulut bilişimin kullanılmadığı büyük veri senaryoları düşünülememektedir. Araştırmacılar geliştirdikleri algoritmaları hızlı bir şekilde bulut bilişim platformları üzerinde, istenen özelliklerde hazır olarak bulunan bilişim altyapılarını kullanarak test edebilmekte ve çalışmalarını daha hızlı sonuçlandırma olanağı elde etmektedirler. Bu da bilim ve teknolojinin ilerlemesine katkı sağlamaktadır. Bu teknoloji her alanda olduğu gibi mekânsal bilişim teknolojilerinin uygulanmasında ve hatta evrimleşmesinde de büyük rol oynamaya başlamıştır.

Mekânsal bilişim teknolojileri her geçen gün büyük veriyle çalışan analiz süreçlerinin giderek daha önemli bir parçası olmaya başlamış hatta büyük oranda ana oyuncusu haline gelmiştir (Dold & Groopman, 2017). Bu süreçlerdeki zorluk ise verinin büyüklüğünün yanında yapılmak istenen karmaşık analizlerin altından kalkacak bilgi teknolojilerinin alt yapısının kurulumu ve yönetimidir. Altyapı kurulumu ve yönetimi bulut bilişim sayesinde çok kolaylaşmış, hatta kimi durumlarda ihtiyaç olmaktan tamamen çıkmıştır. Bu nedenle günümüzde mekânsal bilişim hakkında çalışma yaparken artık bulut bilişimden bahsedilmemesi düşünülemez. Her ne kadar bir coğrafi bilgi teknolojisi projesi bu kavram üzerinden kurgulanarak gerçekleştirilmek istense de bu konuda çalışmak isteyen coğrafi bilgi teknolojileri uzmanlarının önündeki teknik zorluklar, çalışmayı yürütecek kurum için yeterli insan kaynağının bulunamaması ve ortaya çıkan maliyetler birer engel teşkil edebilmektedir.

Bulut bilişim konusunda yetişmiş insan kaynağının istihdam edilmesi, bu insan kaynağına olan talep artışı nedeniyle, bu teknolojiden faydalanmak isteyen kurumlar için bir engel olarak görülmektedir. Ayrıca aranan insan kaynağının coğrafi bilgi teknolojileri konusunda da yetkin olmasının beklenmesi ile istenen insan kaynağının bulunmasındaki zorluk katlanarak artmaktadır.

Teknik zorluklar ise özellikle coğrafi bilgi teknolojileri konusunda bulut bilişim tabanlı bir proje geliştirilmek istendiğinde ayrıca değerlendirilmelidir. Bu teknik zorluklar çalışılacak verinin büyüklüğü ve projenin kullanıcı sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Bulut bilişimin temeli her ne kadar sınırsız donanım kaynağı ve ölçeklenebilirlik kavramları üzerine kurulu olsa da uygulamada sınırlı proje bütçeleri kaynakların kullanımlarını sınırlamaktadır. Bunun yanında birçok bulut bilişim servisi 'kullandıkça öde' fiyatlandırma modeli üzerine kurulu olduğu için eğer kaynaklar iyi yönetilemezse ve kontrolsüz bir şekilde büyüme gerçekleşirse proje yürütücüsü mali açıdan zor duruma düşecektir. Bahsedilen bu zorluklar sunucusuz bulut bilişim teknolojilerinin sunduğu olay bazlı çalışma ile kısmen veya tamamen aşılabilmektedir (Bebortta, Das, Kandpal, Barik, & Dubey, 2020). Örneğin devamlı çalışması gerekmeyen bir uygulamanın sürekli donanım kaynaklarını meşgul etmeyerek ve sadece istek zamanında donanım kaynaklarını tüketerek ücretlendirilmesi sağlanabilir.

Sunucusuz mimariler, bulut bilişim paradigması içinde günümüzde her geçen gün daha fazla tanınmaya ve kullanılmaya başlayan bir teknoloji olmuştur (Baldini vd., 2017). Özellikle bu teknolojik yaklaşımın diğer yaklaşımlara göre getirdiği en büyük fayda hesaplama sistemlerindeki yüksek ölçeklenebilirliği, yönetsel teknik zorlukları kullanıcıdan soyutlayarak kolay ve bakım gerektirmeden sunmasıdır. Sunucusuz hesaplama servisleri Hizmet olarak Fonksiyon (Function as a Service, FaaS) ve Hizmet olarak Konteyner (Container as a Service, CaaS) olmak üzere iki ana türde incelenebilir (Chowhan, 2018;



URL-1). Bu iki servis türü de alt yapı yönetiminin büyük oranda servis kullanıcılarından soyutlanarak bilişim servis sağlayıcısı tarafından yönetilmesi yaklaşımıyla sunulur. Böylece hem altyapı yönetimindeki teknik zorluklar hem de altyapı yönetimi için gereken insan kaynağı büyük oranda azaltılmış olur. Bu teknolojinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) uygulamalarında kullanılması ile bulut bilişim konusunda ileri düzeyde teknik yetkinliği olmayan CBS uzmanlarının bulut bilişimle tanışması da kolaylaştırılabilir.

FaaS mimarisiyle oluşturulan uygulamalar bir olayın tetiklenmesi üzerine çalışırlar. Örneğin bu olay nesnelerin interneti teknolojisi ile çalışan akıllı bir duyargadan (sensör) gelebilir. Günümüzde çeşitli türden akıllı duyargalar aynı zamanda akıllı şehir ekosistemlerinin önemli bir oyuncusu olup yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu duyargalardan gelen verilerin çevresel olgu ve faaliyetlere dayalı olarak ürettiği verilerin gerçek zamana mümkün olduğunca yakın olarak işlenebilmesi karar vericiler için önemli olmaktadır. Bu durumda verinin işleneceği CBS alt yapısının da hızlı cevap veren ve kolay ölçeklenebilir bir şekilde olması gerekmektedir. Bu sayede gelen verilerin en hızlı şekilde saklanması ve analizi sağlanabilmektedir (Evans vd., 2019). Örnek olarak, akıllı duyargalardan gelen verilerin işlendiği bir akıllı şehir uygulaması senaryosunda, bulut bilişim üzerindeki diğer hizmet türleri olan Hizmet olarak Altyapı (Infrastructure as a Service, IaaS) ve Hizmet olarak Platform (Platform as a Service, PaaS) üzerine kurulu sistem mimarilerinin başarısı ve sürdürülebilirliği, alt yapının yönetimi bu hizmetlerin kullanıcılarına bırakıldığı için teknik yetkinlik ve insan kaynağına bağlı olacaktır. Sunucusuz mimariye dayalı hizmetlerin kullanımında ise bu senaryonun başarısı sadece kullanılan veya geliştirilen uygulamanın yeteneklerine ve verimliliğine bağlı olmaktadır (van Eyk vd., 2018). Böylece sadece uygulamanın doğru optimizasyonu ve bakımı ile sistemin devamlılığı sağlanabilir ve verimliliği artırılabilir.

Sunucusuz mimarilere dayalı bilişim teknolojilerinin ilk bakışta her ne kadar bulut bilişim sağlayıcılarının sunduğu altyapı olmadan çalışamayacağı düşünülse de aslında kurum içindeki bir mevcut altyapı üzerinde de çalıştırılabilir. Birçok açık kaynak kodlu sistem yönetimi yazılımı sayesinde kurum içindeki sunuculara da sunucusuz mimariyle çalışan hizmetlerle bir sistem kurulabilir. Böylece bulut bilişimin kullanılmasının mümkün olmadığı coğrafi bilgi teknolojileri projelerinin de kurum içi bilişim teknolojileri alt yapıları ile çalışması sağlanmaktadır. Bu sayede sunucusuz mimarinin en büyük kazanımlarından biri olan kaynak optimizasyonu kurum içindeki sistemlerde de uygulanabilir. Ancak bu kurulumun da bilişim teknolojileri konusunda yetkin insan kaynağı tarafından yapılması gerekeceği düşünülürse bu konudaki insan kaynağı ihtiyacı ortadan kalkmayacaktır.

Günümüzde akıllı şehir uygulamalarında kullanılan mekânsal bilgi işleme süreçleri, harita servisleri, belli aralıklarla çalışan mekânsal analizleri gibi CBS uygulamaları devamlı donanım kaynağı tüketmesi gerekmez ve sadece planlanan zamanda veya istek anında çalışmak üzere beklerler. Yukarıda bahsedilen sunucusuz mimarilerin getirdiği avantajlar göz önüne alındığında bu uygulamaların sunucusuz mimarilerle tasarlanması sistem kaynaklarının daha verimli kullanılması ile optimizasyonunu sağlar. Ayrıca alt yapı bakımının da soyutlanması ile daha yönetilebilir ve kolay ölçeklenebilir bir sistem kurulması mümkün hale gelmektedir.

Bu çalışmada mevcut CBS uygulamalarının sunucusuz mimariye dayalı teknolojilerle ve seçilen bir bulut bilişim hizmeti sağlayıcısına ait sunucusuz servislerle tasarımları sunulmuştur. Böylece mevcut uygulamaların sunucusuz mimarilerle kullanımları incelenmiş ve teknik zorlukları ile avantajları irdelenmiştir. Çalışmada, sistem tasarımlarında kullanılan temel sunucusuz bulut bilişim hizmet türleri irdelenmiştir. Verilen örnekler bir bulut bilişim sağlayıcısının servisleri seçilerek irdelenmiş olsa da benzer servisler diğer bulut bilişim sağlayıcılarında da bulunarak sunulan sistem tasarımları uygulanabilir.

## 2. İlgili Çalışmalar

Baldini vd. (2017) sundukları çalışmada sunucusuz mimarileri tanımlamış ve günümüzdeki kullanım alanlarını incelemiştir. Bununla birlikte bu çalışmada mevcut sunucusuz mimariye dayalı platformların karakteristik özellikleri tanımlanarak yeni ve gelecekte yayınlanacak açık kaynak sunucusuz mimariye dayalı yazılımlardan da bahsedilmiştir. En sonunda sunucusuz mimari yaklaşımının teknik zorlukları, dezavantajları ve avantajları ile birlikte açık araştırma konularına da değinilmiştir.

Bebortta vd. (2020) yaptıkları çalışmada sunucusuz mimarilerle coğrafi büyük verinin analizini farklı sunucusuz bilişim servis sağlayıcısı platformlar ve yazılımla inceleyerek uygulanabilirliğini değerlendirmişlerdir. Ayrıca çalışmada sundukları örnek bir coğrafi veri analizi çerçevesinin sunucusuz bilişim paradigması ile uygulaması yapılarak değerlendirilmiştir.

Anand, Johnson, Mathiksara ve Kartik (2019) yayınladıkları çalışmada geliştirdikleri gerçek zamanlı konum takip sistemini GPS tabanlı donanım ve sunucusuz servislerle birlikte incelemiştir. Çalışmada GPS alıcısından alınan konumların saklanması için bir bulut bilişim platformu üzerinde sunucusuz veri depolama hizmeti kullanılmıştır.

Mete ve Yomralıoğlu (2021a) yaptıkları çalışmada bir arazi değerlemesi uygulamasının verilerinin sunucusuz bulut bilişim servisleri kullanılarak yayınlanması için bir yazılım mimarisi kurgulamış ve uygulamışlardır. Bu çalışma yazarların daha önce sundukları Mete ve Yomralıoğlu, (2021b) çalışmasındaki bulut bilişim tabanlı yazılım mimarisinin vektör karo sunucusuz servislerle yeniden tasarlanarak sunulmasını göstermektedir. Bu bağlamda mevcut coğrafi bilgi sistemi uygulamalarının sunucusuz servislere taşınması için literatürde örnek olmaktadır.

Pakdil ve Çelik (2021) yayınladıkları çalışmada sunucusuz mimarilerle mekânsal veri işleme iş akışları çalıştırabilecek bir sistem tasarımı sunmuştur. Bu tasarımda veri işleme ve web servislerin yayını için hem FaaS hem de CaaS türündeki servisler birlikte kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada OGC (Open Geospatial Consortium) API (Application Programming Interface) Features tanımının sunucusuz mimarilerle çalışabilirliği de incelenmiştir.

## 3. Sunucusuz Mimariye Dayalı Mevcut Teknolojilere Genel Bakış

Sunucusuz mimariye dayalı teknolojiler sunucu yönetimi gerekmeyen sistemler olarak tanımlanır. Sunucusuz mimari sunucu olmadığı anlamına gelmez ancak çalışacak yazılım için önceden sunucu kaynağı ayrılması, ölçeklendirilmesi ve bakımı gerekmez (URL-2). Literatür incelendiğinde sunucusuz mimariye dayalı teknolojiler Tablo 1'de görüldüğü gibi veri depolama ve hesaplama olarak iki ana çatı altında toplanabilirler. Veri depolama türündeki hizmetler de yapısal ve yapısal olmayan veri türlerine göre iki alt gruba ayrılabilir (URL-3). Benzer şekilde hesaplama türündeki hizmetler de FaaS ve konteyner CaaS tabanlı alt yapı türüne göre iki grupta incelenmektedir (Chowhan 2018; URL-1).

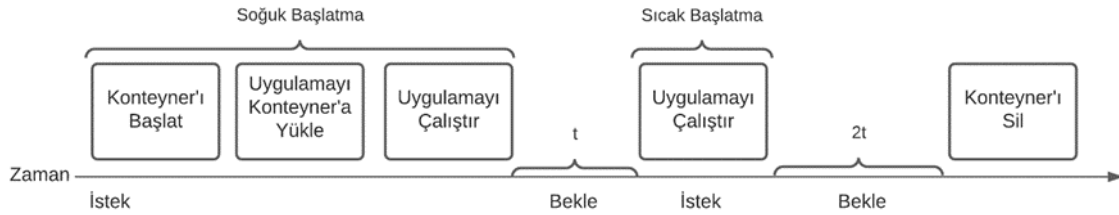
**Tablo 1:** Sunucusuz mimariye dayalı teknoloji türlerinin sınıflandırılması

Veri Depolama Hizmeti	Hesaplama Hizmeti
Yapısal ve ilişkisel veri saklama	FaaS
Yapısal olmayan veri saklama	CaaS

Yapısal ve ilişkisel veri saklama hizmetleri genel olarak Yapısal Sorgulama Dili'ni (Structured Query Language, SQL) destekleyen yazılımlar veya doküman veri tiplerini saklayan ve internet servisleri ile sorgulatan yazılımlardan oluşmaktadır. Bu yapısal ve ilişkisel veri saklama servislerinin bazıları açık kaynak kodlu yazılımlar aracılığıyla sunulmuş olup bazıları da bulut bilişim sağlayıcı firmanın özel olarak ürettiği yazılımlar sayesinde sunulmaktadır. Yapısal ve ilişkisel veri saklama

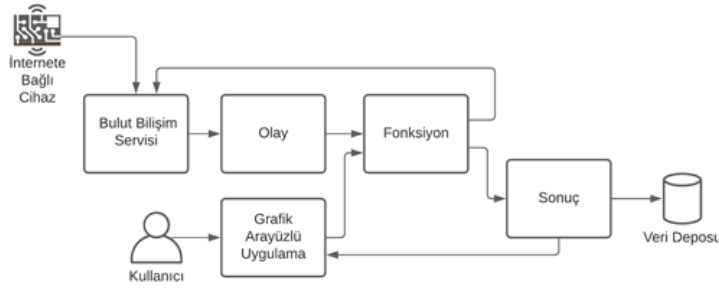
hizmetlerinin birçoğu coğrafi veri eklentileri veya dâhili coğrafi veri işlemcileriyle mekânsal sorgulara ve veri saklanmasına destek vermektedirler. Yapısal olmayan veriler İkili Büyük Nesne (Binary Long Objects, BLOB) türünde saklanmaktadır. İkili biçimde olan her şey BLOB olarak saklanabilir (Amirian, Basiri, & Winstanley, 2014). En yaygın biçimler; resim, Virgülle Ayrılmış Değerler (Comma Separated Values, CSV), Apache Parquet, düz yazı gibi biçimlerdir. Yapısal olmayan veri saklama hizmetleri üzerinde saklanan coğrafi verilerin sorgulanması için bir başka sunucusuz sorgulama servisi gerekebilir. Yapısal olmayan verilerin mekânsal indekslenmesi uygulama geliştirme arayüzleri üzerinden verilere hızlıca erişerek sorgulanmasını mümkün kılmaktadır (URL-4). Yapısal olmayan veriler sunulan internet servisleri ile yönetilebilirler. Ayrıca yapısal olmayan veriler üzerinde veya saklama alanındaki değişiklikler birer olay üretir ve FaaS'i tetikleyerek çalıştırabilir. Böylece istenirse gerçek zamana yakın bir şekilde değişen veriler üzerinde analiz yapılabilir veya bir başka servisin değişen veri hakkında bilgi üretmesi sağlanabilir.

Sunucusuz hesaplama servislerinden biri olan fonksiyonlar, belli bir amaç için geliştirilen yazılım parçasını çalıştırmak için kullanılırlar. Bu yazılım parçası kullanılacak alt yapının desteklediği herhangi bir programlama dilinde geliştirilebilir. Fonksiyonlar sadece istek anında çalışmaya başlarlar. Temelde birer konteyner yönetimi olarak çalışan FaaS mimarileri, özel olarak geliştirilen konteynerlerin sisteme yüklenen kod parçalarını istek alındığı anda olabilecek en hızlı şekilde çalıştırılması üzerine tasarlanmıştır. Şekil 1, Chowhan (2018) çalışmasından yararlanılarak çalışma döngüsünü açıklamak için oluşturulmuştur.



Şekil 1: Bir fonksiyonun çalışma döngüsü

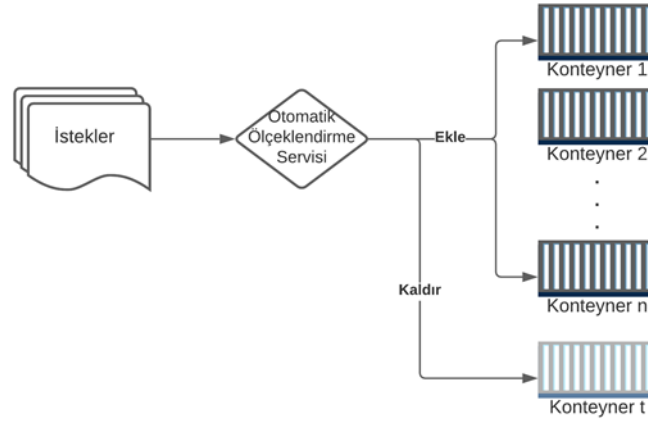
İstemci yazılım fonksiyona senkron bir istek gönderdikten sonra, sistem fonksiyon konfigürasyonunda belirtilen programlama diline uygun konteyneri çalıştırmaya başlar. Bu aşamadan sonraki geçen sürede istemci yazılım fonksiyonundan yanıt beklemeye başlar. Bu sürece soğuk başlatma süreci denir. Çalışmaya başlayan fonksiyon uygulamasının istemci yazılıma yanıt vermesiyle soğuk başlatma süreci tamamlanmış olur. Eğer bir fonksiyon uzun süre belli aralıklarla istek almaya devam ederse soğuk başlatma sürecinde çalıştırılan konteyner kapatılmadan çalışmaya devam eder. Buna sıcak başlatma denir. Bu nedenle bir fonksiyonun ilk isteğe verilen yanıt süresi ardı sıra gelen isteklere göre daha uzun olmaktadır. Fonksiyonlar kolaylıkla ölçeklenebilirler. Bir fonksiyon, çalıştığı konteynerin hesaplama kapasitesinin üzerinde istek almaya başlarsa orkestrasyon yazılımı otomatik olarak yeni bir konteyner çalıştırarak gelen istekleri eşit olarak dağıtır ve işlem yükünü bölüştürmüştür. Böylelikle fonksiyonlar için geliştirilen kodların ek olarak elle bir müdahale gerekmeden çalışmaya başlaması beklenir. Aksi halde orkestrasyon yazılımı gerekli otomasyonu sağlayamayacaktır. Kaynak tüketimi ve bununla orantılı olarak maliyetlerin artmasına sebep olacağından, fonksiyonların kısa zamanda işlemleri bitirmesi gerekir (Adzic & Chatley, 2017). Fonksiyonların çalışma süresi sonunda ürettikleri sonuçlar başka bir bulut bilişim servisini tetikleyerek başka bir servise aktarılabilir ya da bir Hiper-Metin Transfer Protokolü (Hyper-Text Transfer Protocol, HTTP) ile internet servisi olarak sunulabilir. Barbieri ve Bonanni (2019) çalışmasından yararlanılarak fonksiyonun diğer servislerle olan ilişkisini açıklamak üzere Şekil 2 oluşturulmuştur.



Şekil 2: Bir fonksiyonun diğer uygulama ve servislerle ilişkisi

Sunucusuz CaaS servisleri fonksiyon servislerine göre daha özgür çalışma ortamı sunar. Bunun nedeni ise uygulama geliştirici için fonksiyonların aksine sadece kodun üzerinde değil çalışılan konteynerin üzerinde de yetki alanı sunulmasıdır (URL-5). Böylece bir uygulama geliştirici geliştirdiği uygulamanın hangi ortamda ve hangi uygulama sunucusu yazılımı ile çalışabileceğine karar verebilir. Bu bağlamda, mevcut CBS uygulamalarını çalıştırmak için de konteyner teknolojisi kullanılabilir (Zaragozi, Trilles, & Navarro-Carrión, 2020). Örneğin MapServer isimli açık kaynak kodlu CBS uygulaması Docker konteyner formatında sunulmaktadır (URL-6). Literatür incelemesi yapıldığında birçok farklı konteyner platformu olduğu görülmektedir (Siddiqui, Siddiqui, & Khan, 2019). Bu platformlar içerisinde Docker isimli platform birçok farklı bulut bilişim sağlayıcısı tarafından desteklendiği için öne çıkmaktadır. Docker platformu üzerinde hazırlanan konteynerler birer imaj olarak bir depoda tutulurlar (Nickoloff & Kuenzli, 2019; URL-7). CaaS ilgili imajı depodan indirir ve konteyneri çalıştırır. Konteynerler devamlı olarak çalışmaya devam edebileceği gibi sadece bir görevi tamamlamak üzere de çalışır durabilirler. Devamlı çalışan konteynerlere örnek olarak internet sunucusu uygulamaları gösterilebilir. Bu uygulamalar bir internet iletişim protokolü üzerinden gelecek olan isteği devamlı olarak beklerler. Eğer aynı anda gelen istek sayısı artarsa CaaS gelen talebi karşılamak üzere çalışan konteyner sayısını artırabilir. Bu nedenle konteynerler de fonksiyon uygulamalarına benzer şekilde orkestrasyon yazılımı tarafından otomatik olarak başlatılıp elle müdahale gerekmeden istek almaya hazır olmalıdırlar. Eğer sistem üzerindeki çalışma yükü azalır CaaS ihtiyaç duymadığı konteynerleri otomatik olarak kapatır.

Konteynerlerdeki veri konteyner kapatıldığında silindiğinden dolayı çalışan uygulamalar konteyner üzerinde veri saklamamalıdırlar. CaaS üzerinde çalışan internet uygulamaları genel olarak bir yük dengeleyici servisi ile çalışırlar. Otomatik ölçeklendirme servisi yeni konteynerlerin eklenmesi veya gereksiz konteynerlerin silinmesi emrini izlediği metriklere göre karar vererek orkestrasyon yazılımına iletir (Tang & Wang, 2020). Bu sayede kaynak tüketiminin optimizasyonu sağlanır ve bir konteyner filosu otomatik olarak yönetilmiş olur Şekil 3, Luksa (2017) çalışmasından yararlanılarak otomatik ölçeklendirme servisini açıklamak için oluşturulmuştur. Konteyner mimarileri tek bir konteyner imajının ölçeklenerek çalıştırılması şeklinde olabileceği gibi birden fazla konteyner imajının birbirleri ile iletişim kurarak çalıştırıldığı bir sistem olarak da tasarlanabilir. Bu sistemlerde ağ yönetimi soyutlanarak CaaS tarafından gerçekleştirilir.



Şekil 3: Otomatik ölçeklendirme servisi ile konteyner yönetimi

Bir sonraki bölümde bulut bilişim sağlayıcılarından olan Amazon Web Services (AWS) firmasının sunucusuz olarak sağladığı veri saklama ve hesaplama hizmetlerinin mekânsal bilişim teknolojileri alanındaki kullanımı, ücretlendirme şekilleri ve mevcut çalışma kısıtları incelenecektir.

### 3.1 Amazon Web Services (AWS) Bulut Bilişim Sağlayıcısının Sunduğu Sunucusuz Hizmetler

AWS firmasının yapısal olmayan veri depolama için sunduğu sunucusuz hizmeti Amazon S3 olarak isimlendirilmektedir. Amazon S3 hizmeti verileri BLOB türünde saklamaktadır. Bu hizmet saklanan verinin ve saklama alanına yapılan veri trafiğinin büyüklüğüne bağlı olarak ücretlendirme politikası izlemektedir. Amazon S3 üzerinde saklanan CSV, Apache Parquet veya düz metin gibi biçemlerdeki dosyaların içerdikleri coğrafi verilerin sorgulanması için bir başka sunucusuz sorgulama servisi Amazon Athena kullanılabilir.

Yapısal verilerin saklanması için AWS firması tarafından veri saklama hizmetleri olarak Amazon Aurora Serverless ve Amazon DynamoDB servisi sunulmaktadır. Bu servis açık kaynak kodlu PostgreSQL ve MySQL veri tabanı sunucusu yazılımlarının AWS tarafından özelleştirilmiş bir sürümleri üzerinden sunulmaktadır. Bu servisin ücretlendirilmesi saatlik aktif olan veri tabanı sunucusunun sayısı, saklanan veri miktarı ve yapılan sorgulama sayısı üzerinden yapılmaktadır. Örneğin, saklanan veriler hiçbir zaman sorgulanmazsa sadece depolama ücreti ödenmektedir. Bir diğer örnek ise; verilerin ayda bir kez bir saat boyunca sorgulanması durumunda, yapılan sorgunun kullandığı sunucuların bir saatlik kullanım ücreti ve saklanan veri miktarı üzerinden aylık olarak ücretlendirilir. PostgreSQL eklenti ekosisteminde mekânsal verinin saklanması ve analizi için geliştirilmiş olan PostGIS eklentisi Amazon Aurora Serverless ile çalışabilmektedir. PostGIS eklentisi ile birçok farklı türden mekânsal veri saklanabilir ve SQL sorguları ile gelişmiş analizler yapılabilir. Bu sayede mekânsal verilerin saklanması ve ileri düzeyde sorgulanması mümkün olmaktadır (Mete & Yomrahoğlu, 2021a).

Amazon DynamoDB anahtar-değer doküman türü verileri saklama hizmetidir. Amazon DynamoDB'nin ücretlendirilmesi ise veri okuma ve yazma üzerinden kullanım miktarına göre yapılmaktadır. Bu hizmet coğrafi verilerin saklanmasına ve sorgulanmasına kısıtlı olarak destek vermektedir; sadece nokta türündeki coğrafi verilerin GeoHash kodlaması ile saklanmasını tavsiye etmektedir. GeoHash kütüphaneleri ile uygulama üzerinden coğrafi veriler kısıtlı olarak analiz edilebilmektedir (URL-8). Amazon DynamoDB veri sorgulama işlemlerini SQL dili desteğini kısıtlı bir şekilde vererek ve kendine özgü sorgulama fonksiyonlarını internet servisleri üzerinden sağlayarak sunmaktadır.

AWS firmasının sunduğu sunucusuz hesaplama hizmetleri FaaS ve CaaS türünde ikiye ayrılmaktadır. FaaS türündeki servisin adı AWS Lambda olarak adlandırılmaktadır (Chapin & Roberts, 2020). AWS Lambda fonksiyonları çalışma süresi boyunca

atanan bellek miktarına ve toplam çalışma süresine göre ücretlendirilirler. AWS Lambda fonksiyonlarının bellek kapasitesi kullanıcı tarafından belirlenir. Bu yüzden uygulamanın ihtiyacı olan bellek miktarının doğru tespitini yapmak ve gereğinden fazla bellek kapasitesi atamamak önem arz etmektedir. AWS Lambda üzerindeki fonksiyonlar diğer AWS servisleriyle iletişim kurabilirler. Örneğin, AWS Lambda üzerinde Amazon DynamoDB kullanan bir veri tabanı uygulaması da çalıştırılabilir. AWS Lambda servisinin çalışma süresi 15 dakika ile limitli olduğundan, çalışması uzun süren mekânsal büyük veri analizi veya mekânsal zekâ uygulamaları için uygun olmayabilir. Bununla birlikte bir fonksiyonun aynı anda en fazla bin isteğe cevap verebilme limiti bulunmaktadır. Özellikle herkese açık ve çok sayıda kullanıcıya hizmet vermesi beklenen internet servisi mimarileri için bu limit önemlidir. Servis sağlayıcı firmadan talep edilerek bu limit arttırılabilmektedir. AWS Lambda servisi başlıca Java Script, Python, Ruby, Java, Go ve C# programlama dillerini desteklemektedir, ancak, servis ayrıca konteyner imajı çalıştırma desteği verdiği için uygulamada konteyner üzerinde çalışabilen her dille çalışma imkânı da sunmaktadır. AWS Lambda servisinin konteyner çalıştırma yeteneği açısından CaaS modeline dayalı AWS Fargate servisi ile ortak özellikler taşıdığı görülmektedir.

AWS firmasının CaaS türündeki servisi AWS Fargate olarak adlandırılmaktadır. Bu hizmetin ücretlendirilmesi işlemci sayısının ve bellek miktarının kullanım sürelerine göre hesaplanmaktadır (Vohra, 2018). Bununla birlikte konteyner başına geçici olarak 20 GB depolama alanı ücretsiz olarak sunulmuştur; ancak daha büyük bir depolama kapasitesi atanırsa bunun da ücretlendirilmesi kullanılan kapasiteye ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Eğer kalıcı bir depolama ihtiyacı varsa bunun için sunucusuz yapısal olmayan veri depolama hizmetleri kullanılabilir gibi disk hizmetinden de faydalanılabilir. Servis aynı anda bin adet konteyner çalıştırabilir; ancak bu limit servis sağlayıcı firmadan talep edilerek arttırılabilmektedir. Bir diğer limit ise AWS Fargate servisinin grafik işlem birimi desteği sunmamasıdır. Bu nedenle grafik işlem birimi ile çalışan mekânsal zekâ uygulamaları AWS Fargate üzerinde çalışmamaktadır.

Bir sonraki bölümde AWS firmasının sağladığı Tablo 2’de belirtilen ve yukarıda açıklanan sunucusuz veri depolama ve hesaplama servisleri kullanılarak çeşitli mekânsal bilişim uygulamalarının mimari tasarımları sunularak incelenecektir.

**Tablo 2:** AWS firmasının sağladığı sunucusuz hizmetlerin sınıflandırılması

		Hizmet Adı
<b>Veri Depolama Türü</b>	Yapısal ve ilişkisel veri saklama	Amazon Aurora Serverless
	Yapısal olmayan veri saklama	Amazon S3 Amazon DynamoDB
<b>Hesaplama Türü</b>	Fonksiyon (FaaS)	AWS Lambda
	Konteyner (CaaS)	AWS Fargate

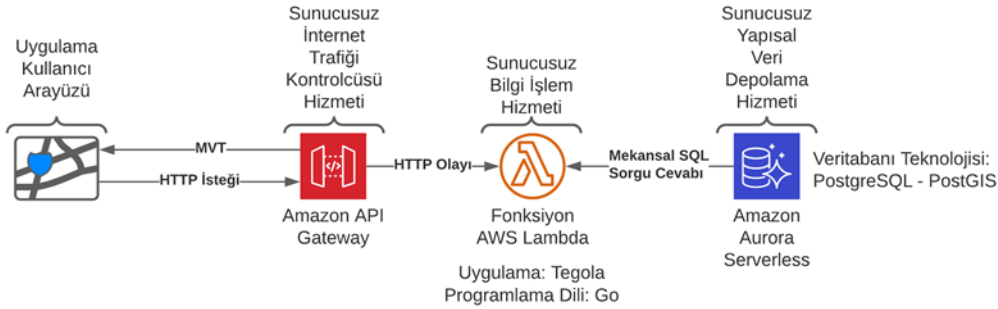
#### 4. Sunucusuz Mimariye Dayalı Mekânsal Bilişim Uygulamalarının İncelenmesi

Bu bölümde sunucusuz mimariye dayalı dört farklı mekânsal bilişim servisi uygulaması incelenecektir, bu uygulamalar bir önceki bölümde incelenen AWS firmasının sağladığı sunucusuz hizmetler üzerinde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Aynı mimari tasarımlar diğer bulut bilişim servis sağlayıcılarında da veya yerel ağda tasarlanacak bir sunucusuz mimariye dayalı altyapı üzerinde de uygulanabilir.

##### 4.1 Sunucusuz Vektör Karo Harita Servisi Tasarımı

Günümüzde birçok harita servisi vektör karo modelini kullanarak herkese açık yayın yapmaktadır. Bu servislerin çalışma prensibi, temelde, bir istemci uygulaması aracılığı ile mekânsal bir alanın karolara bölünerek sorgulanmasına dayanır. Her bir karonun satır ve sütun numaraları ile detay seviyesi sorgu parametresi olarak harita sunucusuna gönderilir. Harita sunucusu bu parametrelerle keşiften coğrafi alana ait nesnelere özel olarak kodlayarak istemci uygulamasına cevap olarak geri

gönderir ve istemci uygulama cevabı harita olarak görselleştirir (Wan, Huang, & Peng, 2016). İstemci uygulamanın bir vektör karo harita internet servisi ile iletişim kurabilmesi için bu servise ait iletişim kurallarını bilmesi gerekir. Vektör karo harita servisi tasarımında Mapbox Vector Tile (MVT) tanımlaması seçilmiştir (URL-9). Bu tanımlamaya göre vektör karo sorgu istekleri harita sunucusuna HTTP protokolü üzerinden HTTP GET metodu kullanılarak karo parametreleri gönderilmektedir. Harita sunucusu aldığı bu parametrelerle kesişen mekânsal veriyi veri tabanı sunucusundan sorgulayarak ister. Veri tabanından gelen veri Google Protobuf veri değişim formatı ile kodlanarak istemci uygulamaya HTTP cevabı olarak geri döndürülür.

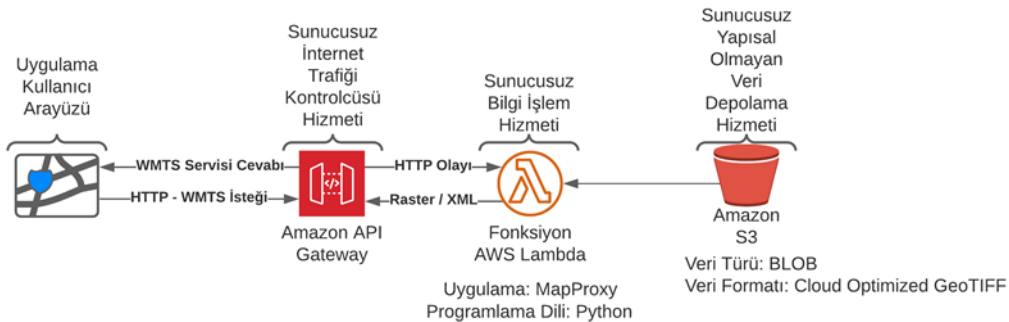


Şekil 4: Sunucusuz vektör karo harita servisi tasarımı ve bileşenleri

Şekil 4'te belirtilen mimari tasarımda FaaS üzerinde çalışmak üzere açık kaynak kodlu Tegola isimli harita sunucusu yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım Go programlama dilinde geliştirilmiştir ve MVT tanımlamasına göre çalışmaktadır (URL-10). Tegola yazılımı mekânsal veri tabanı olarak PostgreSQL üzerinde PostGIS eklentisine destek vermektedir. Bu sebeple sunucusuz veri depolama çözümü olarak Amazon Aurora Serverless adlı sunucusuz veri tabanı hizmeti bu mimari tasarımda tercih edilmiştir. FaaS'in bir olayla tetiklenmesi için Amazon API Gateway isimli internet trafiği kontrol ve yönlendiricisi olarak görev yapan sunucusuz uygulama servisine de ihtiyaç duyulmuştur. Bu servis gelen HTTP isteklerinin birer tetikleyici olaya dönüştürülerek AWS Lambda fonksiyonuna iletilmesinde ve fonksiyon ile istemciler arasındaki trafiğin sağlıklı bir şekilde yönetilmesinde kullanılmaktadır (Patterson, 2019).

#### 4.2 Sunucusuz Raster Karo Harita Servisi Tasarımı

Harita sunucusu yazılımlar, bir OGC standardı olan Web Map Tile Service (WMTS) ile bir mekânsal alana ait daha önceden üretilmiş raster karolarını harita servisi olarak sunarlar (Gratier, Spencer, & Hazzard, 2015). Bu raster karoları farklı resim dosya biçimlerinde üretilebilirler. Bu çalışmada raster karoların dosya biçimi için Cloud Optimized GeoTIFF biçimi seçilmiştir. Bu biçim sayesinde veri sunucusu ile HTTP protokolü üzerinden olan iletişim normal GeoTIFF dosyalarına kıyasla daha hızlı olmaktadır (Flasher, 2019; URL-11).



Şekil 5: Sunucusuz raster karo harita servisi tasarımı ve bileşenleri

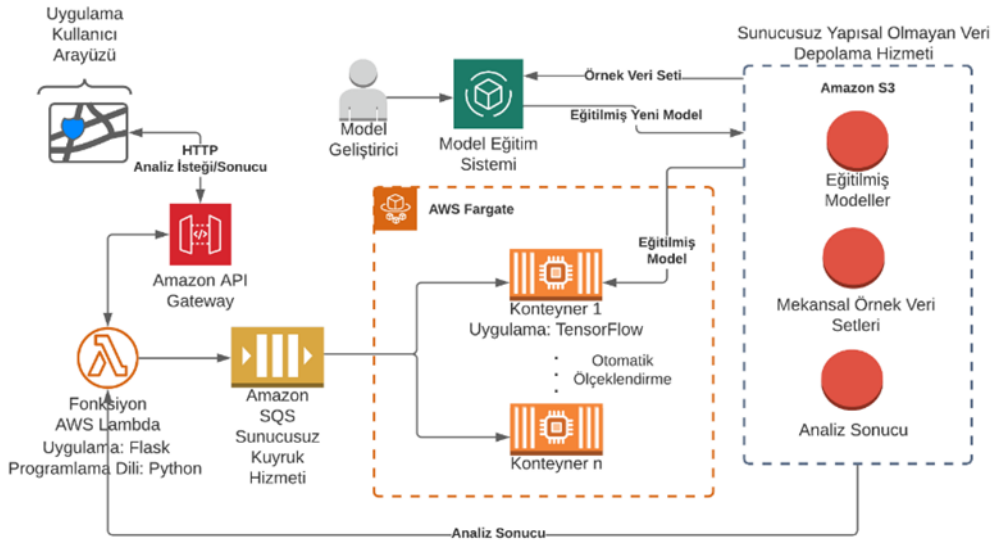
Şekil 5'te belirtilen mimari tasarımda önceden üretilen raster karo dosyaları, yapısal olmayan veri olarak Amazon S3 hizmetinde saklanacak şekilde konumlandırılmıştır. Sunucusuz raster karo harita servisi tasarımında FaaS üzerinde çalışmak üzere MapProxy isimli açık kaynak kodlu harita sunucusu yazılımı seçilmiştir (URL-12). Bu yazılım Python programlama dilinde geliştirilmiştir. MapProxy yazılımı ayrıca Web Map Service (WMS), WMTS, Keyhole Markup Language (KML) ve Tile Map Service (TMS) gibi harita yayın standartlarını destekleyen bir harita sunucusu yazılımıdır (Bateira, 2012). MapProxy yazılımı, raster karo dosyalarının Amazon S3 üzerinden okunmasına destek vermektedir. AWS Lambda fonksiyonu üzerinde çalışan MapProxy yazılımı bu tasarımda WMTS kullanıcı arayüzü uygulaması üzerinden gelen isteklere cevap vermektedir. Bununla birlikte WMTS standardını destekleyen diğer harita istemcisi uygulamalar da bu sistemden faydalanabilirler. Önerilen tasarımda FaaS'in harita istemcisi uygulamalarla HTTP protokolü üzerinden iletişim kurabilmesi için Amazon API Gateway isimli internet trafiği kontrol ve yönlendiricisi olarak görev yapan sunucusuz uygulama servisi kullanılmıştır.

### 4.3 Sunucusuz Mekânsal Veri Analizi Servisi Tasarımı

Mekânsal zekâ, mekânsal veri analizi uygulamalarında kullanımı giderek önem kazanan bir araştırma konusu haline gelmiştir. Güney ve Çelik (2020)'ye göre mekânsal zekâ şu şekilde tanımlanmıştır:

“Dünya üzerinde açık alanda ve/veya kapalı alanda gerçekleşen mekânsal veriyle ilişkili olguların ve insan faaliyetlerinin mekânsal modellenmesinde, analizinde, görselleştirilmesinde, mekânsal problemlerin çözümünde ve mekânsal karar vermede yapay zeka yöntemlerinin yukarıda ifade edilen ileri teknolojilerle birlikte toplum yararına kullanımı mekânsal zeka olarak tanımlanabilir”.

Bu çalışmada yapay zeka ve makine öğrenmesi konularında yaygın olarak kullanılan TensorFlow isimli açık kaynak kodlu yazılım kullanılarak mekânsal veri analizi servisi tasarımı yapılmıştır (Audevart, Banachewicz, & Massaron, 2021). Önerilen tasarımda ayrıca beş farklı sunucusuz bulut bilişim hizmeti kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6: Sunucusuz mekânsal veri analizi servisi tasarımı ve bileşenleri

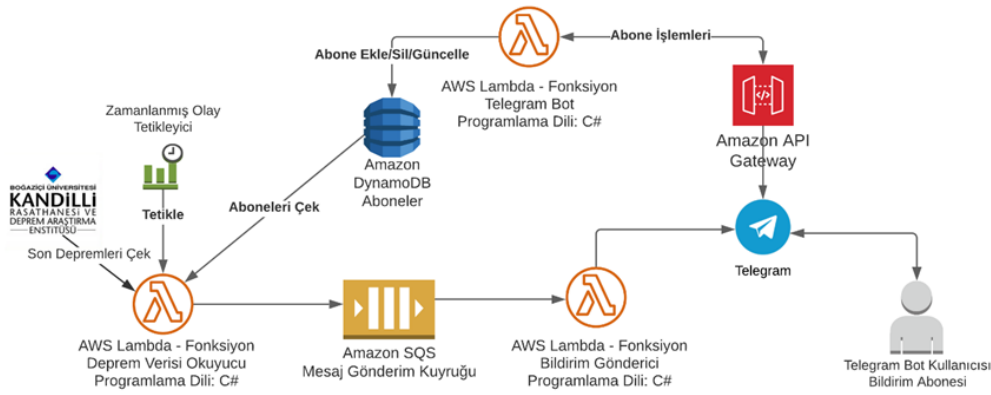
Bu mimaride iki türlü rol bulunmaktadır. Uygulama kullanıcısı, uygulama kullanıcı arayüzünü kullanarak gerçekleştirmek istediği mekânsal analiz için istek göndermektedir. Model geliştiricisi ise analiz için kullanılan modeli yeni veri setleriyle veya algoritmalarla geliştirmekte ve eğitmektedir. Model geliştiricisi geliştirdiği yeni modeli sunucusuz mimariyle çalışan yapısal olmayan veri depolama hizmetine yükler. Yüklenen yeni model bir sonraki mekânsal analizde çalışacak konteyner



tarafından indirilerek kullanılacaktır. Uygulama kullanıcı arayüzünden HTTP protokolü ile gelen her yeni analiz isteği FaaS üzerinde çalışan bir HTTP servisi tarafından yine sunucusuz olarak çalışan kuyruk servisine eklenir. İsteği gönderen uygulama kullanıcıya işin sıraya konduğu bilgisi geri gönderilir. Otomatik ölçeklendirme servisi konteyner sayısını kuyrukta bekleyen işlem sayısına göre artırıp azaltabilir. Eğer kuyrukta bekleyen bir analiz işi yoksa çalışan konteyner sayısı sıfır olacaktır. İçerisinde TensorFlow uygulaması olan konteyner imajı CaaS tarafından bir konteyner imaj deposundan çekilerek konteynerler gerekli sayıda çalıştırılır. Konteyner çalışmaya başladıktan sonra eğitilmiş yeni modeli çeker ve kuyrukta bekleyen sıradaki analiz isteğini işleyerek oluşan analiz sonucunu sunucusuz yapısal olmayan veri depolama hizmetine yükler. Uygulama kullanıcısı üretilen mekânsal veri analizinin bittiği bilgisini alarak görüntüler. Bu mimarideki TensorFlow uygulaması, AWS Fargate servisi grafik işlem biriminin kullanımına izin vermediği için merkezi işlem birimi üzerinden analizleri çalıştırmaktadır (URL-13). Model eğitim sistemi bu tasarımın bir parçası değildir ancak sürecin nasıl çalıştığına daha iyi anlaşılması ve model geliştiricisi rolünün uygun şekilde temsili için tasarım üzerinde belirtilmiştir.

#### 4.4 Sunucusuz Olay Tabanlı Mekânsal Veri İşleme Servisi Tasarımı: Kandilli Deprem Habercisi Örneği

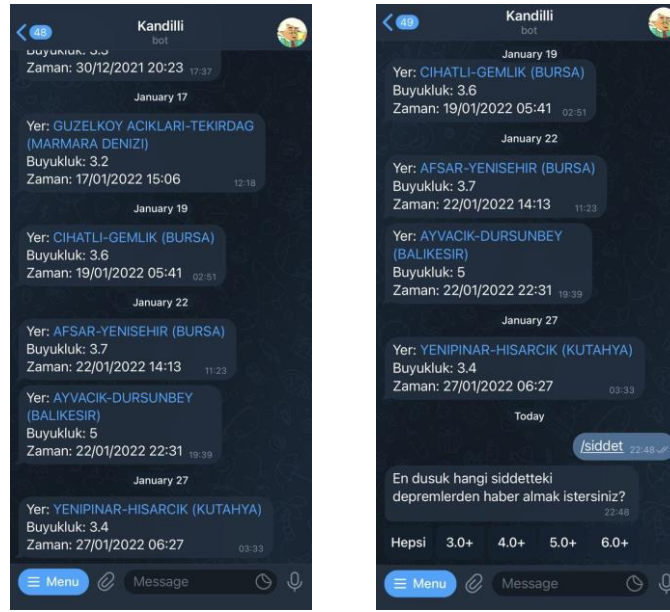
Bu bölümde olay kaynaklı çalışan bir sunucusuz mimariye dayalı mekânsal veri işleme uygulamasının tasarımı ve örneği incelenecektir. Bu tasarımda birden fazla FaaS bir arada farklı görevlerde çalışmaktadır (Şekil 7). Bu çalışmadaki amaç; sunucusuz bulut bilişim hizmetleri kullanılarak abonelerin Türkiye’de gerçekleşen son depremlerden kendi belirledikleri deprem şiddeti ve deprem konumu süzgecine göre Telegram isimli mesajlaşma uygulaması ile haberdar olmasını sağlamaktır. Uygulamada veri kaynağı olarak Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü’nün yayınladığı güncel deprem verileri kullanılmıştır. Çalışmada Telegram uygulaması, sağladığı uygulama geliştirme araçları ve sohbet botu yetenekleri nedeniyle seçilmiştir.



Şekil 7: Sunucusuz mekânsal veri analizi servisi tasarımı ve bileşenleri

Depremler veri kaynağından ‘Deprem Verisi Okuyucu’ isimli sunucusuz çalışan fonksiyon ile belli zaman aralıkları ile okunmaktadır. Eğer en son okunma zamanından sonra yeni bir deprem olmuşsa bu depremden haberdar olacak abonelerin tespiti için sunucusuz yapısal veri depolama hizmeti olan Amazon DynamoDB servिसinden tüm aboneler sorgulanır. Yeni deprem şiddeti ve konumu ile abonelerin belirlediği deprem şiddeti ve konumu süzgeçleri karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucunda haberdar edilecek her bir abone için bildirim emri ayrı ayrı mesaj gönderim kuyruğuna yazılmaktadır. Mesaj kuyruğu AWS firmasının sunduğu Amazon SQS adında sunucusuz bir uygulama servisedir. ‘Bildirim Gönderici’ isimli fonksiyon HTTP protokolü üzerinden Telegram uygulamasının internet servislerini kullanarak abonelere bildirim mesajını gönderir (Şekil 8). Bildirim aboneleri aynı zamanda bildirimleri ileten Telegram sohbet botunun da kullanıcılarıdır. Bu bot ile hem bildirimleri almakta hem de süzgeç ayarlarını yapabilmektedirler. Bot üzerinden yapılan yeni abonelik, abonelik silme ve süzgeç güncelleme işlemleri ‘Telegram Bot’ isimli fonksiyon yardımıyla yapılır. Kullanıcıların gönderdiği deprem

konumu süzgeci coğrafi nokta verisi olarak 'Telegram Bot' isimli fonksiyona iletilir ve Amazon DynamoDB servisinde GeoHash kodlaması ile kaydedilir.



(a)

(b)

Şekil 8: Telegram botundan gelen uyarılar (a) ve kullanıcı etkileşimi (b)

Tasarım, açık kaynak kodlu olarak geliştirilmiş ve sosyal kod paylaşım platformu olan GitHub internet sitesine yüklenmiştir (URL-14). Sistem AWS bulut bilişim sağlayıcısı üzerinde 29 Ekim 2019 tarihinden bu yana çalışmaktadır. Sistemin bu süre boyunca hiç bakım gerekmeden çalıştığı gözlenmiştir (Şekil 9). Yapılan kod iyileştirmeleri dışında alt yapının yönetilmesi gerekmemiştir. Güncel kullanıcı sayısı 3200'dür. AWS bulut bilişim sağlayıcısı bir fonksiyonun ilk bir milyon çalışmasından sonra ücretlendirmeye başlamaktadır. Sistem bugüne kadar bu kullanım miktarına erişmediği için bir maliyeti olmamıştır.

Function name	Description	Package type	Runtime	Code size	Last modified
KEarthquakePuller	Earthquake puller and distributor. Pulls data from Kandilli website.	Zip	.NET Core 2.1 (C#/PowerShell)	1.9 MB	1 year ago
KEarthquakeBot	Earthquake bot to notify subscribers based on their preferences.	Zip	.NET Core 2.1 (C#/PowerShell)	1.1 MB	1 year ago
KEarthquakeNotifier	Earthquake notifier to Telegram subscribers	Zip	.NET Core 2.1 (C#/PowerShell)	1.1 MB	1 year ago

Şekil 9: Deprem habercisi sunucusuz mimarideki uygulamasının bir sene boyunca hiç değiştirilmeden çalıştığını gösteren AWS Lambda portalı ekran görüntüsü

## 5. Sonuç ve Öneriler

Önümüzdeki yıllarda sunucusuz teknolojilerle geliştirilen uygulamaları bulut bilişim sağlayıcıları üzerinde ve yerel bilişim teknolojileri altyapılarında daha fazla göreceğiz. Bu çalışmada coğrafi bilgi teknolojilerinin veri toplama, veri analizi ve verinin sorgulaması konularında sunucusuz teknolojilerle birlikte kullanıldığı sistemlerin tasarım önerileri verilerek incelenmiştir. Bulut bilişim pazarındaki diğer oyuncuların sunduğu hizmetlerin birbirlerine çok benzer oldukları görülmüştür (Jimenez & Zeinzer, 2018). Bu yüzden bu çalışmadaki sistem tasarımları her ne kadar sadece bir bulut bilişim sağlayıcı firmanın sunduğu sunucusuz hizmetlerle tasarlanmış olsa da diğer bulut bilişim sağlayıcıları ile uyumlu olarak çalışacaktır. Bununla birlikte bulut bilişim servis sağlayıcısı kullanılmak istenmediği durumda bir sunucusuz hesaplama ve depolama

altyapısı, yerel bilişim teknoloji altyapısı üzerinde çeşitli konteyner yönetim araçları ile kurgulanabilir. Böylece verinin bulut bilişim sağlayıcısı üzerine taşınmasının mümkün olmadığı durumlarda da bu teknolojiden yararlanılabilir.

FaaS servisleri kullanıcılarından sadece kod parçasını yüklemesini beklediği için; bir programlama dili konusunda yetkin bir coğrafi bilgi teknolojileri uzmanı, ileri seviyede bilişim teknolojileri altyapısı yönetim konularına hakim olması gerekmeden hazırladığı algoritmayı sunucusuz mimarilerle diğer bulut bilişim modellerine göre daha kolay çalıştırabilir. İstenirse bu algoritmanın diğer bulut bilişim servisleriyle ortak bir iş akışı ile çalışması da sağlanabilir. Ancak yine de fonksiyonların diğer servislerle olan iletişimi çalışma süresini arttırabileceği için sistem tasarımında birlikte çalışabilirlik konusunun etkileri göz ardı edilmemelidir. Harcanan fazladan her milisaniyenin sunucusuz bulut bilişim servislerinin ücretlendirilmesinde olumsuz yönde katkısı olduğu görülmüştür. FaaS servislerinin çalışma süresi ve sunulan donanım kapasitesi limitleri nedeniyle mekânsal zekâ uygulamaları için CaaS servislerinin daha uygun olduğu görülmüştür.

Hâlihazırdaki çalışan bir mekânsal bilişim sistemini sunucusuz mimariye geçirirken kullanılacak teknolojilerin avantajları ve dezavantajları iyi değerlendirilmelidir. Örneğin makalede de bahsedilen soğuk başlama süresi uygulamanın ilk cevap verme süresini uzatacağından kullanıcı deneyimini olumsuz etkileyebilir. Diğer bir örnek ise yerel ağda sunucusuz mimariyle ilişkisel veri saklamak için hazır bir çözüm bulunmamaktadır. Ancak bu türden bir çözümün konteyner orkestrasyon yazılımları ile elde edilebileceği görülmüştür.

Çalışma kapsamında verilen deprem habercisi örneği gelecek çalışmalarda örnek olarak kullanılabilmesi için açık kaynak kodlu olarak yayınlanmıştır. Bu örnek aynı zamanda birden fazla FaaS'in birlikte bir iş akışı içerisinde nasıl çalışabildiğini de göstermiştir. Bu sayede mekânsal veri işleme iş akışları sunucusuz hesaplama ve veri depolama teknolojileri kullanılarak geliştirilebilir.

Sonuç olarak bu çalışmada coğrafi bilgi teknolojileri konusunda araştırma yapanların ve kullanıcılarının sunucusuz bilişim teknolojileri konusunda farkındalıklarının arttırılması hedeflenerek bu teknolojinin coğrafi bilgi teknolojileri ile ilişkisi incelenmiştir.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Yazar Katkısı

**Mete Ercan Pakdil:** Fikir, Tasarım, Literatür taraması, Yazım. **Rahmi Nurhan Çelik:** Denetleme, Analiz ve yorumlama, Makale değerlendirme.

## Kaynaklar

- Adzic, G., & Chatley, R. (2017). Serverless computing: economic and architectural impact. *Proceedings of the 2017 11th joint meeting on foundations of software engineering*, 884-889.
- Amirian, P., Basiri, A., & Winstanley, A. (2014). Evaluation of data management systems for geospatial big data. *International Conference on Computational Science and Its Applications*, 678-690.
- Anand, S., Johnson, A., Mathikshara, P., & Karthik, R. (2019). Real-time GPS tracking using serverless architecture and ARM processor. *2019 11th International Conference on Communication Systems & Networks*, 541-543.

- Audevart, A., Banachewicz K., & Massaron, L. (2021). *Machine Learning Using TensorFlow Cookbook*. Packt Publishing.
- Baldini, I., Castro, P., Chang, K., Cheng, P., Fink, S., Ishakian, V., Mitchell, N., Muthusamy, V., Rabbah, R., Slominski, A., & Suter, P. (2017). Serverless computing: Current trends and open problems. *Research advances in cloud computing*, 1-20.
- Barbieri, L., & Bonanni, M. (2019). *Mastering Azure Serverless Computing*, Packt Publishing.
- Bateria, C. (Ed.) (2012). *Cartography - A Tool for Spatial Analysis*, InTech Open.
- Bebortta, S., Das, S. K., Kandpal, M., Barik, R. K., & Dubey, H. (2020). Geospatial serverless computing: Architectures, tools and future directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(5), 311.
- Chapin, J., & Roberts, M. (2020). *Programming AWS Lambda*, O'Reilly Media Inc.
- Chowhan, K. (2018). *Hands-On Serverless Computing*, Packt Publishing.
- Dold, J., & Groopman, J. (2017). The future of geospatial intelligence. *Geo-spatial information science*, 20(2), 151-162.
- Evans, M. R., Oliver, D., Yang, K., Zhou, X., Ali, R. Y., & Shekhar, S. (2019). Enabling spatial big data via CyberGIS: Challenges and opportunities. *CyberGIS for geospatial discovery and innovation*, 143-170.
- Jimenez, V. E., & Zeiner, H. (2018). Serverless Cloud Computing: a Comparison between "Function as a Service" Platforms. *7th International Conference on Information Technology Convergence and Services*, Vol. 5, 15-22.
- Flasher, J. (2019). *Best practices for working with large-scale geospatial data*. AWS reinvent.
- Gratier, T., Spencer, P., & Hazzard, E. (2015). *OpenLayers 3: Beginner's Guide*: Packt Publishing.
- Güney, C., & Çelik, R.N. (2020). Harita ve kadastro mühendisliğinin dijital ekosistemde hayatta kalabilmesi için paradigma değişimi: mekânsal zekâ. *17. Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 2020.
- Luksa, M. (2017). *Kubernetes in action*. Manning Publications.
- Mete, M. O., & Yomralioğlu, T. (2021a). Implementation of serverless cloud GIS platform for land valuation. *International Journal of Digital Earth*, 14(7), 836-850.
- Mete, M. O., & Yomralioğlu, T. (2021b). Açık Kaynaklı Bulut CBS Yardımıyla Kitlemel Taşınmaz Değerleme Uygulaması. *Harita Dergisi*, 165, 28-42.
- Nickoloff, J., & Kuenzli, S. (2019). *Docker in action*. Manning Publications.
- Pakdil, M. E., & Çelik, R. N. (2021). Serverless Geospatial Data Processing Workflow System Design. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(1), 20.
- Patterson, S. (2019). *Learn AWS Serverless Computing: A Beginner's Guide to Using AWS Lambda, Amazon API Gateway, and Services from Amazon Web Services*. Packt Publishing.
- Siddiqui, T., Siddiqui, S. A., & Khan, N. A. (2019). Comprehensive analysis of container technology. In *2019 4th International Conference on Information Systems and Computer Networks (ISCON)*, 218-223.
- Tang, W., & Wang, S. (Eds.). (2020). *High performance computing for geospatial applications*. Springer International Publishing.
- van Eyk, E., Toader, L., Talluri, S., Versluis, L., Uță, A., & Iosup, A. (2018). Serverless is more: From paas to present cloud computing. *IEEE Internet Computing*, 22(5), 8-17.
- Vohra, D. (2018). *Amazon Fargate Quick Start Guide: Learn how to use AWS Fargate to run containers with ease*. Packt Publishing.
- Wan, L., Huang, Z., & Peng, X. (2016). An effective NoSQL-based vector map tile management approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(11), 215.
- Zaragozí, B. M., Trilles, S., & Navarro-Carrión, J. T. (2020). Leveraging container technologies in a GIScience project: a perspective from open reproducible research. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(3), 138.
- URL-1: Schachar, A. (2019). *Serverless CaaS: Rethinking app infrastructure*. <https://spot.io/blog/serverless-caas-rethinking-app-infrastructure/>, (Erişim Tarihi:27 Mayıs 2021).
- URL-2: CNFC Serverless Working Group Whitepaper, [https://github.com/cnfc/wg-serverless/blob/master/whitepapers/serverless-overview/cnfc\\_serverless\\_whitepaper\\_v1.0.pdf](https://github.com/cnfc/wg-serverless/blob/master/whitepapers/serverless-overview/cnfc_serverless_whitepaper_v1.0.pdf), (Erişim tarihi: 3 Şubat 2022).
- URL-3: Ruparathna, R. (2019), *What Makes a Storage Service Truly Serverless?*, <https://dzone.com/articles/what-makes-a-storage-service-truly-serverless> , (Erişim Tarihi: 27 Mayıs 2021).
- URL-4: Moten D. (2019), *Turn Amazon S3 into a spatio-temporal database*, <https://towardsdatascience.com/turn-amazon-s3-into-a-spatio-temporal-database-40f1a210e943>, (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2021).

- URL-5: Buchanan, I., *What is Containers as a Service?*, <https://www.atlassian.com/continuous-delivery/microservices/containers-as-a-service>, (Erişim tarihi: 3 Şubat 2022).
- URL-6: MapServer Open Source Platform, <https://hub.docker.com/t/mapserver/mapserver>, (Erişim Tarihi: 3 Şubat 2022).
- URL-7: Docker, <https://www.docker.com>, (Erişim tarihi: 3 Şubat 2022).
- URL-8: Beswick J. (2020), *Implementing geohashing at scale in serverless web applications*, <https://aws.amazon.com/blogs/compute/implementing-geohashing-at-scale-in-serverless-web-applications/>, (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2021).
- URL-9: Mapbox Vector Tile Specification, <https://github.com/mapbox/vector-tile-spec>, (Erişim tarihi: 3 Şubat 2022).
- URL-10: Tegola, <https://tegola.io/>, (Erişim tarihi: 3 Şubat 2022).
- URL-11: Cloud optimized GeoTIFF in depth, <https://www.cogeo.org/in-depth.html>, (Erişim tarihi: 23 Mayıs 2021).
- URL-12: MapProxy, <https://mapproxy.org/>, (Erişim tarihi: 03 Şubat 2022). URL-13: MapProxy, <https://mapproxy.org/>, (Erişim tarihi: 3 Şubat 2022).
- URL-13: Ivanovic B. & Ivanovic Z. (2017), *How to deploy deep learning models with AWS lambda and TensorFlow*, <https://aws.amazon.com/blogs/machine-learning/how-to-deploy-deep-learning-models-with-aws-lambda-and-tensorflow/>, (Erişim Tarihi: 23 Mayıs 2021).
- URL-14: Kandilli Deprem Habercisi, <https://github.com/Geomates/KandilliEarthquakeNotifier>, (Erişim tarihi: 4 Şubat 2022).

## Arazi ve arsa düzenlemelerinde düzenleme ortaklık payının alınmadığı durumlarda bedele dönüştürülmesi

Murat Selim Çepni<sup>1\*</sup> 

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

**Öz:** 3194 sayılı İmar Kanunu'nun 18. maddesine göre yürütülen arazi ve arsa düzenlemelerinde düzenleme ortaklık payının (DOP) alınmadığı durumlarda bedele dönüştürülmesi, yasa maddesinde 2019 yılında yapılan değişiklik ve 2020 yılında yayınlanan Arazi ve Arsa Düzenlemeleri (AAD) Hakkında Yönetmelik ile birlikte önemle üzerinde durulması gereken konulardan birisi haline gelmiştir. DOP'nin bedele dönüştürülmesi, 1985 yılında yayınlanan yönetmelikte yalnızca bir cümle ile yer almasına rağmen bazı maliklerce imar uygulamalarında ısrarla talep edilmiştir. 2019 yılında 3194/18. maddesine ekleme yapılmış ve sonrasında ise AAD Hakkında Yönetmelik'te uygulama izleği tanımlanmıştır. Bununla birlikte, AAD Hakkında Yönetmelik'in çeşitli maddelerinde değinilen bedele dönüştürme işleminin daha detaylı açıklanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu makale, önemli ayrıntılar içerdiği düşünülen bedele dönüştürme izleğinin teknik ve hukuksal açıdan tartışılması ve uygulayıcılar için aydınlatıcı olmasını amaçlamaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Arazi ve arsa düzenlemeleri, Bedele dönüştürme, Düzenleme ortaklık payı, AAD hakkında yönetmelik

### The conversion of the development readjustment share into the price

**Abstract:** The conversion of the development readjustment share (DRS) into the price, in the land readjustment (LR) carried out according to the 18th article of the Zoning Law, has become one of the issues that should be emphasized significantly with the legislative amendments in 2019, and LR regulation released in 2020. Although the conversion into price was only vaguely specified in the 1985 Regulation, it was persistently requested by some owners in LR. In 2019, an addition has been done to 3194/18th article and an application follow-up has been defined. Moreover, a more detailed explanation of the conversion process is definitely needed for the conversion process given in several articles of LR. This article aims to discuss conversion into price process which is thought to contain many important details, from a technical and legal point of view.

**Keywords:** Land readjustment, Conversion into price, Development readjustment share, LR regulation

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 262 303 32 48

Geliş Tarihi/Received: 15.11.2021  
Kabul Tarihi/Accepted: 05.04.2022



## 1. Giriş

Arazi ve Arsa düzenlemelerinde (AAD), düzenleme ortaklık payı (DOP) kesintisinden sonra kalan miktarın fiili kullanım alanının tahsisine yeterli olmaması, maliklerin başlıca memnuniyetsizlik gerekçeleri arasındadır. Tahsis edildiği parselde müstakil mülkiyet beklentisinde olan veya mevcut durumu korumak isteyen paydaşlar için DOP kesintisinin bedel olarak karşılanabilir olması çok avantajlı bir seçeneğe karşılık gelmektedir. Alternatif bir çözüm sunması dolayısıyla da fiili yapıların hisseli parsellerde kalmasının önlenmesi ve imar uygulamalarının gerçekleştirilebilmesi adına yararlı bir işlem olarak nitelenmiştir (Sarı, 2008; Yıldız, 2015).

İmar planlarında kamusal hizmet alanları olarak ayrılan alanların elde edilmesinde “paydaşların külfetlere eşit katılımı” ilkesi esastır. Tüzemizde ilk olarak 28.05.1925 tarihli 1351 sayılı yasada “%15 eksiği ile dağıtım” olarak nitelendirilen katılım (keza 1933 tarihli 2250 ve 2289 sayılı yasalarda aynı şekildedir), 09.07.1956 tarihli 6785 sayılı yasaya “%25 eksiği ile dağıtım” olarak geçmiş, 6785 sayılı yasada 1972 yılında yapılan değişiklik sonrası ise “düzenleme ortaklık payı” olarak isimlendirilmiştir (Sarı, 2008). 09.05.1985 tarihinde Resmi Gazetede yayınlanan 3194 sayılı İmar Kanunu’nda %35 olarak belirlenen DOP oranı, 2003 yılında %40, 2019 yılında ise %45 olarak revize edilmiştir (URL-1).

İmar planının uygulaması sürecinde tahakkuk eden tahsis miktarından fazla veya eksik olarak tescil edilecek kısımlar için bedel takdirine gidilmesi İmar Kanunları değil 2981 sayılı İmar Affı Kanunu içerisinde yer bulmuştur (Sarı, 2008). AAD niteliği tartışmalı olan ancak ıslah imar planlarının uygulanmasına karşılık gelen 2981 sayılı Yasanın 10/c maddesinde “...ve tescil işlemi dışında kalanların hisselerini 2942 sayılı Kamulaştırma Yasasına göre tespit edilecek bedeli ödemek veya parsel sahipleri aleyhine kanuni ipotek tesis ederek” denilmektedir. Yasanın bu maddesine dayanan imar uygulamalarında, DOP kesintisinden sonra kalan miktardan fazla veya eksik yapılan tahsis için kıymet takdir komisyonlarının belirlediği birim fiyatlara göre bedel tespitine gidilmiş, uygulama kapsamında alacak/verecek listeleri düzenlenmiştir.

İmar Kanunu’na göre yürütülen AAD ise, 2019 yılındaki Yasa değişikliğine kadar, tahsisin veya genel hizmetlere katılım payının bedele dönüştürülmesi şeklinde bir seçenek içermez (Kalabalık, 2019; Yılmaz, 2010). Bu yönde Danıştay 6.Dairesi K.2004/5388, K.1995/2325, K.1994/4284 kararları açık hükümler tesis etmiş, İmar Kanunu’nun 18. maddesine göre hisselerin bedele dönüştürülmesinin mümkün olmadığını vurgulandığı gibi 2981/10-c uygulamalarında da bedele dönüştürmenin her durumda yerinde olmayacağı tespiti de yapılmıştır (URL-2).

3194 sayılı İmar Kanunu’nun 18. maddesinde DOP’nin bedele dönüştürme konusunda hüküm olmamasına karşın 02.11.1985 tarihinde yayınlanan Yönetmelik’in 4. ve 10. maddelerinde bedele dönüştürme yapılabileceği belirtilmiştir:

“4.c) Düzenleme Ortaklık Payı: ...düzenlemeden önceki yüzölçümlerinden % 35’e kadar düşülebilen miktar ve/veya zorunlu hallerde malikin muvafakati ile tespit edilen karşılığı bedeldir.”,

“10.) Düzenlemeye tabi tutulan parselin zemin durumu ve üzerindeki yapının özelliği itibarıyla düzenleme ortaklık payının alınmadığı hallerde, ilgisinin muvafakati ile düzenleme ortaklık payı miktarı bedele dönüştürülebilir.”.

İmar Kanunu’nun 18. maddesinde bedele dönüştürme yönünde bir hüküm olmadığından 02.11.1985 tarihinde yayınlanan Yönetmelik’in 4.c ve 10. maddelerinde olması dayanaksız kalmaktadır. Hukukun genel kuralı gereği yönetmelikler kanuna aykırı olamayacağından Yönetmelik’teki bedele dönüştürme maddeleri geçersiz olmaktadır.

Ayrıca, 1985 yılında yayımlanan Yönetmelik’te sahibinin muvafakati ile DOP’nin bedele dönüştürülmesi ifade edilmiş ise de bedele dönüştürmeden asıl olumsuz etkilenecek olan diğer malikler olduğundan Yönetmelik’te belirtilen rıza sağlama

anlayışının doğru olmadığını belirtmek gerekir. Bazı maliklerden DOP kesilmemesi doğal olarak diğer maliklerden daha fazla DOP kesilmesi sonucunu doğurmaktadır. Bu durumda maliklerin alacaklı olmaları karşılığında daha fazla kesintiye maruz kalmalarına onay göstermeleri beklenmemelidir. Temelde bu karşılık bedele dönüştürme işleminin, külfetlerin eşit dağılımı ilkesini ve kamu vicdanını zedelemesi mümkün olan, istisnai durumlarda ve zorunlu haller için kullanılması gereken bir araç olarak ele alınması gerektiğini de göstermektedir.

2019 yılında 7181 Kanun ile 3194 sayılı İmar Kanunu'nun 18. maddesinin de aralarında bulunduğu bazı maddelerinde değişiklik yapılmıştır. Bedele dönüştürme işlemi, İmar Kanununun 18. maddesinde yapılan değişiklikle ek fıkra eklenerek 11. fıkra olarak madde metninde yerini almıştır (URL-3). Böylece bedele dönüştürme işleminin yasal bir altyapıya kavuşturulmuş şekli şöyledir: “(Ek fıkra:4/7/2019-7181/9 md.) Mevcut yapılar nedeniyle parsellerden düzenleme ortaklık payı alınmadığı hâllerde bu payın miktarı, düzenlemenin gerçekleştirilebilmesi için yapılacak kamulaştırmada kullanılmak üzere bedele dönüştürülebilir”.

3194/18. maddesinde yapılan önemli değişiklikle birlikte Yönetmelik yenilerek AAD Hakkında Yönetmelik (RG: 22.02.2020/31047) yayınlanmıştır. AAD Hakkında Yönetmelik'in 16. maddesinde bedele dönüştürme işlemi prosedür olarak tanımlanmıştır. AAD Hakkında Yönetmelik'in 17. ve 19. maddelerinde ise AAD'de bedele dönüştürme işleminin uygulanmasına ilişkin önemli hükümler tesis edilmiştir (Çepni & Doğuyıldız, 2021; URL-4).

Bedele dönüştürme işlemi malikler tarafından sıklıkla talep edilmesi beklenen bir durumdur. Mevzuatta gerçekleşen değişikliklerden hemen sonra yapılan imar uygulamalarında da bedele dönüştürmeye sıklıkla başvurulduğu gözlenmiştir (Çepni, 2021). Bununla birlikte, Yönetmelik'in tanımladığı bedele dönüştürme işlemi, aşamalı ve zor anlaşılabilir bir uygulamadır. Dahası, uygulayıcıların detaylara henüz yeterince hâkim olmadıkları gözlenmektedir.

Bu makale, 2020 yılında yürürlüğe giren AAD Hakkında Yönetmelik'e göre bedele dönüştürme işlemlerini açıklayabilmek ve anlaşılır kılmak motivasyonu ile hazırlanmıştır. Bu çalışmayla, 3194/18. maddesinin uygulanmasında, mühendislere yararlı olmak ve idari yargıda şimdiden gözlenen iptal kararlarını azaltmak hedeflenmektedir.

## 2. Arazi ve Arsa Düzenlemeleri Hakkında Yönetmelik'te Bedele Dönüştürme

İmar Kanunu'na 2019 yılında ilk defa girmesinin ardından bedele dönüştürme işlemi 2020 yılında AAD Hakkında Yönetmelik'te detaylandırılmıştır. AAD Hakkında Yönetmelik'te “düzenleme ortaklık payının alınmadığı durumlar” başlıklı 16. maddesinde bedele dönüştürme işleminin izlediği tanımlanmıştır:

“M.16-(1): Düzenlemeye tabi tutulan parsellerden, umumi ve kamu hizmet alanlarına denk gelen yerler hariç olmak üzere parselasyon planı yapımı sırasında; üzerindeki yapılar dolayısıyla düzenleme ortaklık payının tamamının ya da bir kısmının alınmadığı ve mevzuata uygun bir imar parselinin oluşturulabildiği hallerde öncelik sırasına göre;

a) Belediye/Valilik mülkiyetindeki alanlardan veya Hazine taşınmazlarından tahsis yapılmak suretiyle hisselendirilerek,

b) Yasalara uygun olarak inşaa edilmiş mevcut yapı nedeniyle kesinti yapılamayan parselde denk gelen miktarı bedele dönüştürmek suretiyle parselasyon planı yapılır.”

AAD Hakkında Yönetmelik'in 16. maddesinin 2. fıkrasında tahsis edilen kamu hisselerinin satışı, 3. fıkrasında ise bedele dönüştürme dolayısıyla diğer maliklerden fazladan kesilen miktarın da bedel olarak ödenmesi konu edilmektedir.

AAD Yönetmeliğinin 16. maddesinin 1. fıkrası, bedele dönüştürme için üzerinde yapılar olması koşulunu belirlemiş, mevzuata uygun imar parselini zorunluluk olarak getirmiş ve bedele dönüştürme seçeneğinden önce belediye/valilik veya



hazine hisselerinden hisse tamamlanması önceliğini vurgulamıştır. Bedele dönüştürme işleminin yeterince anlaşılabilmesi için Yönetmelik'in iki maddesinin daha dikkatli bir şekilde okunup anlaşılması gerekmektedir. AAD Hakkında Yönetmelik'in 17(1)c maddesinde bedele dönüştürmenin tahsis işlemlerinde kullanımı açıklanmıştır:

*“M17 – 1 (c): İmar plânı ve mevzuata göre korunması mümkün olan yapıların, asgari parsel büyüklüğünü sağlaması kaydıyla, tam ve hissesiz bir imar parseline denk gelmesi sağlanır. Asgari parsel büyüklüğünün sağlanamaması halinde, 16. maddede belirtilen hükümlere göre tahsis ve bedele dönüştürme işlemleri yapılabilir.”.*

Yine AAD Hakkında Yönetmelik'in 19(4). maddesinde ise kat mülkiyetli parsellerdeki tahsis biçimine değinilmiştir:

*“M19 – 4 (a): Kat irtifakı veya kat mülkiyeti kurulu parsellerin imar uygulaması sırasında müstakil bir imar parseli oluşmadığı durumlarda, kat irtifakı veya kat mülkiyeti kurulu taşınmazın ana gayrimenkulüne, öncelik sırasına göre; 1) Tescil harici alanlardan, Belediye/Valilik mülkiyetindeki alanlardan veya Hazine taşınmazlarından tahsis yapmak suretiyle hisselenilerek, bu hisseler karşılık gelen alanların yapı sahiplerine rayiç bedeli üzerinden satılması suretiyle, 2) Kesinti yapılamayan parselere denk gelen miktarı bedele dönüştürmek suretiyle, imar parseli oluşturulur.”.*

AAD Hakkında Yönetmelik maddeleri incelendiğinde, 16. maddedeki bedele dönüştürme işleminin, kat irtifaklı/kat mülkiyetli parsellerin müstakil tahsisinde zorunluluk, korunması mümkün diğer yapıların olduğu parsellerin müstakil tahsisinde ise idare takdiri olarak tanımlandığı anlaşılmaktadır. Ancak her iki yönetmelik fıkrasında da belirtildiği üzere amaç yapıların müstakil parseller içinde tahsisine olanak sağlamaktır.

Korunması istenen yapının varlığı, DOP kesilmediğinde ve müstakil imar parseli tahsisinin mümkün olması durumunda bedele dönüştürme işleminin belirleyici koşullardır. Müstakil tahsisin mümkün olmamasına rağmen bedele dönüştürme yapılması yani bedele dönüştürme yapılmasına rağmen başka maliklere veya kamuya ait hisselerin aynı imar parseline tahsisi halinde, hissedarlığın azaltılması amacıyla bedele dönüştürme durumu söz konusu olur. Bu durum mevzuatın ruhuna ve de hakkaniyet ilkesine uygun olmayacaktır.

AAD Hakkında Yönetmelik, uygulayıcılar için güçlü oluşturulan ve imar planının uygulanabilmesini olanaksız kılabilen, kat mülkiyetli/kat irtifaklı parseller başta olmak üzere korunması gerekli yapılar bulunması gibi durumlarda, çözüm üretebilen bir araç olarak bedele dönüştürme işlemini ortaya koymuştur.

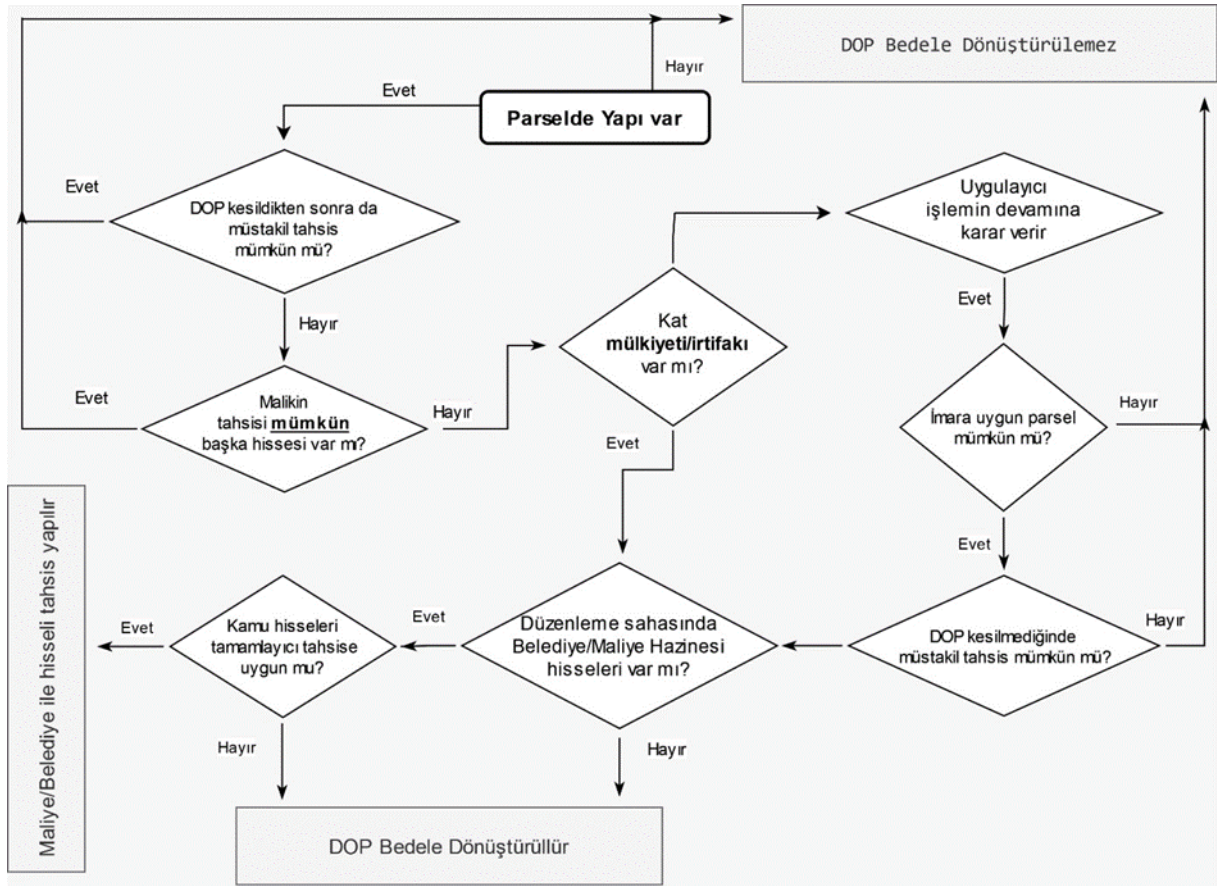
Bununla birlikte, bazı maliklerden DOP kesilmemesi diğer maliklerden daha fazla DOP alınması sonucunu doğurmaktadır. Bedele dönüştürme işlemine sıklıkla veya Yönetmelik'in belirlediği çerçevede başvurulması halinde diğer malikler için açık bir eşitsizlik anlamına gelebileceği bilinmelidir. Bu nedenle idarelerin ve uygulayıcıların bedele dönüştürme işleminde çok seçici ve dikkatli davranmaları büyük önem taşımaktadır.

3194 sayılı İmar Kanunu'nun 18. maddesinin ilgili fıkrası ve AAD Hakkında Yönetmelik'in 16. maddesi birlikte değerlendirildiğinde bedele dönüştürme işleminin ayrıntılarını özet olarak sunmak mümkündür:

- İmar mevzuatına uygun parsel üzerinde yapı bulunması ilk koşuldur.
- Düzenleme ortaklık payının bedele dönüştürülmesinden önce tahsise uygun kamu hisseleri varsa öncelikle bunların hisse tamamlama amacıyla kullanılması şarttır. Burada uygulayıcılar için dikkat edilmesi gerekli nokta; belediye, valilik veya hazineye ait hisselerin herhangi bir hizmete tahsisli olmaması, üzerlerinde üçüncü kişiler lehine hak (satış önceliği vb.) bulunmamasıdır. Başka bir anlatımla tamamlayıcı nitelikteki tahsise engel bir durumun olmamasıdır.

- Önemli bir diğer unsur da malikin başka kök parsellerden gelen ve tahsis önceliği açısından aynı imar parseline tahsis edilmesinde sakınca bulunmayan hisselerinin varlığı halinde bu hisselerin yapı bulunan imar parseline tahsisinin doğru olacaktır. Bir diğer ifadeyle yapı bulunan parselde malikin kendi hisselerinden tamamlama olanaklı iken bedele dönüştürmeye hatta kamu hisselerine başvurulması eşitlik ilkesi yönünden açık bir aykırılık teşkil edecektir.
- Yeterli nitelik/nicelikte kamu hisselerinin veya malikin tahsiste kullanılabilecek başkaca bir hissesinin bulunmaması durumunda bedele dönüştürme işlemi için diğer detaylara geçilmesi mümkündür.
- DOP'nin bedele dönüştürmesinde amaç parselin müstakil kalabilmesidir. Bunun için malikin DOP kesintisinden önceki hissesinin parselin tümüne yeterli olması gereklidir. Bedele dönüştürülmesine rağmen imar parseline başka hisselerin tahsisine ihtiyaç duyulması durumunda bedele dönüştürme işlemi hissedarlığın azaltılması amacına indirgenecek, anlamını ve dayanağını yitirecektir.
- DOP'nin tamamının bedele dönüştürülmesi gerekemeyebilir. Bu durumda yalnızca müstakil tahsise yetecek kadarı bedele dönüştürülmelidir.
- Yapıların kat mülkiyetli/kat irtifaklı olması halinde kamu hisselerinden tamamlama veya bedele dönüştürme işlemi zorunluluktur.
- Bedele dönüştürmenin zorunlu olmadığı diğer yapılarda idarenin tasarrufunu kısıtlı tutması ve bir uygulama stratejisi belirlemesi çok yararlı olacaktır. Kat mülkiyeti/kat irtifakı olmayan yapılarda, tamamlayıcı hisse kullanımı dışında bedele dönüştürme işleminden mümkün olduğunca sakınılmalıdır. Fazla sayıda bedele dönüştürme işleminin imar uygulamasını teknik olarak imkânsız kılacağı unutulmamalıdır.
- Yapılan tüm tamamlayıcı tahsis veya bedele dönüştürmelerin parselasyon açıklama raporunda gerekçeleriyle anlatılması çok önemlidir.

Bedele dönüştürme işleminde uyulması gerekli koşullar ve karar verme aşamalarını içeren bir akış diyagramı hazırlanarak Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1: Bedele dönüştürme işlemi için karar verme akış şeması

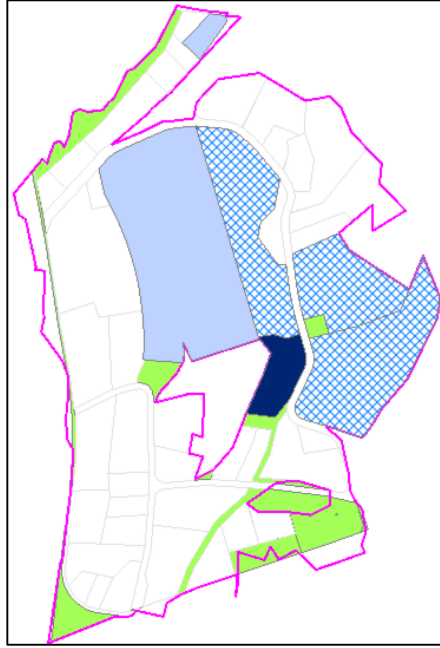
### 3. Uygulama ve Tartışma

Çalışmada son dönemlerde yapılmış olan arazi ve arsa düzenlemeleri kullanılmıştır. Bedele dönüştürme işlemi, bu örnek imar uygulamaları üzerinde incelenerek, karar verme noktaları ve kaçınılması gereken durumlar tartışılmıştır. Uygulama örnekleri, AAD Hakkında Yönetmelik'in ilgili hükümlerini ve özellikle dikkat edilmesi gerektiği düşünülen kritik durumları sergileyecek şekilde seçilmiştir.

AAD Hakkında Yönetmelik'te Bedele Dönüştürme başlıklı 2. Bölümde maddeler halinde açıklanan ve akış diyagramı üzerinde şematik hale getirilen edilen karar verme noktalarına karşılık gelen 4 ayrı durumda AAD örnekleri sunulmuştur. Uygulama örneklerinde özel ve kişisel verilerin korunmasına özen gösterilmiştir. Her bir örnekte konunun sadece tek bir karar aşaması açısından ele alındığına ve bütüncül bir değerlendirmeye gidilmediğine dikkat edilmelidir.

#### Örnek Durum 1

İlk uygulama örneğinde müstakil tahsis durumu ele alınmaktadır. 2020 yılında tamamlanmış bir imar uygulaması özelinde bedele dönüştürme işlemleri asıl amaç olan yapının müstakil bir parselinde bırakılması açısından incelenmiştir. Düzenleme kapsamında üzerinde sanayi türü yapı bulunan 6 parselde DOP bedele dönüştürülmüştür (Şekil 2). Düzenleme sahasında belediye veya Maliye Hazinesi'ne ait taşınmaz bulunmamaktadır. DOP %18.3, bedele dönüştürme oranı ise %6.3 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 2:** Düzenleme sahası ve bedele dönüştürme yapılmış imar parselleri

Şekil 2’de mor hat düzenleme sınırını, yeşil dolgulu alanlar DOP ile karşılanan donatı alanlarını, koyu mavi dolgulu alanlar ilişkili maliklerin hissedar edildiği, açık mavi dolgulu alanlar farklı maliklerin hissedar edildiği ve mavi taramalı alanlar aynı malikin hissedar edildiği parselleri temsil etmektedir.

Bedele dönüştürme yapılan imar parsellerinin tamamına birden fazla kadastral parselden hisselendirme yapılmış olup, üçünde aynı malike ait hisseler bulunmaktadır. Bir parsele aynı soy isimli iki malik ve aynı soy ismini kullanan bir şirkete ait hisselerden tahsis yapılmıştır. İki parselde ise ayrı maliklerin varlığı gözlenmektedir.

Bedele dönüştürme işlemlerindeki amaç yapıların mülkiyetindeki karmaşık durumun önüne geçmektir. Buna göre aynı malike ait hisselerin yapı parselde toplanmasında veya yapı mülkiyeti üzerinde anlaşmazlık oluşturmayacak şekilde ilişkili maliklerin aynı parseline tahsis edilmesinde bir sorun yoktur. Bu durumda bedele dönüştürmeye gerek kalmadan, hisselerin aynı imar parseline toplanması suretiyle müstakil tahsis mümkün ise bu seçenek kesinlikle kullanılmalıdır.

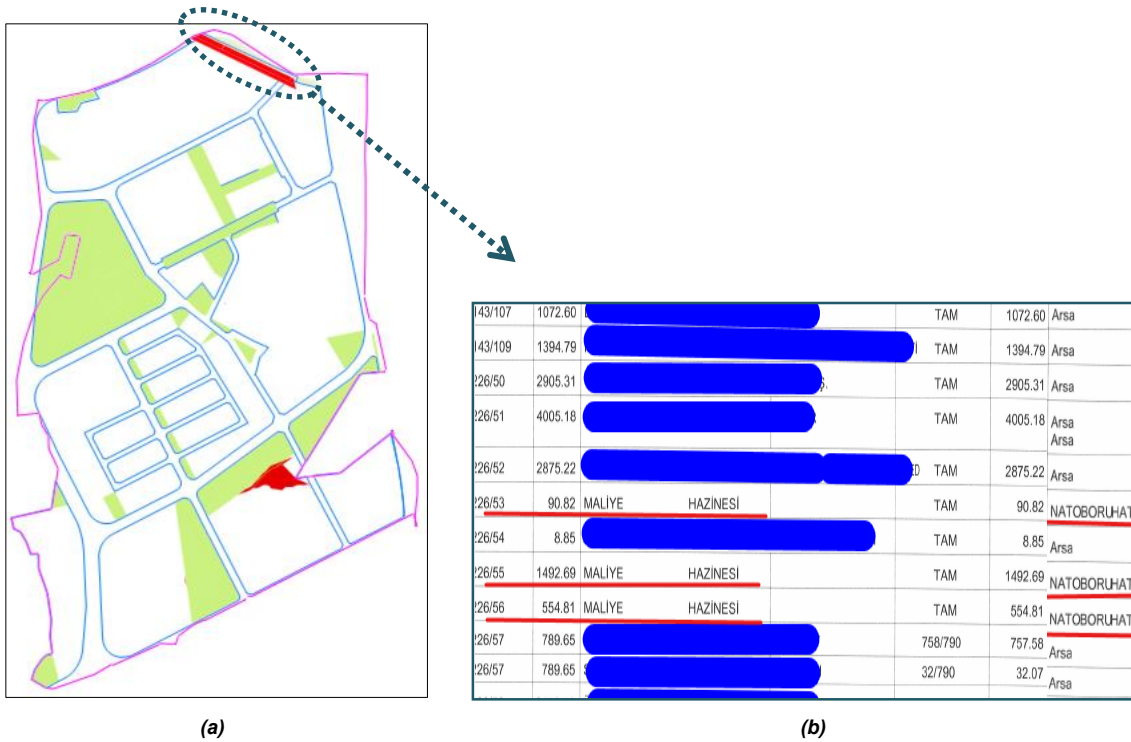
Ancak, parseldeki müstakil mülkiyetin sağlanamaması halinde bedele dönüştürme işlemi meşruiyetini yitirmektedir. Dolayısıyla da diğer parsel maliklerine külfet olmaktan öte bir anlam taşımamaktadır. Buna göre, Şekil 2’de açık mavi dolgu ile gösterilen ve müstakil mülkiyete konu olmayan parsellerdeki bedele dönüştürme işlemi hatalıdır. İlişkili olması muhtemel maliklerin hissedar edildiği koyu mavi dolgulu parseldeki bedele dönüştürme işleminin ise tartışmalı olmakla birlikte maliklerin onayına bağlı olarak kabul edilebilir olduğu düşünülmektedir.

Bu örnekte, yüksek bedele dönüştürme oranına da dikkat edilmelidir. DOP oranı diğer malikler için 1/3 oranında artmıştır ve ücret olarak bedel takdir yapılsa dahi, tahsis edilecek parselin bu kadar küçülmesinin diğer maliklerce olumlu karşılanmayacağı açıktır.

## Örnek Durum 2

İkinci uygulama örneğinde düzenleme sahasındaki belediye/valilik veya Maliye Hazinesi’ne ait hisselerin kullanım durumu irdelenmektedir. Örneklendirme 2020 yılında tescil edilen bir imar uygulamasından alınmış ve inceleme amacının daha iyi

sergilenebilmesi için az miktarda değiştirilerek kullanılmıştır. Şekil 3'te düzenleme sahası, imar planındaki donatı ve imar adaları ile Maliye Hazinesi'ne ait taşınmazlar görülmektedir.



Şekil 3: Parselasyon planı (a) ve dağıtım cetveli (b)

Şekil 3a'da mor hat düzenleme sınırını, yeşil dolgulu alanlar DOP ile karşılanan donatı alanlarını, mavi hat imar adalarını ve kırmızı dolgulu alanlar Maliye Hazinesi'ne ait parselleri göstermektedir. Şekil 3b'deki dağıtım cetveli örneğinde Maliye Hazinesi'ne ait üç parselin boru hattına ait kamulaştırma taşınmazları olduğu görülmektedir.

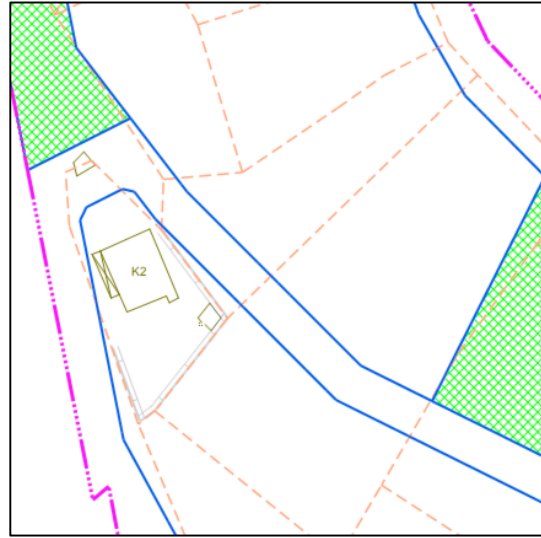
Uygulamada bir parselden DOP kesilmeyerek bedele dönüştürülmüştür. Parselasyon açıklama raporuna benzer şekilde hazırlanan raporda, bedele dönüştürme işleminin gerekçesi olarak, "kanun ve yönetmeliğe uygun ruhsatlı yapılar bulunması" gösterilmiştir. DOP oranı %35.4 iken DOP kesilmeyen parselden kaynaklı diğer parsellerde alacağı dönüştürülen fazladan kesinti oranı %0.8'e karşılık gelmektedir.

Bedele dönüştürme işleminde öncelikli gereklilik belediye/valilik veya Maliye Hazinesi'ne ait hisselerin kullanılması olduğundan yapılan işlemin uygunluğu bu hisselerin incelenmesine bağlıdır. İnceleme yapılan düzenleme sahasında Maliye Hazinesi'ne ait 5 taşınmaz bulunduğu, üçünün kamu hizmetine tahsisli (boru hattı) olduğu, diğer ikisinin ise şağil olarak kayıtlı gerçek kişilere satış aşamasında olduğu anlaşılmıştır. Bu durumda, AAD Hakkında Yönetmelik'in 16/1.a maddesine göre, mevcut kamu hisselerinin tamamlayıcı tahsis için kullanımı mümkün değildir.

AAD'de, belediye veya Maliye Hazinesi'ne ait taşınmazlar bulunması, bedele dönüştürme işlemi akışında bu hisselerinin kullanılması seçeneğini her halükarda sağlamayabilir. Bu hisselerin varlığı kadar tahsis için uygunluğuna da dikkat edilmelidir. Başka bir kamusal kullanıma tahsisli, üzerinde üçüncü kişiler lehine haklar bulunan veya yeterli miktarda olmayan kamu hisseleri dolayısıyla Yönetmelikteki ikinci seçenek olan DOP'nin bedele dönüştürmesi işlemine başvurulmasında ve ardışık diğer koşulların irdelenmesinde bir engel yoktur.

### Örnek Durum 3

Üçüncü örnek bedele dönüştürülecek yeterli miktar hakkındadır. DOP oranının %39.9 olduğu imar uygulamasında bedele dönüştürme oranı %1.2'ye karşılık gelmektedir. İmar planına (plan notları) göre minimum parcel büyüklüğü 500 m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Şekil 4'te düzenleme sahasının bir bölümü, kadastral parseller ve bir kadastral parcel üzerindeki yapı görülmektedir.



Şekil 4: Kadastral parcel ve ruhsatlı binası

Şekil 4'te mor hat düzenleme sınırını, yeşil dolgulu alanlar donatı alanlarını, açık kırmızı kesikli hat kadastral parselleri, koyu gri sınırlar ise parseldeki yapı ve müştemilatı göstermektedir. İki katlı binanın olduğu kadastral parselin büyüklüğü 576.40 m<sup>2</sup> olup imar planı öncesi ruhsatı bulunan ve ekonomik değeri yüksek bir yapı niteliğindedir (Şekil 4). DOP kesilmesi halinde 346.40 m<sup>2</sup>'lik tahsis minimum parcel büyüklüğü nedeniyle binanın müstakil parselde bırakılmasına yeterli değildir. Bu yüzden belediyesince bedele dönüştürme yapılması uygun görülmüştür. Yapının müstakil parselde kalabilmesi için 500 m<sup>2</sup> tahsis yeterlidir. Bu durumda DOP'nin tamamının değil bir bölümünün bedele dönüştürülmesi yeterli olacaktır. Bu durumda DOP'nin tamamının değil bir bölümünün bedele dönüştürülmesi yeterli olacaktır. Bu durumda DOP'nin tamamının değil bir bölümünün bedele dönüştürülecek miktar 230.00 m<sup>2</sup> yerine 153.60 m<sup>2</sup> olacaktır.

Bina dışındaki müştemilat, bahçe ve fiili kullanım alanının tümünün korunması anlamına geleceğinden yapı sahibinin talebi doğal olarak DOP'nin tamamının bedele dönüştürülmesi şeklinde olacaktır. Bununla birlikte, arazi ve arsa düzenlemelerinde tüm paydaşlar için gerçekleşen alan azalmasının herhangi bir maliki etkilememesi kuşkusuz adalet ilkesini zedeleyecek bir durumdur. Bedele dönüştürme işlemi sadece yapının mülkiyetindeki karmaşaya tedbir niteliğinde olduğu unutulmamalıdır. DOP'yi tümüyle bedele dönüştürmek suretiyle bu tedbir kapsamını aşarak daha fazla alanın edinilmesi hakkaniyetli olmayacaktır. O halde yapılması gereken sadece imar tüzesine uygun en küçük imar parselini elde ederek bedele dönüştürülecek DOP miktarının da asgari de tutulmasıdır (Şekil 5).



Şekil 5: İmar parseli

Şekil 5'te verilen imar parseline ait örnek bedele dönüştürme hesabı Tablo 1'de verilmiştir. Örnek uygulamada DOP'nin tamamı bedele dönüştürülmesi, bedele dönüştürme oranını yaklaşık %1.5 seviyesine çıkaracaktır. Bu da 1000 m<sup>2</sup> hissesi olan herhangi başka bir malik için 3 m<sup>2</sup> daha az tahsis anlamına gelmektedir. Bu nedenle, DOP'nin bedele dönüştürülmesi ilgili malik için bir hak olarak değerlendirilmemeli ve işlemin gereği mümkün olan en az bedele dönüştürme ile sağlanmalıdır.

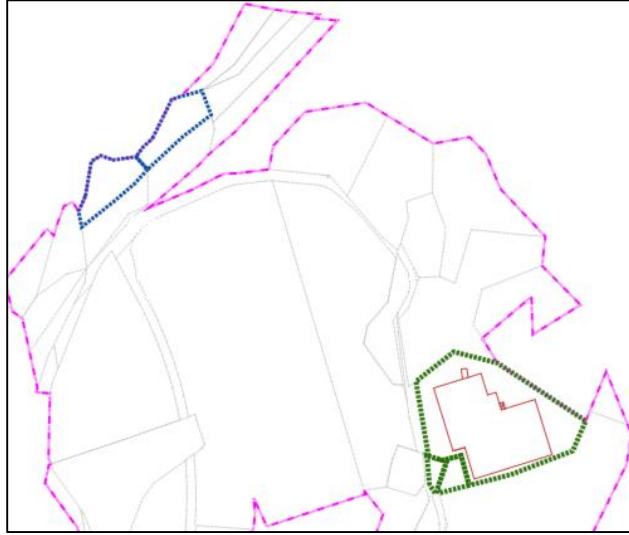
Tablo 1: Örnek bedele dönüştürme hesabı

<i>Kök Parsel Alanı (KPA)</i>	<i>DOP (KPA x %39.9)</i>	<i>Tahsis (KPA-DOP)</i>	<i>Yeterli İmar Parsel Alanı (YPA)</i>	<i>Bedele Dönüştürülecek Miktar (YPA-Tahsis)</i>
576.4 m <sup>2</sup>	230 m <sup>2</sup>	364.4 m <sup>2</sup>	500 m <sup>2</sup>	153.60 m <sup>2</sup>

Verilen örnekte üzerinde durulması gerekli önemli bir diğer unsur da bedele dönüştürmenin müstakil mülkiyet halini sağlayamaması durumudur. Örnek 3'teki üzerinde yapı bulunan kadastral parselin yüzölçümünün 500 m<sup>2</sup>'nin altında olması halinde hiç DOP kesilmese dahi müstakil bir parsel edinimi mümkün olamayacaktır. Böyle bir durumda bedele dönüştürme işlemine başvurulması ise yersiz ve uygunsuzdur.

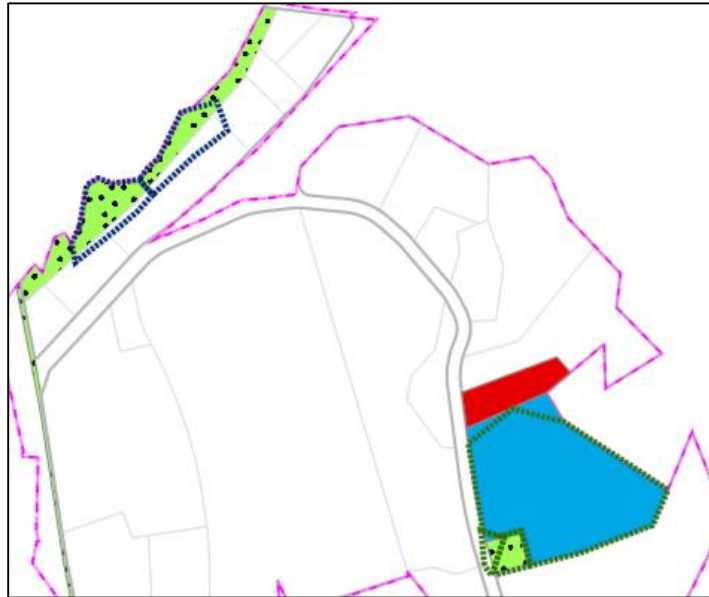
#### Örnek Durum 4

Son uygulama örneğinde malikin tahsiste kullanılabilir hisselerinin varlığı durumunda bedele dönüştürmenin eleştirisi yer almaktadır. Bunun için de Örnek 1'deki imar uygulaması kullanılmıştır (Şekil 2). Bedele dönüştürme yapılan kadastral parsellerden birisinin maliki olan SG Şirketinin düzenleme sahasında iki ayrı konumda toplamda beş taşınmazı bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6: Aynı malikin kök parselleri

Şekil 6’da SG şirketine ait kadastral taşınmazlar mavi ve yeşil kesikli sınırlar ile belirtilmiştir. En büyük parsel (yeşil renkli) içinde imarlı fabrika binası da seçilebilmektedir. Bu 5 parselden, bina olan en büyük parselde DOP bedele dönüştürülerek, aynı yerdeki diğer iki parsel ile birlikte 18 numaralı imar parseline tahsis edilmiştir. Düzenleme sahasının kuzeyindeki iki kök parsel ise imar planında park alanında kalmaktadır. Bu iki parselden gelen tahsis ise 17 numaralı imar parseline taşınmıştır (Şekil 7).



Şekil 7: Tahsis işlemi

Şekil 7’de yeşil kesikli çizgi ile gösterilen üç parselin tahsis edildiği A/18 parsel mavi dolgu alan ile, mavi kesikli çizgi ile gösterilen iki parselin tahsis edildiği A/17 parsel kırmızı dolgu alan ile gösterilmektedir. A/18 imar parseline üç kök parselden gelen hisseler verilmesine rağmen müstakil mülkiyete yeterli olmamıştır. Bunun üzerine kök parsellerden, üzerinde yapı bulunandan kesilmesi gereken 4100 m<sup>2</sup> DOP bedele dönüştürülmüştür. A/18 parselde müstakil mülkiyet henüz sağlanamamış ve müstakil mülkiyeti sağlamak üzere DOP’nin bedele dönüştürülmesi yoluna gidilmiş iken malike ait diğer hisselerin hemen komşu imar parselde değerlendirilmesi, uygulayıcı idarenin bedele dönüştürme işlemini “yapı sahibinin hakkı” olarak görmesinin bir sonucudur.



Oysa DOP'nin bedele dönüştürülmesi yapı sahipleri için bir hak değil mağduriyetlerinin önüne geçebilmek amacıyla gerektiğinde kullanılmak üzere tanımlanmış bir araçtır. Verilen uygulama örneğinde, aynı malikin bir başka yerde öncelikli tahsis hakkına konu olmayan, üzerinde yapı bulunmayan, konum itibari ile de transferinde sıkıntı olmayan yani yapının bulunduğu imar parseline tahsisinde sakınca bulunmayan hisseleri bulunmaktadır. Ancak bu hisseler yapı bulunan parselde değil onun yan parseline tahsis edilmiştir.

Örnek uygulamada fabrikasının bulunduğu alanın malike ait hisseler ile müstakil tahsisi mümkün olduğu halde 4100 m<sup>2</sup> DOP'nin kesilmeyerek bedele dönüştürülmesi tercih edilmiştir. Malikin diğer hisseleri ise yeni bir imar parselinin ediniminde kullanılmıştır. Bu işlemin sonucu olarak malik daha büyük bir alanın mülkiyetini elde ederken bedele dönüştürme oranı %5'ten %6.3'e yükselmiştir. Bu durumda diğer maliklere tahsis edilen arsa miktarı da ~ %1.5 daha azalmıştır. Örneğin, komşu malike tahsis edilen imar parseli 450 m<sup>2</sup> daha küçüktür.

Bedele dönüştürmeye başvurulmadan önce malikin diğer hisselerinin tahsis ilkeleri çerçevesinde irdelenmesi önemlidir. Örnekte olduğu şekliyle aynı malike ait hisselerin bir başka yerde kullanımı gereklilik değil iken bedele dönüştürülmeye gidilmesi o malik için tahsis miktarının hakkaniyetsiz artışına yol açmaktadır. Bu durum diğer malikler için kesinti oranının yükselmesine ve dolayısıyla daha küçük bir alan edinimine neden olacaktır. Ayrıca bedele dönüştürmedeki bu türden bir yaklaşım, paydaşların tümü için en uygun çözüm inancının sarsılmasına ve uygulayıcı idarenin tarafsızlığından kuşku duyulmasına da yol açabilecektir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

3194 sayılı İmar Kanunu'nun 18. maddesine 2019 yılında eklenen ve 2020 yılında yayınlanan AAD Hakkında Yönetmelik'te ayrıntıları bulunan DOP'nin bedele dönüştürülmesi işlemi tüzemizde ilk defa uygulanabilir açıklıkta tanımlanmıştır. AAD Hakkında Yönetmelik'in 16. maddesinde DOP'nin alınmadığı durumların ayrıntıları bulunan, 17. ve 19. maddelerinde tahsis ilkeleri çerçevesinde uygulama alanı çizilmeye çalışılan bedele dönüştürme işlemi, taşınmazın çıplak mülkiyeti ile başlıca muhdesat olan yapıların mülkiyeti arasındaki olası uyumsuzluğu önleme amacı ile düzenlenmiştir.

AAD Hakkında Yönetmelik'in ilgili maddelerindeki bütünsel içerik ile arazi ve arsa düzenlemelerinin genel ilkeleri göz önüne alındığında, bedele dönüştürme işlemi önemli ayrıntıları ve karar aşamalarını barındırmaktadır. Bu makalede bedele dönüştürme işlemi akışında irdelenmesi gerekli koşullar üzerinde durulmuş ve karar verme noktaları örneklerle açıklanmaya çalışılmıştır.

İmar uygulamalarındaki mevcut deneyimler maliklerin DOP kesintisini bedel olarak karşılama konusunda istekli ve talep edici olacaklarını göstermektedir. Ancak bir düzenleme sahasında bedele dönüştürme uygulanabilecek taşınmaz sayısı kısıtlıdır. AAD Hakkında Yönetmelik öngördüğü kat irtifaklı/kat mülkiyetli taşınmazlar dışında kolaylıkla uygulanacak bir seçenek olamayacağı ısrarla vurgulanmalıdır. Ayrıca kat irtifakı/kat mülkiyetli parseller dâhil DOP'nin bedele dönüştürülmesi ilk seçenek değildir. Üzerinde yapı bulunan kadastro parselinde AAD sonrası yapının müstakil parselde kalabilmesi için hem malikin tahsisi uygun diğer hisselerinin hem de Yönetmelik'te belirtilen kamu hisselerinin tamamlayıcı olarak kullanılması öncelikle başvurulacak yoldur.

Uygulama örnekleri üzerinden makalede altı çizilmeye çalışılan önemli husus bedele dönüştürmenin yapı bulunan parseller için bir hak değil mülkiyet karmaşasını önlemeye dönük özel nitelikli bir işlem olduğudur. Bedele dönüştürme, mevcut yapılar dolayısıyla uygulanabilmesi çok zorlaşan imar uygulamalarının gerçekleştirilebilmesinde oldukça güçlü bir araç sunmaktadır. Güçlü ilaçların ciddi yan etkileri olabileceği metaforundaki gibi ilk aşamada ve de sıklıkla kullanılacak bir

yöntem olmadığı gözden kaçırılmamalıdır.

Bir parselden DOP kesilmemesi doğal olarak diğer parsellerden daha fazla DOP kesilmesi sonucunu doğurmaktadır. Bedel ile karşılanmaya çalışılsa da bu durumun diğer paydaşların tercihlerine aykırı olacağını hatta olumsuz etkileneceklerini kestirmek zor değildir. Bu nedenle makalede belirtilen karar süreçlerinin tümü üzerinde durulmadan DOP'nin bedel olarak karşılanması seçeneğinden mutlaka kaçınılmalıdır.

Müstakil parsel oluşturma amacına uygun olarak tamamlayıcı tahsis seçeneklerinin varlığı halinde bedele dönüştürmeden sakınılmalıdır. Müstakil parsel oluşmadığı durumlarda yapılan bedele dönüştürmenin AAD Yönetmeliğine aykırı olacağı da unutulmamalıdır. Hiçbir şekilde bedele dönüştürme suretiyle bazı maliklerin tahsis miktarının sebepsiz artışı olarak yorumlanabilecek işlemler tesis edilmemelidir.

AAD'de kat irtifaklı/kat mülkiyetli parseller için öncelikli diğer seçenekler bitirildikten sonra bedele dönüştürme işlemine geçilmelidir. Üzerinde yapı bulunan diğer parsellerde ise düzenleme sahasının iyi analizi eşliğinde bir strateji belirlenmesi tavsiye edilmektedir. Bu noktada, her bedele dönüştürme işleminin uygulamaya olumsuz etkileri olacağını ve olabildiğince başvurulmaması gerektiğinin altı yine çizilmektedir.

Düzenleme sahasında müstakil parselde kalabilecek yapı sayısı, düzenlemeye giren toplam parsel sayısı, uygulamanın DOP oranı gibi parametreler gözetilerek, hangi tür yapılarda bedele dönüştürmeye gidilebileceği bir ilke kararı olarak belirlenmelidir. Bir diğer ifadeyle bedele dönüştürme işleminin düzenleme sahasına özgü ölçütleri uygulayıcı idarece tayin edilmelidir. Tüm bu analiz ve ölçütlendirme süreçleri Parselasyon Açıklama Raporu'nda da açıklanarak, keyfi işlemlerin ve eleştirilerin de önü alınmalıdır.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

- Çepni, M.S. (2021). İmar Yasası 18. Maddesinde değişiklikler ve idare hukuku açısından olası sorunlar: Eşdeğer tahsis ve hisse çözümleme. *İzmir Barosu Dergisi*, 1.
- Çepni, M.S., & Doğuyıldız, C. (2021). Arsa düzenlemelerinde 7181 sayılı kanun ve AAD yönetmeliği ile getirilen değişiklikler. *18. Türkiye Harita Bilimsel Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Kalabalık, H. (2019). *İmar Hukuku Dersler (9. Baskı)*. Seçkin Yayıncılık.
- Sarı M. (2008). *İmar Uygulamalarında Bedele Dönüştürmeler* (Yüksek Lisans Tezi). Kadir Has Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Yıldız, H. (2015). *İmar Mevzuatı, İdareimizi İlgilendiren Yönleri, İmar Uygulamaları, Kontrol ve Tescil İşlemleri İle Sorunlar ve Çözüm Önerileri, İnceleme-Araştırma Tezi*. TKGM Teftiş Kurulu Başkanlığı, Ankara
- Yılmaz, M. (2010). İmar Kanunu'nun 18. Maddesi çerçevesinde düzenleme ortaklık payı kavramı ve uygulamaları. *Marmara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Hukuk Araştırmaları Dergisi*, 16(3-4), 37-83.
- URL-1: Şimşek, S. (2019) Ülkemizde Arsa ve Arazi Düzenlemelerinin Tarihçesi, <https://gayrimenkulmevzuati.com/ulkemizde-arazi-ve-arsa-duzenlemesi-islemlerinin-tarihcesi/>, (Erişim Tarihi: 2 Haziran 2022).
- URL-2: Koçak, H. (2019) İmar planı ve parselasyon planları ile ilgili danıştay kararları, <https://tapu-kadastro.net/index.php/mevzuat/yargi-kararlari/317-danistay-kararlari-imar-uygulamaları>, (Erişim Tarihi: 2 Haziran 2022)
- URL-3: [https://faselishukuk.com/makale\\_03.html](https://faselishukuk.com/makale_03.html), (Erişim Tarihi: 2 Haziran 2022).

URL-4: HKMO Arazi ve Arsa Düzenlemeleri Hakkında Yönetmelik Çalıştay Sonuç Raporu (2021), [http://www.imarkadastro.com/userfiles/file/Dokuman/arazi\\_ve\\_arsa\\_duzenlemesi\\_calistay\\_sonuc\\_raporu%202021.pdf](http://www.imarkadastro.com/userfiles/file/Dokuman/arazi_ve_arsa_duzenlemesi_calistay_sonuc_raporu%202021.pdf), (Erişim Tarihi: 2 Haziran 2022).

## Küresel BeiDou Sistemi (BDS-3) için hassas nokta konumlama performansının değerlendirilmesi

Berkay Bahadır<sup>1\*</sup> 

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

**Öz:** Bu çalışmanın temel amacı küresel BeiDou sisteminin (BDS-3) Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) açısından konum belirleme performansının değerlendirilmesidir. BDS-3'ün PPP performansı hem GPS hem de bölgesel BeiDou sistemi (BDS-2) ile kıyaslanarak karşılaştırılmıştır. İlave olarak bu üç sistemin çoklu GNSS kombinasyonları aracılığıyla BDS-3'ün PPP konum belirleme performansına olan katkısı da analiz edilmiştir. Bu amaçla toplamda yedi farklı PPP işleme senaryosu oluşturulmuş ve 21-30 Kasım 2021 tarihleri arasında 15 Uluslararası GNSS Servisi (International GNSS Service, IGS) istasyonunda toplanan veriler bu senaryolar altında işlenmiştir. Sonuçlar GPS, BDS-2 ve BDS-3 PPP çözümlerinden sırasıyla 0.0152, 0.0605 ve 0.0203 m konum doğruluğu elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca bu çözümlerden elde edilen ortalama yakınsama süreleri de sırasıyla 60.94, 261.71 ve 63.06 dakika olarak hesaplanmıştır. BDS-2 PPP çözümünün sonuçları GPS sonuçlarının bir hayli gerisinde kalırken BDS-3 PPP'den GPS PPP ile karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilmiştir. Diğer taraftan elde edilen sonuçlar bu sistemlerin ikili ve üçlü kombinasyonlarının kullanılması durumunda konum belirleme performansının önemli oranda iyileştirilebileceğini ortaya koymuştur. GPS, BDS-2 ve BDS-3 sistemlerinin ortak kullanıldığı PPP çözümünden elde edilen konum doğruluğu ve yakınsama süresi 0.0136 m ve 26.45 dakikadır. Bu çalışmada PPP performansını analiz edebilmek için ayrıca troposferik gecikme kestirimleri de değerlendirilmiştir. Sonuçlar BDS-3 PPP çözümünün troposferik gecikme kestirimi açısından GPS PPP çözümüne yakın sonuçlar üretebileceğini ve en iyi troposfer kestirim performansının yine üç sistemin ortak kullanıldığı çoklu GNSS çözümünden elde edilebileceğini göstermiştir.

**Anahtar Sözcükler:** GNSS, BDS-3, Hassas nokta konumlama, PPP, Troposfer

### Evaluation of the precise point positioning performance for Global BeiDou System (BDS-3)

**Abstract:** The main objective of this study is to evaluate the positioning performance of the global BeiDou system (BDS-3) in terms of Precise Point Positioning (PPP). The PPP performance of BDS-3 was compared with both GPS and the regional BeiDou system (BDS-2). In addition, the contribution of BDS-3 to the PPP performance was analyzed through multi-GNSS combinations of these three systems. For this purpose, seven processing scenarios in total were composed, and the observation dataset collected at 15 International GNSS Service (IGS) stations over the period of November 21 and 30, 2021 were processed under these scenarios. The results showed that positioning accuracies of 0.0152, 0.0605, and 0.0203 m could be acquired from the GPS, BDS-2, and BDS-3 PPP solutions, respectively. Also, average convergence times obtained from these solutions were respectively computed as 60.94, 261.71, and 63.06 minutes. While results of the BDS-2 PPP solution remained substantially behind the GPS results, comparable results with the GPS PPP were acquired from the BDS-3 PPP solution. Besides, the obtained results revealed that the positioning performance could be improved significantly when double and triple combinations of these navigation systems were employed. The positioning accuracy and convergence time obtained from the PPP solution where GPS, BDS-2, and BDS-3 systems were used in common were 0.0136 m and 26.45 minutes. In this study, tropospheric delay estimations were also evaluated to analyze the PPP performance comprehensively. The results demonstrated that the BDS-3 solution could provide close results to the GPS PPP solution in terms of tropospheric delay estimation and the best troposphere estimation performance could similarly be acquired from the multi-GNSS solution where three systems were employed in common.

**Keywords:** GNSS, BDS-3, Precise point positioning, PPP, Troposphere

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 312 297 69 90

Geliş Tarihi/Received: 31.03.2022  
Kabul Tarihi/Accepted: 26.04.2022



## 1. Giriş

Rölatif konum belirleme teknikleri uzun yıllardır hassas GNSS uygulamalarında başarı ile kullanılmaktadır. Bu tekniklerde GNSS hata kaynaklarının önemli bir bölümü öncesinde hassas koordinatları bilinen referans istasyonlar aracılığıyla ortadan kaldırılmakta ve bu sayede ilgili teknikler kullanılarak yüksek konum doğruluğu elde edilmektedir. Tanımından da anlaşılacağı üzere rölatif konum belirleme teknikleri en az iki GNSS alıcısına ihtiyaç duymaktadır. Bu durum konum belirleme uygulamaları açısından uygulama maliyetini ve sistem karmaşasını artıran önemli bir faktördür. İlave olarak bu tekniklerden elde edilebilecek konum doğruluğu referans istasyondan olan mesafeye bağlı olarak önemli oranda değişiklikler gösterebilir (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Wasle, 2007). Diğer taraftan Hassas Nokta Konumlama (Precise Point Positioning, PPP) adı verilen mutlak konum belirleme tekniği 1990'lı yılların sonuna doğru bu geleneksel yöntemlere bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır (Zumberge, Heflin, Jefferson, Watkins, & Webb, 1997). PPP yalnızca tek bir GNSS alıcısı kullanarak küresel ölçekte yüksek konum doğruluğu sağlayabilen bir konum belirleme tekniğidir. PPP tekniğinde uydu yörünge ve saat hatasını ortadan kaldırmak için küresel bir ağdan elde edilmiş hassas yörünge ve saat bilgileri kullanılmaktadır. Uluslararası GNSS servisi (International GNSS Service, IGS) küresel ağı kullanılarak üretilen hassas ürünler uzun senelerdir PPP uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. İlave olarak iyonosfer tabakasının GNSS sinyalleri üzerine olan etkisini gidermek adına PPP tekniği çift frekanslı kod ve faz gözlemlerinin iyonosferden bağımsız doğrusal kombinasyonlarını standart ölçü modeli olarak kullanılmaktadır (Kouba & Héroux, 2001).

Referans istasyon ihtiyacını ortadan kaldırmasına ek olarak uygulama ve maliyet açısından getirdiği kolaylıklar PPP tekniğinin son yıllarda GNSS kullanıcıları arasında yüksek ilgi görmesine neden olmuştur. Bu ilgiye paralel olarak deprem kaynaklı yer değişimlerinin belirlenmesi (Kouba, 2003; Xu vd., 2019), dinamik yer değiştirmelerin izlenmesi (Paziewski, Sieradzki, & Baryla, 2018; Yigit & Gurlek, 2017), atmosferin modellenmesi (Lu vd., 2016; Zhang, Teunissen, Yuan, Zhang, & Li, 2018), açık deniz navigasyonu (Alkan & Öcalan, 2013) gibi birçok GNSS uygulamasında PPP tekniği yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yüksek konum doğruluğu sağlayabiliyor olmasına rağmen PPP tekniğinin en büyük dezavantajı tam sayı niteliğini kaybeden faz belirsizliklerinin yakınsaması için başlangıçta ihtiyaç duyulan görece uzun gözlem süresidir. Bu dezavantajı ortadan kaldırabilmek adına son yıllarda çok sayıda belirsizlik çözümü (Ambiguity Resolution, AR) metodu ortaya atılmıştır (Collins, Bisnath, Lahaye, & Héroux, 2010; Ge, Gendt, Rothacher, Shi, & Liu, 2008; Geng, Meng, Dodson, Ge, & Teferle, 2010; Laurichesse, Mercier, Berthias, Broca, & Cerri, 2009). Bu yöntemler aracılığıyla tam sayı belirsizliklerini çözebilmek ve bu sayede PPP tekniğinde ihtiyaç duyulan yakınsama süresini kayda değer oranda kısaltmak mümkündür. Ancak PPP-AR yöntemlerinin uygulanabilmesi için standart hassas ürünler arasında yer almayan ilave faz düzeltmelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer yandan GLONASS (Russian Global Navigation Satellite System) uydu takımının tamamlanmasına ek olarak Galileo (European Global Navigation Satellite System) ve BDS (Chinese BeiDou Navigation Satellite System) gibi yeni küresel navigasyon sistemlerinin ortaya çıkması PPP uygulamaları açısından önemli fırsatları beraberinde getirmiştir. Birden fazla navigasyon sisteminin ortak GNSS çözümüne dahil edilmesi, diğer bir deyişle çoklu GNSS yöntemleri sağladığı ilave uydu ve sinyal kaynağı sayesinde PPP çözümlerinin konum belirleme performansını kayda değer oranda iyileştirmektedir (Bahadır & Nohutcu, 2018; Cai, Gao, Pan, & Zhu, 2015; Li vd., 2015; Pan, Zhang, Liu, Li, & Li, 2017). Buna ek olarak Galileo ve BDS uydu sayısının kayda değer oranda artmasıyla birlikte bu sistemlerin konum belirleme uygulamaları açısından bireysel performansları da son yıllarda birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Bahadır, 2022; Ge, Ding, Qin, Zhou, & Yang, 2020; Ge vd., 2021; Hadas, Kazmierski, & Sosnica, 2019; Zhu vd., 2021).

Bölgesel BeiDou navigasyon sistemi (BDS-2) 2012 yılından bu yana kullanımda olup 2022 yılı başı itibarıyla 5 adet GEO (Geostationary Earth Orbit), 7 adet IGSO (Inclined GeoSynchronous Orbit) ve 3 adet MEO (Medium Earth Orbit) olmak üzere toplamda 15 adet uydudan oluşmaktadır (URL-1). Bu sistem temel anlamda Asya Pasifik bölgesi için konum-zaman

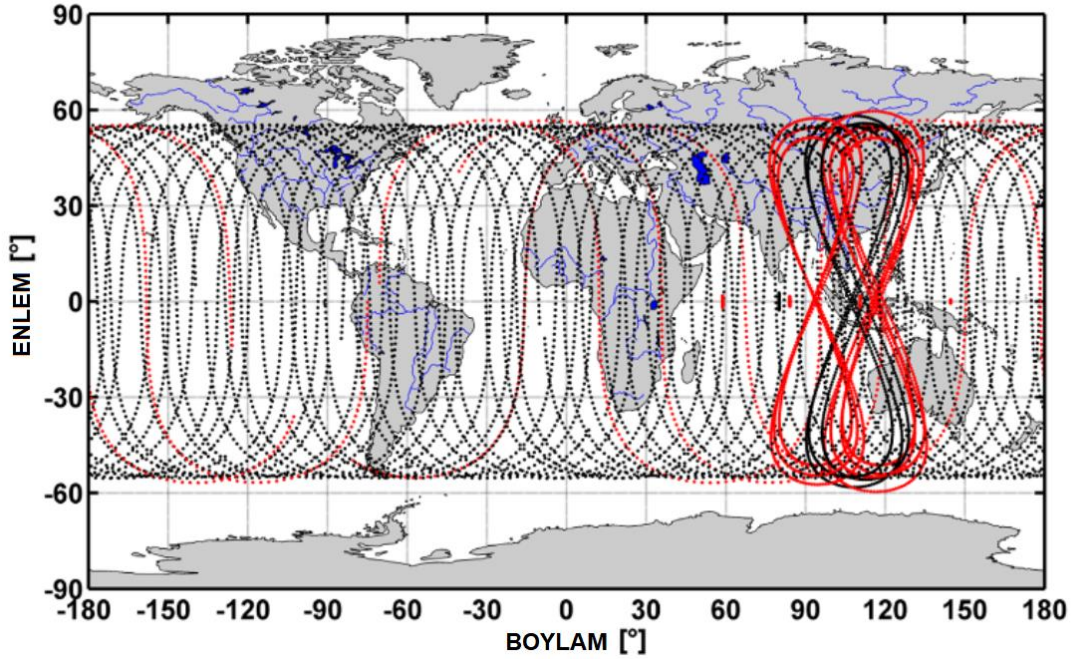
belirleme ve navigasyon hizmeti sunmak amacıyla geliştirilmiştir. BDS-2'nin GNSS uygulamaları açısından performansı şimdiye dek birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. [Odolinski, Teunissen ve Odijk \(2014\)](#) GPS ve BDS-2 sistemlerinin ortak kullanılması durumunda kod tabanlı GNSS konum belirleme performansının önemli oranda iyileştirilebileceğini ortaya koymuştur. [Chen vd. \(2016\)](#) GPS, BDS-2 ve GPS/BDS-2 PPP çözümlerinin konum belirleme performanslarını IGS MGEX (multi-GNSS experiment) istasyonları aracılığıyla incelemiştir. Yine [Liu, Jiang, Li, Chen ve Zhao \(2019\)](#) GPS ve BDS-2'nin performanslarını PPP ve PPP-AR çözümleri açısından incelemiş ve BDS-2 PPP çözümünün kuzey, doğu ve yukarı yönlerde sırasıyla 2.0, 1.5 ve 5.9 cm karesel ortalama hata (KOH) değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Küresel BeiDou navigasyon sistemi (BDS-3) ise 2020 yılı itibarıyla uydu takımını tamamlamış ve tamamen kullanılabilir duruma erişmiştir. BDS-3 sistemi 24 adet MEO, 3 adet IGSO ve 3 adet GEO olmak üzere toplamda 30 uydu ile küresel ölçekte hizmet sağlamaktadır ([URL-1](#)). Son zamanlarda BDS-3'ün konum belirleme performansını araştırmaya yönelik bazı öncül çalışmalar gerçekleştirilmiştir ([Chen vd., 2021](#); [Li vd., 2020](#); [Lv, Geng, Zhao, Xie, & Zhou, 2020](#); [Zhang vd., 2019](#)). Son yıllarda BDS-3'ün uydu sayısındaki hızlı artışa ek olarak uydu yörünge ve saat düzeltmelerindeki iyileşmeler de göz önünde bulundurulduğunda BDS-3'ün bireysel ve diğer sistemlerle entegre kullanılması durumunda PPP çözümleri açısından performansı oldukça ilgi çekici bir konu olmaya devam etmektedir. Bu nedenle bu çalışmanın temel amacı BDS-3'ün PPP çözümleri açısından konum belirleme performansının hem konum doğruluğu hem de yakınsama süresi açısından değerlendirilmesidir. Bu amaçla BDS-3'ün bireysel performansına ek olarak BDS-2 ve GPS sistemleri ile entegrasyonu PPP çözümleri açısından analiz edilmiştir. Ayrıca bu çalışma BDS-3'ün PPP çözümüyle troposferik gecikme kestirim performansı BDS-2 ve GPS çözümleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmesini de kapsamaktadır.

## 2. Küresel BeiDou Sistemi (BDS-3)

BDS-2 ile Asya Pasifik bölgesi için hizmet sağlayabilen BeiDou sistemi BDS-3 uydularıyla birlikte küresel ölçekte kapsama alanına ulaşmıştır. 2020 yılı itibarıyla uydu takımının tamamlanmasıyla birlikte BDS-3 tam kapasiteyle hizmet vermeye başlamıştır. BDS-3 2022 yılı başı itibarıyla toplam 30 adet uydula küresel olarak konum-zaman belirleme ve navigasyon amaçlı kullanılabilir sinyalleri GNSS kullanıcılarına sağlamaktadır. Tablo 1 BDS-2 ve BDS-3 uydu takımlarına ait mevcut kullanılabilir uydu sayılarını PRN numaralarına ve uydu tiplerine göre sunmaktadır. Tablo 1'den görüleceği üzere BDS-2 bölgesel bir sistem olarak tasarlandığı için uydu takımının önemli bir bölümü GEO ve IGSO uydularından meydana gelmektedir. BDS-3 uydu takımında ise MEO uyduları ağırlıkta olup bu sayede küresel ölçekte hizmet sağlayabilmektedir. Ek olarak BDS-3'ün kullanılabilir uydu sayısı BDS-2'nin iki katıdır. Bu da BDS-3'ün BDS-2'ye kıyasla daha yüksek zamansal ve konumsal çözünürlüğe sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 1'de 15 Kasım 2020 tarihi için BDS-2 ve BDS-3 uydularına ait yörüngeler gösterilmektedir ([Lv vd., 2022](#)). Şekil 1'de görülen kırmızı çizgiler BDS-2 uydularına siyah çizgiler ise BDS-3 uydularına ait yörüngeleri temsil etmektedir. Şekilden de görüleceği üzere BDS-2 uyduları Asya Pasifik bölgesine yoğunlaşırken BDS-3 uyduları ise küresel ölçekte hizmet sunabilecek seviyededir.

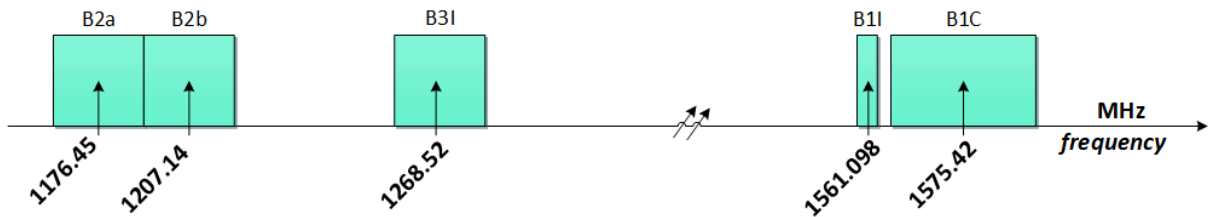
**Tablo 1:** 2022 başı itibarıyla BDS-2 ve BDS-3 için kullanılabilir uydu sayıları ve tipleri.

Uydu tipi	BDS-2	BDS-3
GEO	PRN01, PRN02, PRN03, PRN04, PRN05	PRN59, PRN60, PRN61
IGSO	PRN06, PRN07, PRN08, PRN09, PRN10, PRN13, PRN16	PRN38, PRN39, PRN40
MEO	PRN11, PRN12, PRN14	PRN19, PRN20, PRN21, PRN22, PRN23, PRN24, PRN25, PRN26, PRN27, PRN28, PRN29, PRN30, PRN32, PRN33, PRN34, PRN35, PRN36, PRN37, PRN41, PRN42, PRN43, PRN44, PRN45, PRN46
Toplam uydu sayısı	15	30



Şekil 1: 15 Kasım 2020 tarihi için BDS-2 (kırmızı) ve BDS-3 (siyah) uydularına ait yörüngeler (Lv vd. (2022)'den alınarak düzenlenmiştir).

Diğer taraftan GNSS uygulamaları açısından en önemli noktalardan biri de ilgili sistemler tarafından sağlanan navigasyon sinyalleri ve servisleridir. BDS-2'de B1 (1561.098 MHz), B2 (1207.140 MHz) ve B3 (1268.520 MHz) merkez frekanslarında yayınlanan B1I, B2I ve B3I olmak üzere üç farklı kullanıma açık sinyal mevcuttur. Bu sinyallerin hepsi QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) yöntemi ile modüle edilmiştir. Diğer taraftan B1I ve B3I sinyallerinin yanı sıra BDS-3, B1C (1575.420 MHz), B2a (1176.450 MHz) ve B2b (1207.140 MHz) olmak üzere üç farklı sinyale sahiptir. B1C sinyali BOC (Binary Offset Carrier) ve QMBOC (Quadrature Multiplexed Binary Offset Carrier) yöntemleri ile modüle edilirken B2a ve B2b sinyalleri BPSK (Binary Phase Shift Keying) yöntemi ile modüle edilmiştir. BDS-2'ye ait B2I ile BDS-3'e ait B2b sinyalleri aynı frekans değerine sahip olmalarına karşın farklı modülasyon teknikleri kullanılarak üretildiği için farklı sinyaller olarak değerlendirilip buna göre isimlendirilmiştir (Chen vd., 2021). B1I ve B3I ise her iki sistemde de ortak olarak kullanılan navigasyon sinyalleridir. Şekil 2, BDS-2 ve BDS-3'e ait navigasyon sinyallerini ve kullanılan frekansları göstermektedir (URL-1).



Şekil 2: BDS-2 ve BDS-3'te kullanılan sinyaller ve frekansları (URL-1).

### 3. PPP Modeli

Standart PPP yaklaşımında ölçü modeli olarak kullanılan çift frekanslı kod ( $P$ ) ve faz ( $L$ ) gözlemlerinin iyonosferden bağımsız (İB) doğrusal kombinasyonları aşağıdaki eşitliklerle ifade edilebilir.

$$P_{IB}^{s,j} = \rho_r^{s,j} + c\widehat{dt}_r^s - c\widehat{dT}^{s,j} + T_r^{s,j} + \varepsilon(P_{IB}^{s,j}) \quad (1)$$

$$L_{IB}^{s,j} = \rho_r^{s,j} + c\widehat{dt}_r^s - c\widehat{dT}^{s,j} + T_r^{s,j} + \lambda_{IB}^s \widehat{N}_{IB}^{s,j} + \varepsilon(L_{IB}^{s,j}) \quad (2)$$

burada  $r$  alıcıyı,  $s$  GNSS indeksini (G: GPS, C2: BDS-2, C3: BDS-3),  $j$  uydu numarasını ve  $c$  ışık hızını göstermektedir. Ayrıca,  $\rho_r^{s,j}$  uydu alıcı arasındaki geometrik mesafeyi,  $\widehat{dt}_r^s$  ve  $\widehat{dT}^{s,j}$  sırasıyla düzenlenmiş alıcı ve uydu saat hatasını,  $T_r^{s,j}$  toplam troposferik gecikmeyi,  $\lambda_{IB}^s$  ve  $\widehat{N}_{IB}^{s,j}$  ise sırasıyla İB doğrusal kombinasyon için dalga boyunu ve düzenlenmiş faz belirsizlik parametresini ve  $\varepsilon$  çoklu yol (multipath) etkisini de içerecek şekilde ölçüye ait gürültü değerini ifade etmektedir. Alıcı ve uydu saat hatalarının yanında faz belirsizlik parametresi için düzenlenmiş ifadeler aşağıdaki şekilde verilebilir:

$$\widehat{dt}_r^s = dt_r^s + b_{IB,r}^s \quad (3)$$

$$c\widehat{dT}^{s,j} = dT^{s,j} + b_{IB}^{s,j} \quad (4)$$

$$\widehat{N}_{IB}^{s,j} = N_{IB}^{s,j} + (B_{IB,r}^s - B_{IB}^{s,j}) - (b_{IB,r}^s - b_{IB}^{s,j}) \quad (5)$$

burada  $dt_r^s$  ve  $dT^{s,j}$  orijinal alıcı ve uydu saat hatasını,  $b_{IB,r}^s$  ve  $b_{IB}^{s,j}$  İB doğrusal kombinasyon için sırasıyla alıcı ve uydu kod donanım hatalarını,  $B_{IB,r}^s$  ve  $B_{IB}^{s,j}$  sırasıyla İB doğrusal kombinasyon için alıcı ve uydu faz donanım hatalarını ve  $N_{IB}^{s,j}$  ise orijinal tam sayı faz belirsizlik parametresini göstermektedir.

Geleneksel olarak PPP yaklaşımında uydu yörünge ve saat hatasını gidermek için IGS tarafından üretilen hassas ürünler kullanılmaktadır. Bu ürünler belirli bir sinyal ya da sinyal kombinasyonu temel alınarak üretilmektedir. Örneğin, GPS uyduları için hassas uydu ürünleri L1 ve L2 sinyalleri üzerindeki kod gözlemleri kullanılarak üretilen İB doğrusal kombinasyona göre üretilmektedir. Benzer şekilde BDS-2 ve BDS-3 uyduları için hassas ürünler her iki sistemde de ortak olarak kullanılan B1I ve B3I sinyalleri üzerindeki kod gözlemlerinin İB doğrusal kombinasyonları temel alınarak üretilmektedir (Teunissen & Montenbruck, 2017). Dolayısıyla IGS tarafından sağlanan saat düzeltmelerinde ilgili uyduya ait orijinal saat hatasına ek olarak İB kombinasyonuna ait uydu kod donanım hatası da yer almaktadır. Bu nedenle ilgili sinyaller kullanılarak oluşturulan gözlemler için IGS ürünleri yardımıyla düzenlenmiş uydu saat hataları giderilebilmektedir. Alıcı saat hatası ve ilgili kod donanım hatası ise birbirlerinden ayrı olarak tahmin edilemedikleri için birlikte düzenlenmiş alıcı saat hatası olarak kestirilmektedir (Cai & Gao, 2013). Son olarak geriye kalan faz donanım hataları ise belirsizlik parametresine yüklenerek düzenlenmiş faz belirsizlik parametresi olarak kestirilmektedir (Kouba & Héroux, 2001).

Eşitlik 1 ve 2'den görüleceği üzere PPP modeli her navigasyon sistemi için farklı bir alıcı saat hatasına sahiptir. Bunun temel nedeni navigasyon sistemlerinin birbirinden farklı zaman ölçeklerine sahip olmasıdır. Bu modele göre birden fazla navigasyon sisteminin entegre edildiği çoklu GNSS çözümlerinde farklı alıcı saat hataları ortaya çıkmaktadır. GNSS uygulamalarında genel olarak her navigasyon sistemi için ilave bir alıcı saat hatası tanımlamak yerine seçilen bir referans zaman ölçeğine göre sistemler arası zaman farkı parametresi (inter-system bias, ISB) tanımlanmaktadır. Hassas uydu ürünlerinin GPS zaman ölçeğinde üretildiği ve ayrıca GNSS alıcılarının çoğunun GPS zaman ölçeğini referans aldığı düşünüldüğünde ISB parametreleri genellikle GPS zaman ölçeğini referans olarak tanımlanmaktadır (Abd Rabbou, El-Shazly, & Ahmed, 2018; Cai & Gao, 2013; Li vd., 2015). Öte yandan literatürde mevcut çalışmalarda BDS-2 ve BDS-3 arasında zaman ölçeği farkı bulunduğu ortaya konmuştur ve bu nedenle ilgili sistemler için farklı ISB parametreleri tanımlanması gerekmektedir (Chen vd., 2021; Zhao, Chen, Gao, Jiang, & Liu, 2020).

PPP modeli için en önemli hata kaynaklarından bir tanesi de GNSS sinyalleri üzerindeki troposferik gecikmedir. GNSS tekniklerinde bir standart olarak troposferik gecikme ıslak ve kuru bileşenlerine ayrılarak ele alınmaktadır. GNSS sinyalleri



için troposferin kuru bileşeni deneysel modeller aracılığıyla düzeltilebilirken ıslak bileşeni atmosferdeki su buharı miktarındaki hızlı değişimler nedeniyle modellemek oldukça zordur. Bu nedenle troposferin ıslak bileşeni genellikle ilave bir bilinmeyen olarak dengeleme aşamasında kestirilmektedir (Davis, Herring, Shapiro, Rogers, & Elgered, 1985). Toplam troposferik gecikme zenit doğrultusu boyunca bir iz düşüm fonksiyonu kullanarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$T_r^{s,j} = M_K(E)T_D + M_I(E)T_I \quad (6)$$

burada  $T_D$  ve  $T_I$  zenit doğrultusu boyunca kuru ve ıslak troposferik gecikmeyi,  $M_K$  ve  $M_I$  uydu yükseklik açısına ( $E$ ) bağlı olarak iz düşüm fonksiyonundan elde edilen ıslak ve kuru bileşenlere ait katsayıları temsil etmektedir. Bu çalışmada troposferik gecikmenin kuru bileşenini düzeltmek için Saastamoinen (1972) modeli VMF3 (Landskron & Böhm, 2018) iz düşüm fonksiyonu ile kullanılmıştır. Troposferin ıslak bileşeni ise yine aynı iz düşüm fonksiyonu kullanılarak epok bazlı kestirilmiştir.

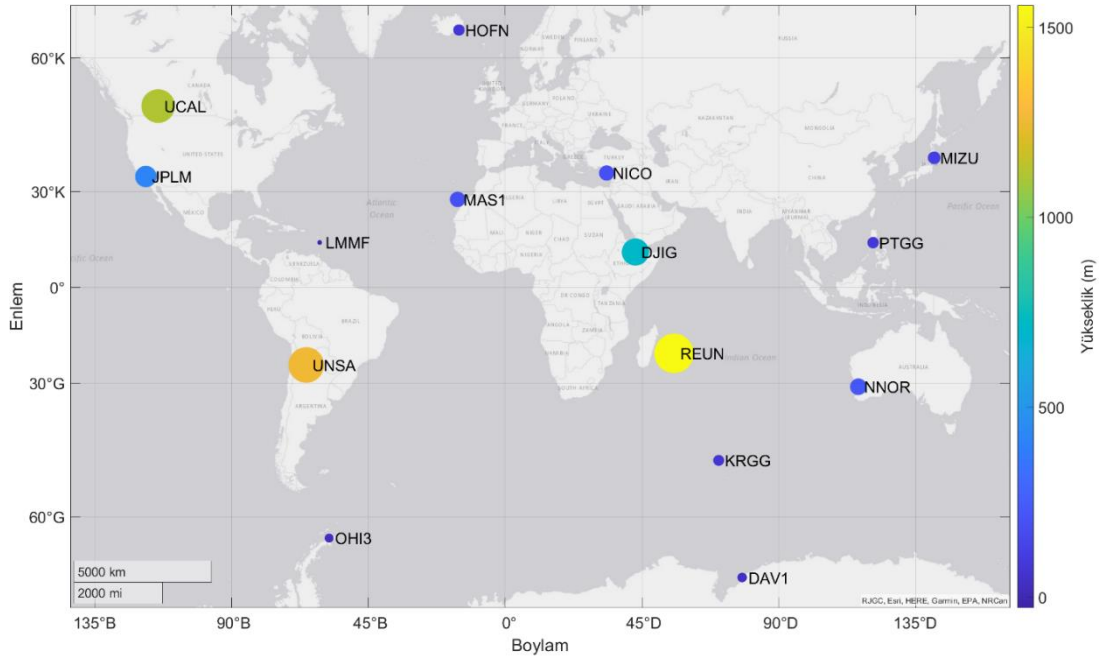
Sonuç olarak, PPP modeli için bilinmeyen parametreler üç adet konum bileşeni, bir adet alıcı saat hatası, bir adet troposferik ıslak gecikme, ilave her sistem için bir ISB parametresi ve görülen her uydu için bir belirsizlik parametresi şeklindedir. Uydu yörünge ve saat hatasına ek olarak uydu ve alıcı faz merkezi kayıklıkları güncel IGS anten modeli (igs14.atx) kullanılarak giderilmelidir. Ayrıca rölativistik etkiler, faz dönüklüğü, katı yer gelgiti ve okyanus yüklemesi gibi PPP'ye özel hata kaynaklarının da uygun modeller aracılığıyla giderilmesi gerekmektedir (Kouba, 2015).

#### 4. Uygulama ve Analizler

Bu bölümde BDS-3'ün PPP performansına olan katkısını değerlendirmek için gerçekleştirilen uygulama çalışması ve buradan elde edilen sonuçlar kapsamlı bir şekilde sunulacaktır. Öncelikle PPP konum belirleme performansı konum doğruluğu ve yakınsama süresi açısından değerlendirilecektir. Ardından PPP çözümlerinden elde edilen troposferik gecikme kestirimleri de değerlendirilecektir. Tüm bunlardan önce ise uygulamada kullanılan veri seti sunulacaktır.

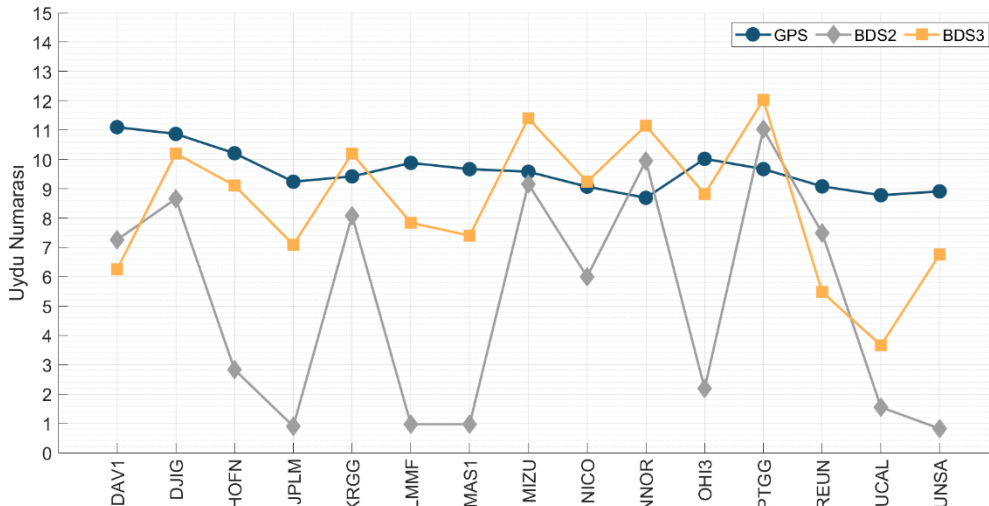
##### 4.1 Veri Seti

Çalışma kapsamında IGS MGEX ağına ait 15 istasyondan 21-30 Kasım 2021 (yılın 325-334 günleri) tarihleri arasındaki toplam 10 gün boyunca sağlanan günlük gözlem verileri kullanılmıştır. Bu istasyonların hepsi GPS, GLONASS, Galileo, BDS-2 ve BDS-3 uydularına ait gözlemleri toplayabilen çoklu GNSS antenlere sahiptir. Seçilen 15 istasyondan 7 tanesi konum olarak Asya Pasifik bölgesinde yer alırken geri kalan istasyonlar tüm dünyaya mümkün olduğunca eşit dağılacak şekilde belirlenmiştir. Seçilen IGS istasyonları, coğrafi konumları ve elipsoidal yükseklikleri Şekil 3'te sunulmuştur. Ayrıca bu çalışma kapsamında PPP çözümlerini gerçekleştirmek için çoklu GNSS PPP çözümü gerçekleştirme yeteneğine sahip açık kaynak kodlu bir GNSS analiz yazılımı olan PPPH kullanılmıştır (Bahadır & Nohutcu, 2018). GPS uyduları için çift frekanslı İB doğrusal kombinasyonlar L1 ve L2 navigasyon sinyalleri kullanılarak oluşturulmuştur. BDS-2 ve BDS-3 uyduları için her iki sistemde ortak olan B1I ve B3I sinyalleri çift frekanslı İB gözlemlerinin oluşturulmasında kullanılmıştır. PPP çözümlerinde GFZ (German Research Center for Geosciences) tarafından üretilen hassas uydu yörünge ve saat bilgileri kullanılmıştır. Bu ürünler BDS-2 ve BDS-3'e ait tüm uydular için uydu yörünge ve saat bilgilerini içermektedir. GFZ ürünleri için uydu yörünge bilgilerinin veri aralığı 300 saniye iken uydu saat bilgilerinin veri aralığı ise 30 saniyedir. Ayrıca uydu ve alıcı anten faz merkezi düzeltmeleri IGS'nin en güncel anten modeli (igs14\_2178.atx) kullanılarak giderilmiştir.



Şekil 3: Uygulamada kullanılan IGS istasyonları, coğrafi konuları ve elipsoidal yükseklikleri.

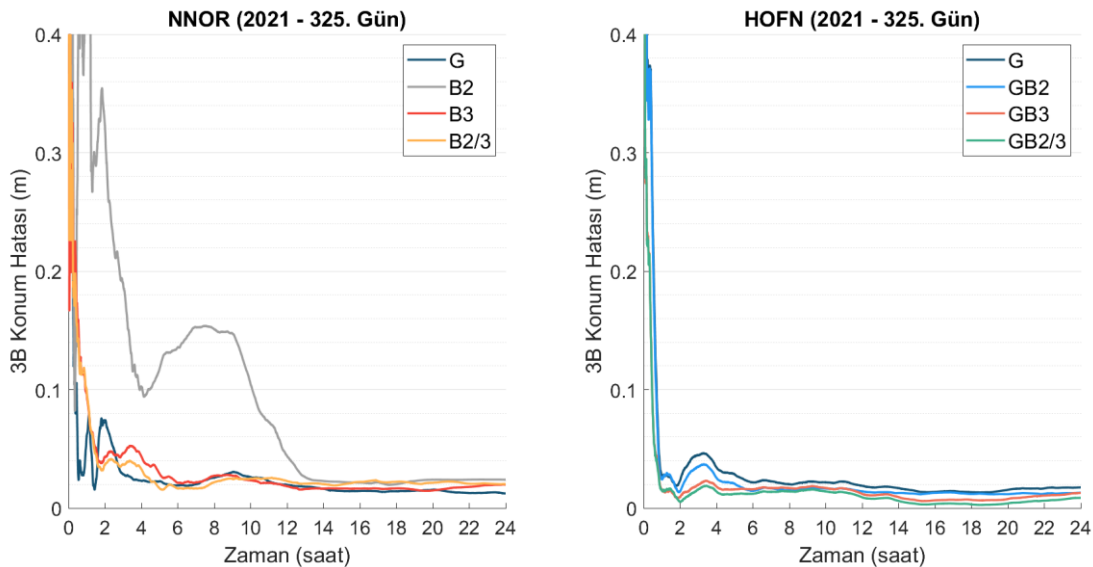
Diğer taraftan PPP gibi mutlak konum belirleme teknikleri için oldukça önem arz eden konulardan bir tanesi de uydu görünürlüğüdür. Bu nedenle PPP çözümlerini gerçekleştirmeden önce GPS, BDS-2 ve BDS-3 uydu takımları için istasyon bazında uydu görünürlükleri incelenmiştir. Şekil 4'te bu üç sisteme ait 10 günlük süre boyunca epok başına düşen ortalama görünür uydu sayısı her bir istasyon için ayrı ayrı sunulmaktadır. Şekilden GPS için görünür uydu sayıları açısından istasyon bazında önemli değişiklikler olmadığı gözlenmektedir. Tüm istasyonlar göz önünde alındığında GPS için görünür uydu sayısı ortalama 9.65 olarak hesaplanmıştır. Yine şekilden BDS-2 için görünür uydu sayısının istasyonlar bazında kayda değer ölçüde değişebileceği gözlenmektedir. BDS-2'nin bölgesel bir sistem olduğu düşünüldüğünde Asya Pasifik bölgesinde yer alan istasyonlarda görünür uydu sayısının oldukça yüksek olması şaşırtıcı bir sonuç değildir. Öte yandan Kuzey Amerika gibi BDS-2 açısından uydu görünürlüğünün oldukça düşük olduğu bölgelerde ortalama uydu sayısı 1 uydunun altına kadar düşmektedir. Tüm istasyonlar göz önüne alındığında BDS-2 için hesaplanan ortalama görünür uydu sayısı 5.32'dir. Son olarak BDS-3 için küresel ölçekte uydu görünürlüğü BDS-2'ye kıyasla oldukça yüksek seviyededir. REUN ve UCAL istasyonları haricinde tüm istasyonlar için görünür uydu sayısı ortalaması 6'nın üzerindedir. Bu sonuçlar BDS-3'ün küresel anlamda kendi başına PPP çözümü gerçekleştirmek için yeterli uydu kaynağına sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 4: GPS, BDS-2 ve BDS-3 uydu takımları için istasyon bazında epok başına düşen ortalama görünür uydu sayıları.

## 4.2 Konum Belirleme Performansı

BDS-3'ün PPP çözümleri açısından konum belirleme performansını karşılaştırmalı olarak değerlendirebilmek için GPS (G), BDS-2 (B2) ve BDS-3 (B3) olmak üzere üç temel işlem senaryosu oluşturulmuştur. Ayrıca BDS-3'ün diğer sistemlerle ortak olarak kullanıldığı durumlarda katkısını değerlendirebilmek adına BDS-2/BDS-3 (B2/3), GPS/BDS-2 (GB2), GPS/BDS-3 (GB3) ve GPS/BDS-2/BDS-3 (GB2/3) olmak üzere dört ilave işlem senaryosu daha oluşturulmuştur. İlgili gözlem seti bu yedi farklı senaryo altında ayrı ayrı işlenmiştir. BDS-2 bölgesel bir uydu sistemi olduğu ve Asya Pasifik bölgesi dışında PPP çözümünü gerçekleştirmek için yeterli uydu kaynağına sahip olmaması nedeniyle B2 PPP çözümü sadece Asya Pasifik bölgesinde yer alan istasyonlar için gerçekleştirilmiştir. PPP çözümlerinin konum belirleme performansını inceleyebilmek adına ilgili çözümden elde edilen koordinatlarla IGS haftalık çözümlerinden elde edilen hassas istasyon koordinatları karşılaştırılmış ve lokal koordinat sisteminde (kuzey, doğu, yukarı) epok bazlı konum hataları hesaplanmıştır. Buna ek olarak üç boyutlu (3B) konum hataları da her bir çözüm için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Şekil 5 21 Kasım 2021 (yılın 325. günü) tarihi için NNOR istasyonunda G, B2, B3 ve B2/3 PPP çözümlerinden hesaplanan 3B konum hatasının gün içindeki değişimini göstermektedir. Ayrıca ilgili şekilde aynı tarihte HOFN istasyonu için G, GB2, GB3 ve GB2/3 PPP çözümlerinden elde edilen 3B konum hatasının gün içindeki değişimi de sunulmaktadır. B2 PPP çözümünü analiz edebilmek için Asya Pasifik bölgesinden bir istasyon belirlenirken çoklu kombinasyonların etkisini gözlemleyebilmek için ayrıca bir istasyon belirlenmiştir. Şekilden görüleceği üzere B2 PPP performansı özellikle ilk 13 saatlik dönemde G ve B3 çözümlerine göre oldukça kötüdür. B3 PPP çözümü ise B2 çözümüne kıyasla oldukça yüksek bir konum belirleme performansı sergilemiştir ve G PPP çözümü ile karşılaştırılabilir konum doğruluğu değerlerine sahiptir. Öte yandan BDS-2 ve BDS-3'ün ortak kullanıldığı B2/3 çözümü B2 ve B3 çözümlerine kıyasla daha yüksek konum belirleme performansı sağlamaktadır. Şekilde HOFN istasyonu için sunulan sonuçlar incelendiğinde G PPP çözümüne kıyasla diğer sistemlerin entegre edildiği GB2, GB3 ve GB2/3 çözümlerinin daha yüksek konum belirleme performansına sahip olduğu görülebilir. Yine şekilden konum belirleme açısından en yüksek performansın GB2/3 çözümünden elde edildiği izlenmektedir.



Şekil 5: 2021 yılının 325. günü için NNOR istasyonuna ait G, B2, B3 ve B2/3, HOFN istasyonuna ait G, GB2, GB3 ve GB2/3 PPP çözümlerinden elde edilen günlük 3B konum hataları.

Öte taraftan PPP çözümlerinin istasyon bazlı konum belirleme performanslarını inceleyebilmek adına Tablo 2'de yedi farklı PPP senaryosundan elde edilen 3B konum hataları kullanılarak hesaplanan KOH değerleri sunulmaktadır. Burada KOH değerleri ilgili istasyona ait tüm günlük çözümler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Diğer bir deyişle 10 günlük periyotta gün sonunda elde edilen koordinat değerleri KOH hesabında kullanılmıştır. Daha önce de belirtildiği üzere B2 PPP çözümü

yalnızca Asya Pasifik bölgesinde yer alan istasyonlar için gerçekleştirilmiştir. Tabloda ilk göze çarpan durum konum belirleme performanslarının istasyonlara göre kayda değer oranda değişebildiğidir. Yalnızca tek sistemin dahil edildiği çözümlerde (G, B2 ve B3) 12 istasyonda G PPP çözümünün, 3 istasyonda ise B3 PPP çözümünün en düşük KOH değerini sunduğu Tablo 2’de görülmektedir. B2 çözümünün ise G ve B3 çözümlerine kıyasla çok daha yüksek KOH değerlerine sahip olduğu yine Tablo 2’den görülebilir. Bu durumun en büyük nedeni BDS-2 uydu takımının büyük bir bölümünü oluşturan GEO ve IGSO uydularının yörünge ve saat bilgilerinin MEO uydularına göre daha düşük olmasıdır. BDS-2 ve BDS-3’ün ortak kullanıldığı B2/3 PPP çözümünün B3 çözümü ile kıyaslandığında çoğu istasyonda konum belirleme performansını iyileştirdiği Tablo 2’den görülmektedir. Ancak bazı istasyonlarda B2/3 çözümünün B3 çözümünden daha kötü sonuçlar verdiği yine Tablo 2’den izlenmektedir. Bunun nedeni yine BDS-2 uydularına ait uydu yörünge ve saat bilgilerinin düşük hassasiyetidir. GPS ile BDS-2 ve BDS-3’ün entegre edildiği GB2, GB3 ve GB2/3 çözümlerinin G PPP çözümleri ile kıyaslandığında istasyonların çoğunda konum belirleme performansını iyileştirdiği ve GB2/3 çözümünün bu çoklu GNSS çözümleri arasında en iyi konum belirleme doğruluğuna sahip olduğu Tablo 2’den görülmektedir.

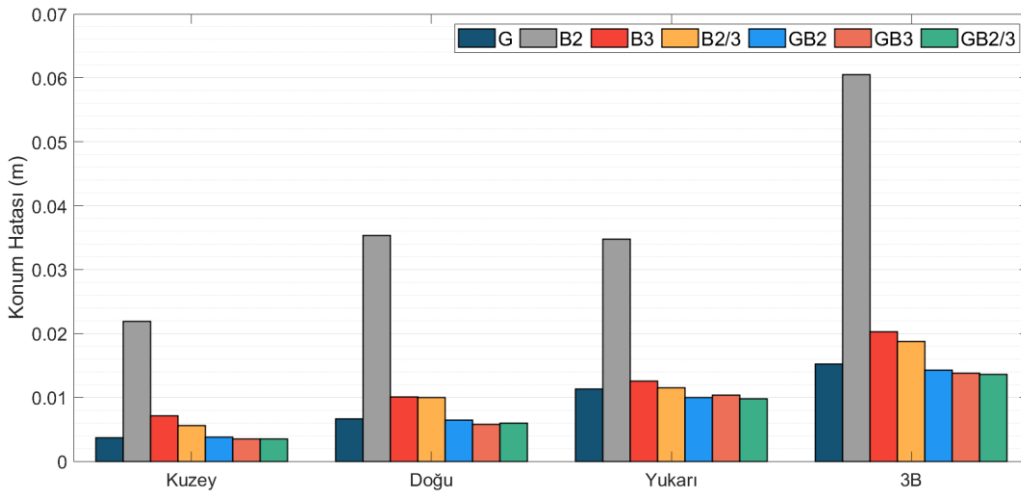
**Tablo 2:** Yedi farklı PPP senaryosundan elde edilen 3B konum hataları için istasyon bazlı hesaplanan KOH değerleri (m).

İstasyon	PPP Senaryosu						
	G	B2	B3	B23	GB2	GB3	GB23
DAV1	0.0237	0.0522	0.0299	0.0305	0.0232	0.0306	0.0283
DJIG	0.0079	0.0645	0.0175	0.0129	0.0125	0.0111	0.0110
HOFN	0.0169		0.0151	0.0139	0.0177	0.0136	0.0126
JPLM	0.0100		0.0262	0.0240	0.0102	0.0085	0.0090
KRGG	0.0091	0.0648	0.0157	0.0184	0.0103	0.0096	0.0107
LMMF	0.0264		0.0209	0.0232	0.0164	0.0172	0.0169
MAS1	0.0168		0.0178	0.0181	0.0149	0.0132	0.0127
MIZU	0.0145	0.0773	0.0273	0.0325	0.0213	0.0204	0.0227
NICO	0.0108		0.0198	0.0128	0.0107	0.0128	0.0100
NNOR	0.0076	0.0477	0.0155	0.0147	0.0114	0.0122	0.0139
OHI3	0.0139		0.0151	0.0143	0.0125	0.0090	0.0087
PTGG	0.0377	0.0634	0.0246	0.0254	0.0237	0.0191	0.0191
REUN	0.0094	0.0575	0.0228	0.0285	0.0136	0.0102	0.0123
UCAL	0.0114		0.0280	0.0175	0.0107	0.0090	0.0084
UNSA	0.0115		0.0244	0.0246	0.0113	0.0146	0.0132

Şekil 6 yedi farklı PPP senaryosu için tüm istasyonlar göz önüne alınarak hesaplanan kuzey, doğu ve yukarı yönlerde KOH değerlerini sunmaktadır. İlgili şekilde ayrıca 3B konum hataları için hesaplanan KOH değerleri de yedi farklı senaryo için verilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere tüm bileşenler için en yüksek KOH değerleri B2 çözümünden elde edilmiştir. G PPP çözümü için hesaplanan kuzey, doğu, yukarı ve 3B bileşenlere ait KOH değerleri sırasıyla 0.0037, 0.0066, 0.0113 ve 0.0152 m’dir. Bu değerler B3 PPP için sırasıyla 0.0071, 0.0101, 0.0125 ve 0.0203 m olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan B3 çözümünün G çözümüyle karşılaştırılabilir sonuçlar ürettiği sonucuna varılabilir. Ayrıca B2/3 PPP çözümü için elde edilen KOH değerleri kuzey, doğu, yukarı ve 3B bileşenler için 0.0056, 0.0100, 0.0115 ve 0.0187 m’dir. Buradan BDS-2 ve BDS-3 sistemlerinin ortak olarak kullanılması durumunda çok daha iyi konum belirleme performansı elde edileceği görülmektedir. Son olarak GB2, GB3 ve GB2/3 PPP çözümleri için 3B KOH değerleri sırasıyla 0.0143, 0.0138 ve 0.0136 m olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, G PPP çözümü ile karşılaştırıldığında GB2, GB3 ve GB2/3 PPP çözümlerinin 3B konum belirleme doğruluğunu sırasıyla %5.9, %9.3 ve %10.6 oranında iyileştirdiği anlamına gelmektedir.

PPP konum belirleme performansı açısından en önemli göstergelerden bir tanesi yakınsama süresidir. Bu çalışmada PPP konum belirleme performansını değerlendirebilmek için konum doğruluğuna ek olarak yakınsama süresi de

değerlendirilmiştir. Bu çalışma için yakınsama süresi 3B konum doğruluğunun 10 cm seviyesinin altına indiği ve takip eden 10 dakika boyunca ilgili eşik değerini üstüne çıkmadığı an olarak tanımlanmıştır. Buna göre yedi farklı senaryoda gerçekleştirilen PPP çözümleri için istasyon bazlı hesaplanan ortalama yakınsama süreleri Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3'te görüleceği üzere yakınsama süreleri istasyona bağlı olarak önemli ölçüde değişebilmektedir. Konum doğruluğu analizlerine benzer şekilde en yüksek yakınsama süresi değerleri B2 PPP çözümünden elde edilmiştir. Çoklu GNSS entegrasyonlarıyla birlikte tüm istasyonlar için yakınsama süresinin kayda değer oranda kısaldığı yine Tablo 3'te görülmektedir. Tek sistemin dahil edildiği G, B2 ve B3 PPP çözümleri için tüm istasyonlar göz önüne alınarak hesaplanan ortalama yakınsama süreleri 60.94, 261.71 ve 63.06 dakikadır. Bu sonuçlara göre B3 PPP çözümünün G PPP çözümü ile kıyaslanabilir yakınsama performansına sahip olduğu söylenebilir. Ayrıca B2/3 PPP çözümünün tüm istasyonlar için ortalama yakınsama süresi de 60.63 dakika olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan GB2, GB3 ve GB2/3 çoklu GNSS PPP çözümleri için tüm istasyonlar dikkate alınarak hesaplanan ortalama yakınsama süresi değerleri 47.69, 28.49 ve 26.45 dakikadır. Bu sonuçlara göre G PPP çözümü ile kıyaslanınca GB2, GB3 ve GB2/3 PPP çözümleri yakınsama süresini sırasıyla %21.7, %53.2 ve %56.6 oranında kısaltmıştır.



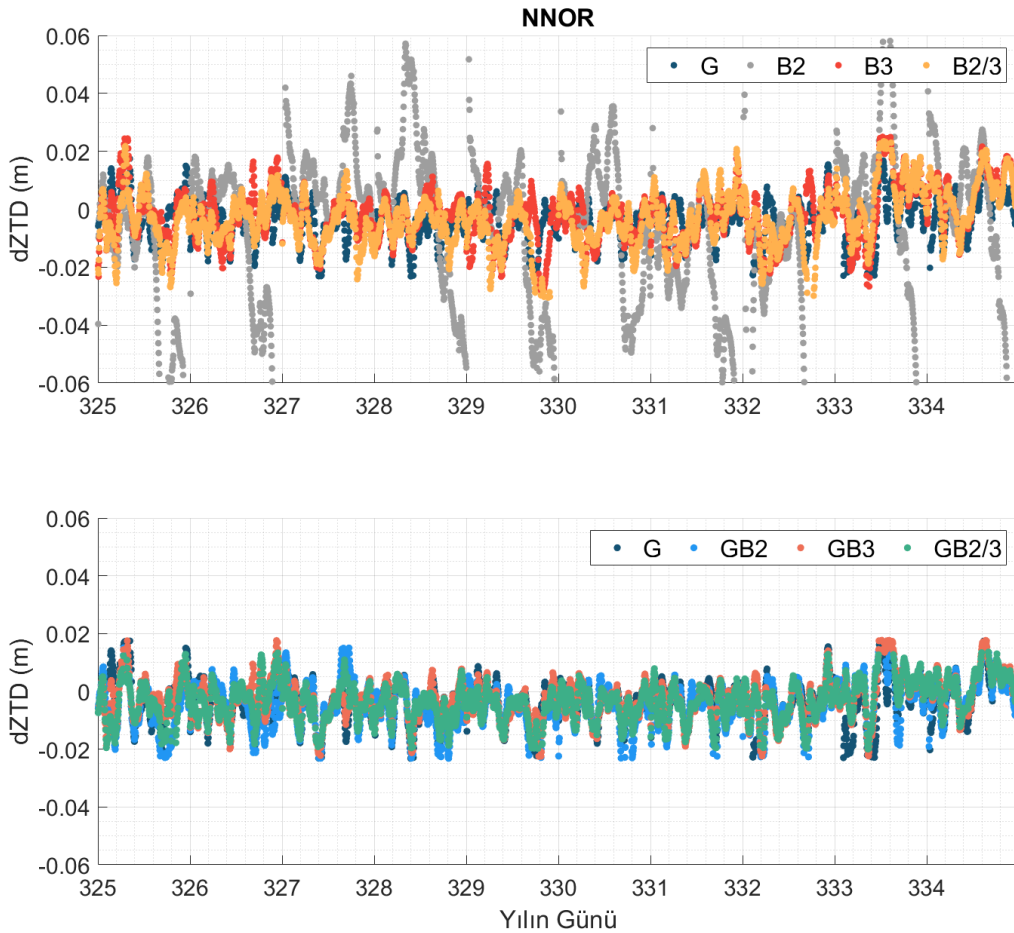
Şekil 6: Tüm istasyonlara ait PPP çözümleri göz önüne alınarak hesaplanan yedi farklı senaryoda 3B, kuzey, doğu ve yukarı bileşenleri için KOH değerleri.

Tablo 3: Yedi farklı PPP senaryosu için hesaplanan istasyon bazlı ortalama yakınsama süreleri (dakika).

İstasyon	PPP Senaryosu						
	G	B2	B3	B23	GB2	GB3	GB23
DAV1	22.17	255.50	23.17	49.00	21.28	19.38	19.86
DJIG	112.50	138.33	46.75	43.25	88.78	47.75	27.40
HOFN	87.10		46.39	45.17	68.00	28.75	29.05
JPLM	53.25		52.69	56.00	53.10	19.95	20.05
KRGG	52.10	613.75	26.55	28.28	51.05	17.85	16.60
LMMF	140.45		196.33	210.83	64.29	32.78	31.28
MAS1	155.10		96.95	107.15	126.06	80.67	77.94
MIZU	20.65	502.25	39.00	19.50	16.05	15.15	14.55
NICO	33.15		55.55	45.75	38.10	27.35	29.10
NNOR	84.05	295.75	43.10	43.11	36.35	21.05	21.45
OHI3	16.90		25.95	27.10	15.05	14.70	12.50
PTGG	46.15	103.00	56.75	45.33	37.10	36.56	29.38
REUN	41.50	137.43	76.25	56.07	67.50	30.55	30.95
UCAL	22.90		114.50	73.63	24.75	21.50	22.05
UNSA	18.30		66.56	65.50	18.90	18.05	17.94

### 4.3 Troposferik Gecikme Kestirim Performansı

PPP çözümünde üç konum bileşeni ve bir alıcı saat hatasına ek olarak kestirilen bir diğer temel parametre de troposferin ıslak bileşenidir. Troposferin ıslak bileşeni PPP çözümü boyunca epok bazlı kestirilmektedir. İlgili epokta troposferin kuru bileşeni için elde edilen düzeltme değeri ve iz düşüm fonksiyonları kullanılarak zenit doğrultusunda toplam troposferik gecikme (zenith total delay, ZTD) hesap edilebilir. Bu sayede elde edilen ZTD değerleri PPP çözümünün performansı açısından değerlendirmeye katılacak önemli ölçütlerden bir tanesi olarak görülmektedir. Bu çalışma kapsamında epok bazlı elde edilen ZTD değerleri IGS tarafından yayınlanan hassas troposfer ürünlerinden elde edilen ZTD değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucu elde edilen farklar dZTD değeri olarak nitelendirilecektir. Her ne kadar PPP çözümlerinden 30 saniye aralıklı ZTD değerleri elde edilebiliyor olsa da referans olarak seçilen IGS ürünlerinin veri aralığı 300 saniye olduğu için karşılaştırma ilgili epoklarda gerçekleştirilmiştir. Şekil 7 test dönemindeki toplam 10 gün boyunca NNOR istasyonu için elde edilen epok bazlı dZTD değerlerini göstermektedir. Burada yakınsama süresinin etkisini azaltmak her günün ilk yarım saatinin dZTD hesabından çıkarıldığı vurgulanmalıdır. Şekilden görüleceği üzere konum belirleme performansına benzer şekilde en yüksek dZTD değerleri B2 PPP çözümünden elde edilmiştir. Ayrıca B3 ve B2/3 PPP çözümlerinin G PPP çözümüne yakın kestirim değerlerine sahip olduğu şekilden izlenmektedir. GB2, GB3 ve GB2/3 gibi çoklu GNSS çözümlerinin kullanılması durumunda ZTD kestirim performansının iyileştiği yine şekilden görülebilecek bir diğer husustur.



Şekil 7: Test dönemi boyunca NNOR istasyonundan yedi farklı senaryoda elde edilen dZTD değerleri.

Tablo 4'te yedi farklı PPP senaryosundan elde edilen dZTD değerleri için hesap edilen KOH'lar sunulmaktadır. Burada KOH değerlerinin hesabında 10 günlük test periyodu boyunca elde edilen tüm epok bazlı ZTD değerleri kullanılmıştır. Buradan troposferik kestirim performansının konum belirleme performansına benzer şekilde istasyona bağlı olarak kayda değer şekilde değiştiği gözlenebilir. Buradaki farklılıkların temel olarak istasyon konumu, istasyon yüksekliği, atmosfer koşulları

ve uydu görünürlüğü gibi birçok farklı nedenden kaynaklandığı söylenebilir. İstasyonların büyük çoğunluğu için B3 PPP çözümünün G PPP çözümüne yakın sonuçlar ürettiği ve çoklu GNSS entegrasyonlarıyla G PPP çözümünün önemli ölçüde iyileştirildiği yine Tablo 4'ten izlenmektedir.

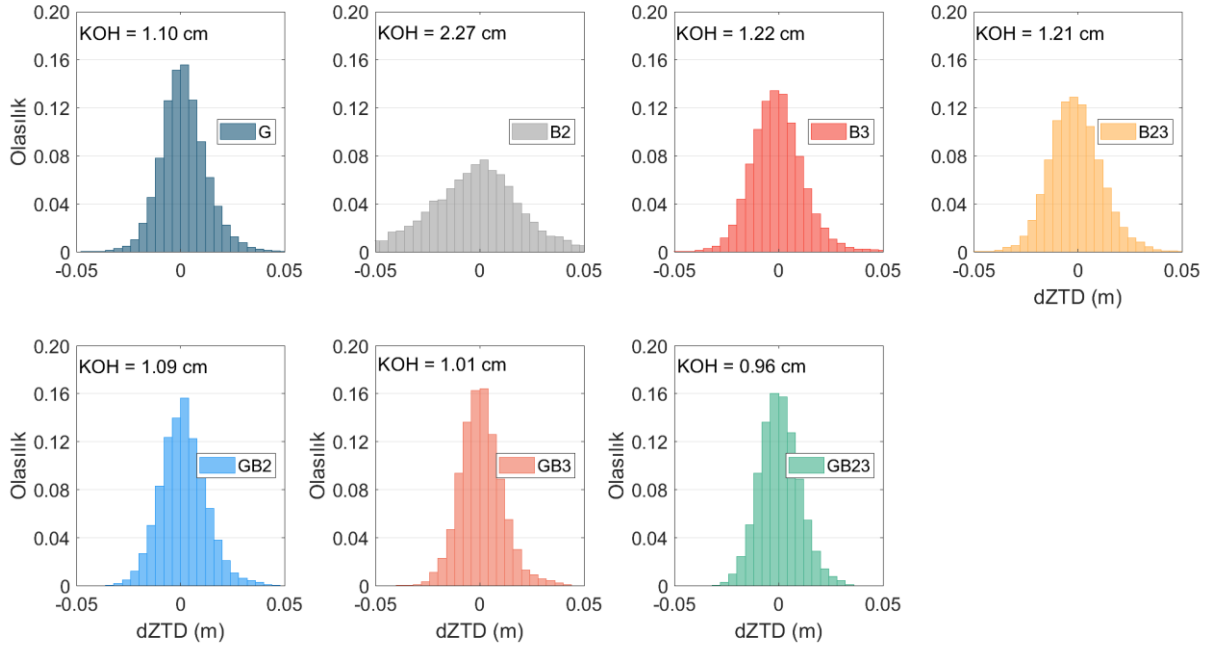
**Tablo 4:** Tüm istasyonlar dikkate alınarak yedi farklı senaryo için PPP çözümlerinden elde edilen dZTD'lere ait KOH değerleri (cm).

İstasyon	PPP Senaryosu						
	G	B2	B3	B23	GB2	GB3	GB23
DAV1	0.68	1.70	0.75	0.87	0.77	0.65	0.71
DJIG	1.82	1.25	2.00	1.28	1.54	1.76	1.37
HOFN	0.75		0.81	0.83	0.67	0.65	0.59
JPLM	1.07		1.05	1.03	1.07	0.95	0.94
KRGG	0.64	2.62	1.49	1.34	0.87	0.79	0.76
LMMF	1.68		1.72	1.69	1.62	1.24	1.26
MAS1	1.21		1.13	1.08	1.19	1.16	1.11
MIZU	0.85	2.17	0.99	1.14	0.84	0.78	0.76
NICO	0.79		0.79	1.43	0.77	0.56	0.64
NNOR	0.80	2.44	0.92	0.97	0.83	0.72	0.75
OHI3	1.01		1.17	1.20	0.99	1.05	1.07
PTGG	1.29	2.95	1.28	1.70	1.58	1.33	1.25
REUN	1.06	2.31	1.36	1.31	1.02	0.99	1.00
UCAL	1.01		0.93	0.92	0.97	0.91	0.89
UNSA	1.03		1.15	1.16	0.97	0.93	0.87

Son olarak Şekil 8 yedi farklı PPP senaryosu için elde edilen epok bazlı dZTD değerlerinin olasılık dağılımlarını göstermektedir. İlgili olasılık dağılımları tüm istasyonlara ait dZTD değerleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Şekilde orijinal frekans değerleri yerine bu frekansların toplam epok sayısına oranından hesaplanan olasılık değerleri sunulmuştur. Şekil 8'de ayrıca ilgili PPP çözümü için hesaplanan dZTD değerlerine ait KOH'lar da yer almaktadır. Tekli sistemlerin dahil edildiği G, B2 ve B3 PPP çözümlerinden sırasıyla 1.10, 2.27 ve 1.22 cm KOH değerleri elde edilmiştir. G PPP ve B3 PPP çözümlerinin troposferik kestirim açısından oldukça uyumlu sonuçlar sunduğu söylenebilir. Ayrıca B2/3 PPP çözümüne ait KOH değeri 1.21cm olarak hesaplanmıştır. Çoklu GNSS çözümlerine gelince GB2, GB3 ve GB2/3 PPP çözümlerinin KOH değerleri sırasıyla 1.09, 1.01 ve 0.96 cm'dir. Bu sonuçlar G PPP çözümü ile kıyaslanınca GB2, GB3 ve GB2/3 PPP çözümlerinin troposferik kestirim performansını sırasıyla %1.0, %7.9 ve %12.6 oranında iyileştirdiği anlamına gelmektedir.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada 2020 yılı itibarıyla tam olarak faaliyete geçen küresel BeiDou sisteminin (BDS-3) PPP açısından konum belirleme performansının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Öte yandan bu çalışmada gerek bölgesel BeiDou (BDS-2) gerekse GPS ile kıyaslanarak ve ayrıca bu sistemlerle entegre çözümler aracılığıyla BDS-3'ün PPP konum belirleme performansına olan katkısı da araştırılmıştır. Bu amaçla 21-30 Kasım 2021 tarihleri arasındaki 10 günlük dönem boyunca 15 farklı IGS istasyonundan toplanan gözlem verileri yedi farklı PPP senaryosu altında işlenmiştir. Konum belirleme performansını değerlendirebilmek adına elde edilen PPP çözümleri konum doğruluğu ve yakınsama süresi açısından analiz edilmiştir. Ayrıca ilgili çözümlerden elde edilen troposferik kestirimler de PPP performansının değerlendirilmesi açısından kullanılmıştır.



Şekil 8: Yedi farklı PPP senaryosundan elde edilen dZTD değerlerine ait olasılık dağılımları.

Sonuçlar tek sistemin dahil edildiği G, B2 ve B3 PPP çözümlerinin sırasıyla 0.0152, 0.0605 ve 0.0203 m 3B konum doğruluğuna sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu üç çözüm için elde edilen yakınsama süreleri ise 60.94, 261.71 ve 63.06 dakika olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ilgili çözümlerin troposferik kestirim doğrulukları da sırasıyla 1.10, 2.27 ve 1.22 cm olarak hesaplanmıştır. Buradan BDS-2 uydularının kullanıldığı B2 çözümünün diğer çözümlere göre oldukça kötü sonuçlara sahip olduğu görülmektedir. Bunun temel nedeni BDS-2 uydu takımının büyük bir bölümünü oluşturan GEO ve IGSO uydularına ait yörünge ve saat bilgilerinin düşük hassasiyetleridir. Ayrıca GPS uydularını içeren G PPP çözümünün en iyi performansı sergilediği ama yine de BDS-3 uydularını içeren B3 PPP çözümünün onunla karşılaştırılabilir sonuçlara sahip olduğu görülmektedir. BDS-2 ve BDS-3 uydularının ortak olarak kullanılması durumunda elde edilecek ortalama konum doğruluğu ve yakınsama süresi sırasıyla 0.0187 m ve 60.63 dakikadır. Ayrıca ilgili çözümden elde edilen troposferik kestirim doğruluğu da 1.21 cm olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla bu sonuçlardan BDS-2 ve BDS-3 entegre kullanılması durumunda çok daha yüksek performansa sahip PPP çözümü elde edilebileceği anlaşılmaktadır. Çoklu GNSS çözümlerine gelince GB2, GB3 ve GB2/3 PPP çözümlerine ait 3B konum doğrulukları 0.0143, 0.0138 ve 0.0136 m olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlardan ilgili çoklu GNSS çözümlerinin G PPP çözümünün konum doğruluğunu sırasıyla %5.9, %9.3 ve %10.6 oranında iyileştirdiği görülmektedir. Ayrıca GB2, GB3 ve GB2/3 PPP çözümleri için ortalama yakınsama süreleri G PPP çözümünden sırasıyla %21.7, %53.2 ve %56.6 oranında daha kısa olan 47.69, 28.49 ve 26.45 dakika olarak hesaplanmıştır. Son olarak bu üç PPP çözümünün troposferik kestirim doğrulukları sırasıyla 1.09, 1.01 ve 0.96 cm olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar GB2, GB3 ve GB2/3 PPP çözümlerinin G PPP çözümünün troposferik kestirim performansını %1.0, %7.9 ve %12.6 oranında iyileştirdiğini ortaya koymaktadır. BDS-3 uydu takımının tam olarak faaliyete geçtiği ve ayrıca uydu yörünge ve saat bilgilerinin her geçen gün iyileştiği düşünüldüğünde BDS-3'ün GNSS uygulamalarında sıklıkla kullanılacağı düşünülmektedir. Bu nedenle BDS-3'ün tek başına ve diğer sistemlerle entegre şekilde PPP çalışmalarında kullanılması ve performansı yakın gelecekte de önemli bir konu olmaya devam edecektir.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.



## Kaynaklar

- Abd Rabbou, M., El-Shazly, A., & Ahmed, K. (2018). Comparative analysis of multi-constellation GNSS single-frequency precise point positioning. *Survey review*, 50(361), 373-382.
- Alkan, R. M., & Öcalan, T. (2013). Usability of the GPS precise point positioning technique in marine applications. *The Journal of Navigation*, 66(4), 579-588.
- Bahadır, B., & Nohutcu, M. (2018). PPPH: a MATLAB-based software for multi-GNSS precise point positioning analysis. *GPS solutions*, 22(4), 1-10.
- Bahadır, B. (2022). Real-time single-frequency precise positioning with Galileo satellites. *The Journal of Navigation*, 75(1), 124-140.
- Cai, C., & Gao, Y. (2013). Modeling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning. *GPS solutions*, 17(2), 223-236.
- Cai, C., Gao, Y., Pan, L., & Zhu, J. (2015). Precise point positioning with quad-constellations: GPS, BeiDou, GLONASS and Galileo. *Advances in space research*, 56(1), 133-143.
- Chen, J., Wang, J., Zhang, Y., Yang, S., Chen, Q., & Gong, X. (2016). Modeling and assessment of GPS/BDS combined precise point positioning. *Sensors*, 16(7), 1151.
- Chen, H., Liu, X., Jiang, W., Yuan, P., Ju, B., & Chen, Y. (2021). Preliminary analysis and evaluation of BDS-2/BDS-3 precise point positioning. *Advances in Space Research*, 68(10), 4113-4128.
- Collins, P., Bisnath, S., Lahaye, F., & Héroux, P. (2010). Undifferenced GPS ambiguity resolution using the decoupled clock model and ambiguity datum fixing. *Navigation: Journal of the Institute of Navigation*, 57(2), 123-135.
- Davis, J. L., Herring, T. A., Shapiro, I. I., Rogers, A. E. E., & Elgered, G. (1985). Geodesy by radio interferometry: Effects of atmospheric modeling errors on estimates of baseline length. *Radio science*, 20(6), 1593-1607.
- Ge, M., Gendt, G., Rothacher, M. A., Shi, C., & Liu, J. (2008). Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in precise point positioning (PPP) with daily observations. *Journal of geodesy*, 82(7), 389-399.
- Ge, Y., Ding, S., Qin, W., Zhou, F., & Yang, X. (2020). Carrier phase time transfer with Galileo observations. *Measurement*, 159, 107799.
- Ge, Y., Chen, S., Wu, T., Fan, C., Qin, W., Zhou, F., & Yang, X. (2021). An analysis of BDS-3 real-time PPP: time transfer, positioning, and tropospheric delay retrieval. *Measurement*, 172, 108871.
- Geng, J., Meng, X., Dodson, A. H., Ge, M., & Teferle, F. N. (2010). Rapid re-convergences to ambiguity-fixed solutions in precise point positioning. *Journal of geodesy*, 84(12), 705-714.
- Hadas, T., Kazmierski, K., & Sośnica, K. (2019). Performance of Galileo-only dual-frequency absolute positioning using the fully serviceable Galileo constellation. *GPS Solutions*, 23(4), 1-12.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Waskle, E. (2007). *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media.
- Kouba, J., & Héroux, P. (2001). Precise point positioning using IGS orbit and clock products. *GPS solutions*, 5(2), 12-28.
- Kouba, J. (2003). Measuring seismic waves induced by large earthquakes with GPS. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 47(4), 741-755.
- Kouba, J. (2015). A Guide to Using International GNSS Service (IGS) Products. Erişim Adresi: <https://kb.igs.org/hc-en-us/articles/201271873-A-Guide-to-Using-the-IGS-Products>.
- Landskron, D., & Böhm, J. (2018). VMF3/GPT3: refined discrete and empirical troposphere mapping functions. *Journal of Geodesy*, 92(4), 349-360.
- Laurichesse, D., Mercier, F., Berthias, J. P., Broca, P., & Cerri, L. (2009). Integer ambiguity resolution on undifferenced GPS phase measurements and its application to PPP and satellite precise orbit determination. *Navigation*, 56(2), 135-149.
- Li, X., Ge, M., Dai, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., & Schuh, H. (2015). Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo. *Journal of geodesy*, 89(6), 607-635.
- Li, X., Li, X., Liu, G., Xie, W., Guo, F., Yuan, Y., Zhang, K., & Feng, G. (2020). The phase and code biases of Galileo and BDS-3 BOC signals: effect on ambiguity resolution and precise positioning. *Journal of Geodesy*, 94(1), 1-14.
- Liu, X., Jiang, W., Li, Z., Chen, H., & Zhao, W. (2019). Comparison of convergence time and positioning accuracy among BDS, GPS and BDS/GPS precise point positioning with ambiguity resolution. *Advances in Space Research*, 63(11), 3489-3504.
- Lu, C., Li, X., Ge, M., Heinkelmann, R., Nilsson, T., Soja, B., Dick, G., & Schuh, H. (2016). Estimation and evaluation of real-time

- precipitable water vapor from GLONASS and GPS. *GPS solutions*, 20(4), 703-713.
- Lv, Y., Geng, T., Zhao, Q., Xie, X., & Zhou, R. (2020). Initial assessment of BDS-3 preliminary system signal-in-space range error. *GPS Solutions*, 24(1), 1-13.
- Lv, J., Gao, Z., Kan, J., Lan, R., Li, Y., Lou, Y., Yang, H., & Peng, J. (2022). Modeling and assessment of multi-frequency GPS/BDS-2/BDS-3 kinematic precise point positioning based on vehicle-borne data. *Measurement*, 189, 110453.
- Odolinski, R., Teunissen, P. J. G., & Odijk, D. (2014). First combined COMPASS/BeiDou-2 and GPS positioning results in Australia. Part II: Single-and multiple-frequency single-baseline RTK positioning. *Journal of Spatial Science*, 59(1), 25-46.
- Pan, L., Zhang, X., Liu, J., Li, X., & Li, X. (2017). Performance evaluation of single-frequency precise point positioning with GPS, GLONASS, BeiDou and Galileo. *The journal of navigation*, 70(3), 465-482.
- Paziewski, J., Sieradzki, R., & Baryla, R. (2018). Multi-GNSS high-rate RTK, PPP and novel direct phase observation processing method: Application to precise dynamic displacement detection. *Measurement Science and technology*, 29(3), 035002.
- Saastamoinen, J. (1972). Contributions to the theory of atmospheric refraction. *Bulletin Géodésique (1946-1975)*, 105(1), 279-298.
- Teunissen, P. J., & Montenbruck, O. (Ed.). (2017). *Springer handbook of global navigation satellite systems*. New York, NY, USA: Springer International Publishing.
- Xu, P., Shu, Y., Liu, J., Nishimura, T., Shi, Y., & Freymueller, J. T. (2019). A large scale of apparent sudden movements in Japan detected by high-rate GPS after the 2011 Tohoku Mw9. 0 earthquake: Physical signals or unidentified artifacts?. *Earth, Planets and Space*, 71(1), 1-16.
- Yigit, C. O., & Gurlek, E. (2017). Experimental testing of high-rate GNSS precise point positioning (PPP) method for detecting dynamic vertical displacement response of engineering structures. *Geomatics, natural hazards and risk*, 8(2), 893-904.
- Zhang, B., Teunissen, P. J., Yuan, Y., Zhang, H., & Li, M. (2018). Joint estimation of vertical total electron content (VTEC) and satellite differential code biases (SDCBs) using low-cost receivers. *Journal of Geodesy*, 92(4), 401-413.
- Zhang, Z., Li, B., Nie, L., Wei, C., Jia, S., & Jiang, S. (2019). Initial assessment of BeiDou-3 global navigation satellite system: Signal quality, RTK and PPP. *GPS Solutions*, 23(4), 1-12.
- Zhao, W., Chen, H., Gao, Y., Jiang, W., & Liu, X. (2020). Evaluation of inter-system bias between BDS-2 and BDS-3 satellites and its impact on precise point positioning. *Remote Sensing*, 12(14), 2185.
- Zhu, Y., Zheng, K., Cui, X., Zhang, Q., Jia, X., Zhang, M., & Fan, S. (2021). Preliminary analysis of the quality and positioning performance of BDS-3 global interoperable signal B1C&B2a. *Advances in Space Research*, 67(8), 2483-2490.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., & Webb, F. H. (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of geophysical research: solid earth*, 102(B3), 5005-5017.
- URL-1: BDS Constellation Status, <http://www.csno-tarc.cn/en/system/constellation> (Erişim Tarihi: 30 Mart 2022).

## Açık kaynak kodlu Eo-learn kütüphanesi ve çok zamanlı Sentinel-2 görüntüleri ile tarımsal ürün sınıflandırması

Fatih Fehmi Şimşek<sup>1\*</sup>, Süleyman Savaş Durduran<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Entegre İdare ve Kontrol Sistemi Daire Başkanlığı, 06800, Çankaya, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42090, Meram, Konya, Türkiye

**Öz:** Bu çalışmada, Denizli ili, Baklan, Çal ve Çivril ilçeleri sınırları arasında kalan Çivril-Baklan Ovası 'nda 2020 yılına ait tarımsal ürün desen sınıflandırması yapılmıştır. Sınıflandırma işleminde, uzaktan algılama çalışmalarında makine öğrenmesi ile derin öğrenme algoritmalarını kullanan açık kaynak kodlu Eo-Learn kütüphanesi ve çok zamanlı Sentinel-2 görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada referans parsel olarak Çiftçi Kayıt Sistemi'ne (ÇKS) kayıtlı parseller kullanılmış olup, ÇKS verisinin yer doğruluk verisi olarak kullanılmasından önce ön düzenleme ve kural tabanlı silme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hafif gradyan artırma makineleri (Light Gradient Boosting Machines, LightGBM) algoritması kullanarak hububat, mısır, şeker pancarı, ayçiçeği, haşhaş, üzüm, meyve ağacı ve yonca ürünlerini içeren tarımsal ürün desen sınıflandırması yapılmıştır. Sınıflandırma sonuçlarının değerlendirilmesinde k-katmanlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmış ve genel doğruluk %93.5 olarak elde edilmiştir. Sınıflandırma işlemine eğitim verisi olarak girmemiş Tarım Sigortaları Havuzu (TARSİM) parselleri ile ikinci bir doğruluk analizi yapılmış olup genel doğrulukta %91.1 kappa katsayısında 0.89 değerine ulaşılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Eo-Learn, Sentinel-2, ÇKS, TARSİM, Sınıflandırma, Uzaktan algılama, Tarım

### Agricultural crop classification with open source Eo-learn library and multi-temporal Sentinel-2 images

**Abstract:** In this study, agricultural crop classification for 2020 was carried out in Çivril-Baklan Plain, which is located between the borders of Denizli Province, Baklan, Çal and Çivril districts. The open-source Eo-Learn library that uses machine learning and deep learning algorithms in remote sensing studies and multi-temporal Sentinel-2 images was utilized in the classification process. In this study, the parcels registered in the Farmer Registration System (FRS) were used as reference parcels and before using FRS data as ground truth data, pre-editing and rule-based deletion processes were performed. By using Light Gradient Boosting Machines (LightGBM) algorithm, agricultural product pattern classification was carried out including cereal, maize, sugar beet, sunflower, hash, vineyard, fruit tree and clover crops. Classification results were evaluated using k-fold cross-validation with an overall accuracy of %93.5. A second accuracy assessment was performed with Agricultural Insurance Parcels (TARSİM) that were not included in the classification process as training data, achieving an overall accuracy of %91.1 and Kappa coefficient of 0.89.

**Keywords:** Eo-Learn, Sentinel-2, ÇKS, TARSİM, Classification, Remote sensing, Agriculture

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 312 258 78 01 / 2050

Geliş Tarihi/Received: 24.02.2022  
Kabul Tarihi/Accepted: 27.04.2022



0000-0003-4016-4408, f.fehmisimsek@gmail.com (Şimşek F.F.)\*  
0000-0003-0509-4037, durduran2001@gmail.com (Durduran S.Ş.)

## 1. Giriş

Uzaktan algılama teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak, mekânsal analizlerle farklı konumsal, zamansal ve spektral çözünürlükte veri elde edilmekte olup, veriler ile mekânsal bilgiye ihtiyaç duyan pek çok bilim dalı için güvenilir ve doğru sonuçlara ulaşma imkânı sağlanmaktadır. Bu mekânsal bilgilerden biri de uzaktan algılama teknolojisinin yoğun olarak kullanıldığı arazi örtüsü, bitki örtüsü, tarımsal ürün desen tespiti ve değişimidir. Değişimler ve analizlerin tespiti yöntemlerinden biri de farklı özelliklere sahip uydu görüntüleridir. Ücretsiz olarak uydu görüntüsü elde etmek gün geçtikçe daha kolay hale gelmekte olup Copernicus programı buna iyi bir örnektir (URL-1). Bu program çerçevesinde farklı özelliklere sahip Sentinel uyduları bulunmakta olup bunlardan biri de pasif sensörlü bir uydu olan Sentinel-2 uydusudur. Sentinel-2 uydusunun zengin bant sayısı, farklı konumsal çözünürlükte görüntüler sağlaması, sık çekim aralığının olması tarım gibi sürekli dinamik bir yapı gösteren alanların izlenmesinde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bundan önceki çalışmalar çoklu zamanlı uydu görüntüleri ile yapılan tarımsal ürün desen sınıflandırmasının tek zamanlı uydu görüntüsüne göre daha yüksek doğruluk verdiğini göstermektedir (Hu vd., 2019). Çok zamanlı görüntülerle farklı fenolojik evrelere sahip farklı ürünler tespit edilebilirken, yakın fenolojik evrelere sahip farklı ürünler de birbirinden ayırt edilebilmektedir (Foerster, Kaden, Foerster & Itzerott, 2012).

Avusturya'da 2016-2017 yılları arasında kalan tarım sezonunda, bir kışlık sekiz yazlık olmak üzere dokuz tarımsal ürünün üç farklı sezonda Sentinel-2 görüntüleri ile sınıflandırma çalışması yapılmıştır. Birinci sezon mart başı nisan sonu arasında olup sınıflandırma başarımları oranı %50, ikinci sezon mayıs başı haziran sonunda olup sınıflandırma başarımları oranı %73, üçüncü sezon ise tüm tarımsal sezonu kapsayıp sınıflandırma başarımları oranı %95 seviyelerine kadar çıkmıştır (Vuolo, Neuwirth, Immitzer, Atzberger & Ng, 2018).

Farklı tarımsal ürünler göz önüne alınarak, uzaktan algılamadaki birçok metot değerlendirilerek, görüntülerde spektral ve spektral-uzamsal özelliklerin kullanımı ve sonuçları farklı çalışmalarda araştırılmıştır (Vuolo vd., 2018). Normalize edilmiş fark bitki örtüsü (Normalized difference vegetation index, NDVI) ve gelişmiş bitki örtüsü indeksi (Enhanced vegetation index, EVI) gibi indeksler bitkilerin fenolojik gelişimleri hakkında bilgi vermekte olup, bu indeksler sayesinde farklı tarımsal sezonlarda yetişen bitki türleri birbirinden ayırt edilebilmektedir (Zhang, Kang, Xu & Zhang, 2020). Normalize edilmiş fark su indeksi (Normalized difference water index, NDWI) bitkilerde bulunan su içeriğinin tespiti ve ürün sınıflandırmasında verimli olarak kullanılan indekslerden biridir (Li vd., 2013).

Çok zamanlı uydu görüntülerinin kullanımının yanı sıra tarımsal ürün desen sınıflandırma başarımlarını etkileyen faktörlerden biri de sınıflandırma işleminde kullanılan spektral bantlar ve bu bantlardan üretilen çeşitli indekslerdir. İngiltere'de Nottingham bölgesinde yapılan ürün desen sınıflandırmasında sadece RED, NIR ve SWIR bantları ile yapılan sınıflandırma başarımlarının %94.1, sadece NDVI ve NDWI indeksleri ile yapılan sınıflandırma başarımlarının %92.7, Sentinel-2 uydusuna ait 13 spektral bant ile sınıflandırma yapıldığında ise bu başarımları oranı %98.8 olmuştur (Zhang vd., 2017).

Uydulara ait spektral, zamansal, mekânsal çözünürlük arttıkça ve çalışma alanının geniş olması durumunda, yapılacak bir sınıflandırma işlemi için görüntülerin manuel olarak belirlenmesi, indirilmesi, çeşitli görüntü işleme adımlarından geçmesi ve sınıflandırma işleminin yapılması hem çok zaman almakta hem de kimi durumlarda yüksek donanımlı bilgisayar teknolojisi gerektirmektedir. Gelişen teknoloji ile bu ve benzeri durumları kolaylaştıran birçok bulut tabanlı uydu görüntüsü ve coğrafi veri işleme platformu geliştirilmiştir. Coğrafi veri işleme platformlarında biri Google Earth Engine (GEE)'dir. GEE uygulaması görüntüleri işleme adımında yerelde veriyi saklamak ve işlemek yerine, bulut ortamında veriyi tutmayı ve işlemeyi sağlamaktadır. Bu sayede bilgisayar özelliklerine bakılmaksızın istenilen sayıda görüntü sayısı çok daha hızlı ve

kolay bir şekilde kullanılabilir (Aghlmand vd., 2021). Landsat 1-8, Sentinel-1-5, Modis vb. uydu görüntülerine GEE üzerinden ücretsiz bir şekilde erişim sağlanabilmektedir (Gorelick vd., 2017). Bu uydu görüntülerinin yanı sıra, farklı mekânsal çözünürlüklerde sayısal arazi modelleri, yağış, sıcaklık gibi iklim verileri ile arazi yüzey sıcaklık değerleri gibi küresel ölçekli birçok veriyi hizmete sunmaktadır.

Diğer bir platform ise Sinergise firması tarafından geliştirilen kullanıcılara belirli limitte açık ve ücretsiz olan Sentinel-Hub EO Browser platformudur (URL-2). Bu platform ile Landsat 1-8 uydularına ait görüntüler ile Sentinel 1-5 uydularına ait görüntülerin yanı sıra, Modis, Envisat gibi uydu görüntülerine de erişim sağlanabilir. Bu uydu görüntüleri ile çalışma alanına ait hazır gerçek renk, yalancı renk, NDVI, NDWI vb. indeksler kullanılarak çeşitli temel düzeylerde analizler yapılabilmenin yanı sıra java tabanlı kod yazılarak da ileri düzeyde uzaktan algılama uygulamalarına imkân sağlanmaktadır.

Microsoft'un Planetary Computer platformu ise bir başka uzaktan algılama platformudur. Bu platformda da benzer uydu görüntüleri bulunup, Azure Blob depolamasını kullanarak kullanıcılar verilere bulut tabanlı olarak erişmekte olup java, python, .net, php gibi farklı dillerde kod yazma imkânı bulunmaktadır (URL-3).

Eo-Learn, veri bilimi, dünya gözlemi ile uzaktan algılama çalışmalarında makine öğrenmesini ve derin öğrenme algoritmalarını kullanan açık kaynak kodlu bir python kütüphanesidir. Eo-Learn Landsat, Sentinel, Modis, Envisat vb. görüntülere erişim imkânı sağlamaktadır. Eo-Learn ile uydu görüntüleri üzerindeki bulutlu alanların otomatik olarak tespiti ile maskelenmesi, arazi örtüsü sınıflandırması, tarımsal ürün desen sınıflandırması, obje tabanlı sınıflandırma, parsel sınırlarının otomatik tespiti, detay çıkarma, çözünürlük artırma gibi karmaşık uzaktan algılama çalışmaları, oluşturulan hazır iş modelleri ile makine öğrenmesi ve derin öğrenme kullanılarak yapılabilmektedir. Eo-Learn kütüphanesi uzaktan algılama verilerini depolamak ve işlemek için çok boyutlu diziler ve matrislerle işlem yapan bilimsel hesaplamalar için temel bir python kütüphanesi olan numpy kütüphanesini kullanmaktadır (URL-4). Bunun yanı sıra kullandığı başlıca kütüphaneler; gdal, rasterio, shapely, Fiona, cartopy ve pyproj kütüphaneleridir (URL-5). Eo-Learn kütüphanesi farklı işlemlere göre alt paketlere bölünmüş olup, kullanıcıya tüm kütüphaneyi kurmak yerine ihtiyaç duyduğu işleme göre alt paketlerden bir veya birkaçını kurma imkânı da sağlamaktadır (URL-6).

Eo-Learn kütüphanesi kullanarak tüm Slovenya ölçeğinde derin öğrenme ile arazi örtüsü sınıflandırması yapılmıştır. Yapılan bu sınıflandırma işleminde arazi örtüsü sınıflandırma işlemi tek bir görüntüden değil 10 gün aralıklı çok zamanlı Sentinel-2 görüntüleri ile yapılmış olup, sınıflandırma başarımları oranı %95.6 olmuştur (Lubej vd., 2019). Slovenya Tarım Piyasaları ve Kırsal Kalkınma Ajansından temin edilen parseller ve Eo-Learn kütüphanesi kullanılarak 13 tarımsal ürünün sınıflandırması yapılmıştır. Sınıflandırma sonucunda hafif gradyan artırma makineleri (Light gradient boosting machines, LightGBM) algoritması ile başarımları %72 olurken derin öğrenme ile ise bu oran %87'ye çıkmıştır (Račić vd., 2020).

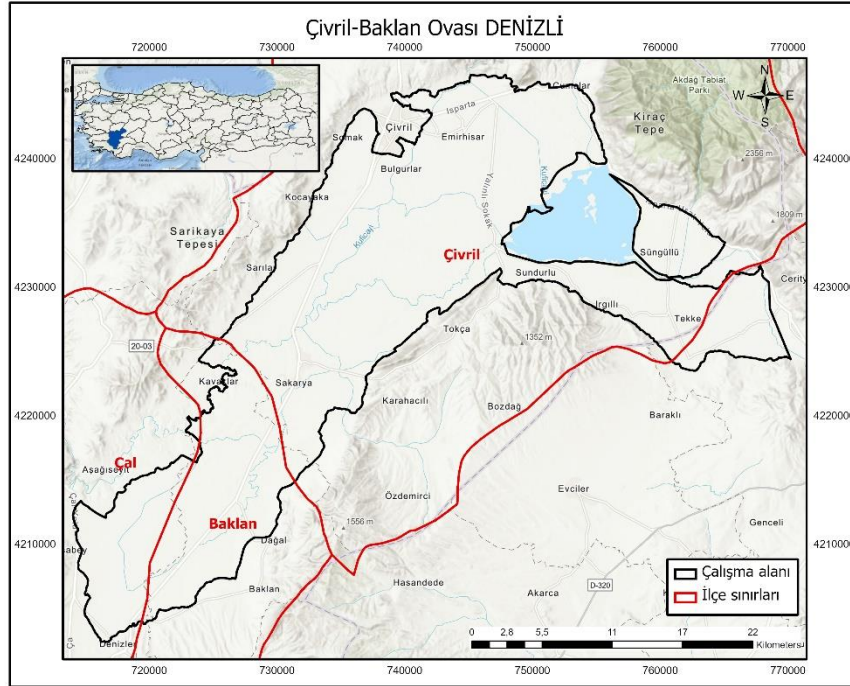
Tunus'un Medenine şehrinde yaklaşık 140 km<sup>2</sup>'lik bir alanda Eo-Learn kütüphanesi ile Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak toprak nem tahmini çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda rasgele orman (random forest) algoritması ile %88, XGboost algoritması ile %79, yapay sinir ağları ile ise %76 başarımları sonucuna ulaşılmıştır (Jarray vd., 2021).

## 2. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

### 2.1 Çalışma Alanı

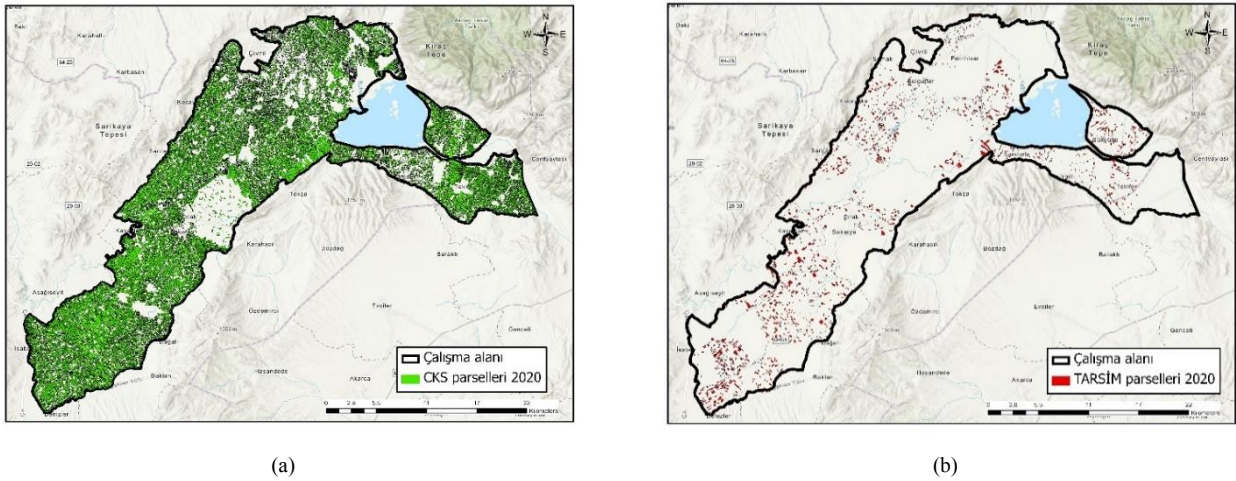
Çalışma alanı Denizli ili Çivril, Baklan ve Çal ilçe sınırlarına giren Çivril-Baklan Ovası'nda yer almakta olup Çivril-Baklan-Toprak sulama birlikleri alanlarını içine alan yaklaşık 60 000 hektar gibi büyük bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Yarı kapalı

havza niteliğinde olan Çivril-Baklan Ovası'nı, Ege Bölgesi'nin en önemli akarsuyu olan Büyük Menderes baştanbaşa sulayarak geçmektedir (Aksever & Eroğlu, 2016). Büyük Menderes Akarsuyu üzerinde Işıklı Gölü yer almakta olup ovanın tarımsal sulaması bu göl tarafından sağlanmaktadır. Çok büyük bir tarımsal alana sahip olan ovada; hububat (buğday, arpa, tritikale) ayçiçeği, haşhaş, mısır, şeker pancarı, yonca, bağ ve birçok çeşitten oluşan meyve ağacı en çok yetiştirilen ürünlerdir. Çalışma alanında 70 000'e yakın tarımsal üretim yapılan parsel bulunup ortalama parsel büyüklüğü 8 dekadır.



emeklerini güvenceye almayı sağlayan devlet destekli bir tarım sigortasıdır. 14/06/2005 tarihli 5363 sayılı "Tarım Sigortaları Kanunu" kapsamında kurulan Tarım Sigortaları Havuz İşletmesi A.Ş. çiftçilerin ürünlerini oluşabilecek hasarlara karşı güvence altına alınmasını amaçlar. TARSİM tarım sigortasını anlaşmalı acenteler aracılığıyla sahaya uzman göndererek yapmaktadır. TARSİM ile tarım ürünleri, hayvanlar, seralar, arı kovanları, tarımsal yapılar, tarım aletleri ve makineleri sigorta ile güvence altına alınır. Dolu, fırtına, hortum, sel, heyelan ve deprem, kar ağırlığı gibi doğal afetlerin yanı sıra yangın gibi doğal yoldan veya kaza ile oluşan durumlar hayvanlarda meydana gelebilen salgın hastalık sonucu oluşan zararlar TARSİM kapsamındadır.

Çalışma sonucunda test verisi olarak ayrılan ÇKS beyanlı parsellerle doğruluk analizi yapılmasının yanı sıra Tarım Sigortaları Havuz İşletmesi A.Ş. Genel Müdürlüğü'nden çalışma alanına ait, uzmanlar tarafından arazide yerinde görülmüş sigortalı parseller (TARSİM) temin edilmiştir. Temin edilen parsellere ait bilgiler arazide uzmanlar tarafından yerinden görüldüğü ve tıpkı ÇKS'deki gibi birçok bilgi ile özellikle ekili ürün bilgisini içerdiğinden referans veri olarak kullanılarak sınıflandırma sonucunda ikinci kere doğruluk analizi yapılmasına olanak sağlamıştır (Şekil 2).



Şekil 2: 2020 yılına ait beyanlı ve sigortalı parsellerin çalışma alanına dağılımı (a) ÇKS parselleri (b) TARSİM parselleri.

### 3. Yöntemler

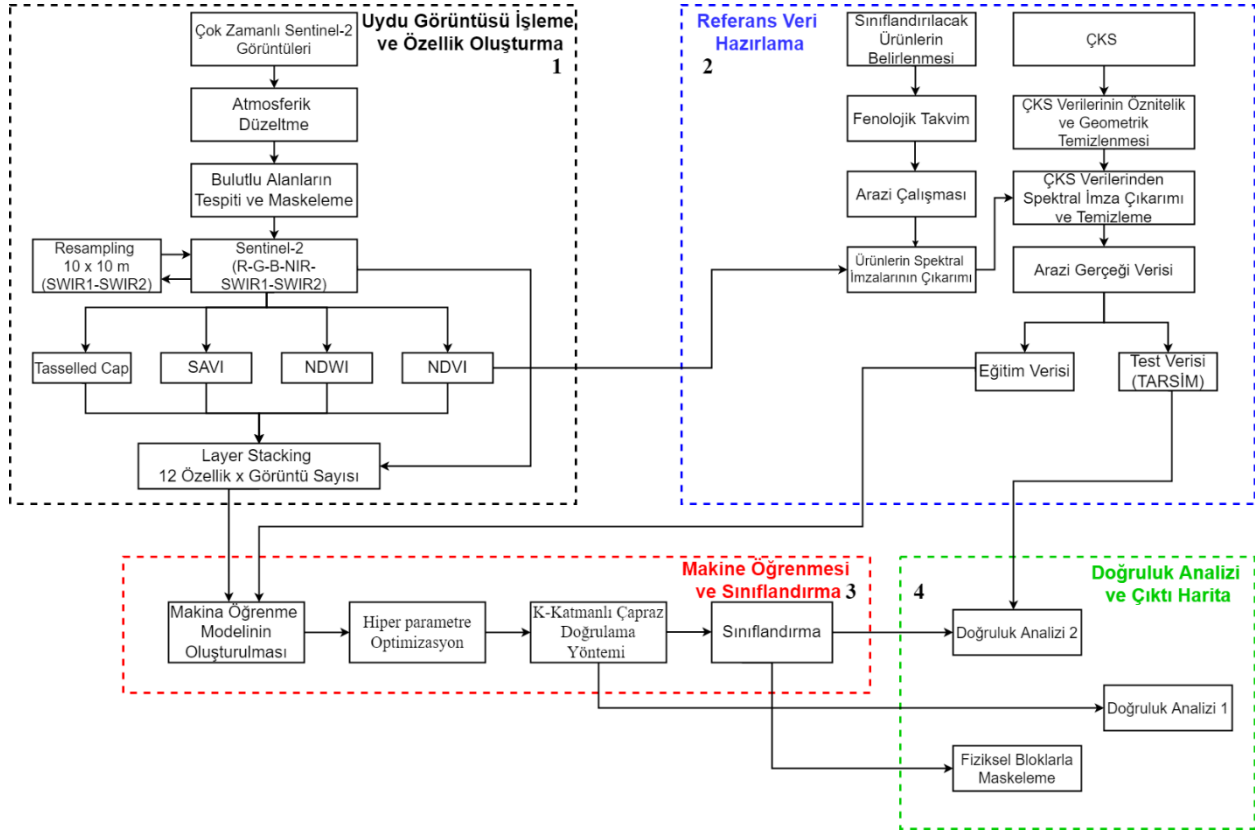
Eo-Learn kütüphanesi ve çok zamanlı Sentinel-2 görüntüleri ile tarım ürün deseni sınıflandırmasını gösteren akış diyagramı aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3). Yöntem uydu görüntüsü işleme ve özellik oluşturma, referans veri hazırlama, makine öğrenmesi ile sınıflandırma ve doğruluk analizi olmak üzere 4 adımdan oluşmaktadır.

#### 3.1 Uydu Görüntüsü İşleme ve Özellik Oluşturma

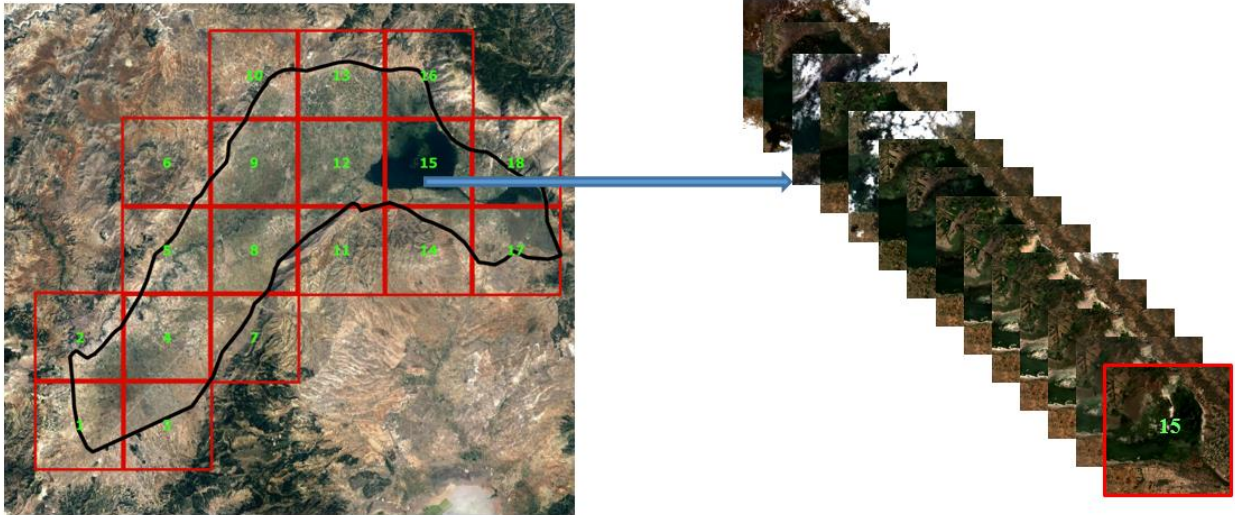
Sentinel-2 görüntülerine açık kaynak kodlu Eo-Learn python kütüphanesi içindeki *sentinelhub-py* python paketi kullanılarak erişim sağlanmıştır (URL-7). Bu paket ile Sentinel-Hub servislerine bağlanarak Amazon Cloud'da depolanan uydu görüntüleri temin edilmiştir (URL-8). Uydu görüntülerine ait bütün bilgiler (bantlar, oluşturan indeksler, bulut maskeleri vb.) numpy dizileri ile bütünleşik bir zaman serisi şeklinde her bir Eo-Patch'de depolanabilmekte olup python paketleri tarafından herhangi bir formatta okunabilen bilgiler de Eo-Patch'lerde saklanabilmektedir (URL-4).

Çalışmada kullanılacak Sentinel-2 görüntülerini her farklı tarih için ayrı olarak temin etmek yerine, Eo-Learn kütüphanesi ile başlangıç tarihi, bitiş tarihi ve görüntü alım aralığı gibi parametreler belirlenerek bütünleşik zaman serisi halinde bölümlenmelere (Eo-Patch) ayrılarak temin edilmiştir. Kullanıcı tarafından çalışma yapılacak alanın büyüklüğü, indirilecek tarih aralığının sıklığı ve işlem yapılacak bilgisayarın donanımı gibi değişkenler göz önünde bulundurulup, kullanıcı

tarafından bölümlenmelerin (Eo-Patch) boyutu değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada Sentinel-2 L1C görüntüleri 01.01.2020-31.12.2020 tarihleri arasında 15 gün aralıklı 10×10 km boyutlu bölümlenmelere (Eo-Patch) ayrılarak temin edilmiştir. Temin edilen görüntülere ait alanın %30'dan fazlası bulut ile kaplı ise *Sen2cloudless* python kütüphanesi ile otomatik olarak çalışma dışında tutulmakta olup, bu eşik değeri değiştirilebilmektedir (Şekil 4).



Şekil 3: Sınıflandırma akış diyagramı.

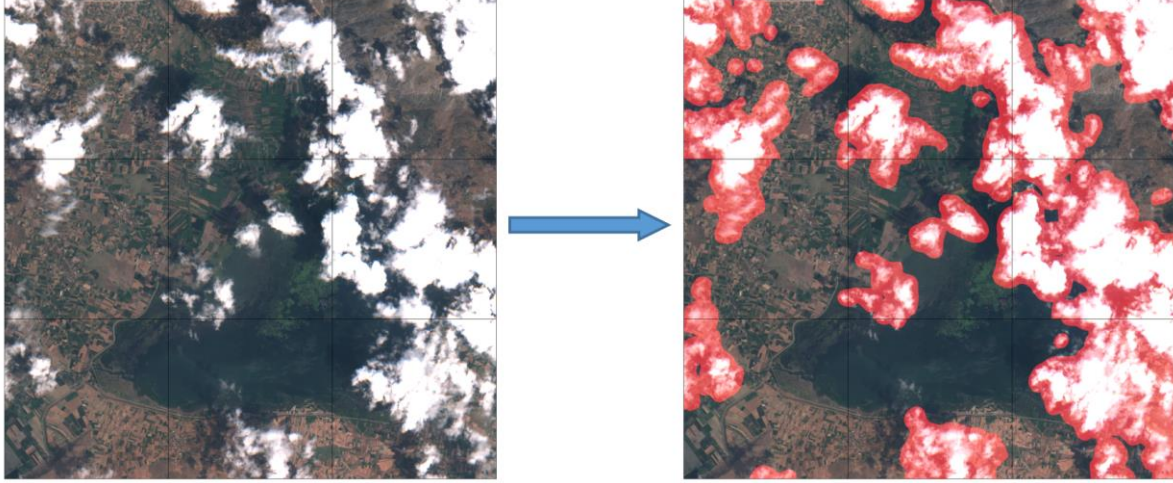


Şekil 4: Çalışma alanına giren Eo-Patch'lerin görünümü.

Sentinel-2 L1C formatındaki görüntüler için ayrıca geometrik düzeltmeye gerek olmayıp, atmosferik düzeltme gerekmektedir (Zheng vd., 2017). Sen2Cor algoritması ile görüntüdeki piksel değerleri atmosfer üstü yansımaya değerlerinden (Top of atmosphere, TOA) atmosfer altı yansımaya değerlerine (Bottom of atmosphere, BOA) dönüştürülmüştür (Müller-Wilm, 2017). Uydu görüntülerinde atmosfer etkilerinden kaynaklı olarak ortaya çıkan bulutlar ve bulutlardan kaynaklı gölgeler görüntülerin analiz edilmesinde problem oluşturan temel gürültü kaynaklarıdır (Kalkan & Maktav, 2016). Bulutlardan



kaynaklı parlaklıklar ve gölgelerinin oluşturduğu karartılar veri analizini olumsuz etkilemektedir. Bu etkiler, NDVI vb. indekslerde değerlerin değişmesine, çeşitli analizler ile sınıflandırma işlemlerinde hataların oluşmasına neden olmaktadır (Zhu & Woodcock, 2012). Eo-Learn kütüphanesi içerisindeki Sen2cloudless paketi (URL-9) ile uydu görüntüsü üzerindeki bulutlar otomatik olarak tespit edilmiş ve maskelenmiştir (Şekil 5). Sen2cloudless bulut belirleme ve maskeleye paketi piksel tabanlı Sentinel-2 uydusuna ait B01, B02, B04, B05, B08, B8A, B09, B10, B11, B12 bantları ile LightGBM algoritmasını kullanarak çalışmaktadır (URL-10).



**Şekil 5:** Çivril Ovası'nda bulunan Işıklı gölü ve çevresindeki bulutların tespiti ve maskelenmesi.

Sınıflandırmanın doğruluğunu artırmak ya da başka bir deyişle arazi kullanımı ya da ürün desen sınıflarını birbirinden ayırt edilebilirliğini artırmak amacıyla ek veriler kullanılmaktadır (Üstüner, Şanlı & Abdikan, 2015). Sınıflandırma doğruluğu seçilen algoritma ve kullanılan uydu görüntüsüne bağlı olarak uygun spektral bant ve bu bantlardan üretilmiş indekslere de bağlıdır (Lu & Weng, 2007). Bu sebeple atmosferik düzeltme ile bulutlu alanların belirlenmesi ve maskelenmesi işlemlerinden sonra sınıflandırmaya dâhil olacak bantlar ve bu bantlardan üretilen indeksler belirlenmiştir. Özellikle tarımsal alanların izlenmesi ve tespitinde, kırmızı bant ile klorofile duyarlı olmaları sebebiyle yakın kızıl ötesi veya kırmızı kenar spektral bantları ve bu bantlardan elde edilen bitki indeksleri kullanılmakta olup başarılı sonuçlar elde edilmektedir (Eitel vd., 2011).

Çalışmada 10 metre mekânsal çözünürlüklü; mavi (B02), yeşil (B03), kırmızı (B04), yakın kızılötesi (B08) bantları ile 20 metre mekânsal çözünürlükten 10 metre mekânsal çözünürlüğe yeniden örneklenen kısa dalga kızılötesi-1 (SWIR-1) ve kısa dalga kızılötesi-2 (SWIR-2) bantları kullanılmıştır. Bu spektral bantlardan üretilen; NDVI, NDWI ve normalize edilmiş toprak ayarlı bitki indeksi (Soil adjusted vegetation indeks, SAVI) de sınıflandırmaya ek bant olarak dâhil edilmiştir. Bu indeksler dışında bilgi sağlayan yardımcı verilerden biri de Tasseled Cap olarak isimlendiren dönüşüm yöntemi verisidir. Tasseled Cap dönüşümü ilk Landsat MSS görüntüleri üzerinden tarım arazilerinin izlenmesi amacıyla geliştirilmiştir (Kauth & Thomas, 1976). Tasseled Cap dönüşümleri algılayıcıların ilgili bantlarını kullanarak vejetasyon indislerini zenginleştirme işlemidir. Tasseled Cap dönüşümünde kullanılan katsayılar belli algılayıcılar için sabit ve değişmezdir (Schowengerdt, 2006). Sentinel-2 uydusunun B02, B03, B04, B08, B11 ve B12 bantları kullanılarak parlaklık (brightness, TCB), yeşillik (greenness, TCG) ve nemlilik (wetness, TCW) indislerinin üç eksen boyunca dönüşümü sağlanarak, Tasseled Cap dönüşümleri yapılmıştır (Chen, Ren, Zhang & Wang, 2020).

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \quad (1)$$

$$NDWI = \frac{(GREEN-NIR)}{(GREEN+NIR)} \quad (2)$$

$$SAVI = \frac{(1+L)*(NIR-RED)}{(NIR+RED+L)} \quad (3)$$

$$TCW = 0.1509 \times B2 + 0.1973 \times B3 + 0.3279 \times B4 + 0.3406 \times B8 + 0.7112 \times B11 + 0.4572 \times B12 \quad (4)$$

$$TCB = 0.3037 \times B2 + 0.2793 \times B3 + 0.4743 \times B4 + 0.5585 \times B8 + 0.5082 \times B11 + 0.1863 \times B12 \quad (5)$$

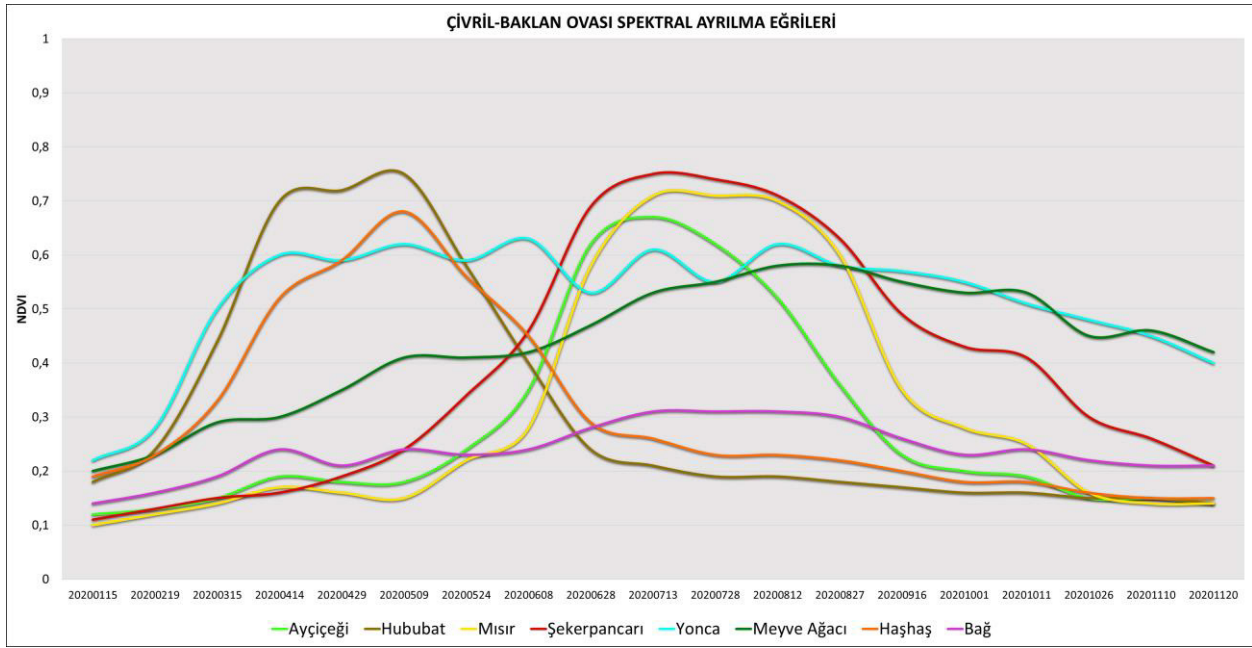
$$TCG = -0.2848 \times B2 - 0.2435 \times B3 - 0.5436 \times B4 + 0.7243 \times B8 + 0.0840 \times B11 - 0.1800 \times B12 \quad (6)$$

Sınıflandırma işleminde 15 gün aralıklı 24 farklı tarihte görüntü temin edilmiştir. Temin edilen bu görüntülerden 2., 3., ve 4. görüntülerdeki bulutlu alanlar, çalışma alanının %30'dan fazlasını kapsadığı için bu 3 görüntü sınıflandırma işlemine dahil edilmemiştir. Kalan 21 farklı tarihte çekilen her bir görüntü için; Sentinel-2 uydusuna ait B02, B03, B04, B08, B11, B12 ile bu bantlardan oluşturulan NDVI, NDWI, SAVI ve Tasseled Cap (parlaklık, yeşillik, nemlilik) dönüşümleri olmak üzere toplamda 12 farklı görüntü bandı oluşturulmuştur. Her bir görüntü çekim tarihine ait 12 farklı görüntü bandı numpy formatı şeklinde bir dizi haline getirilerek sınıflandırma işleminde 252 banttan oluşan görüntü katmanı kullanılmıştır.

### 3.2 Referans Veri Hazırlama

İşıkli Gölü'nü ve ovayı baştanbaşa geçen Büyük Menderes Nehri'nden dolayı Çivril-Baklan Ovası zengin tarımsal çeşit ve üretime sahiptir. Ovada tarla bitkilerinden buğday, arpa, ayçiçeği, şeker pancarı, haşhaş, mısır yem bitkilerinden ise yonca, fiğ, korunga yetişmektedir. Meyve üretiminin yoğun olarak yapıldığı ilçede elma ve üzüm üretimi yüksek seviyede iken bunları şeftali, kiraz, kayısı izlemektedir. Son 20 yılın ÇKS beyanlı parsellerinden oluşturulan istatistiki veri incelendiğinde bu ürünlerin ovanın %95'ini kapladığı sonucuna ulaşılmış aynı zamanda Çivril Tarım İlçe Müdürlüğü ile de görüşülüp bu istatistik teyit edilmiştir. Sınıflandıracak ürünlerde; buğday, arpa, tritikale ürünleri hububat sınıfı altında, yonca, fiğ, korunga ürünleri yonca sınıfı altında, ceviz, kiraz, şeftali, kayısı, vişne ve elma ağaçları ise meyve ağacı sınıfı altında toplanmıştır. Böylelikle Çivril-Baklan Ovası'nda, ovanın %95'lik tarımsal üretimini oluşturan hububat, haşhaş, ayçiçeği, mısır, şeker pancarı, yonca, üzüm ve meyve ağacı sınıfı için tarımsal ürün desen tespiti çalışması yapılmış geriye kalan %5'lik kısım göz ardı edilmiştir.

Arazi çalışmasından önce Çivril Tarım İlçe Müdürlüğü'nden sınıflandırması yapılacak ürünlere ait ekim, vejetatif gelişme, hasat öncesi bitkinin yeşil aksamının en belirgin olduğu tarih ve hasat tarihleri istenerek, sınıflandırması yapılacak ürünlerin fenolojileri hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Çok zamanlı uydu görüntüleri ile yapılan sınıflandırma işlemi farklı fenolojik evreleri yakalayabilmekte olup, ürünlere ait fenolojik takvim, ürünlerin birbirleri ile zamansal olarak yakınlıkları ve uzaklıkları hakkında sınıflandırma öncesi ön bilgi edinimini sağlamaktadır. Fenolojik takvimin temininin ardından arazi çalışması yapılarak sınıflandırılacak ürünlere ait parsellerden GPS yardımıyla veri toplanmıştır. Çok zamanlı Sentinel-2 görüntülerinden üretilen NDVI bantları kullanılarak her bir sınıf için spektral ayrılma eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 6).

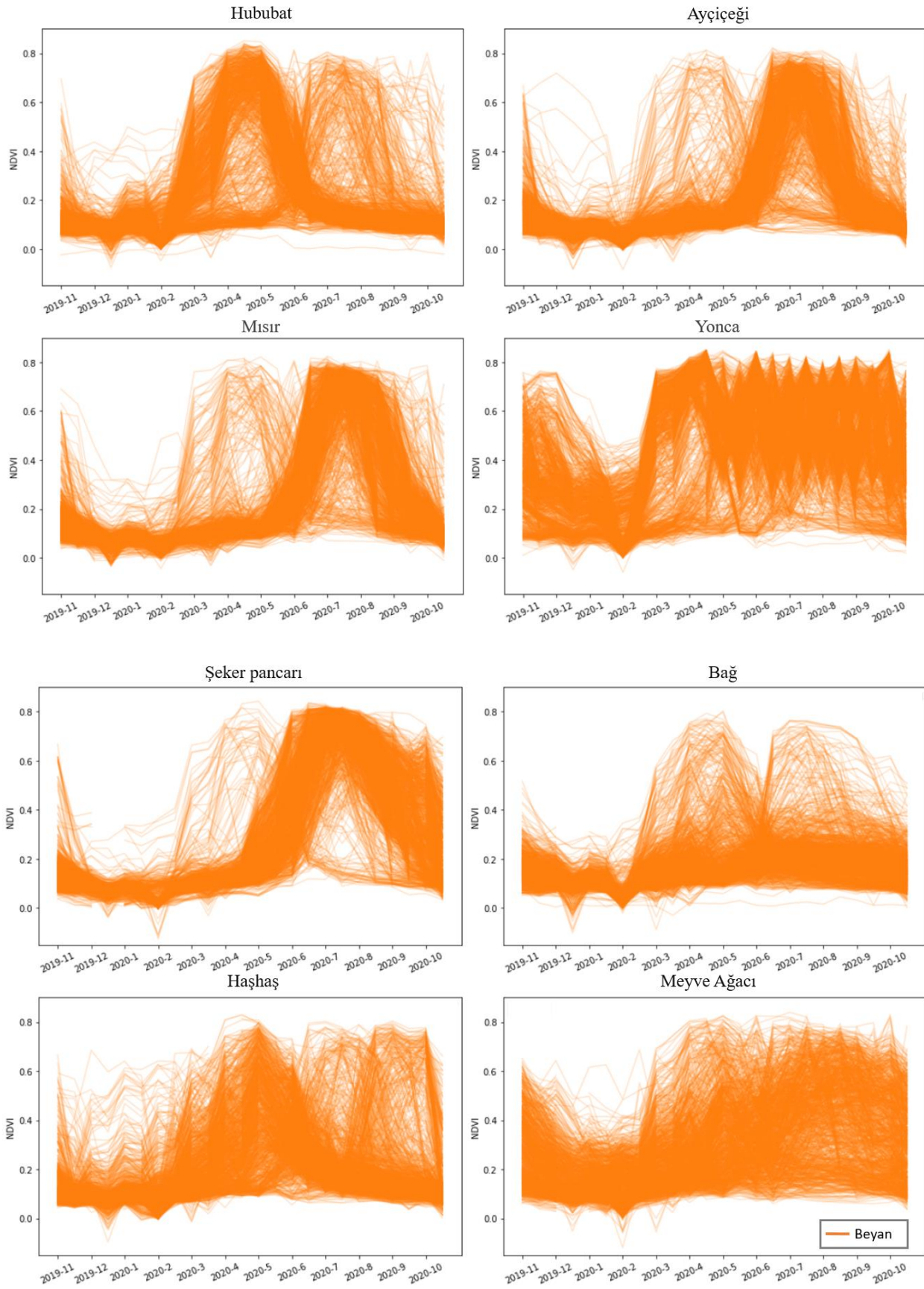


Şekil 6: Ürünlerin NDVI değerlerine göre zamansal değişimi.

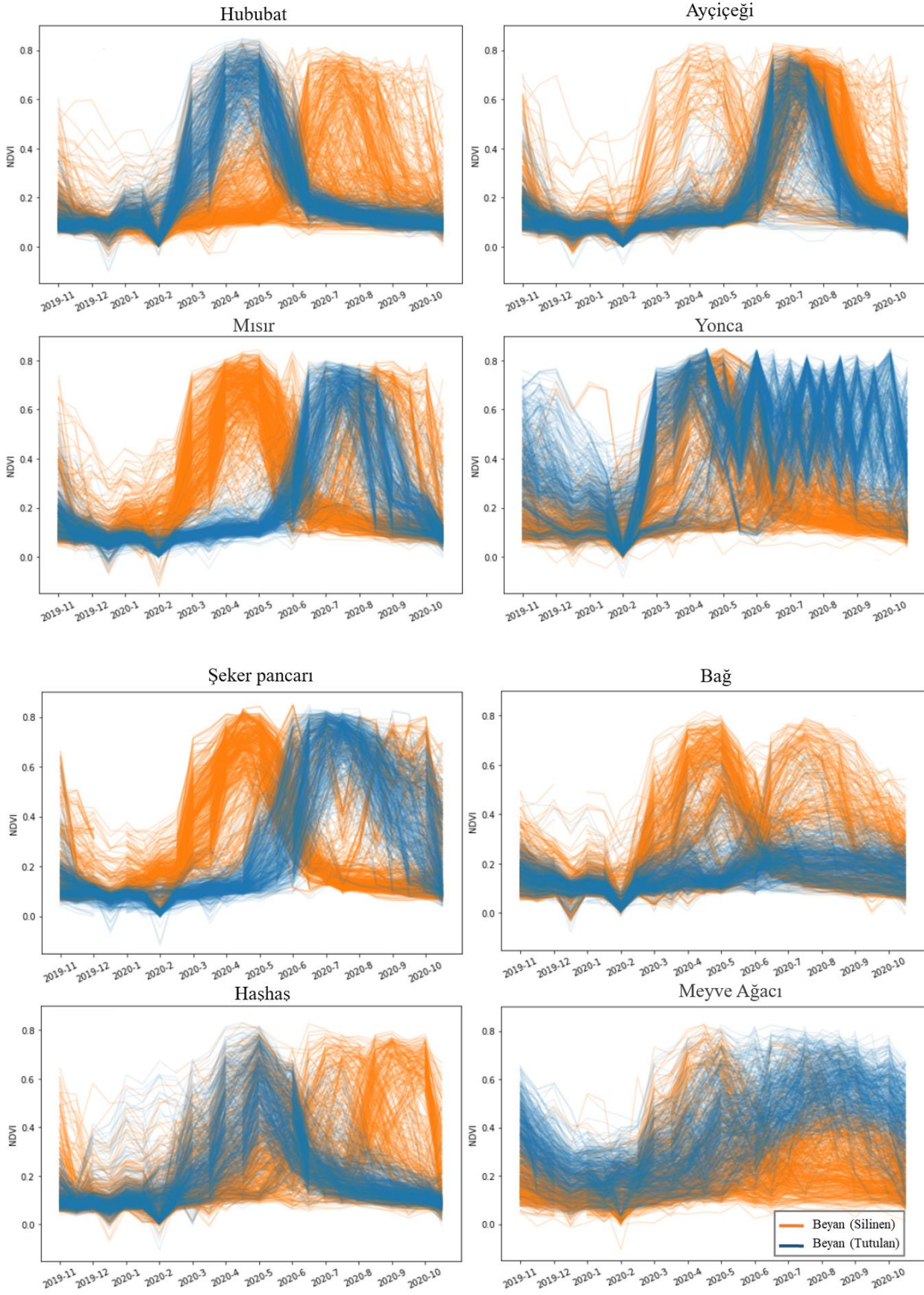
Arazi çalışması sonrasında Tarım ve Orman Bakanlığında ÇKS verileri temin edilmiştir. ÇKS verileri, arazi çalışmasından elde edilip üretilen spektral yansımalar verileriyle değerlendirilerek arazi gerçeği verisi olarak kullanılacaktır. ÇKS parsellerinde yapılan incelemede birden fazla maliki olan parsellerde (hisseli mülkiyet) parsellerin fiziksel temsili ile ÇKS öznelik verisi arasında uyumsuzluk olduğu hissedar sayısından kaynaklı parsellerin tekrarlı tutulduğu belirlenmiştir. Veri girişinden kaynaklı aynı tarihlere ait birden fazla farklı ürün girişi yapıldığı, çiftçi tarafından beyan değişikliği başvurusunda bir önceki beyanın veri tabanında aktif olarak tutulup farklı tarihlere ait birden fazla ürün çeşidi bulunduğu da bir diğer öznelik kaynaklı problemdir. Tarım parselleri çizilirken ya da düzeltilirken üst üste binen parsellerin oluştuğu ve tarım dışı alanlarda beyanlı parsellerin olduğu tespit edilmiştir. ÇKS verisinin arazi gerçeği olarak kullanılmasından önce bu olası uyumsuzluk ve karışıklıkları gidermek amacıyla önce otomatik ve manuel olarak bir takım düzenleme ve silme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Düzenleme ve silme işlemleri gerçekleştirildikten sonra yapılan incelemede, ÇKS öznelik bilgisi ile ÇKS verisinin arazide temsil ettiği parseller (fiziksel yeryüzü) arasında ürün bilgisi göz önüne alındığında farklılık olduğu görülmüştür (Altun & Türker, 2021). Bazı parsellerin ÇKS’de beyan edilmesine rağmen ekilmediği, birçok parselde ise ÇKS’de beyan edilen ürün ile arazide ekilen ürün arasında farklılık olduğu tespit edilmiş olup, bu durumun ÇKS’deki en büyük problemlerden biri olduğu bilgisine ulaşılmıştır. NDVI indeksi bitki örtüsü fenolojisini incelemek için kullanılan popüler indekslerden biri olup, NDVI zaman serisi ile bitki örtüsünün yıl içerisindeki büyüme, gelişme ve hasadı ile ilgili bilgilere ulaşılabilmektedir (Mishra, Oza, & Sharma, 2017).

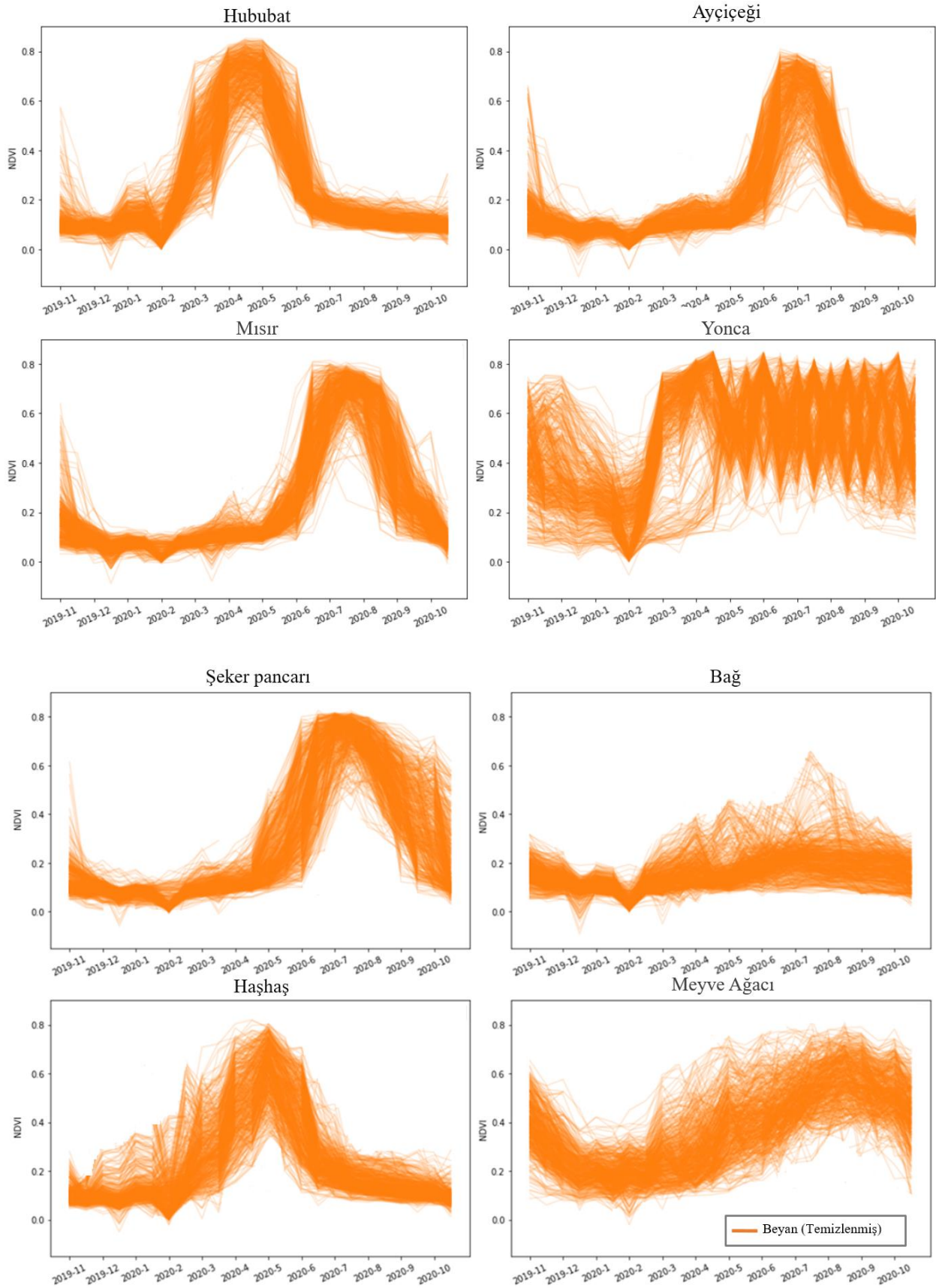
ÇKS beyanlı her bir parsel için NDVI değerleri belirlenmiş ve zaman serisi olarak bu işlem tekrarlanarak beyanlı her bir parsel için spektral ayrılma eğrisi oluşturulmuştur. Beyanlı parsellerde oluşturulan bu eğriler, arazi verilerinden üretilen spektral yansımalar değerleri referans alınarak kontrol edilmiş, ÇKS kaydındaki bir parsel spektral olarak arazide bulunduğu tarih aralığında kendi türünün yansımalar değerini vermemiş ise silinmiştir (Şekil 7, 8, 9). Bu işlem NDVI değerleri kullanılarak kural tabanlı yapılmış olup işlem sonrasında ÇKS parsellerinden çok sayıda arazi gerçeği verisi üretilmiştir. 2020 yılında Çivril-Baklan Ovası’nda Tarım Bilgi Sistemi veri tabanında 89 666 ÇKS beyanlı parsel olup parsellerdeki düzenleme ve silme işlemleri sonrası 16 021 parsel arazi gerçeği (referans) verisi olarak kullanılmıştır. Arazi gerçeği olarak kullanılacak parseller kendi içinde k-katmanlı çapraz doğrulama (k-fold cross validation) işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 7: ÇKS parsellerinin NDVI değerlerine göre zamansal değişimi.



Şekil 8: Ürünlere ait spektral ayrılma eğrileri referans alınarak silinen ve tutulan ÇKS parselleri.



Şekil 9: Arazi gerçeği olarak kullanılacak, temizlenmiş ÇKS parselleri.

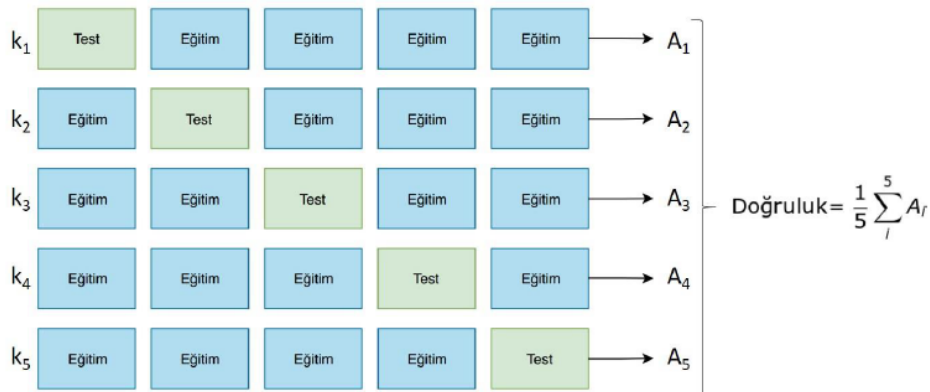
### 3.3 Makine Öğrenmesi ve Sınıflandırma

Son yıllarda veri boyutu ile çeşitliliğin hızla artması var olan algoritmalarda optimizasyonlara ve yeni algoritmaların

oluşturulmasına sebep olmuştur. Özellikle son yıllarda coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılamadaki verilerin boyutundaki artış ile küresel ölçekte çalışmalar yapılması kullanıcıları daha hızlı, optimum çalışan ve yüksek doğruluk elde edilmesini sağlayan yöntem arayışına sokmuştur. Özellikle sınıflandırma çalışmalarında kullanılacak modelin seçiminde, kullanılacak verinin boyutu, çeşitliliği, bilgisayar donanımının özellikleri, istenen sonucunun doğruluğu, işlem süresi gibi kriterler göz önüne alınarak optimum bir model belirlenmelidir.

LightGBM, Microsoft Distributed Machine Learning Toolkit (DMTK) projesi kapsamında 2017 yılında geliştirilmiş, karar ağacı algoritmalarına dayanan bir boosting algoritmasıdır (URL-11). Yöntemin isminden de anlaşılacağı üzere yüksek işlem hızına sahip bir algoritma olduğu için “Light” ön takısı almıştır (Üstüner, Abdikan, Bilgin & Şanlı, 2020). Diğer boosting algoritmaları ile karşılaştırıldığında; yüksek işlem hızı, büyük verileri işleyebilmesi, daha az kaynak (RAM) kullanımı, yüksek tahmin oranı, paralel öğrenme ve GPU öğrenimini desteklemesi gibi avantajları vardır (URL-12). LightGBM algoritmasını diğer algoritmalarından ayıran özellik verinin eğitilmesi aşamasında yaprak odaklı genişlemesidir (Ke vd., 2017). Yaprak odaklı strateji ile daha az hata oranına sahip olup daha hızlı öğrenme gerçekleşmektedir (Li vd., 2019). Yaprak odaklı büyüme stratejisi verinin az olduğu durumlarda modelin aşırı öğrenmesine sebebiyet verdiği için büyük verilerle çalışmada daha uygundur. Sınıflandırma işleminde Eo-Learn kütüphanesi içinde bulunan LightGBM makine öğrenme algoritması kullanılmıştır. Hiperparametre optimizasyonu, bir makine öğrenmesi algoritması için belirlenen başarı kriterlerine göre en uygun parametre kombinasyonunu bulma işlemidir. Hiperparametre optimizasyonu ile, modelin yüksek başarıya ulaşması ve model karmaşıklığı dengelenerek aşırı öğrenme – eksik öğrenme dengesini sağlamak amaçlanmaktadır. Çalışmada en uygun parametreler, hızlandırma türü (boosting type): Özel değişken paketi (exclusive feature bundling, EFB); yapraktaki minimum veri sayısı (min\_child\_sample): 20; güçlendirilmiş ağaç sayısı (n\_estimators): 20; maksimum derinlik (max\_depth): 7, yaprak sayısı (num\_leaves): 200; özelliklerin kümeleneceği maksimum bölütleme sayısı (max\_bin): 255 olarak belirlenmiştir.

Sınıflandırma işleminde kullanılacak algoritmaya ait optimum parametre belirlendikten sonra k-katmanlı çapraz doğrulama yöntemi kullanılmıştır. k-katmanlı doğrulama yöntemi, modelin yüksek performansının rastgele olup olmadığının görülmesini sağlamaktadır. Bu yöntemde veri seti k sayıda parçaya bölünür ve k-1 adet alt küme modeli eğitmek için kullanılır, geriye kalan alt küme ise modelin doğruluğunu hesaplamak için kullanılmaktadır. Her seferinde farklı eğitim ve test verisi kullanarak işlem k defa tekrarlanır (Kohavi, 1995). Elde edilen doğruluk değerlerinin ortalaması modelin doğruluğunu temsil etmekte olup bu çalışmada k değeri 5 alınmıştır (Şekil 10). K değerinin 5 alınması sonucu 16 021 adet referans parselin %80’i olan 12 817 adedi eğitim %20’ si olan 3204 adedi test verisi kullanılmış olup her k ( $k_1, \dots, k_5$ ) değeri için eğitim ve referans parseller belirlenen yüzdelerde rastgele otomatik olarak seçilmiştir.



Şekil 10: 5-katmanlı çapraz doğrulama (Üstüner & Şanlı, 2019).

### 3.4 Doğruluk Analizi ve Çıktı Harita

Sınıflandırma işlemi tamamlandıktan sonra doğruluk analizi yapılmış olup her bir sınıfa ait duyarlılık (Recall), kesinlik (Precision) ve kesinlik ile duyarlılık değerlerinin harmonik ortalaması olan F1 skor değerleri ile genel doğruluk hesaplanmış, k-katmanlı çapraz doğrulama yöntemi sonucu hata matrisi oluşturulmuştur (Şekil 11).

Mısır	0.92	0.00	0.07	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Hububat	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Ayçiçeği	0.21	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Yonca	0.01	0.01	0.01	0.96	0.01	0.01	0.00	0.00
M.Ağacı	0.01	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00
Ş.Pancarı	0.10	0.00	0.01	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00
Haşhaş	0.02	0.34	0.01	0.01	0.00	0.00	0.63	0.00
Bağ	0.04	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93
	Mısır	Hububat	Ayçiçeği	Yonca	M. Ağacı	Ş. Pancarı	Haşhaş	Bağ

Sınıflar	F1	Recall	Precision
Mısır	0.93	0.91	0.94
Hububat	0.97	0.99	0.95
Ayçiçeği	0.83	0.91	0.81
Yonca	0.97	0.96	0.98
Meyve Ağacı	0.96	0.96	0.96
Haşhaş	0.76	0.71	0.80
Şeker pancarı	0.91	0.91	0.91
Bağ	0.91	0.88	0.93
<b>Genel Doğruluk: %93.5</b>			

Şekil 11: Ürünlere ait F1, duyarlılık (Recall), kesinlik (Precision) değerleri ve hata matrisi.

Doğruluk analizine ait değerler incelendiğinde mısır, hububat, yonca, meyve ağacı, şeker pancarı ve bağ sınıfının 0.90 doğruluk değerinin üstünde olduğu görülmektedir. Mısır sınıfı ile yakın fenolojiye sahip ayçiçeği sınıfı, mısır sınıfı ile bir miktar karışmış olup 0.83 değerindedir. Hububat sınıfı ile çok yakın fenolojiye sahip olan haşhaş sınıfı ise 0.76 değerinde olup hububat sınıfı ile karıştığı sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmanın genel doğruluğu ise %93.5'tir.

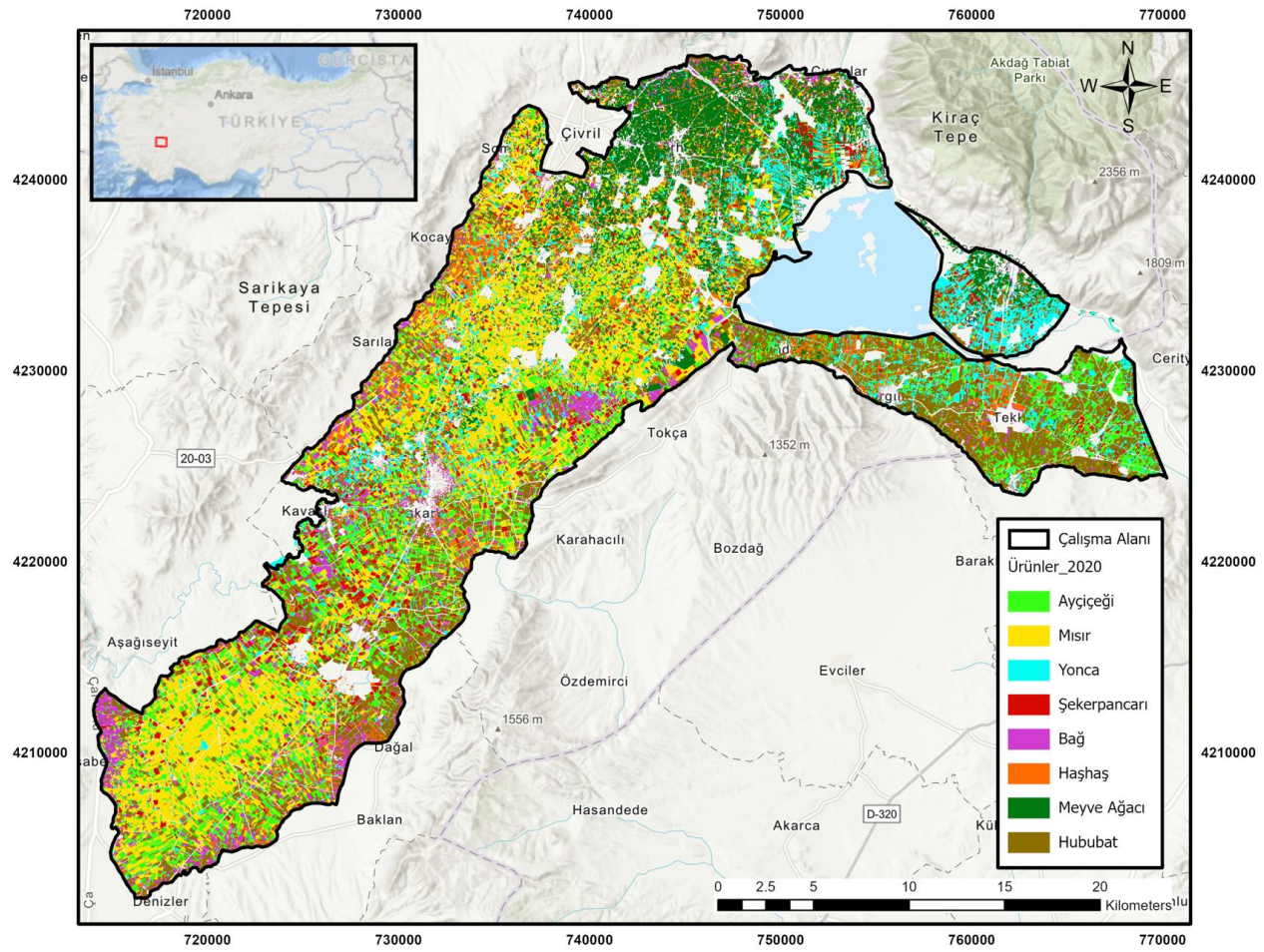
Arazi gerçeği verisi haline getirilen ÇKS beyanlı parsellerle k-katmanlı çapraz doğrulama yöntemi ile doğruluk analizi yapılmasının yanı sıra, çalışma alanı sınırları içerisinde ÇKS beyanlı parsellerle aynı yıl olan 2020 yılına ait 2042 adet sigortalı parsel ile (TARSİM) ikinci bir doğruluk analizi yapılmış olup, bu parsellerin hiçbiri eğitim verisi olarak sınıflandırma işleminde kullanılmamıştır. Yapılan ikinci doğruluk analizinde genel doğruluk ve kappa katsayısı değeri ile her bir sınıfa ait üretici ve kullanıcı doğruluk değerleri hesaplanmıştır. İkinci kere yapılan doğruluk analizinde genel doğruluğun %91.1 ve kappa katsayısının ise 0.89 olduğu görülmektedir (Şekil 12).

Sınıflandırma işlemi piksel tabanlı olduğundan her bir piksel ilişkili olduğu bir piksele atanmıştır. Piksel tabanlı bu çalışma sonucunda yerleşim alanları, yollar, ormanlık, sulak, kayalık vb. tarım dışı ve suni alanlar da girdi veri setindeki herhangi bir sınıfa atanmıştır. Sınıflandırma sonucunda s girdi veri seti ile ilişkili sadece tarımsal ürün deseni sınıflandırmasının kalması için, sınıflandırma sonucu çıkan raster veri, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü tarafından Entegre İdare ve Kontrol Sistemi (Integrated Administration and Control System, IACS) projesi kapsamında oluşturulan fiziksel bloklar ve bu fiziksel bloklar içerisindeki tarım dışını kapsayan poligonlar kullanılarak maskelenmiş ve elimine edilmiştir (Şekil 13).



Sınıflar	Referans Veri									Kullanıcı Doğruluğu (%)
	Ayçiçeği	Haşhaş	Hububat	Meyve Ağacı	Mısır	Şeker pancarı	Bağ	Yonca	Toplam	
Ayçiçeği	233	7	3	0	22	2	0	2	269	86.62
Haşhaş	0	585	12	6	1	1	0	2	607	96.38
Hububat	0	27	194	4	0	1	1	3	230	84.35
Meyve Ağacı	2	2	1	260	3	0	1	0	269	96.65
Mısır	15	8	4	0	425	2	0	3	457	93.00
Şeker pancarı	4	3	3	0	7	50	0	2	69	72.46
Bağ	3	2	1	3	0	1	31	1	42	73.81
Yonca	6	0	0	5	7	0	0	111	129	86.05
Toplam	263	634	218	278	465	57	33	124	2072	
Üretici Doğruluğu (%)	88.59	92.27	88.99	93.53	91.40	87.72	93.94	89.52	Genel Doğruluk (%) = 91.1 Kappa Katsayısı = 0.89	

Şekil 12: Doğruluk analizi için oluşturulan hata matrisi.



Şekil 13: 2020 yılına ait tarımsal ürün desen sınıflandırması.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Denizli ili, Çivril, Baklan ve Çal ilçe sınırları içerisindeki Çivril-Baklan Ovası'nda, 2020 yılına ait Sentinel-2 uydu görüntüleri ve python tabanlı açık kaynak kodlu Eo-Learn kütüphanesi kullanılarak tarımsal ürün desen tespiti yapılmıştır.

Çok zamanlı görüntülerle sınıflandırma işlemi, farklı fenolojik evrelere sahip ürünler arasındaki farklı zamansal değişimi ortaya çıkarabildiği için çok önemli olup sınıflandırma işleminde önce görüntülerin bir takım ön işleme işlemlerinden

geçmesi gerekmektedir. Çalışmada 15 gün aralıklı Sentinel-2 görüntüleri kullanılmış bu görüntüler tek tek temin edilmek yerine Eo-Learn ile bütünleşik zaman serisi halinde bölümlenmelere (Eo-Patch) ayrılarak temin edilmiş olup hem görüntü seçimi hem de temin süresi göz önüne alındığında büyük kolaylık sağlanmıştır. Eo-Learn kütüphanesi ile sınıflandırma işleminde kullanılacak görüntülerin temini, atmosferik düzeltme, bulutlu alanların belirlenmesi ve maskelenmesi, görüntülerdeki bantlar kullanılarak indeks-özellik çıkarımı ve görüntülerdeki bantlar ile çıkarılan indekslerin birleşiminden oluşan görüntü yığını işlemleri açık kaynak kodlu kütüphane içerisindeki birbirine bağlı iş modelleri ile yapılmıştır.

Sınıflandırma işleminde referans veriler, makine öğrenme algoritmalarında oluşturulan modelin eğitiminde kullanılmaktadır. Referans verinin temini için arazi çalışması yapılması veya arazi çalışması yerine geçebilecek veriye ihtiyaç duyulmaktadır. ÇKS ile ülkemizdeki tarımsal faaliyetler kayıt alınmış olup, bu çalışmada uydu görüntüleri ile tarımsal ürün desen tespitinde referans veri olarak kullanılmıştır. Ancak ÇKS parsellerinin referans olarak kullanılmasından önce verilerin öznitelik ve geometrik olarak düzenleme ile silme işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir. Bu işlemin ardından ikinci adım olarak sınıflandırma işlemi yapılacak her bir ürüne ait araziden veri toplanmış, çok zamanlı Sentinel-2 görüntülerinden üretilen NDVI bantları kullanılarak her bir sınıf için spektral ayrılma eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu eğriler referans alınıp ÇKS parselleri temizlenerek arazi gerçeği verisi bir başka deyişle sınıflandırma işleminde kullanılacak referans parseller haline getirilmiştir.

Görüntülerin ön işleme işlemleri ile referans parsellerin hazırlanmasının ardından Eo-Learn kütüphanesi içerisindeki LightGBM algoritması kullanılarak tarımsal ürün desen sınıflandırması yapılmıştır. Yapılan sınıflandırma işlemi sonucu doğruluk analizleri incelendiğinde genel doğruluğun %93 seviyesinde olduğu ve yapılan çalışmanın yüksek doğrulukta sonuç verdiği görülmüştür. Mısır, hububat, yonca, meyve ağacı, şeker pancarı ve bağ sınıflarında doğruluğun %90'dan yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayçiçeği sınıfının %85.8 ve haşhaş sınıfının %76.5 seviyesinde çıkmasının nedeninin ise ayçiçeğinin mısır ile haşhaşın ise hububat ile bir miktar karışmasından kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır.

ÇKS parsellerinden oluşturulan referans parseller kullanılarak k-katmanlı çapraz doğrulama yöntemi ile doğruluk analizinin yanı sıra arazide uzmanlar tarafından yerinde tespiti ve ölçümü yapılan sigortalı parseller (TARSİM) kullanılarak ikinci bir doğruluk analizi, bir başka deyişle çalışmanın sağlaması tekrar yapılmıştır. Sınıflandırma işlemine eğitim verisi olarak girmemiş bu verilerle yapılan doğruluk analizinden, genel doğruluk ve kappa katsayısı sırasıyla %91.1 ve 0.89 olarak hesaplanmıştır. Sınıflandırma işleminde eğitim verisi olarak kullanılmamış bu verilerle yapılan doğruluk analizinin yüksek çıkması, maliyet ve zaman kaybını minimuma indirerek araziye hiç gitmeden ya da çok az sayıda parsel giderek ÇKS veri tabanı içerisindeki parsellerin belirli düzenleme ve silme işlemleri ile arazi gerçeği verisi haline getirilip sınıflandırma işleminde referans veri olarak kullanılabilceği göstermiştir.

Python tabanlı açık kaynak kodlu Eo-Learn kütüphanesi ile görüntülerin temin edilmesinden ön işlemlerine, makine öğrenmesinden doğruluk analizine kadar olan birbiriyle bağlı ve entegre iş modelleri ile zamandan tasarruf edilerek karmaşık işlemler yüksek güven aralığında yapılmış olup özellikle büyük alanlarda ve çok sayıda görüntü içeren çalışmalarda büyük bir avantaj sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Gelecek çalışmalarda, tarımsal ürünlerin sınıflandırması işleminde farklı bantlar ile indeksler dâhil edilerek, özellikle yakın fenolojiye sahip olup birbiriyle karışan ürünlerin ayrıştırılarak yüksek doğruluk elde edilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca çalışmada kullanılan makine öğrenme algoritmasının yanı sıra derin öğrenme algoritması da gelecek çalışmalara dâhil edilecektir.

## Teşekkür

Çalışmada kullanılan ÇKS verileri ile fiziksel bloklar için Tarım Reformu Genel Müdürlüğüne, TARSİM verileri için Tarım Sigortaları Havuz İşletmesi A.Ş.'ye Eo-Learn kütüphanesi ile ilgili destek olan Sinergise firmasına teşekkür ederiz.

## Yazar Katkısı

**Fatih Fehmi Şimşek:** Fikir, Tasarım, Veri toplama ve işleme, Literatür taraması, Yazım. **Süleyman Savaş Durduran:** Tasarım, Denetleme, Makale değerlendirme.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

- Aghlmand, M., Kalkan, K., Onur, M. İ., Öztürk, G., & Ulutak, E. (2021). Google Earth Engine ile arazi kullanımı haritalarının üretimi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 38-47.
- Aksever, F., & Eroğlu, A. (2016). Çivril-Baklan (Denizli) Ovasında Yeraltısuyuna İklim Değişikliğinin Etkisi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 11-26.
- Altun, M., & 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.
- Chen, L., Ren, C., Zhang, B., & Wang, Z. (2020). Multi-sensor prediction of stand volume by a hybrid model of support vector machine for regression kriging. *Forests*, 11(3), 296.
- Eitel, J. U., Vierling, L. A., Litvak, M. E., Long, D. S., Schulthess, U., Ager, A. A., Krofcheck, D. J., & Stoscheck, L. (2011). Broadband, red-edge information from satellites improves early stress detection in a New Mexico conifer woodland. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3640-3646.
- Foerster, S., Kaden, K., Foerster, M., & Itzerott, S. (2012). Crop type mapping using spectral-temporal profiles and phenological information. *Computers and Electronics in Agriculture*, 89, 30-40.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Hu, Q., Sulla-Menashe, D., Xu, B., Yin, H., Tang, H., Yang, P., & Wu, W. (2019). A phenology-based spectral and temporal feature selection method for crop mapping from satellite time series. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 80, 218-229.
- Jarray, N., Abbes, A. B., Rhif, M., Chouikhi, F., & Farah, I. R. (2021). An open-source platform to estimate Soil Moisture using Machine Learning Methods based on Eo-learn library. *2021 International Congress of Advanced Technology and Engineering (ICOTEN)*. IEEE.
- Kalkan, K., & Maktav, D. (2016). Landsat-8 Görüntülerinden Gölge ve Bulut Belirleme. *VI. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Adana.
- Kauth, R. J., & Thomas, G. S. (1976). The tasselled cap--a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. *LARS symposia*, Indiana, ABD.
- Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q., & Liu, T. Y. (2017). Lightgbm: A highly efficient gradient boosting decision tree. *Advances in neural information processing systems*, 30.
- Kohavi, R. (1995). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Quebec, Kanada.
- Li, W., Ding, S., Chen, Y., Wang, H., & Yang, S. (2019). Transfer learning-based default prediction model for consumer credit in

- China. *The Journal of Supercomputing*, 75(2), 862-884.
- Li, W., Du, Z., Ling, F., Zhou, D., Wang, H., Gui, Y., Sun, B., & Zhang, X. (2013). A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI. *Remote Sensing*, 5(11), 5530-5549.
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International journal of Remote sensing*, 28(5), 823-870.
- Lubej, M., Aleksandrov, M., Batič, M., Kadunc, M., Milčinski, G., Peressutti, D., & Zupanc, A. (2019). Spatio-Temporal Deep Learning: Application to Land Cover Classification. *Living Planet Symposium*, Ljubljana, Slovenya.
- Mishra, S., Oza, M. P., & Sharma, S. A. (2017). Crop phenology identification using NDVI time-series and its dissemination using WebGIS. *38th Asian Conference on Remote Sensing*, Yeni Delhi, Hindistan.
- Müller-Wilm, U. (2017). Sen2Cor configuration and user manual. Ref. S2-PDGS-MPC-L2A-SUM-V2.4, 1, 9-12.
- Račič, M., Oštir, K., Peressutti, D., Zupanc, A., & Čehovin Zajc, L. (2020). Application of temporal convolutional neural network for the classification of crops on Sentinel-2 time series. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 43.
- Schowengerdt, R. A. (2006). *Remote sensing: models and methods for image processing*. Elsevier.
- Üstüner, M., Abdikan, S., Bilgin, G., & Şanlı, F. B. (2020). Hafif gradyan artırma makineleri ile tarımsal ürünlerin sınıflandırılması. *Turkish Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(2), 97-105.
- Üstüner, M., & Şanlı, F. B. (2019). Çok zamanlı polarimetrik SAR verileri ile tarımsal ürünlerin sınıflandırılması. *Jeodezi Ve Jeoinformasyon Dergisi*, 7(1), 1-10.
- Üstüner, M., Şanlı F. B., & Abdikan, S. (2015). Spektral band ve bitki indeksi seçiminin ürün deseni sınıflandırma doğruluğuna etkisi: karşılaştırmalı analiz. *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, Konya.
- Vuolo, F., Neuwirth, M., Immitzer, M., Atzberger, C., & Ng, W. T. (2018). How much does multi-temporal Sentinel-2 data improve crop type classification?. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 72, 122-130.
- Zhang, H., Kang, J., Xu, X., & Zhang, L. (2020). Accessing the temporal and spectral features in crop type mapping using multi-temporal Sentinel-2 imagery: A case study of Yi'an County, Heilongjiang province, China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 176, 105618.
- Zhang, T., Su, J., Liu, C., Chen, W. H., Liu, H., & Liu, G. (2017). Band selection in Sentinel-2 satellite for agriculture applications. *2017 23rd international conference on automation and computing*. IEEE.
- Zheng, H., Du, P., Chen, J., Xia, J., Li, E., Xu, Z., Li, X., & Yokoya, N. (2017). Performance evaluation of downscaling Sentinel-2 imagery for land use and land cover classification by spectral-spatial features. *Remote Sensing*, 9(12), 1274.
- Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2012). Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote sensing of environment*, 118, 83-94.
- URL-1: <https://scihub.copernicus.eu/> (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2022).
- URL-2: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/> (Erişim Tarihi: 6 Şubat 2022).
- URL-3: <https://planetarycomputer.microsoft.com/catalog> (Erişim Tarihi: 8 Şubat 2022).
- URL-4: <https://medium.com/sentinel-hub/introducing-eo-learn-ab37f2869f5c> (Erişim Tarihi: 8 Şubat 2022).
- URL-5: <https://github.com/sentinel-hub/eo-learn/> (Erişim Tarihi: 9 Şubat 2022).
- URL-6: <https://eo-learn.readthedocs.io/en/latest/> (Erişim Tarihi: 9 Şubat 2022).
- URL-7: <https://sentinelhub-py.readthedocs.io/en/latest/configure.html#sentinel-hub-configuration> (Erişim Tarihi: 15 Şubat 2022).
- URL-8: <https://github.com/sentinel-hub/sentinelhub-py/> (Erişim Tarihi: 15 Şubat 2022).
- URL-9: <https://github.com/sentinel-hub/sentinel2-cloud-detector> (Erişim Tarihi: 16 Şubat 2022).
- URL-10: <https://medium.com/sentinel-hub/improving-cloud-detection-with-machine-learning-c09dc5d7cf13> (Erişim Tarihi: 16 Şubat 2022).
- URL-11: <https://lightgbm.readthedocs.io/en/latest/index.html> (Erişim Tarihi: 19 Şubat 2022).
- URL-12: <https://www.veribilimiokulu.com/lightgbm/> (Erişim Tarihi: 19 Şubat 2022).

## Toplu taşınmaz değerlemede makine öğrenme algoritmalarının kullanımı ve konumsal/konumsal olmayan özniteliklerin tahmin doğruluğuna etkilerinin karşılaştırılması

Arif Çağdaş Aydınoglu<sup>1\*</sup>, Rabia Bovkır<sup>1</sup>, İsmail Çölkesen<sup>1</sup>

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

**Öz:** Taşınmaz değerinin güncel teknolojik yaklaşımlarla objektif olarak belirlenmesi, etkin ve sürdürülebilir taşınmaz yönetim planlaması kapsamında önemli bir role sahiptir. Toplu taşınmaz değerlendirme, taşınmazların tekil olarak değerlendirilmesi yerine zaman ve maliyet anlamında kayıplarını azaltarak çok sayıda taşınmazı eş zamanlı olarak değerlendirerek değer tespitlerinin yapılması işlemidir. Toplu taşınmaz değerlemede objektif, doğru ve hızlı sonuçlar elde için gelişmiş tahmin yaklaşımları olarak bilinen makine öğrenme tekniklerinin kullanımına başvurulmaktadır. Bu yöntemlerle geliştirilen modeller hem yüksek performans hem de değerlendirme sürecinde objektiflik sağlamaktadır. Ayrıca bu yöntemler ile değeri etkileyen kriterlerin ve kriterlerin önem düzeylerinin bütüncül biçimde değerlendirilmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR), Genelleştirilmiş Doğrusal Model (GDM), Destek Vektör Makineleri (DVM), Karar Ağaçları (KA) ve Rastgele Orman (RO) algoritmaları kullanılarak toplu taşınmaz değerlemedeki model başarıları irdelenmiştir. Veri setleri Konumsal (K), Konumsal Olmayan (KO) ve Konumsal ve Konumsal Olmayan (KKO) olarak 3 gruba ayrılarak modelleme için ayrı ayrı uygulanmıştır. Model performans ölçütleri olarak Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error, MAE), Karesel Ortalama Hata (Root Mean Squared Error, RMSE), Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error, MSE) ve  $R^2$  hesaplanmıştır. Uygulama alanı olarak seçilen İstanbul ili Pendik ilçesi için örnek taşınmaz satış değerlerini temsil eden 1475 örnekleme noktası kullanılarak, 3 farklı veri seti (K, KO, KKO) ve farklı metotlar ile kurulan modellerin performansları irdelenmiştir. Buna göre en yüksek doğrulukta yöntem RO, en düşük doğrulukta yöntemler ise KA ve GDM olduğu görülmüştür. Farklı veri setlerinin model doğruluğuna etkileri irdelendiğinde tek başına K veri seti ile KKO veri setinin kullanımı arasında büyük bir fark görülmemiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Toplu taşınmaz değerlendirme, Makine öğrenme algoritmaları, Kriter analizi, Model tahmin doğruluğu

### Using machine learning algorithms in mass valuation and comparing the effects of geographical/non-geographical features on prediction accuracy

**Abstract:** The objective determination of real estate values with current technological approaches has an important role in effective and sustainable real estate management plans. Mass appraisal is the process of valuing a large number of real estate simultaneously instead of evaluating the real estate individually for reducing the loss in terms of time and cost. Machine learning methods, known as advanced estimation approaches, are used to obtain more objective, accurate and fast results in mass valuation processes. In addition, besides sufficient objectivity and accuracy in value determination, these methods can evaluate the relations between the value and the criteria affecting the value holistically. In this context, model successes in mass valuation were examined using Multiple Linear Regression (MLR), Generalized Linear Model (GLM), Support Vector Machines (SVM), Decision Trees (DT) and Random Forest (RF) algorithms. The datasets were divided into 3 groups as Geographic (G), Non-Geographic (NG) and Geographic + Non-Geographic (GNG) and applied separately for modeling with different methods. Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Squared Error (MSE) and  $R^2$  were calculated for determining the model measures. Pendik district of Istanbul province was chosen as the application area. By applying different methods with 1475 sampling points representing the real estate sales values for the application area, the performances of the models established were examined with 3 different data sets (G, NG, GNG). Accordingly, RF is the method that gives the highest accuracy while DT and GLM were found as the methods with the lowest accuracy. When the effects of different datasets on the model accuracy were examined, big difference was not observed between the use of the G and the GNG datasets.

**Keywords:** Mass valuation, Machine learning algorithms, Criteria analysis, Model prediction accuracy

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Tel: +90 262 605 2061

Geliş Tarihi/Received: 08.04.2022

Kabul Tarihi/Accepted: 24.06.2022



0000-0003-4912-9027, aydinoglu@gtu.edu.tr (Aydınoglu A.Ç.)\*  
0000-0002-9527-1350, rbovkir@gtu.edu.tr (Bovkır R.)  
0000-0001-9670-3023, icolkesen@gtu.edu.tr (Çölkesen İ.)

## 1. Giriş

Sürdürülebilir kalkınma ve gelişimin sağlanmasında, akıllı şehirleşme faaliyetleri ile taşınmaz ve ilişkili tüm bilginin etkin şekilde yönetimi oldukça önemlidir. Taşınmaz mal değerlemesi, akıllı şehirler kapsamında planlı şehirleşmenin yürütülmesi, yerleşme bölgelerinin seçimi, bu bölgeler arasında bağlantı giderlerinin karşılaştırılması, imar planlarının ekonomik olarak değerlendirilebilmesi, yapı iyileştirilmesi, arsa ve arazi düzenlemesi açısından büyük önem taşımaktadır (Karapınar vd., 2008). Taşınmaz değeri için standartlaşmış bir yaklaşım bulunmamasıyla birlikte, kullanma amacı, piyasa koşulları, faiz ve beklenen yarar gibi faktörlerle değerlendirilerek göreceli bir yaklaşım uygulanabilir. 35 nolu Sermaye Piyasası Mevzuatı'na göre taşınmaz değerlendirme bir taşınmazın, taşınmaz projesinin veya bir taşınmaza bağlı hak ve faydaların, belli bir tarihteki muhtemel değerinin bağımsız ve tarafsız olarak takdirini ifade eder (Resmi Gazete, 2001). Değerlemeye konu olan taşınmaza ilişkin nitelik, fayda, çevre, kullanım koşulları gibi faktörler değerlendirilerek söz konusu taşınmazın değeri tespit edilir. Vergilendirme, kamulaştırma, özelleştirme, devletleştirme, sigortacılık ve bankacılık gibi uygulamalarda aktif olarak kullanılmakta olan taşınmaz değerlendirme, ülkemizde ve dünyada son zamanlarda ciddi bir önem arz etmeye başlamıştır (Bovkır & Aydınoglu, 2018; Demetriou, 2016; Güneş & Yıldız, 2015, 2016; Yalpir, 2007).

Taşınmaz değerinin saptanması için matematiksel olarak objektif ve standartlaşmış bir teknik olmadığından değer; kullanma amacı, piyasa koşulları, faiz ve beklenen yarar gibi faktörlerle değerlendirilerek oluşturulur (Aydınoglu, Çölkese, Şenbil, Bovkır, & Yomrahoğlu, 2020; Güngör, 1999; Karapınar vd., 2008; Şişman, 2021; Yalpir, 2007). Söz konusu nedenlerden ötürü değer göreceli bir kavramdır. Değerlemeye konu toprak ise üstündeki taşınmaz (bina) ve toprağın konumu ile değişen imar koşulları; eğer değerlendirme konusu bina ise kurulu olduğu toprağın durumu ile binanın özellikleri bu değerde rol oynamaktadır (Arslan, 1997). Taşınmazların değerlendirilmesi için birçok yöntem kullanılsa da karşılaştırma (emsal), gelir ve maliyet yöntemleri en çok bilinen ve kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemlerin dışında stokastik yöntemler olarak adlandırılan ve genel anlamda olasılık ve istatistiksel yöntemlere dayanan nominal değerlendirme yöntemi, yapay zekâ ve makine öğrenme tekniklerine dayanan bulanık mantık, yapay sinir ağları, karar ağaçları (KA) ve rastgele orman (RO) gibi gelişmiş tahmin yöntemleri de kullanılabilmektedir (Aydınoglu vd., 2020; Candaş, 2012; Şişman, 2021; Ünel & Yalpir, 2019; Yalpir, 2007).

Toplu değerlendirme, birden fazla taşınmazın grup halinde eş zamanlı olarak istatistiksel yöntemler ve testler kullanılarak değerlendirme süreci olarak tanımlanabilir (IAAO, 2013). Taşınmazların toplu olarak hızlı, objektif ve doğru olarak değerlendirilmesi, kentsel dönüşüm, vergilendirme, kamulaştırma, imar uygulamaları, kredilendirme, sigortacılık ve arazi kullanım planlama gibi birçok uygulama için oldukça önem arz etmektedir (Aydınoglu vd., 2020; Dawidowicz & Żróbek, 2017). Bu nedenle toplu taşınmaz değerlemede ileri istatistiksel yöntemler ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak taşınmazlara ait tüm bilgiler, daha doğru ve şeffaf sonuçlar elde etmek için bütünlük olarak hızlı bir şekilde analiz edilip yorumlanabilir (Güneş & Yıldız, 2015; Hong, Choi, & Kim, 2020). Toplu taşınmaz değerlendirme konusunun öneminin artması ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM), Tapu ve Kadastro Modernizasyonu Projesi kapsamında Dünya Bankası'nın (World Bank) desteği ile pilot projeler başlatmıştır (Güneş & Yıldız, 2015, 2016). 2018 yılında TKGM bünyesinde Taşınmaz Değerleme Dairesi Başkanlığı, taşınmaz değerlendirme işinin ülke genelinde standartlaştırılması ve ulusal değer veri tabanı oluşturulması kapsamında "Toplu Değerleme Sistemi" kurularak değerlemeye ait bilgi ve işlemleri tek bir merkezden yönetmeyi amaçlamıştır (Resmi Gazete, 2018).

Değerleme sürecinde taşınmazın fiziksel ve yasal özelliklerinin yanı sıra, bulunduğu bölgenin eğimi ve bakışı gibi topoğrafik özellikleri, cazibe merkezlerine ve kamu hizmeti alınabilecek merkezlere olan mesafeleri, taşınmazın bulunduğu çevredeki nüfus yoğunluğu ve mevcut sosyo-kültürel yapılar bir arada analiz edilip değerlendirilerek değer tespitinin yapılması büyük

önem arz etmektedir (Kara, van Oosterom, Çağdaş, Işıkdağ, & Lemmen, 2020; Şişman, 2021; The Appraisal Institute, 2001; Yazıcı, 1997). Bu kapsamda ele alındığında taşınmaz değerlendirme işleminin başarısı, söz konusu faktörlerin objektif bir şekilde değerlendirilmesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu amaca yönelik olarak geleneksel değerlendirme yaklaşımları (örneğin, emsal yöntemi, gelir yöntemi ve maliyet yöntemi) yerine son yıllarda gelişmiş tahmin yaklaşımları olarak bilinen ve makine öğrenmesi esasına dayanan destek vektör makineleri (DVM), KA, hibrit sınıflandırma modelleri (örneğin, fonksiyonel model ağaçlar ve lojistik model ağaçlar) ve toplu öğrenme algoritmaları (örneğin, RO ve rotasyon orman) kullanılmaktadır (Aydinođlu vd., 2020; Ćeh, Kilibarda, Lisec, & Bajat, 2018; Dimopoulos & Moulas, 2016; Manasa, Gupta, & Narahari, 2020; Mayer, Bourassa, Hoesli, & Scognamiglio, 2019; Wang X., Wen, Zhang, & Wang Y., 2014; Yalpr, 2018). Bu algoritmaların genel çalışma prensibi, bilinen örnek veriler ile karmaşık veri setlerinin modellenerek tahmin modeli oluşturularak tahminlerin yapılmasıdır. Özellikle toplu taşınmaz değerlemede birden fazla taşınmazın grup halinde eş zamanlı olarak irdelenmesi için ileri istatistiksel ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak taşınmazlara ait tüm bilgiler daha doğru ve şeffaf sonuçlarla elde edilebilir.

Bu çalışmada, toplu taşınmaz değerlemede farklı makine öğrenme algoritmalarının kullanımı ve tahmin doğruluklarının incelenerek uygulamalara entegre edilebilir en başarılı yöntemin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca taşınmaz değer tespitinde konumsal ve konumsal olmayan özniteliklerin tahmin doğruluğuna olan etkileri de analiz edilecektir. Bu kapsamda ikinci bölümde çalışmada kullanılacak taşınmaz değer kriterleri ve makine öğrenme algoritmaları açıklanmıştır. Üçüncü bölümde çalışma alanı ve veri setleri, performans ve doğruluk ölçütleri açıklanarak 5 farklı makine öğrenmesi algoritma modeline ait hata ölçütleri listelenmiştir. Son bölümde ise bulgular ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

## 2. Yöntem

### 2.1 Taşınmaz Kriterlerinin Belirlenmesi

Başarılı bir toplu taşınmaz değerlendirme işlemi için değere etki eden tüm yasal ve tematik faktörlerin belirlenmesi ve değerlendirme sürecine dâhil edilmesi gerekmektedir. Bir taşınmazın değeri yerel veya ülke düzeyinde yasal faktörlerden, fiziksel faktörlerden, ekonomik ve sosyal faktörlerden etkilenebilmektedir (Candaş, 2012). Bu kapsamda taşınmaz değerine etki eden en önemli ve uygulamalarda en sık kullanılan faktörleri belirlemek amacıyla konu ile ilgili yayınlanmış ulusal ve uluslararası standart dokümanları olan Avrupa Değerleme Standartları (TEGoVA, 2016), Uluslararası Değerleme Standartları (IVSC, 2020), Taşınmaz Değerleme – Evrensel Standartları (RICS, 2017), Toplu Değerleme Standardı (IAAO, 2013), Türkiye Değerleme Standardı (TDUB, 2017) ve konu ile ilgili mevzuat (SPK, 2006; TKGM, 2011) ile birlikte yayınlanmış akademik çalışmalar ve projeler incelenmiştir (Antipov & Pokryshevskaya, 2012; Candaş, 2012; Chen, Ong, Zheng, & Hsu, 2017; Dimopoulos & Bakas, 2019; Ünel & Yalpr, 2019; Yalpr & Bünyan Ünel, 2016; Yilmazer & Kocaman, 2020; Yomralođlu, 1993). Literatür araştırmasına göre erişilebilir veriler dikkate alınarak belirlenen kriterler Tablo 1’de gruplanarak listelenmiştir.

### 2.2 İleri İstatistik ve Makine Öğrenme Algoritmaları ile Taşınmaz Değerlemesi

Toplu taşınmaz değerlendirme kapsamında literatür incelendiğinde değerlendirme birçok istatistik tabanlı yöntemler ve makine öğrenmesi tekniğinin kullanıldığı görülmektedir. Bunlar arasında, Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) analizleri (Božić, Milićević, Pejić, & Marošan, 2013; Güneş & Yıldız, 2015; Şişman, Akar, & Yalpr, 2021; Yalpr & Özkan, 2008; Yalpr, Durduran, Bünyan Ünel, & Yolcu, 2014; Yalpr, Şişman, Akar, & Bünyan Ünel, 2021), DVM (Bulut Nas, 2011; Kontrimas & Verikas, 2011), KA (Reyes-Bueno, García-Samaniego, & Sánchez-Rodríguez, 2018) ve RO (Aydinođlu, Bovkır, & Çölkesen, 2021; Lasota, Łuczak, Niemczyk, Olszewski, & Trawiński, 2013, Şişman, 2021) algoritmalarının regresyon analizlerinde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bu kapsamda çalışmada ÇDR, Genelleştirilmiş Doğrusal Model (GDM),

DVM, KA ve RO algoritmaları kullanılarak toplu taşınmaz değerlemedeki model başarıları irdelenmiştir.

**Tablo 1: Taşınmaz değer kriterleri**

Parsel Özellikleri	Çevresel Özellikler	Bağımsız Bölüm Özellikleri
• Alan	• Kamu Hizmetlerine (eğitim, sağlık, resmi ve idari tesisler vb.) Mesafeler	• Yaşam Alanı
• Pozisyon (Köşe, Orta, Ön)	• İlgi Noktalarına (AVM, çarşı, kültür ve spor tesisleri vb.) Mesafeler	• Yapım Yılı
• İmar Durumu	• Zararlı Alanlara (sanayi, arıtma, atık, akaryakıt tesisleri vb.) Mesafeler	• Kat Sayısı
• Planlama	• Yeşil Alanlara Mesafeler	• Oda Sayısı
• Yasal Hak/ Kısıtlama/ Sorumluluklar	• Ulaşım/Toplu Taşıma İmkânları	• Isıtma Sistemi
• Mülkiyet Durumu	• Sosyo-Ekonomik (nüfus yoğunluğu, eğitim durumu, gelir vb.) Özellikler	• Kullanım Türü
• Topografik Özellikler	• Gürültü Durumu	• Yapı Türü/Malzemesi
• Vergi		• Mevcut Araçlar (balkon, asansör, garaj, havuz vb.)
		• Manzara

### 2.2.1 Çoklu Doğrusal Regresyon

Bir hedef değişkenle o değişkeni tanımlayan diğer değişkenler arasındaki ilişkinin modellenmesi, tüm istatistiksel teknikler içerisinde kullanılan en yaygın tekniktir. Regresyon analizi genel olarak, bağımsız değişken veya değişkenler ( $x$ ) ile bağımlı değişken ( $y$ ) arasındaki ilişkinin matematiksel bir fonksiyonu şeklinde tanımlanmaktadır. Regresyon modeli, kullanıcıya bağımlı değişken ve bu değişkeni açıklayan bağımsız değişkenlerden hangisinin hedef değişken üzerinde bir etkiye sahip olduğunu belirlemesine izin veren fonksiyonel bir ilişki kurmaktadır (Ott & Longnecker, 2010). Diğer bir ifadeyle, regresyon analizine konu olan bağımsız değişkenlerin bağımlı değişken ile birlikte ele alındığı model olarak ifade edilebilir. ÇDR analizi iki ya da daha fazla sayıdaki bağımsız değişken ile bağımlı değişkenin varyansının açıklanmasını esas alan istatistiksel bir yöntemdir. Matematiksel olarak ÇDR denklemi aşağıda verilen Eşitlik 1 ile ifade edilebilir.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (1)$$

Bu eşitlikte,  $n$  bağımsız değişken sayısını,  $y$  bağımlı değişkeni,  $\beta_0$  sabit değeri,  $x$  bağımsız değişkeni,  $\beta_i$  bağımsız değişkenlerin regresyon katsayılarını ve  $\varepsilon$  regresyon modelindeki hata varyansını ifade etmektedir.

### 2.2.2 Genelleştirilmiş Doğrusal Modeller

GDM klasik doğrusal regresyon modelinin gelişmiş bir hali olarak ifade edilebilir. Klasik doğrusal regresyon modeli, bağımlı değişkenin bağımsız değişkenlerin doğrusal bir fonksiyonu olduğunu ve bağımlı değişkenin sürekli ve sabit varyansa sahip normal dağılımda olduğu kabulüne dayanmaktadır (Dobson & Barnett, 2008). Ancak uygulamaların birçoğunda bağımlı değişkenler normal dağılımda olmayıp, varyansları da değişkenlik gösterebilmektedir. Bu problemin üstesinden gelebilmek için Nelder ve Wedderburn (1972), bağımlı değişkenlerin normal dağılımda olmadığı regresyon modelleri için GDM'yi ortaya atmışlardır. GDM, lojistik ve poisson regresyon modelleri kullanıldığında, olasılık dağılımı ile ortalama ve varyans arasındaki ilişkiyi ve regresyon parametrelerinin tahmin edilmesini esas almaktadır (Dobson & Barnett, 2008). GDM, bir bağımlı değişkenin koşullu ortalamasının bir fonksiyonunu, bir bağımsız değişkenler dizisinin doğrusal bir fonksiyonu olarak tahmin etmeyi içerir. Bu nedenle genelleştirilmiş modeller bağımlı değişkenin ortalamasının regresyon parametrelerinin doğrusal olmayan bir fonksiyonu olduğu ve normal dağılım göstermediği veri setleri ile çalışılmasına imkân sağlamaktadır. İlişki fonksiyonu ve hata dağılımı, GDM ile regresyon modeli oluşumunda iki temel bileşendir. İlişki fonksiyonu, bağımlı



değişkenin ortalamasını regresyon parametrelerinin doğrusal bir fonksiyonu olacak şekilde dönüşümüne imkân sağlamaktadır. Diğer taraftan, hata dağılımı bağımlı değişkenin varyansının kendi ortalamasının bir fonksiyonu olmasını sağlar.

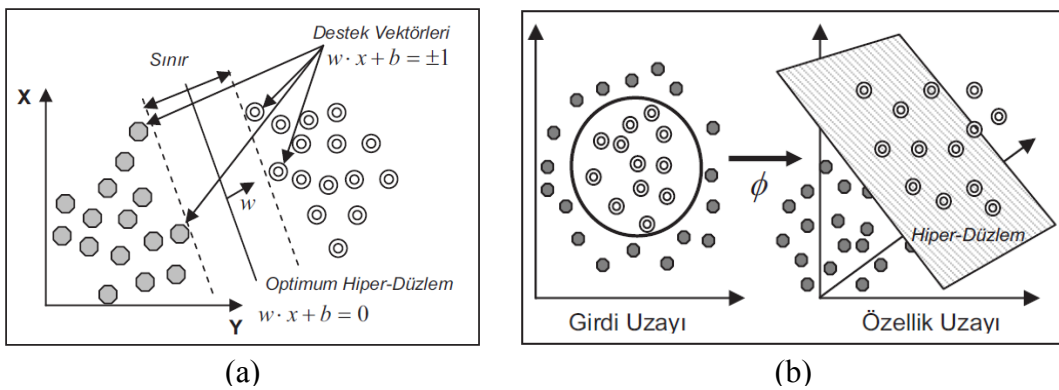
### 2.2.3 Destek Vektör Makineleri

DVM algoritması, istatistiksel öğrenme teorisine dayalı bir kontrollü sınıflandırma ve regresyon algoritmasıdır (Boser, Guyon, & Vapnik, 1992; Cortes & Vapnik, 1995; Vapnik, 1982). DVM'nin sahip olduğu matematiksel algoritmalar başlangıçta iki sınıflı doğrusal verilerin sınıflandırılması problemi için tasarlanmış daha sonra kullanılan algoritmalar doğrusal olmayan verilerin ve çok sınıflı verilerin sınıflandırılması problemlerinin çözümü için genelleştirilmiştir. Veri setindeki benzer özellikteki örnekler sonsuz sayıda düzlem ile birbirinden ayrılabilir. DVM'deki amaç ise Şekil 1a'da gösterildiği gibi veri kümelerini ayıran düzlemlerden Eşitlik 2'deki formülü kullanarak maksimum sınıra sahip olan hiper düzlemi bulmaktır.

$$f(x) = \langle w, x \rangle + b \quad (2)$$

Eşitlik 2'de  $x \in R^N$  olup  $N$ -boyutlu bir uzayı,  $w$  ağırlık vektörünü (hiper düzlemin normali) ve  $b$  eğilim değerini göstermektedir (Kavzoğlu & Çölkesen, 2010; Osuna, Freund, & Girosi, 1997). Veri setinin en uç kısmında yer alan ve hiper düzlemi belirleyen örnekler destek vektörleri olarak adlandırılmaktadır. Destek vektörlerinin belirlenmesi için karar sınırlarının oluşturulması yeterli olduğundan, veri setindeki örnek sayısının az olması durumunda da DVM algoritması başarılı sonuçlar verebilmektedir.

Günlük hayatta kullanılan veriler genellikle doğrusal olmadığı için bu tip verilerde DVM sınıflandırıcısının kullanılabilmesi için kernel (çekirdek) fonksiyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Doğrusal özellik göstermeyen veriler kernel fonksiyonları kullanılarak yüksek boyutlu özellik uzayına dönüştürülür (Şekil 1b). Literatürde kernel fonksiyonu olarak doğrusal (linear), polinom (polynomial), radyal tabanlı (RBF) ve sigmoid kernelleri yaygın şekilde uygulanmaktadır (Kavzoğlu & Çölkesen, 2010).

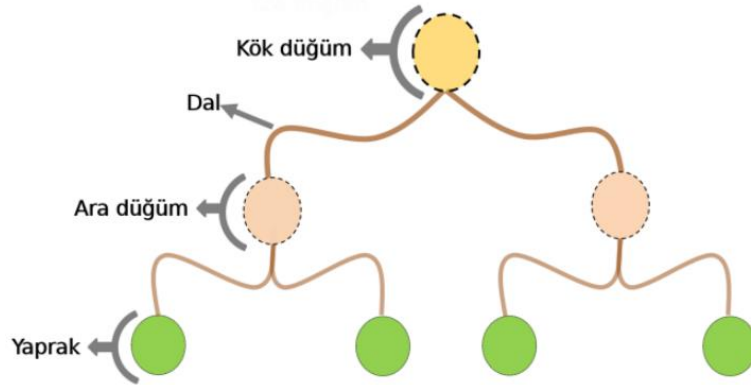


**Şekil 1:** Destek vektörleri algoritmasının temel çalışma prensibi (a) doğrusal olarak ayrılabilen veri setleri için hiper-düzlemin belirlenmesi ve (b) doğrusal olmayan veri setleri için kernel fonksiyonu ile hiper-düzlemin belirlenmesi (Kavzoğlu & Çölkesen, 2010)

### 2.2.4 Karar Ağaçları

KA, yaygın kullanımı olan sınıflandırma ve regresyon algoritmalarından birisidir. Bu yöntemin yaygın olarak kullanımının nedeni, ağaç yapılarının oluşturulmasında kullanılan kuralların anlaşılabilir ve sade olmasıdır. Bir ağaç yapısı düğüm, dal ve yaprak olarak adlandırılan üç temel kısımdan oluşur (Şekil 2). Bu ağaç yapısında her bir öznelik bir düğüm tarafından temsil edilir. Dallar ve yapraklar ağaç yapısının diğer elemanlarıdır. Ağaçta en son kısım yaprak, en üst kısım kök ve bu kısımlar arasında kalan kısımlar ise dal olarak ifade edilir (Quinlan & Cameron-Jones, 1995). Karar ağacındaki her bir düğüm sadece

bir ana düğüme ve iki veya daha fazla alt düğüme sahiptir. Karar ağaçları ile sınıflandırma problemlerinde veri setine ait sınıf sayısı iki olduğunda ikili sınıflandırıcılar, sınıf sayısı ikiden fazla olması durumunda ise çoklu sınıflandırıcılar söz konusudur. Çoklu sınıflandırıcılar arasında CART (Classification and Regression Tree) (Breiman, Friedman, Olshen, & Stone, 1984; Breiman, 1996, Çölkesen & Kavzoğlu, 2017) algoritması örnek olarak verilebilir ve bu algoritma hem sınıflandırma hem de regresyon amaçlı kullanılabilir.



Şekil 2: Karar ağacı algoritmasının temel yapısı (Çölkesen & Kavzoğlu, 2017)

### 2.2.5 Rastgele Orman

RO algoritması, temel sınıflandırıcı olarak eğitim aşamasında birden çok karar ağacını kullanmakta ve bu yapıyla karar ormanı olarak tanımlanabilmektedir (Breiman, 2001). Temel çalışma prensibi Şekil 3'te ifade edilen RO algoritması, ormandaki her bir karar ağacının eğitimi için orijinal eğitim veri seti içerisinde rastgele alt kümeler oluşturur. Söz konusu alt kümelerin 2/3'ü karar ağacı yapısını oluşturmak için kullanılırken, diğer kısmı *out-of-bag* (OOB) olarak bilinen veri setidir ve ağaç yapısının tahmin geçerliliğini test etmek için kullanılır. Ormandaki her bir karar ağacı sınıflandırma sonucu bir oy alır ve orman içerisindeki tüm ağaçlardan en çok oy alan (en düşük hata oranına sahip) belirlenerek sınıflandırmaya esas ağaç yapısı tespit edilir. Sınıf etiketi bilinmeyen herhangi bir örnek, tüm ağaç tahminlerinde en fazla oy alan sınıfa atanması suretiyle sınıflandırılır.

RO algoritması, karar ağacı oluşumunda dallanma için öznelitliklerin seçiminde Gini indeksi yöntemini kullanır. RO algoritması ile toplu öğrenme modeli oluşumunda kullanıcı tarafından belirlenen iki temel parametre mevcuttur. Bunlar her bir düğüme kullanılacak örneklerin sayısı ( $t$ ) ve oluşturulacak ağaç sayısıdır ( $n$ ). RO algoritması, her bir düğümden en iyi dallanma için sadece seçilen özellikleri dikkate alır. RO sınıflandırıcısı bu  $n$  sayıda ağaçtan elde edilen  $n$  sayıda oy arasından en fazla oya sahip olan sınıfı seçer ve bu şekilde yeni veri setine ait sınıf etiketini belirler (Kavzoğlu & Çölkesen, 2013; Pal, 2005).

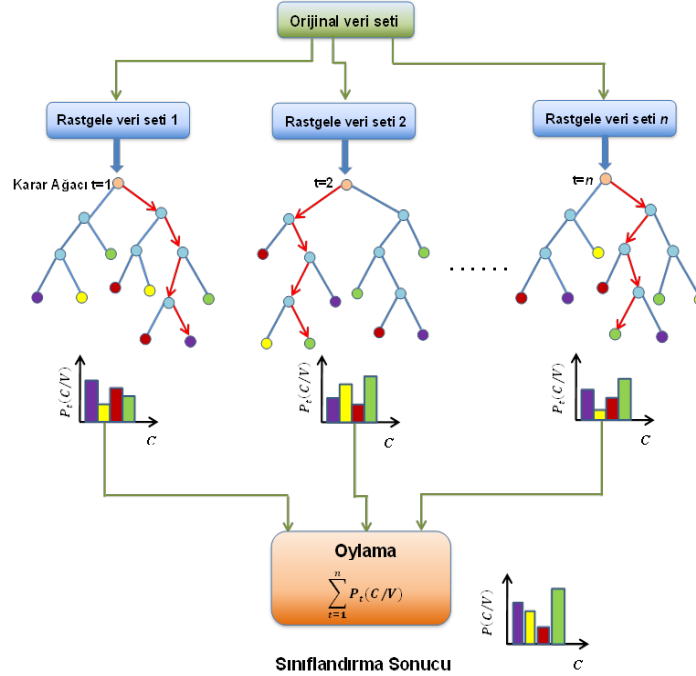
### 2.3 Korelasyon Katsayısı

Korelasyon katsayısı ( $CorC$ ), örnekler için bilinen taşınmaz değerleri ile tahmin edilen taşınmaz değerleri arasındaki istatistiksel korelasyonu ölçer, diğer bir ifadeyle değerler arasında doğrusal bir ilişkinin olup olmadığının bir göstergesidir.  $CorC$ , Eşitlik 3 yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$CorC = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(A_i - \bar{A})}{n-1}}{\sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}\right) \left(\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2}{n-1}\right)}} \quad (3)$$

Eşitlik 3'te,  $A_i$  örnek taşınmaza ait bilinen değeri,  $\bar{A}$  bilinen değerlerin ortalamasını,  $P_i$  örnek taşınmaza ilişkin tahmin edilen

değeri,  $\bar{P}$  tahmin edilen değerlerin ortalamasını ve  $n$  örnek sayısını ifade etmektedir. Hesaplanan değer tam bir korelasyon olduğunda yani doğrusal bir ilişki olduğunda 1 değerini alırken, korelasyon olmadığında ise 0 değerini almaktadır. Katsayı değerinin -1 ile 0 arasında değer alması, model tahmin değerleri ile gerçek satış değerleri arasında negatif yönde ilişki olduğunu göstermektedir. Bu ölçüt taşınmazların değer tahmininin mahalle bazında değerlendirilmesi aşamasında kullanılmıştır.



Şekil 3: RO algoritmasının temel çalışma prensibi (Çölkesen 2015)

## 2.4 Performans Analizi ve Doğruluk Ölçütleri

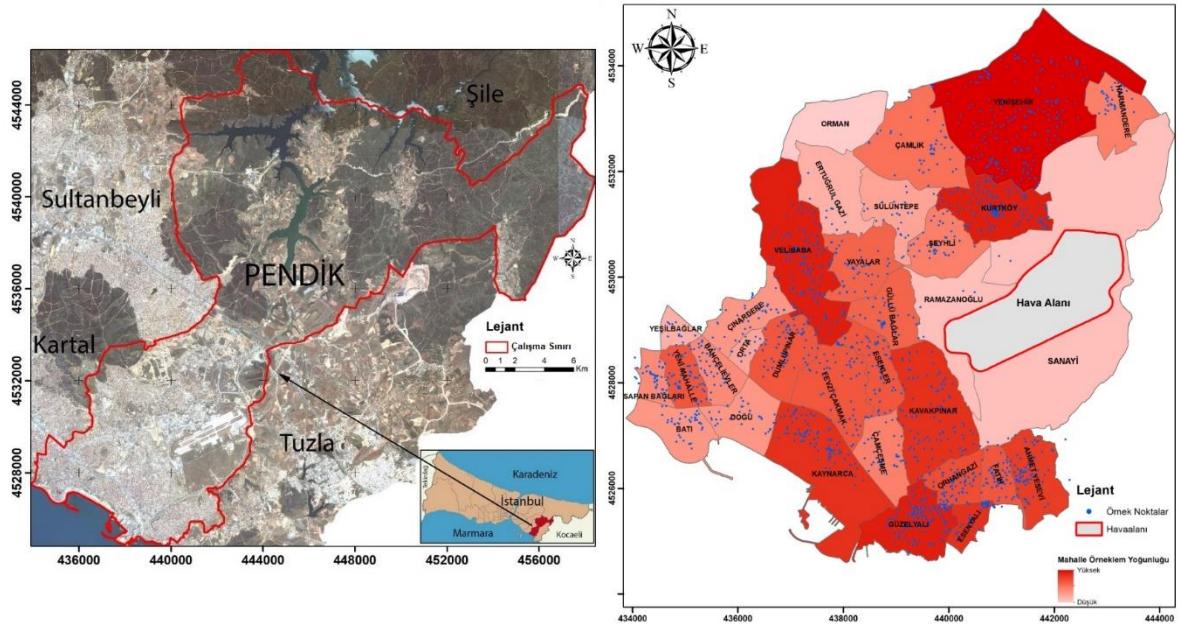
Çalışma kapsamında toplu taşınmaz değerlerinin tespitinde kullanılan tahmin algoritmalarının performans analizi ve tahmin doğruluğunun değerlendirilmesinde Tablo 2’de temel eşitlikleri verilen ortalama mutlak hata (Mean Absolute Error, MAE), karesel ortalama hata (Root Mean Squared Error, RMSE), ortalama karesel hata (Mean Squared Error, MSE) ve  $R^2$  ölçütleri değerlendirmeye alınmıştır. Tablodaki eşitliklerde  $n$  örnek sayısını,  $y$  tahmin edilen değeri ve  $\hat{y}$  bilinen değeri ifade etmektedir. MAE, bilinen taşınmaz değerleri ile tahmin edilen değerlerin farklarının dikkate alındığı bir hata metriğidir. MAE’nin sıfıra yakın değer alması tahmin edilen ve gerçek değerlerin birbirine çok yakın olduğunu, yani regresyon modelinin başarılı olduğunu bir göstergesidir. RMSE ölçütü ise tahmin ve bilinen değerler arasındaki farkların karelerinin ortalamasının karekökü alınarak hesaplanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, RMSE tahmin hatalarının standart sapmasıdır. RMSE hatasının sıfıra yakın çıkması modelin tahmin gücünün yüksek olduğunu göstermektedir. MSE, regresyon eğrisinin bir dizi noktaya ne kadar yakın olduğunu belirten bu doğruluk ölçütü olup, algoritmanın performansını ölçer ve her zaman pozitif değer alır. Aldığı değerlerin sıfıra yakın olması algoritmanın iyi performans sergilediğinin bir göstergesidir.  $R^2$ , açıklanabilen varyasyonun toplam varyasyona oranı şeklinde ifade edilen bir ölçüt olup, 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Hesaplanan değerlerin yüksek olması regresyon modelinin performansının iyi olduğu anlamına gelmektedir. Veri sayısı arttıkça  $R^2$ ’nin güvenilirliği artmaktadır.

Tablo 2: Performans analizinde kullanılan ölçütler ve temel eşitlikleri

Doğruluk Ölçütü	Temel Eşitlik
Ortalama Mutlak Hata (MAE)	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  y_i - \hat{y}_i $
Karesel Ortalama Hata (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$
Ortalama Karesel Hata (MSE)	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$
R <sup>2</sup> Ölçütü	$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$

### 3. Uygulama: Çalışma Alanı ve Veri Setleri

Çalışma alanı olarak İstanbul ilinin Pendik ilçesi seçilmiştir. Pendik ilçesi doğuda Tuzla, batıda Kartal ve Sultanbeyli, kuzeyde Şile, güneyde Marmara Denizi'ne komşudur (Şekil 4). 7.5 km'lik kıyı şeridine ve 190 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahiptir. Bölgenin geniş yüzölçümü ve kentsel-kırsal farklılıklara sahip olması uygulama alanı olarak seçilmesinin en büyük nedenidir. Çalışma kapsamında ilçe sınırları içerisindeki 36 mahalle kontrol noktası olarak kullanılabilir taşınmazlar açısından analiz edilmiştir. Çalışma alanında E-80 otoyolunun kuzeyinde bazı mahallelerde kullanılabilir uygun taşınmaz bulunamadığından çalışma alanı kapsamına alınmamıştır (Şekil 4).



Şekil 4: Çalışma alanı (sol) ve örneklem dağılımı (sağ)

Çalışmada toplu taşınmaz değerlemede farklı algoritma doğruluklarının incelenmesinin yanında, değer tespitinde konumsal ve konumsal olmayan özniteliklerin tahmin doğruluğuna etkilerinin incelenmesi amacıyla 3 farklı veri seti oluşturulmuştur. 116Y204 nolu TÜBİTAK araştırma projesi kapsamında Tablo 3'teki CBS analizleriyle oluşturulan 21 öznitelikten oluşan konumsal (K), 13 öznitelikten oluşan konumsal olmayan (KO) ve bütün özniteliklerin kullanıldığı ve toplamda 34

öznitelikten oluşan konumsal ve konumsal olmayan (KKO) öznitelik veri setleri modelleme için kullanılmıştır. Konumsal öznitelikler, kriterleri temsil eden ve ulaşım, sosyo-kültürel, kamu hizmetleri ve kullanım koşullarını temsil eden coğrafi veri altlıklarının coğrafi analizi sonucu elde edilmiştir:

- **İlgi noktalarının (POI) oluşturulması:** Çokgen (polygon) geometride tanımlanan eğitim, sağlık, kültürel, dini, idari, alışveriş, altyapı tesisleri; otopark, sanayi, mezarlık, yeşil alanlar ve nüfus yoğunluğu ve eğitim düzeyi verilerinin nokta (point) geometrisindeki ilgi noktalarına (POI) dönüştürülmesi ile oluşturulur.
- **Tematik yüzeylerin elde edilmesi:** Tematik yüzeylerin oluşturulması için Sayısal Arazi Modeli (SAM) kullanılarak eğim ve bakı analizleri; nüfus ve eğitim düzeyini temsil eden yüzeylerin oluşturulabilmesi için yoğunluk analizi ve diğer tüm tematik yüzeylerin oluşturulabilmesi için de Öklid Mesafe analizi (Euclidean Distance) kullanılmıştır.

Konumsal olmayan öznitelik bilgileri, Pendik ilçe genelinde satışta olan ve güncel satış değerleri mevcut konutlardan elimine edilerek oluşturulan 1475 örnekleme noktası için mevcuttur. Tespit edilen örnek noktalar, Şekil 4’te görüleceği üzere ilçe genelinde tahmin modelinin beklenen doğruluğunun artırılması amacıyla tüm çalışma alanına dağılacak şekilde tespit edilmiştir. 1475 adet örnekten 1032 tanesi tekrarlama olmaksızın rastgele seçilerek eğitim verisi olarak kullanılmış ve 3 ayrı tahmin modeli oluşturulmuştur. Geriye kalan 443 tane örnek ise oluşturulan tahmin modellerinin performanslarının değerlendirilmesi amacıyla doğrulama verisi olarak kullanılmıştır. Veri setlerinin içerdikleri öznitelikler Tablo 3’te yer almaktadır.

**Tablo 3:** Taşınmaz değerlendirme modellerinde kullanılan özellikler

K	KO	KKO	Özellik	K	KO	KKO	Özellik
○	●	●	Cephe Yönü	●	○	●	Dini Tesislere Uzaklık
○	●	●	Isıtma	●	○	●	Eğitim
○	●	●	Otopark Alanı	●	○	●	Eğitim Durumu
○	●	●	Manzara	●	○	●	Havaalanına Uzaklık
○	●	●	Site İçi	●	○	●	İdari Tesislere Uzaklık
○	●	●	Toplam Kat	●	○	●	Kültürel Tesislere Uzaklık
○	●	●	Bulunduğu Kat	●	○	●	Metroya Uzaklık
○	●	●	Banyo Sayısı	●	○	●	Mezarlığa Uzaklık
○	●	●	Yaş	●	○	●	Nüfus Yoğunluğu
○	●	●	Oda Sayısı	●	○	●	Okuma Yazma Oranı
○	●	●	Durum	●	○	●	Otobüs Durağına Uzaklık
○	●	●	Asansör	●	○	●	Otoparka Uzaklık
○	●	●	Taşınmaz Alanı	●	○	●	Otoyola Uzaklık
●	○	●	Alışveriş Merkezine Uzaklık	●	○	●	Sağlık Tesislerine Uzaklık
●	○	●	Altyapı Tesislerine Uzaklık	●	○	●	Sanayiye Uzaklık
●	○	●	Bakı	●	○	●	Üniversite Mezunu Yoğunluğu
●	○	●	Caddeye Uzaklık	●	○	●	Yeşil Alanlara Uzaklık

## 4. Bulgular ve İrdeleme

### 4.1 Toplu Taşınmaz Değerlerinin Tespiti

#### 4.1.1 ÇDR Algoritması

Taşınmaz değerlemede ÇDR modeli R yazılımında “lm” fonksiyonu kullanılarak kurulmuştur. ÇDR modeline ilişkin sabit (intercept) ve öznelik katsayıları (coefficient), standart hatalar, student-t istatistik değerleri ve bu istatistik değerlere karşılık gelen p değerleri hesaplanmıştır. Ele alınan 3 eğitim veri seti ile oluşturulan ÇDR modelleri test veri setine uygulandığında, değerlendirmeye alınan farklı hata ölçütleri için hesaplanan istatistiki değerler Tablo 4’te verilmiştir. K veri setinin kullanılması durumunda, diğer veri setleri ile oluşturulan modellere göre daha düşük hata değerlerinin elde edildiği ve en yüksek doğruluğa ulaşıldığı görülmüştür. KKO veri seti ile  $R^2$  ölçütü en yüksek değerler alırken, bu değerler K veri seti ile oluşturulan modele oldukça yakındır. Elde edilen sonuçlar bir arada ele alındığında, konumsal özelliklerin yanında konumsal olmayan özelliklerin kullanılması çoklu doğrusal regresyon algoritmasının performansında önemli derecede bir iyileşme ortaya çıkarmamıştır. ÇDR algoritmasında modelin kurulması ve test tahmin süresi karşılaştırıldığında K ve KO veri seti için 0.01 saniye, KKO veri seti için 0.03 saniye olduğu görülmüştür. Bu yaklaşım ÇDR algoritmasının işlem süresi açısından kullanılabilirliğini destekler niteliktedir.

**Tablo 4:** ÇDR algoritmasıyla elde edilen hata ölçütleri

Veri	MAE	RMSE	MSE	$R^2$
K	<b>0.1012</b>	<b>0.1300</b>	<b>0.0169</b>	0.2151
KO	0.1105	0.1422	0.0202	0.0116
KKO	0.1029	0.1317	0.0173	<b>0.2344</b>

#### 4.1.2 GDM Algoritması

R programlama yazılımında GDM yardımıyla taşınmaz değer tespitinde geliştirilmiş lineer model “glm” fonksiyonu kullanılmıştır. Söz konusu fonksiyonun uygulanmasında ve model oluşumunda bağımsız değişkenin dağılımı “quasibinomial” ve ilişki fonksiyonu olarak “logit” fonksiyonu kullanılmıştır. Logit fonksiyonunu ilişki fonksiyonu olarak kullanan binomial dağılımda bağımsız değişken 0 ve 1 değerleri alırken, quasibinomial dağılımda 0 ile 1 aralığında değerler alır. Binom ve quasibinomial modeller arasındaki temel farklardan en önemlisi, quasibinomial dağılım bağımsız değişkende varyansın çok farklı olduğu durumlarda tercih edilmesidir (Plant, 2012). GDM ile model oluşumunda tüm değişkenler modele dahil edilmiştir. GDM modeline ilişkin sabit ve öznelik katsayıları, standart hatalar, student-t istatistik değerleri ve bu istatistik değerlere karşılık gelen p değerleri hesaplanmıştır.

Ele alınan 3 eğitim veri seti ile oluşturulan GDM regresyon modelleri test veri setine uygulandığında, değerlendirmeye alınan hata ölçütleri için hesaplanan sonuçlar Tablo 5’te verilmiştir. K veri setinin kullanılması durumunda, hesaplanan ölçütlerde oluşturulan modelle diğer veri setleri ile oluşturulan modellere göre daha düşük hata değerlerinin elde edildiği ve en yüksek doğruluğu verdiği görülmüştür. KKO veri seti ile  $R^2$  ölçütü en yüksek değerler alırken, bu değerler K veri seti ile oluşturulan modele oldukça yakındır. Elde edilen sonuçlar bir arada ele alındığında, ÇDR ile elde edilen sonuçlara paralel olarak, konumsal özelliklerin yanında konumsal olmayan özelliklerin kullanılması GDM algoritmasının performansında önemli derecede bir iyileşme ortaya çıkarmamıştır. GDM algoritmasında modelin kurulması ve test tahmin süresi karşılaştırıldığında K ve KKO veri seti için 0.05 saniye; KO veri seti için 0.03 saniye olduğu görülmüştür. Bu yaklaşım GDM algoritmasının işlem süresi açısından kullanılabilirliğini destekler niteliktedir.

**Tablo 5:** GDM algoritmasıyla elde edilen hata ölçütleri

Veri	MAE	RMSE	MSE	R <sup>2</sup>
K	<b>0.1013</b>	<b>0.1300</b>	<b>0.0169</b>	0.2152
KO	0.1104	0.1422	0.0202	0.0116
KKO	0.1028	0.1316	0.0173	<b>0.2349</b>

#### 4.1.3 DVM Algoritması

Taşınmaz değerlendirilmede DVM modellerinin R yazılımında kurulmasında “LibSVM” tabanlı “e1071” kütüphanesi ve “epsilon regression” modeli kullanılmıştır. Parametrelerin optimizasyonu işlemi yine aynı kütüphane dahilinde bulunan optimizasyon (tune) fonksiyonu kullanılmıştır. Doğrusal, polinom ve radyal tabanlı kerneller kullanılarak DVM modelleri kurulmuş ve parametre optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tablo 6’da farklı kernel fonksiyonları ile kurulmuş DVM modellerinin hata ölçütleri verilmiştir. Kernel fonksiyonu seçimine göre değerlendirmeye alınan üç veri seti içerisinde en düşük hata düzeyine ulaşılan sonuçlar ise Tablo 7’de listelenmiştir. Karşılaştırılan kernel fonksiyonlarında veri setlerinde yalnızca konumsal verilerin kullanıldığı durumda, veri setinde konumsal ve konumsal olmayan verilerin birlikte kullanıldığı durumdan daha düşük hata değerleri elde edilmiştir. K veri setini kullanan kernel fonksiyonlarından radyal tabanlı fonksiyonun en düşük hata değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Polinom kernelinin parametre sayısının fazla olması, parametrelerin optimizasyonunun diğer kernel fonksiyonlarına göre çok uzun sürmesi, polinom derecesi parametresinin arttıkça model kurulumunu karmaşılaştırması ve taşınmaz değerlemede kullanılan veri setlerinde daha büyük hata değerlerine sahip olması sebebiyle taşınmaz değerlendirilmede kullanılmasının uygun olmayacağı tespit edilmiştir. Radyal tabanlı fonksiyon ele alındığında, diğer kernel fonksiyonlarına göre daha düşük hata değerlerine sahip olması, daha güçlü bir tahmin modeli oluşturması ve işlem süresinin diğer kernel fonksiyonlarına göre önemli ölçüde kısa sürmesi bu fonksiyonları diğer kernel fonksiyonlarından daha üstün kılmaktadır. Böylelikle taşınmaz değer haritası üretiminde DVM algoritmasının en uygun kernel fonksiyonunun radyal tabanlı kernel olduğuna karar verilmiştir.

**Tablo 6:** Farklı kernel fonksiyonları ile kurulmuş DVM algoritmaları ile elde edilen hata ölçütleri

DVM LİNEER KERNEL	MAE	RMSE	MSE	R <sup>2</sup>
K	<b>0.10135</b>	<b>0.13198</b>	<b>0.01742</b>	0.13274
KO	0.10935	0.14227	0.02024	0.00195
KKO	0.10197	0.13264	0.01759	<b>0.14119</b>
DVM POLİNOM KERNEL				
K	<b>0.10078</b>	<b>0.13209</b>	<b>0.01745</b>	0.16531
KO	0.10835	0.14140	0.01999	0.01691
KKO	0.10177	0.13360	0.01785	<b>0.16907</b>
DVM RADYAL KERNEL				
K	<b>0.09890</b>	<b>0.13036</b>	<b>0.01699</b>	<b>0.18779</b>
KO	0.10914	0.14206	0.02018	0.00429
KKO	0.10949	0.14178	0.02010	0.00133

**Tablo 7:** DVM algoritmasında en düşük hata değerlerine sahip kernellerin karşılaştırılması

V+KERNEL	MAE	RMSE	MSE	R <sup>2</sup>
K, LİNEER	0.10135	0.13198	0.01742	0.13274
K, POLİNOM	0.10078	0.13209	0.01745	0.16531
K, RADYAL	<b>0.09890</b>	<b>0.13036</b>	<b>0.01699</b>	<b>0.18779</b>

#### 4.1.4 KA Algoritması

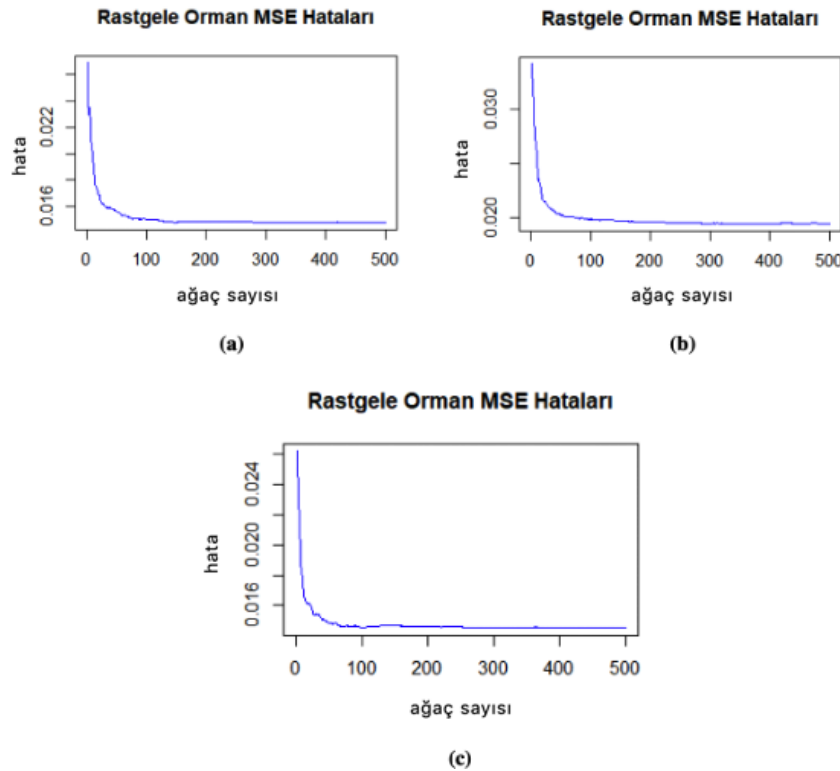
Taşınmaz değerlendirilme haritasının üretimi için KA modelinin kurulmasında R yazılımındaki “rpart” kütüphanesi kullanılmıştır. 3 veri seti için de oluşturulan modellere budama işlemi uygulanmamıştır. KA değer tahminleri ile test verilerinin güncel piyasa değerleri kullanılarak hesaplanan hata ölçütleri Tablo 8’de yer almaktadır. Hata miktarları incelendiğinde KKO veri seti kullanılan KA modelinin bütün hata ölçütlerinde en düşük hata miktarlarına sahip olduğu tespit edilmiştir. KA modellerinin oluşturulması ve test veri setinin tahmin süreleri K veri için 0.31 saniye, KO veri seti için 0.03 saniye ve KKO veri için 0.07 saniye olarak tespit edilmiştir. Karar ağacı modellerinin oluşturulma sürelerinin çalışma kapsamında incelenen algoritmalar arasında en hızlısı olduğu tespit edilmiştir.

**Tablo 8:** KA algoritmasında en düşük hata değerlerine sahip kernellerin karşılaştırılması

Veri	MAE	RMSE	MSE	R <sup>2</sup>
K	0.10130	0.13018	0.01695	<b>0.18907</b>
KO	0.11185	0.14525	0.02110	0.03692
KKO	<b>0.09707</b>	<b>0.12499</b>	<b>0.01562</b>	<b>0.18907</b>

#### 4.1.5 RO Algoritması

RO algoritması ile tahmin modelinin R yazılımında oluşturulması için “randomForest” kütüphanesi kullanılmıştır. Modeller kurulurken başta 500 ağaç ile oluşturulan modellerin hata grafikleri (Şekil 5) incelenerek tüm modeller için 150 ağaç kullanılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Dğümlerde kullanılacak örnek sayısını belirleyen t parametresi ise veri setlerinde kullanılan öznitelik sayısının karekökünün tam sayıya yuvarlanması suretiyle K veri seti için 5, KO veri seti için 4 ve KKO veri seti için 6 olarak seçilmiştir.



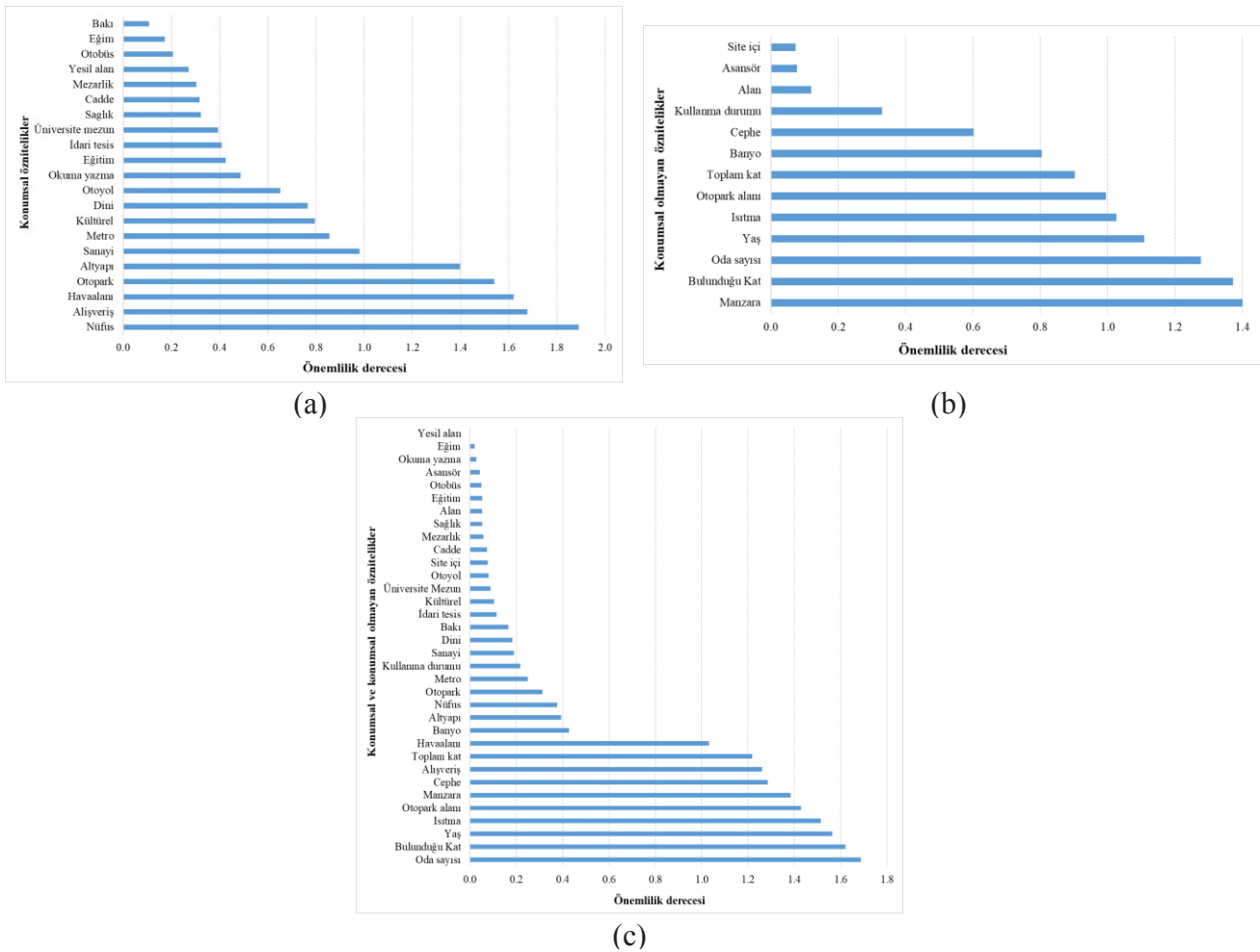
**Şekil 5:** RO algoritmasında K (a), KO (b) ve KKO (c) veri setlerine ait MSE hata grafikleri

K veri seti için önemlilik düzeyleri (Şekil 6a) incelendiğinde alınan konumsal öznitelikler içerisinde nüfus yoğunluğu, alışveriş merkezlerine olan uzaklık ve havaalanına olan uzaklık öznitelikleri RO algoritması tarafından önemlilik derecesi en



yüksek ilk üç konumsal öznelik olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan örnek noktaların bulunduğu konumlara ilişkin topoğrafik özelliklerden bakı ve eğim algoritma tarafından önemlilik derecesi en düşük olan konumsal özneliklerdir. Böylelikle topoğrafik faktörlerden ziyade, taşınmazın bulunduğu bölgedeki nüfus yoğunluğu, taşınmazın havaalanı ve alışveriş merkezlerine olan uzaklığı başta olmak üzere, otopark alanlarına yakınlık, altyapı tesislerine yakınlık, dini tesislere yakınlık ve kültürel tesislere yakınlıklar gibi değerlendirmeye alınan diğer özneliklerin de taşınmaz değer tespitinde etkili olduğu ifade edilebilir.

KO veri seti için önemlilik düzeyleri (Şekil 6b) incelendiğinde; manzara, taşınmazın bulunduğu kat, ısıtma durumu, sahip olduğu oda sayısı ve taşınmazın yaşı RO algoritması tarafından önemlilik derecesi en yüksek öznelikler arasındadır. Diğer taraftan, taşınmazın site içinde oluşu ve asansör durumu algoritma tarafından en düşük önemlilik derecesine sahip olan öznelikler olarak tespit edilmiştir. KKO veri seti için önemlilik düzeyleri (Şekil 6c) incelendiğinde, önemlilik derecesi yüksek bulunan ilk 10 öznelik içerisinde taşınmazın konumsal özneliklerinden alışveriş merkezlerine olan uzaklık, nüfus yoğunluğu ve havaalanına olan uzaklıklar yer almaktadır. Konumsal olmayan özneliklerden ise taşınmazın bulunduğu kat, taşınmazın yaşı, bulunduğu cephe, ısıtma sistemi, toplam kat sayısı, manzarası ve otopark durumu ilk 10 öznelik içerisinde yer almaktadır. Şekil incelendiğinde, otobüs durağına olan uzaklık, taşınmazın site içinde oluşu, yeşil alana ve sağlık merkezlerine olan uzaklıklar önem derecesi en düşük öznelikler olarak tespit edilmiştir. Önemlilik derecesine ilişkin sonuçlar, konumsal ve konumsal olmayan özelliklerin ağaç oluşumunda etkili olduğu, dolayısıyla değer tahmininde taşınmaza ilişkin her iki öznelik grubunun da etkili olabileceğini gösterir niteliktedir.



Şekil 6: RO algoritmasında K (a), KO (b) ve KKO (c) veri setleri için özneliklerin katsayıları

RO algoritması için veri setlerine göre hesaplanan hata değerleri Tablo 9'da yer almaktadır. Tablo incelendiğinde bütün

özniteliklerin yer aldığı KKO veri setinin en düşük hata değerlerini aldığı gözlenmiştir. K veri setinin aldığı hata değerleri de KKO veri setinin hata değerlerine yakınlık göstermektedir. RO algoritmasında modelin kurulması ve test tahmin süresi karşılaştırıldığında, K veri seti için 4.61 saniye, KO veri seti için 2.56 saniye ve KKO veri seti için 6.15 saniye olduğu görülmüştür. Veri setlerinin boyutu arttıkça, işlem süresinin doğru orantılı olarak arttığı söylenebilir. İşlem süreleri diğer algoritmalar ile karşılaştırıldığında, algoritmanın işleyiş sürecindeki işlemlere göre (eğitim ve test verilerinin ayrılması, OOB hatalarının hesaplanması vb.) kısa bir sürede gerçekleştiği kabul edilebilir.

**Tablo 9:** RO algoritması ile elde edilen hata ölçütleri

Veri	MAE	RMSE	MSE	R <sup>2</sup>
K	0.09842	0.12694	0.01611	<b>0.34226</b>
KO	0.11156	0.14391	0.02071	0.08789
KKO	<b>0.09786</b>	<b>0.12633</b>	<b>0.01596</b>	0.28448

## 4.2 Mahalle Bazında Taşınmaz Piyasa ve Hesap Değerleri Arasındaki Hatalar ve İlişkiler

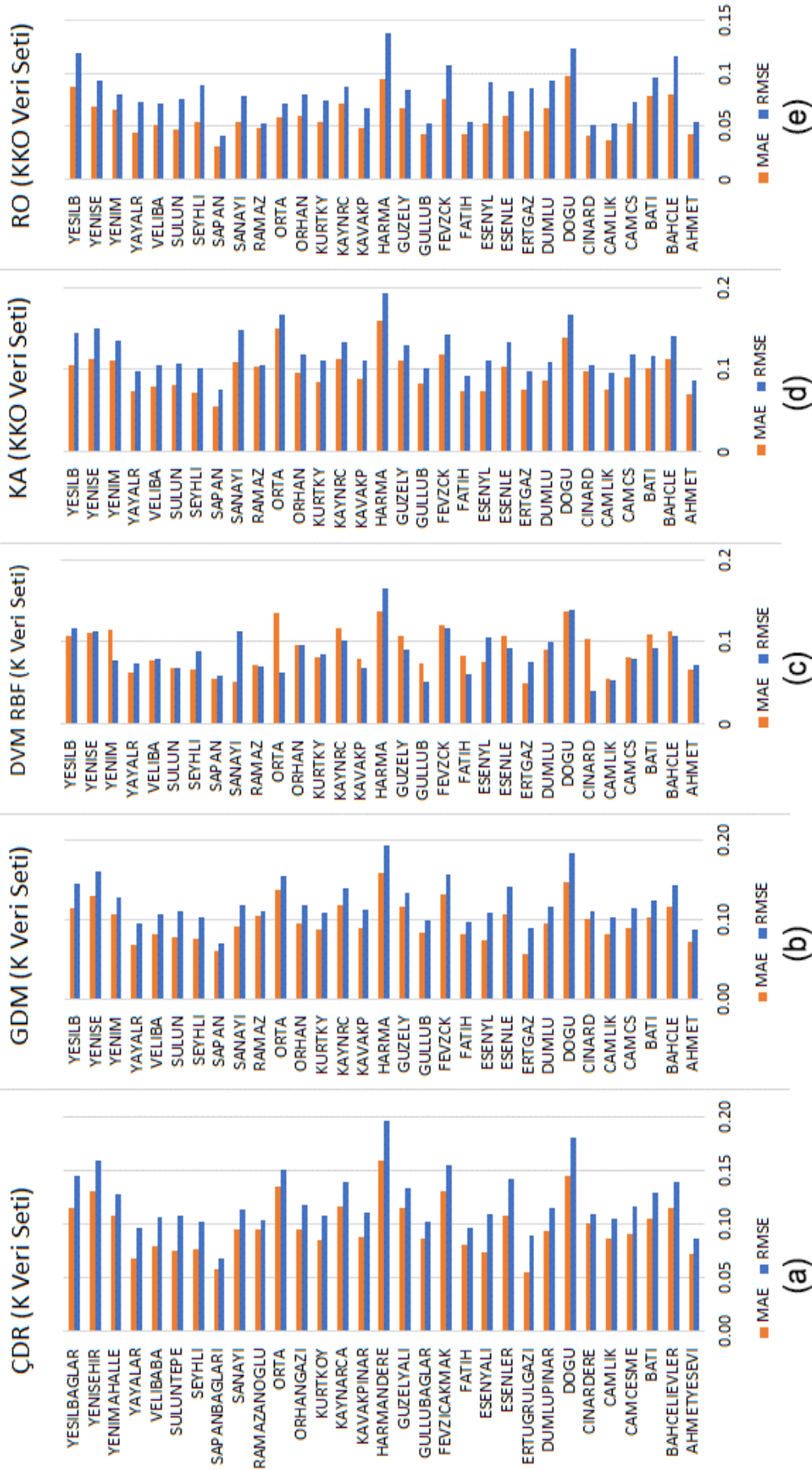
Çalışma kapsamında kullanılan algoritmaların en yüksek doğruluğu veren veri setleriyle oluşturdukları modellerin mahalle bazında hata ve ilişkileri incelenmiştir. Pendik ilçesindeki her mahalle için taşınmazların piyasa değerleri ile tahmin modelleri arasındaki RMSE ve MAE hataları hesaplanmıştır. Ayrıca her mahalledeki taşınmazın piyasa değerleri ile model tahminlerinin arasında ilişki bulunup bulunmadığı da korelasyon katsayı hesaplanarak belirlenmiştir.

Taşınmaz değer haritalarının RMSE ve MAE hatalarının mahalle bazında gösterildiği grafikler Şekil 7’de verilmiştir. ÇDR algoritması ile kurulan modelin hata değerleri incelendiğinde, mahalle bazında hata değerlerinin genellikle birbirine yakın olduğu görülürken Doğu, Harmandere ve Orta Mahalleleri’nin hata değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Ahmet Yesevi, Ertuğrul Gazi ve Sapan Bağları Mahalleleri’nde ise en düşük hata değerleri elde edilmiştir. GDM tahmin modelinde ÇDR algoritmasının hata değerlerine benzerlik göstermektedir. DVM algoritması ile kurulan model incelendiğinde özellikle Çınardere, Doğu ve Esenyalı Mahalleleri’nde hata değerlerinin diğer mahallelere göre daha fazla çıktığı görülmüştür.

Mahalleler arasındaki hata değerlerinin değişken olduğu gözlenen DVM modelinde Ahmet Yesevi, Çamlık ve Ertuğrul Gazi Mahalleleri’nin hata değerlerinin düşük; dolayısıyla tahmin performansının yüksek olduğu görülmüştür. KA algoritması ile kurulan model incelendiğinde hata miktarlarının genellikle birbirlerine yakın olarak seyrettikleri görülürken Doğu, Harmandere ve Orta Mahalleleri’nde hata miktarlarının diğer mahallelere göre daha büyük miktarda olduğu gözlenmiştir. RO algoritması ile kurulan modelin mahalle bazlı hata miktarlarının diğer modellerdeki hatalar kadar eşit dağılım göstermediği görülmektedir. Bahçelievler, Doğu ve Harmandere Mahalleleri’nin hata miktarlarının yüksek olduğu görülürken Ahmet Yesevi, Çamlık, Çınardere, Fatih ve Güllübağlar Mahalleleri’nde tahmin performansının daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Taşınmaz değerlemede kullanılan algoritmaların tahmin modellerinin güncel piyasa satış değerleri ile aralarındaki ilişkiyi incelemek amacıyla hesaplanan korelasyon katsayıları Şekil 8’deki grafiklerde gösterilmiştir. ÇDR algoritmasının K veri seti kullanarak oluşturduğu tahmin modelinde taşınmazlara ait piyasa değerleri ile tahmin edilen değerler arasındaki korelasyonun genellikle düşük olduğu gözlenmiştir. Orta, Ramazanoğlu ve Sanayi Mahalleleri’nde korelasyon katsayılarının %40’ın üzerinde çıktığı görülürken Çamlık, Esenler ve Batı Mahalleleri’nde korelasyonun negatif yönde yüksek çıktığı belirlenmiştir. Mahallelere ait korelasyon katsayıları genel olarak incelendiğinde ise korelasyon katsayılarının genellikle düşük olduğu gözlenmiştir. GDM algoritmasının K veri seti ile oluşturduğu tahmin modeli incelendiğinde Çamçeşme, Fevzi Çakmak ve Ramazanoğlu Mahalleleri’nde korelasyon değerinin %35’in üzerinde çıktığı görülmektedir. Çamlık, Esenler ve Kavakpınar Mahalleleri’nde negatif yönde korelasyon olduğu görülürken, diğer mahallelerin korelasyon değerlerinin %25’in

altında olduğu görülmüştür. Bu bilgilere dayanarak GDM algoritmasının tahmin modelinin taşınmaz değerlendirme probleminde başarılı olmadığı söylenebilir.



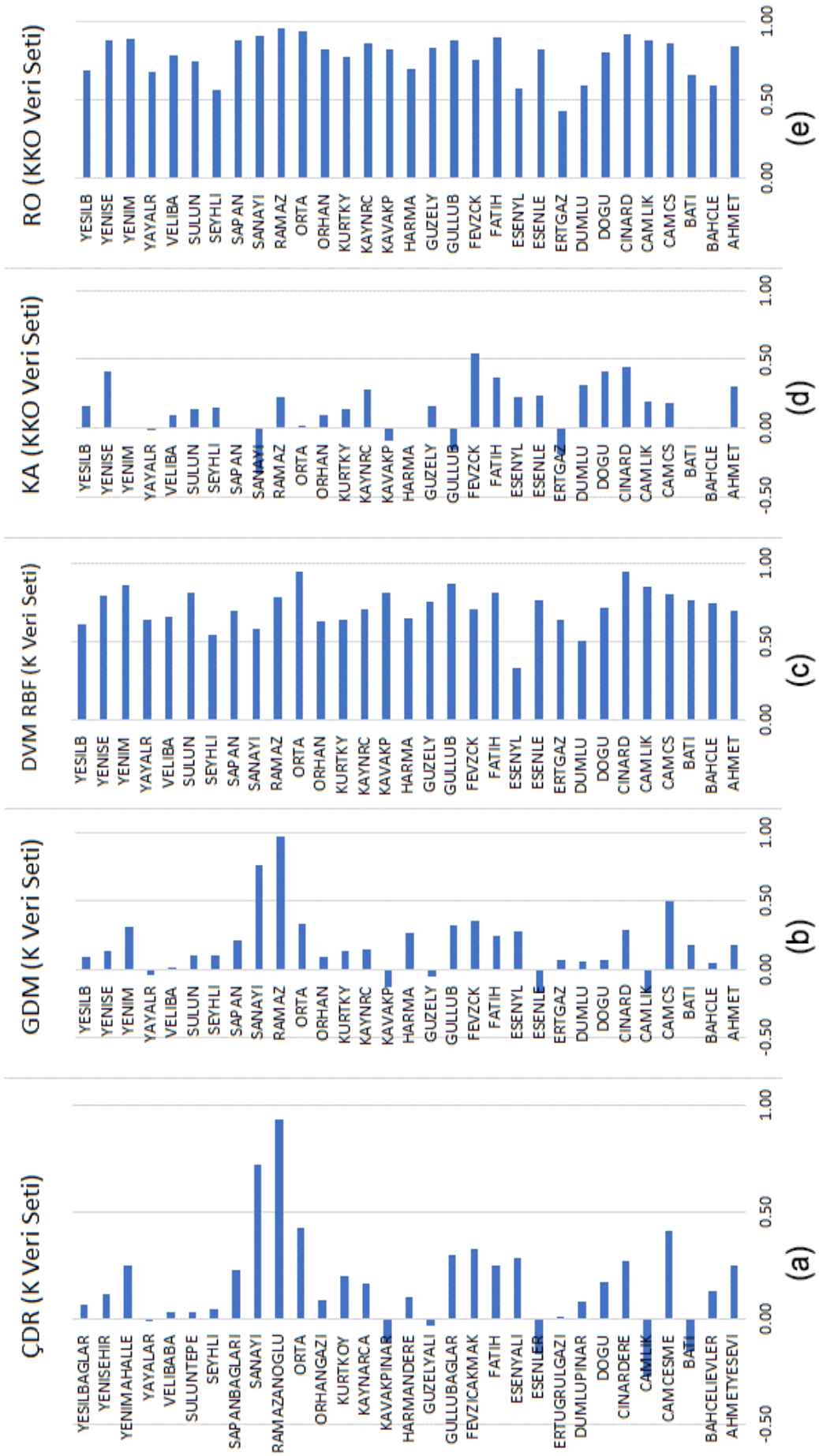
Şekil 7: ÇDR (a), GDM (b), DVM (c), KA(d) ve RO(e) algoritmaları ile oluşturulan değer haritalarının mahalle bazında RMSE ve MAE hata değerleri

DVM'nin radyal tabanlı kerneli ve K veri seti kullanılarak oluşturulan tahmin modelinde, mahalle bazında hesaplanan korelasyon katsayıları incelendiğinde, korelasyon katsayılarının tamamının pozitif değer aldığı, Çınardere, Güllübağlar ve Orta Mahalleleri'nin taşınmaz tahmin değerlerinin güncel piyasa satış değerleriyle aralarında pozitif yönde yüksek korelasyon olduğu gözlenmiştir. Dumlupınar ve Esenyalı Mahalleleri'nin korelasyon katsayıları diğer mahallelerin korelasyon katsayılarına oranla daha düşük çıkmıştır. Mahalleler için hesaplanan korelasyon katsayıları genel olarak değerlendirildiğinde, ortalama korelasyonun %71.5 olduğu görülmüştür ve DVM regresyon modelinin tahmin gücünün iyi olduğu söylenebilir. KA algoritması ve KKO veri seti kullanılarak oluşturulan tahmin modelinde mahalle bazında hesaplanan korelasyon katsayıları incelendiğinde, mahallelerin büyük çoğunluğu için tahmin modelinin bulduğu değerler ile piyasa değerleri arasındaki korelasyonun düşük olduğu görülmektedir. Pendik'in Çınardere, Fevzi Çakmak ve Yenışehir Mahalleleri'nde pozitif yönde yüksek korelasyon olduğu, Ertuğrul Gazi, Güllübağlar ve Sanayi Mahalleleri'nde korelasyonun negatif yönde yüksek olduğu gözlenmiştir. İlçenin Bahçelievler, Batı, Harmandere, Sapan Bağları ve Yeni Mahalle Mahalleleri'nde korelasyon katsayısının sıfır çıktığı tespit edilmiştir. Bu mahallelerin korelasyon katsayılarının sıfır veya sıfıra çok yakın çıkmasının sebebi, modelin mahalledeki bütün taşınmazların değerini birbirine çok yakın olarak tahmin etmesi sebebiyle varyansın düşük olmasıdır. Tahmin modelinde 31 mahallenin 23 tanesinin korelasyon katsayısının %25'in altında çıkması, KA regresyon modelinin taşınmaz değerlendirme probleminde yeterli performansı gösteremediğinin göstergesidir.

RO algoritması ve KKO veri seti kullanılarak oluşturulan tahmin modelinde mahalle bazında hesaplanan korelasyon katsayıları incelendiğinde Çınardere, Fatih ve Orta Mahalleleri'nin korelasyonunun %90'ın üzerinde olduğu görülürken yalnızca Ertuğrul Gazi Mahallesi'nin %50'nin altında korelasyona sahip olduğu görülmüştür. Mahallelerin korelasyon katsayılarının ortalaması %78 standart sapması ise %12 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca grafik görsel olarak yorumlandığında korelasyon katsayılarının birbirlerine yakın değerlerde olduğu ve negatif yönde korelasyon bulunmadığı görülmüştür. Bu çıkarımlara dayanarak RO regresyon modelinin taşınmaz değerlendirme problemi için iyi bir performans sağladığı sonucuna varılabilir.

## 5. Sonuçlar

Son yıllarda gelişmiş tahmin yaklaşımları olarak bilinen ve makine öğrenme/veri madenciliğine dayanan DVM, KA ve toplu öğrenme algoritmaları toplu taşınmaz değerlendirme sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak bu çok farklı modellerin toplu taşınmaz değerlendirme optimal kullanımları ve elde edilen doğruluklarının incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca taşınmaz değer tespitinde konumsal ve konumsal olmayan kriterlerin tahmin doğruluğuna etkilerinin incelenmesi, optimal yaklaşımların belirlenmesinde önemlidir. Çalışmada ÇDR, GDM, DVM, KA ve RO algoritmaları kullanılarak toplu taşınmaz değerlendirme model başarıları irdelenmiştir. Uygulama alanı olarak seçilen İstanbul ili Pendik ilçesi için güncel taşınmaz satış değerlerini temsil eden 1475 örnekleme noktası ile 3 farklı veri seti (K, KO, KKO) ile farklı metotlar ile kurulan modellerin performansları irdelenmiştir. Buna göre en yüksek doğruluk veren yöntem RO; en düşük doğruluk veren yöntemlerin ise KA ve GDM olduğu görülmüştür.



Şekil 8: ÇDR (a), GDM (b), DVM (c), KA(d) ve RO(e) algoritmaları ile oluşturulan değer haritalarının mahalle bazında korelasyon katsayıları

RO algoritması için bütün özniteliklerin yer aldığı KKO veri setinin en düşük hata değerlerini aldığı ancak K veri setinin aldığı hata değerleri ile de KKO veri setinin hata değerlerinin oldukça yakın olduğu gözlenmiştir. RO algoritması ve KKO veri seti kullanılarak oluşturulan tahmin çoğu mahallenin korelasyonunun %90 civarında ve ortalamasının %78 olduğu; ortalama standart sapmanın ise %12 olduğu görülmüştür. Bu çıkarımlara dayanarak RO modelinin taşınmaz değerlendirme problemi için iyi bir performans sağladığı görülmektedir. KA ve GDM modelleri süre bakımından en hızlı modeller olsalar da taşınmaz değerlendirme probleminde diğer yöntemlere kıyasla başarılı olmadıkları söylenebilir. KA algoritması ve KKO veri seti kullanılarak oluşturulan tahmin modelinde mahalle bazında hesaplanan korelasyon katsayıları incelendiğinde mahallelerin büyük çoğunluğu için tahmin değerleri ile güncel piyasa değerleri arasındaki korelasyonun düşük olduğu görülmüştür. 31 mahallenin 23 tanesinin korelasyon katsayısının %25'in altında; bazı mahallelerin ise sıfır olarak hesaplandığı tespit edilmiştir. GDM algoritmasının K veri seti ile oluşturduğu tahmin modeli incelendiğinde birkaç mahallenin korelasyon değerinin %35'in üzerinde çıktığı diğer mahallelerin korelasyon değerlerinin ise %25'in altında olduğu görülmüştür. Korelasyon katsayılarının sıfır veya sıfıra çok yakın çıkmasının, modelin bütün taşınmazların değerini birbirine çok yakın olarak tahmin etmesi sebebiyle varyansların düşük olmasıdır.

Üretilen modellerin tümünde konutların toplu taşınmaz değerlendirme sürecinde RO modelleri diğer modellere kıyasla daha başarılı sonuçlar vermiştir. Bu anlamda RO algoritmasının geliştirilecek vergilendirme, bankacılık, sigortalama, kamulaştırma gibi uygulamalara entegre edilebilir en başarılı yöntem olduğu belirlenmiştir. Değeri etkileyen konumsal ve konumsal olmayan kriterlerin genel anlamda model performansında büyük fark yaratmadığı görüldüğünden toplu taşınmaz değerlendirme sürecinde öne çıkan yapısal ve konumsal kriterlerin tüm çalışma alanı için ayrı ayrı kriter önem düzeyleri hesaplanmıştır. İlgili değerlendirme ile ileride kurulacak uygulama modelleri için ayırt edici kriterlerin belirlenerek model performanslarının artırılması hedeflenmektedir. Kriter önem düzeyleri irdelendiğinde K veri seti için nüfus yoğunluğu, alışveriş merkezlerine olan uzaklık ve havaalanına olan uzaklık; KO veri seti için ise manzara, taşınmazın bulunduğu kat ve oda sayısı ile bina yaşı önemlilik derecesi en yüksek öznitelikler olarak belirlenmiştir. İlgili öznitelikler KKO veri seti içinde bütüncül olarak irdelendiğinde de yüksek önemlilik derecesine sahiptirler. Ancak konumsal ve konumsal olmayan öznitelikler bütüncül değerlendirildiğinde taşınmazın oda sayısı ve bulunduğu kat ile bina yaşı gibi taşınmaza ait yapısal kriterlerin önemlilik derecesi konumsal kriterlere oranla biraz daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bütüncül olarak değerlendirildiğinde önemlilik derecesine ilişkin sonuçlar, konumsal ve konumsal olmayan özelliklerin ağaç oluşumunda etkili olduğu, dolayısıyla değer tahmininde taşınmaza ilişkin her iki öznitelik grubunun da etkili olabileceğini gösterir niteliktedir.

## Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 116Y204 nolu 1001 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

## Yazar Katkısı

**Arif Çağdaş Aydınoglu:** Fikir, Tasarım, Denetleme, Yazım. **Rabia Bovkır:** Literatür taraması, Veri toplama ve işleme, Yazım. **İsmail Çölkesen:** Tasarım, Analiz ve yorumlama, Makale değerlendirme.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

- Antipov, E. A., & Pokryshevskaya, E. B. (2012). Mass appraisal of residential apartments: An application of Random forest for valuation and a CART-based approach for model diagnostics. *Expert Systems with Applications*, 39(2), 1772-1778.
- Arslan, R. (1997). *Arazi Kullanış Ekonomisi*. İstanbul, Türkiye: Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi.
- Aydinođlu, A. Ç., Çölkesen, İ., Şenbil, M., Bovkır, R., & Yomralođlu, T. (2020). *116Y204 no'lu TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu*. TÜBİTAK ÇAYDAG, Ankara, 04.2020.
- Aydinođlu, A. Ç., Bovkır, R., & Çölkesen, İ. (2021). Implementing a mass valuation application on interoperable land valuation data model designed as an extension of the national GDI. *Survey review*, 53(379), 349-365.
- Boser, B. E., Guyon, I. M., & Vapnik, V. N. (1992). A training algorithm for optimal margin classifiers. In *Proceedings of the fifth annual workshop on Computational learning theory*.
- Bovkır, R., & Aydinođlu, A. Ç. (2018). Providing land value information from geographic data infrastructure by using fuzzy logic analysis approach. *Land use policy*, 78, 46-60.
- Božić, B., Milićević, D., Pejić, M., & Marošān, S. (2013). The use of multiple linear regression in property valuation. *Geonauka*, 1(1), 41-45.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C.J. (1984). *Classification And Regression Trees*. Routledge.
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine learning*, 24(2), 123-140.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5-32.
- Bulut Nas, B. (2011). *YSA ve DVM yöntemleri ile taşınmaz değerlemesi için bir yaklaşım geliştirme (Yüksek Lisans Tezi)*. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Candaş, E. (2012). *Taşınmaz Değerlemesi İçin Mevzuat Altyapısının Modellenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Čeh, M., Kilibarda, M., Liseć, A., & Bajat, B. (2018). Estimating the performance of random forest versus multiple regression for predicting prices of the apartments. *ISPRS international journal of geo-information*, 7(5), 168.
- Chen, J. H., Ong, C. F., Zheng, L., & Hsu, S. C. (2017). Forecasting spatial dynamics of the housing market using support vector machine. *International Journal of Strategic Property Management*, 21(3), 273-283.
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297.
- Çölkesen, İ. (2015). *Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntüleri Kullanarak Benzer Spektral Özelliklere Sahip Doğal Nesnelerin Ayırt Edilmesine Yönelik Bir Metodoloji Geliştirme* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
- Çölkesen, İ. & Kavzoğlu, T. (2017). Kanonik Korelasyon Orman Algoritması ile Uzaktan Algılanmış Görüntülerin Sınıflandırılması [Özel Sayı]. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 102-111.
- Dawidowicz, A., & Żróbek, R. (2017). Land administration system for sustainable development—case study of Poland. *Real Estate Management and Valuation*, 25(1), 112-122.
- Demetriou, D. (2016). The assessment of land valuation in land consolidation schemes: The need for a new land valuation framework. *Land Use Policy*, 54, 487-498.
- Dimopoulos, T., & Moulas, A. (2016). A proposal of a mass appraisal system in Greece with CAMA system: Evaluating GWR and MRA techniques in Thessaloniki Municipality. *Open geosciences*, 8(1), 675-693.
- Dimopoulos, T., & Bakas, N. (2019). Sensitivity analysis of machine learning models for the mass appraisal of real estate. Case study of residential units in Nicosia, Cyprus. *Remote sensing*, 11(24), 3047.
- Dobson, A. J., & Barnett, A. G. (2008). *An Introduction to Generalized Linear Models (3rd Edition)*. Chapman & Hall/ CRC Press.
- Güneş, T., & Yıldız, U. (2015). Mass valuation techniques used in land registry and cadastre modernization project of Republic of Turkey. *FIG working week: From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World*.
- Güneş, T., & Yıldız, Ü. (2016). Property valuation and taxation for improving local governance in Turkey. *Land tenure journal*, 15(2), 141-160.
- Güngör, E. (1999). *Gayrimenkul değerlemesi ve Türkiye'de sermaye piyasalarında gayrimenkul ekspertiz şirketlerine yönelik düzenlemeler yapılmasına ilişkin öneriler*. Yeterlik Etüdü. T.C. Başbakanlık Sermaye Piyasası Kurulu Kurumsal Yatırımcılar Dairesi, Ankara, Türkiye.

- Hong, J., Choi, H., & Kim, W. S. (2020). A house price valuation based on the random forest approach: the mass appraisal of residential property in South Korea. *International Journal of Strategic Property Management*, 24(3), 140-152.
- IAAO (2013). *Standard on Mass Appraisal of Real Property*. International Association of Assessing Officers, Kansas, ABD.
- IVSC (2020). *International Valuation Standards*. International Valuation Standards Council, Londra, Birleşik Krallık.
- Kara, A., van Oosterom, P., Çağdaş, V., Işıklıdağ, Ü., & Lemmen, C. (2020). 3 Dimensional data research for property valuation in the context of the LADM Valuation Information Model. *Land use policy*, 98, 104179.
- Karapınar, A., Bayırlı, R., Bal, H., Altay, A., Bal, E. Ç., & Torun, S. (2008). *SPK Lisanslama Sınavlarına Hazırlık*. Ankara: Gazi Kitabevi.
- Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İ. (2010). Destek vektör makineleri ile uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kernel fonksiyonlarının etkilerinin incelenmesi. *Harita Dergisi*, 144(7), 73-82.
- Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İ. (2013). An assessment of the effectiveness of a rotation forest ensemble for land-use and land-cover mapping. *International journal of remote sensing*, 34(12), 4224-4241.
- Kontrimas, V., & Verikas, A. (2011). The mass appraisal of the real estate by computational intelligence. *Applied Soft Computing*, 11(1), 443-448.
- Lasota, T., Łuczak, T., Niemczyk, M., Olszewski, M., & Trawiński, B. (2013). Investigation of property valuation models based on decision tree ensembles built over noised data. *International Conference on Computational Collective Intelligence*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Manasa, J., Gupta, R., & Narahari, N. S. (2020). Machine learning based predicting house prices using regression techniques. *2020 2nd International conference on innovative mechanisms for industry applications (ICIMIA)*.
- Mayer, M., Bourassa, S. C., Hoesli, M., & Scognamiglio, D. (2019). Estimation and updating methods for hedonic valuation. *Journal of European Real Estate Research*.
- Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 135(3), 370-384.
- Osuna, E. E., Freund, R., & Girosi, F. (1997). *Support Vector Machines: Training and Applications*. AIM-1602CBCL-144, Massachusetts Institute of Technology, Artificial Intelligence Laboratory, Massachusetts, ABD.
- Ott, R. L., & Longnecker M. (2010). *An introduction to statistical methods and data analysis*. Belmont (CA): Brooks/Cole.
- Pal, M. (2005). Random forest classifier for remote sensing classification. *International journal of remote sensing*, 26(1), 217-222.
- Plant, R. E. (2012). *Spatial Data Analysis in Ecology and Agriculture using R*. Boca Raton: CRC Press.
- Quinlan, J., & Cameron-Jones, R. (1995). Oversearching and layered search in empirical learning. *breast cancer*, 286, 2-7.
- Resmi Gazete. (2001). 35 nolu, Sermaye Piyasası Mevzuatı Çerçevesinde Gayrimenkul Değerleme Hizmeti Verecek Şirketler İle Bu Şirketlerin Kurulca Listeye Alınmalarına İlişkin Esaslar Hakkında Tebliğ Sayı: 24491.
- Resmi Gazete, (2018). Bakanlığa bağlı kamu kurumlarının teşkilatına ilişkin Cumhurbaşkanlığı Değişikliği Kararı. Resmi Türkiye Cumhuriyeti Gazetesi, No: 30479.
- Reyes-Bueno, F., García-Samaniego, J. M., & Sánchez-Rodríguez, A. (2018). Large-scale simultaneous market segment definition and mass appraisal using decision tree learning for fiscal purposes. *Land Use Policy*, 79, 116-122.
- RICS (2017). *Professional Valuation Standards*. Royal Institution of Chartered Surveyors, Londra, Birleşik Krallık.
- SPK (2006). *Sermaye Piyasasında Uluslararası Değerleme Standartları Hakkında Tebliğ*. Sermaye Piyasası Kurulu, Seri: VIII, No: 45, Ankara, Türkiye.
- Şişman, S. (2021). *CBS Tabanlı Makine Öğrenme Teknikleri ile Toplu Taşınmaz Değerlemesi* (Yüksek Lisans Tezi), Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- Şişman, S., Akar, A. U., & Yalprı, S. (2021). The novelty hybrid model development proposal for mass appraisal of real estates in sustainable land management. *Survey Review*, 1-20.
- TDUB (2017). *Türkiye Değerleme Standartları (TUGDES) Çalışması*, Türkiye Değerleme Uzmanları Birliği.
- TEGoVA (2016). *European Valuation Standards*. 8. Baskı. The European Group of Valuers' Associations, Belçika: Gillis Yayınevi.
- TKGM (2011). *TKMP 4. Bileşeni Gayrimenkul Değerinin Belirlenmesi ve Kayıt Altına Alınması*, Teknik Rapor, Ankara, Türkiye.
- The Appraisal Institute (2001). *The Appraisal of Real Estate*, 12. Ed. Appraisal Institute, Chicago, ABD.
- Ünel, F. B., & Yalprı, Ş. (2019). Valuations of building plots using the AHP method. *International Journal of Strategic Property Management* 23(3), 197-212.
- Vapnik, V. N. (1982). *Estimation of Dependences Based on Empirical Data*. New York: Springer-Verlag.



- Wang, X., Wen, J., Zhang, Y., & Wang, Y. (2014). Real estate price forecasting based on SVM optimized by PSO. *Optik*, 125(3), 1439-1443.
- Yalpr, Ő. (2007). *Bulanık mantık metodolojisi ile taşınmaz değerleme modelinin geliştirilmesi ve uygulaması: Konya örneği* (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye
- Yalpr, Ő., & Özkan, G. (2008). The usage of artificial intelligence in determining the residential real-estate prices in urban areas and the comparison of valuation methods. *Integrating Generations FIG Working Week 2008*, 14-19.
- Yalpr, Ő., Durduran, S. S., Ünel, F. B., & Yolcu, M. (2014). Creating A Valuation Map in GIS Through Artificial Neural Network Methodology: A Case Study. *Acta Montanistica Slovaca*, 19(2), 79-89.
- Yalpr, Ő., & Bünyan Ünel, F. (2016). Türkiye'de ve Uluslararası çalışmalarda arsa değerlemede kullanılan kriterlerin irdelenmesi ve Faktör Analizi ile azaltımı. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 303-322.
- Yalpr, Ő. (2018). Enhancement of parcel valuation with adaptive artificial neural network modeling. *Artificial intelligence review*, 49(3), 393-405.
- Yalpr, Ő., Şişman, S., Akar, A. U., & Ünel, F. B. (2021). Feature selection applications and model validation for mass real estate valuation systems. *Land use policy*, 108, 105539.
- Yazıcı, K. (1997). *Özelleřtirmede Değerleme Yöntemleri ve Değerleme Kriterleri* (Uzmanlık Tezi). T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Yıllık Programlar ve Konjonktür Değerlendirme Genel Müdürlüğü.
- Yılmaz, S., & Kocaman, S. (2020). A mass appraisal assessment study using machine learning based on multiple regression and random forest. *Land Use Policy*, 99, 104889.
- Yomraloęlu, T. (1993). *A nominal asset value-based approach for land readjustment and its implementation using geographical information systems* (Doktora Tezi). University of Newcastle upon Tyne, Department of Surveying, Newcastle, İngiltere.

## Yüzölçümü hatalarının giderilmesinde hazine hak/menfaatlerinin korunmasına dair bir araştırma

Mehmet Aziz Sayar<sup>1</sup> , Mustafa Ulukavak<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Osmanbey Kampüsü, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye.

**Öz:** En basit anlamıyla arazi kavramı tanımlanmak istenirse sınırları belirli olan toprak parçası şeklinde tanımlanması mümkündür. Yeryüzünün belirli bir kısmını hukuki anlamda arazi haline getirmek için ilgili parçanın yeryüzü bütününden sınırlandırılmak suretiyle ayrılmış olması gerekmektedir. Bu işlemle birlikte hem söz konusu kısmın sınırları arazide tanımlanmış olacak hem de bu toprak parçasının diğerlerinden ayrılmasını sağlayacak bilgiler işlenerek kayıt altına alınmış olması sağlanacaktır. Bu sürecin sistematik bir şekilde devlet eli ve sorumluluğunda yapılması işi ise kadastro kavramını öne çıkarmaktadır. Ülkemizde kadastro konusunda geçmişten bugüne çok sayıda yasa çıkarılmış olsa da bu yasaların her biri taşıdığı eksiklikler ve uygulamadaki yetersizlikleri sebebiyle işlerliğini, dolayısıyla da zamanla geçerliliğini kaybetmiştir. Ancak günümüzde yürürlükte olan 3402 sayılı Kadastro Kanunu, ülke koordinat sistemine göre taşınmaz malların sınırlarını arazi ve harita üzerinde göstererek hukuksal vaziyetlerini tespit etmek suretiyle tapu sicilinin en sağlıklı şekilde kurulmasını sağlamıştır. Bunu yaparken çeşitli sebeplerce meydana gelmiş olan hesap ve sınırlandırma hatalarından dolayı ortaya çıkan yüzölçümü hatalarına sıklıkla rastlanılmaktadır. Mevcut hataların düzeltilmesi, ilgili kamu kurumlarınca başlıca bir teknik iş/işlem süreci haline getirilmiştir. Bu yüzden Hazine taşınmazları üzerinde gerçekleştirilen yüzölçümü hatasının düzeltilmesi işlemleri Milli Emlak Müdürlüklerince incelenerek, Hazineye ait hak ve menfaatlerin olası kayıplarının önüne geçilmektedir. Bu çalışmada Milli Emlak İdaresi tarafından izlenen sürecin incelenmesi ve karara bağlanması konuları üzerinde durulmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Arazi, Kadastro, Yüzölçümü hatası, Hazine taşınmazı

### A study on the protection of treasury rights/benefits in elimination of surface errors

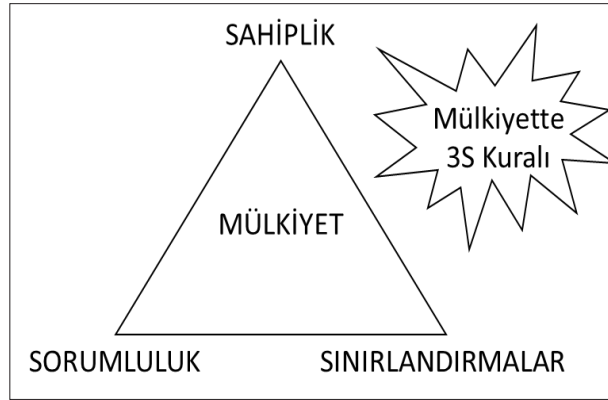
**Abstract:** If the concept of land is defined in the simplest sense, it is possible to define it as a piece of land with specific boundaries. In order to convert a certain part of the earth into a land in the legal sense, the relevant part should be separated from the whole of the earth by delimitation. With this process, the borders of the mentioned part will be defined on the land and also the information required to separate this part will be described by recording the procedure documents. Carrying out this process in a systematic way under the level and responsibility of the State highlights the concept of cadastre. Although many laws regarding cadastre have been enacted in our country from the past to the present, each of these laws has lost its functionality due to its deficiencies and inadequacies in implementation. However, Cadastre Law No. 3402, which is in force today, has ensured the establishment of the land registry in healthiest way by determining the legal status of the real properties by presenting their borders on the land and the map according to the national coordinate system. While doing this, surface area errors are frequently encountered due to calculation and delimitation errors that have occurred for various reasons. Correction of the existing errors has become a major technical work/operation process of public authorities. For this reason, the modification of the surface area errors on public properties has been examined by the Directorates of National Property and thus the possible losses on the rights and benefits of the public treasury have been prevented. In this study, reviewing and concluding of the procedure followed by the Directorate General of the National Property is examined.

**Keywords:** Land, Cadastre, Area error, Public property

## 1. Giriş

Her ülkede olduğu gibi ülkemizde de mülkiyet hakkı kanunlarla güvence altına alınmakla birlikte bu haklara ilişkin sınırlar da çizilmiştir. 09.11.1982 tarih ve 17863 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Türkiye Cumhuriyeti Anayasası’nın 35. maddesinde “Herkes, mülkiyet ve miras haklarına sahiptir. Bu haklar, ancak kamu yararı amacıyla, kanunla sınırlanabilir. Mülkiyet hakkının kullanılması toplum yararına aykırı olamaz” hükmü yer almaktadır (URL-1). 4721 sayılı Türk Medeni Kanunu’nun 683. maddesinde ise “Bir şeye malik olan kimse, hukuk düzeninin sınırları içinde, o şey üzerinde dilediği gibi kullanma, yararlanma ve tasarrufta bulunma yetkisine sahiptir” hükmü yer almaktadır (URL-2).

Mülkiyet üzerinde sahiplik, sorumluluk ve sınırlama bileşenlerinden oluşan ilişki Şekil 1’de gösterilmektedir (Dale & McLaughlin, 1999). Bu ilkelerin gerçek hayatta karşılık bulabilmesi ve mülkiyet hakkından doğan hak ve sorumlulukların yerine getirilebilmesi, mülkiyetin kayıt altına alınmasına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Böylelikle belirli bir ülke veya bölgedeki taşınmazların sınırlarının ölçülerek yüzölçümlerinin belirlenmesi suretiyle “nerede” ve “ne kadar” sorularına cevap veren düzenli bir yapının oluşturulması, bir kamusal sicil oluşturma süreci olan kadastro kavramını ortaya çıkarmıştır (Henssen, 1995).



Şekil 1: Mülkiyetin bileşenleri (Dale & McLaughlin, 1999’dan değiştirilerek)

Kadaastro; en genel anlamıyla, taşınmazların sınırlandırılarak haritalandırılması ve bu suretle tescil edilerek kayıt altına alınmasıdır. Literatürde, bu kavram; taşınmazların devlet eliyle hukuki ve geometrik iş ve işlemlerinin belirli bir çerçevede düzenlenmesine dair bir kamu hizmeti olarak anlam bulmuştur. Dünyanın hemen her yerinde ilk çağlardan günümüze kadar yapılan kadastro çalışmaları; vergi kadastrosu, hukuki kadastro, arazi bilgi sistemi gibi biçimlerde sınıflandırılmıştır. Bütün bu kavramlardan anlaşılacağı üzere devletler egemen oldukları topraklarda kadastro çalışmaları yaparak hem mülkiyet üzerinde denetlemenin kolaylaşmasını hem de bu toprakların sahibi olan halkların bir düzen içerisinde yaşamasını amaçlamıştır (Toker, 2015). Bu kapsamda mülkiyetin haritalanmasını sağlayan kadastro kavramı, bütün sözlüklerde “bir ülkedeki arazi ve mülklerin yerini, yüzölçümünü, sınırlarını belirterek planlama yapma işi olarak açıklanmaktadır (Atak & Durduran, 2015).

Ülkemizde, taşınmazların konumlarını, yüzölçümlerini ve hukuksal durumlarını belirleyebilmek amacıyla neredeyse bir asırlık bir zaman dilimine yayılarak gerçekleştirilen kadastro çalışmaları; değişik mevzuat hükümleri, farklı ölçme yöntemleri, çeşitli ölçüm aletleri ve altlıklar kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Karataş & Gencer, 2021). Bugüne dek çeşitli kanunlar hazırlanarak yürürlüğe girmiş ve her biri uygulamada eksik görülen yanlarından dolayı tekrar tekrar düzenlenmiş ya da yürürlükten kaldırılarak yerini başka bir kanuna bırakmıştır. 09.07.1987 tarih ve 19512 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 3402 sayılı Kadaastro Kanunu, taşınmaz idaresi konusunda çözümcü ve sürdürülebilir

olmasından dolayı günümüzde de halen yürürlüktedir. 3402 sayılı Kadastro Kanunu, ülke koordinat sistemine göre taşınmaz malların sınırlarını arazi ve harita üzerinde göstererek hukuksal vaziyetlerini tespit etmek suretiyle tapu sicilini kurmak ve mekânsal bilgi sisteminin alt yapısını oluşturmak amacıyla tanzim edilmiştir (URL-3). Bu kanun kapsamında kadastro yapılarak, sınırları ve yüzölçümleri kesinleştirilmiş olan parsellerin zamanla değişen şartlar ve gelişen imkânlar dâhilinde yeniden yapılan kontrollerinde daha önce kesinleştirilmiş olan yüzölçümlerinin hatalı olduğunun farkına varılmaktadır. Bu hatalar, mülkiyet problemlerinin gözlemlenmesine, global veri üretim standartlarına uyum sağlanamamasına ve gelişen teknoloji kapsamında artan ihtiyaçların karşılanamamasına yol açmaktadır (Karataş & Gencer, 2021). Bu sebeplerce yüzölçümü hatalarının giderilmesine yönelik “yüzölçümü düzeltmesi” işlemine başvurulmaktadır.

Bu çalışmada, 3402 sayılı Kadastro Kanunu'nun en verimli şekilde işlerliğinin sürdürülebilmesi yönünde yapılan çalışmalardan biri olan yüzölçümü düzeltmesi işlemlerinin Hazine taşınmazları üzerinde nasıl uygulandığı anlatılmıştır. Ayrıca, Hazine taşınmazları üzerinde gerçekleştirilen yüzölçümü düzeltmesi işlemlerinin kontrolünü yapan Milli Emlak Müdürlükleri'nin bu iş ve işlemleri hangi usul ve esaslara dayanarak incelediği aktarılmıştır.

Çalışma genel olarak; Milli Emlak Müdürlüklerince 327 sayılı Milli Emlak Genel Tebliği kapsamında yapılan incelemelerde izlenen yolların ve bu kapsamda verilen kararların irdelenmesi; yüzölçümü düzeltmelerinin “Milli Emlak İdaresince değerlendirilmesi” çatısı altında, “327 sayılı Tebliğ kapsamında” ve “327 sayılı Tebliğ kapsamı dışında” gerçekleşen süreçlere ilişkin bölümlerden oluşmaktadır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Kadastro Müdürlükleri tarafından Hazine taşınmazları üzerinde yapılan yüzölçümü düzeltmesi işlemlerinin kontrolünü yapan Milli Emlak Müdürlükleri, yapılan düzeltme işlemlerine muvafakat edilip edilmeyeceğine karar vermektedir. Bu kararı, 327 sayılı Milli Emlak Genel Tebliği'ndeki usul ve esaslara göre veren Milli Emlak Müdürlükleri'nin izleyeceği yol, düzeltme işlemine muvafakat edip etmemesine göre değişmektedir.

### 2.1 Yüzölçümü Düzeltmeleri

Mevzuatta açıkça belirtildiği üzere bir yerin kadastro sadece 1 (bir) kez yapılmaktadır (URL-3). Zemin ve tapu uyumunun tesisi olarak kabul edilen kadastro çalışmaları bitirildikten sonra mevzuat gereği verilen, itirazlar için ayrılmış olan süreler de geçtikten sonra o yerin kadastro kesinleşmiş olmaktadır. 3402 sayılı Kadastro Kanunu'nun 22.maddesinde “Evvcelle tespit, tescil veya sınırlandırma suretiyle kadastro veya tapulaması yapılmış olan yerlerin yeniden kadastro yapılamaz.” hükmü açıkça amirdir (URL-3). Ancak bu durum, daha önceden kadastro tamamlanmış yerlerde daha sonradan tespit edilen hataların düzeltilmesine engel değildir. Daha açık bir ifadeyle bir taşınmaz üzerindeki hatanın düzeltilmesi işlemi “ikinci bir kadastro işlemi” sayılmamaktadır. Aksine kadastro tamamlanmış taşınmaz üzerinde yapılan bir “düzeltme” işlemi olarak tanımlanmaktadır.

Kadastro Kanunu kapsamında oluşturulan taşınmazlar, kadastro çalışmasının yapıldığı tarihte kullanılan; ölçü ve hesap araç gereçleri, teknolojik yöntem ve teknik hesaplamalarıyla yapıldığı için günümüz teknolojisi ve hesaplama yöntemleriyle kontrol edilip karşılaştırıldığında, bu kanun kapsamında kadastro yapılarak kayıt altına alınmış olan taşınmazların yüzölçümlerinde hataların çıkması doğal karşılanmaktadır.

Şekil 2'de pafta-zemin uyumsuzluğuna dair bir örneğe yer verilmektedir. Verilen örnekte, geçmişte takeometre aletiyle yapılan ölçüm, bu ölçümün tersimatı ve günümüzde kullanılan ölçüm yöntemiyle birlikte arazinin son durumuna ilişkin uyumsuzluk net olarak görülmektedir.



hesaplamalardan kaynaklanan hataları gidermek üzere uygulama niteliğini kaybeden, teknik nedenlerle yetersiz kalan, eksikliği görülen veya zemindeki sınırları gerçeğe uygun göstermediği tespit edilen kadastro haritalarının tekrar düzenlenmesi ve tapu sicilinde gerekli düzeltmelerin sağlanması amacıyla tapulama ve kadastro görmüş yerlerde yüzölçümü düzeltilmesi yapılır” denilmektedir. İlgili kanununun 41. maddesinde de “Kadaastro sırasında veya sonrasında yapılan işlemlerle geometrik durumları kesinleşmiş olan taşınmazlarda ölçü, sınırlandırma, tersimat ve hesaplamalardan doğan hatalar, ilgilinin müracaatı veya kadastro müdürlüğüne resen düzeltilir. Düzeltme, taşınmaz malikleri ile diğer hak sahiplerine tebliğ olunur. Tebliğ tarihinden başlayan 30 (otuz) günlük süre içerisinde düzeltmenin kaldırılması yolunda sulh hukuk mahkemesinde dava açılmadığı takdirde, yapılan düzeltme işlemi kesinleşir” denilmektedir (URL-3). Bu hüküm kapsamında, teknik hatalar düzeltilirken 41. maddeye göre yapılan düzeltme işleminin, düzeltmeden etkilenen parsel için özel bir işlem olarak yapıldığı da anlaşılmaktadır (Ayduran & Uyan, 2022). 3042 sayılı Kadaastro Kanunu’nun söz konusu maddelerinde yer verilen yüzölçümü düzeltmelerinin yapılması sırasında izlenecek usul ve esaslar, “Kadaastro Sırasında veya Sonrasında Yapılan İşlemlerle Geometrik Durumları Kesinleşmiş Olan Taşınmazlarda Ölçü, Sınırlandırma, Tersimat ve Hesaplamalardan Doğan Hataların Düzeltmesi Yönetmeliği” ile açıklığa kavuşturulmaktadır. Yüzölçümü hatalarının birden fazla sebebi vardır. Ancak tüm bu mevzuat hükümlerinden açıkça anlaşıldığı üzere hatanın var oluş sebebine göre genel olarak 2 (iki) çeşit hata mevcuttur. Bu hatalardan birincisi kadastru yapılan yerde parsellerin sınırlandırması yapılırken uyulması gereken yönteme uyulmamasından ya da arazideki yapıların/sınırların yanlış ölçülmüş olmasından ileri gelen sınırlandırma hatalarıdır. İkincisi ise kadastro yapılırken parselin sınırlarının doğru alınmasına rağmen ölçü, tersimat ve hesap hatalarından doğan hatalardır. Her iki durumda da hatayı tespit eden Kadaastro Müdürlükleri yüzölçümü düzeltmesi işlemini gerçekleştirmekle yükümlüdür. Düzeltme işlemi yapılırken öncelikle hata miktarının “tolerans (tecviz) değeri” denilen eşik değerin içerisinde olup olmadığına bakılmaktadır. Kadaastro Müdürlüklerince teknik olarak belirlenen bu tolerans değerinin altında kalan hata, parselin ilgisinden muvafakat alınmaksızın resen düzeltilirken, tolerans değerini geçen hata miktarlarının düzeltilmesi için ilgisine bilgi vermek şarttır. Zira ilgisinin bu düzeltme işlemine karşı 30 (otuz) gün içerisinde dava açma hakkı bulunmaktadır (URL-3). Bu süreç, şahısların mülkiyetinde bulunan özel taşınmazlarda olduğu gibi devlet mülkiyetinde bulunan Hazine taşınmazlarında da aynı esas ve usullere göre işlemektedir.

## 2.2 Hazine Taşınmazları Üzerinde Yapılan Yüzölçümü Düzeltmeleri

Taşınmaz kavramı, çeşitli kategorilerde, çok çeşitli sınıflandırmalara sahip olmakla beraber mülkiyet kavramı yönünden geniş kapsamda şahıs mülkiyeti ve kamu mülkiyeti olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Kamu mülkiyeti içerisinde ise miktarı ve yürüttüğü hizmetler bakımından en çok öne çıkan taşınmaz türü Hazine parselleridir.

Hazine taşınmazı kavramını; tapu sicilinde (dar anlamda devlet tüzel kişiliğini temsilen) “Maliye Hazinesi” adına kayıtlı taşınmazlar ile niteliği gereği Devletin Hüküm ve Tasarrufu Altındaki Tescil Harici Alanlar (DHATA) olan taşınmazlar olarak tanımlamak mümkündür. Bu tanım, Hazine Taşınmazlarının İdaresi Hakkında Yönetmelik tarafından da bu şekilde tarif edilmektedir (Şimşek, 2020).

Gerek halkın ihtiyaçlarının sağlanması açısından kamu kurum ve kuruluşlarına parsel tedarik etmesi, gerekse ekonomiye kazandırılması yoluyla devlete gelir ihdas etmesi bakımından Hazine parsellerinin önemi tartışılmazdır. Böylelikle Hazine parselleri üzerinde yapılan iş ve işlemlerin kontrolü büyük önem arz etmektedir. Milli Emlak Genel Müdürlüğü ve buna bağlı olarak illerde teşkilatlanmış olan Milli Emlak Daire Başkanlıkları/Milli Emlak Müdürlükleri tarafından kontrolü sağlanan işlemlerden biri olan yüzölçümü düzeltmelerinin incelenip karara bağlanması görevi kurum mühendislerince yerine getirilmektedir. Anlaşılabacağı üzere herhangi bir parselin üzerinde yüzölçümü hatası tespit edilebilmesi için o parselin illaki şahıs mülkiyetinde bir taşınmaz olması şart değildir. Kadastru ve tapulaması yapılırken tıpkı şahıs mülkiyetindeki taşınmazlar gibi teknik işlemlere tabi tutulan Hazine parselleri üzerinde de yüzölçümü hatası ve buna bağlı olarak da

yüzölçümü düzeltmesi işlemi gerçekleşmesi çok doğaldır.

Tasarrafu Milli Emlak Genel Müdürlüğüne ait olan Hazine parsellerinin tabii tutulacağı yüzölçümü düzeltmesi iş ve işlemleri çeşitlilik ve yoğunluk arz etmekte olduğundan dolayı ilgili idare olan Milli Emlak Genel Müdürlüğü'nce bu konuda mevzuat hükümleri ihdas edilerek bu iş ve işlemlerde istikamet belirlenmiştir. Bunların ilk akla geleni ise “327 sayılı Milli Emlak Genel Tebliği'dir.” Daha önce de vurgulandığı üzere Kadastro Müdürlüklerince yüzölçümü düzeltilecek olan parseldeki hata miktarının tolerans değeri aşması halinde, düzeltmenin ilgisinin muvafakati alınarak yapılması gerektiği ve ilgisine tebliğ edildikten sonra düzeltme işlemine karşı 30 (otuz) günlük dava açma hakkı süresi bulunmaktadır. Söz konusu taşınmaz, Hazine parseli olunca “ilgilisi” olarak muhatap alınacak olan tüzel kişiliğin de Milli Emlak Müdürlüğü olacağı aşikârdır. Bu minvalde düzeltmeyi yapan Kadastro Müdürlüğü tarafından hazırlanan “Teknik Hatalar Düzeltme Formu” Milli Emlak Müdürlüğüne gönderilmekte ve böylelikle 30 (otuz) günlük süre başlamaktadır. Milli Emlak Müdürlüğü mühendislerince Teknik Hatalar Düzeltme Formunda ve söz konusu parsel ile ilgili Milli Emlak Kurum arşivinden getirilen dosyada yer alan bilgi ve belgelere göre inceleme yapıp eğer 327 sayılı Milli Emlak Genel Tebliği ve diğer başka hususlarca herhangi bir Hazine zararı olmayacağı analiz edilirse; yüzölçümü düzeltmesi işlemine muvafakat verilmektedir. Ancak 327 sayılı tebliğ ve başka hususlarca Hazine zararının oluştuğu analiz edilirse; Milli Emlak Müdürlüğü tarafından Defterdarlığa bağlı Muhakemat Müdürlüğüne sebepleri bildirir bir yazı yazılması suretiyle Teknik Hatalar Düzeltme Formu da ekte gönderilerek 30 (otuz) günlük yasal süresi içerisinde yüzölçümü düzeltmesi işlemine karşı dava açılması gerektiği bildirilir. Böylelikle Muhakemat Müdürlüğü, Milli Emlak Müdürlüğü'nce belirlenen sebeplere dayalı olarak gerekli idari ve hukuki süreci başlatarak takibini sağlar (Şekil 4).

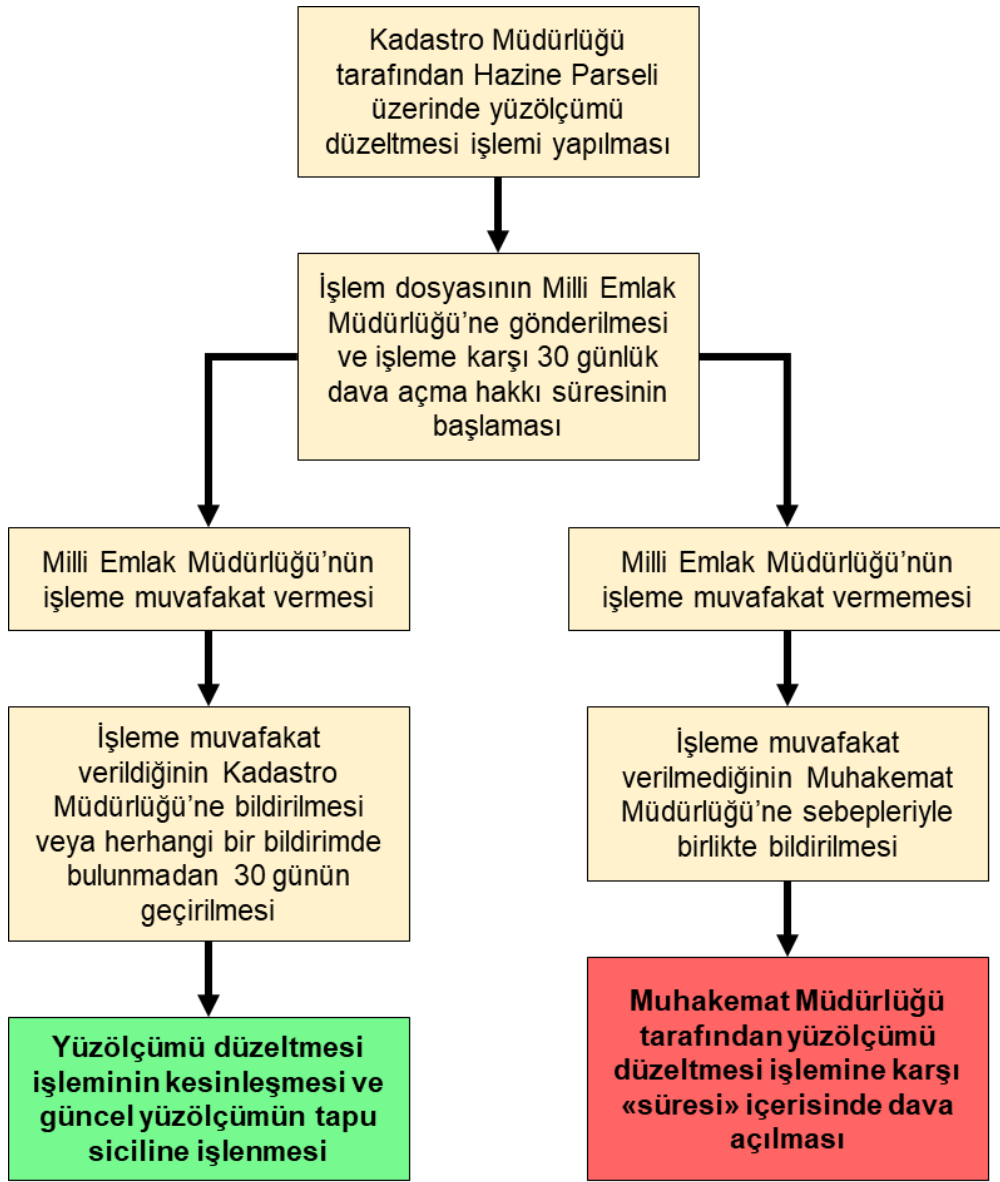
Şekil 4'te Hazine taşınmazları üzerinde yapılan yüzölçümü düzeltmesi işlemlerinde Kadastro Müdürlüğü- Milli Emlak Müdürlüğü – Muhakemat Müdürlüğü arasındaki iş akış şemasına yer verilmektedir. Kadastro Müdürlüğü'nde başlayan idari süreç, yapılacak işleme muvafakat verilmesi halinde Milli Emlak Müdürlüğü'nde sonlanmaktadır. Ancak, Kadastro Müdürlüğü'nde başlayan idari sürece dair muvafakat verilmemesi halinde işlemler Muhakemat Müdürlüğü'nde sonlanmaktadır.

### 3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

#### 3.1 Hazineye Ait Taşınmazlar Üzerinde Yapılan Yüzölçümü Düzeltmelerinin Değerlendirilmesi

327 sayılı Milli Emlak Genel Tebliğinin “Yetki” kısmının “Hazine taşınmazlarıyla ilgili hataların düzeltilmesi işlemleri” başlıklı bölümünün (a) bendinde “Düzeltilme işlemine konu taşınmazın işlem sonrasında kadastro paftasında ilk tesis kadastrodaki sınırlarının değişmediğinin ve düzeltmeye konu hatanın ölçü (planimetre), tersimat veya hesaplamadan kaynaklandığının ve bu düzeltme işlemi sonucunda komşu taşınmazların yüzölçümünde Hazine taşınmazı aleyhine bir artış olmadığına anlaşılması durumunda, düzeltme işlemine muvafakat verilecek ve bu işleme karşı dava açılmayacaktır.” denilmektedir (URL-4). Aynı kısımda yer alan (b) bendinde ise “Düzeltilmeye konu taşınmazın yapılan düzeltme işlemi sonrasında kadastro paftasında ilk tesis kadastrodaki sınırlarının değiştiğinin, bu taşınmaza komşu taşınmazların yüzölçümlerinde Hazine taşınmazı aleyhine ve bu taşınmazlar lehine bir artış olduğunun anlaşılması durumunda ise; düzeltme işlemine muvafakat verilmeyecek ve süresi içinde bu işleme karşı gerekli dava açılacaktır.” hükmü amirdir. (URL-4).

Özetle söz konusu tebliğde Hazine parselleri üzerinde gerçekleştirilen yüzölçümü düzeltmelerine hangi durumlarda muvafakat verilir, hangi durumda verilmeyeceği ifade edilmiştir. Buna göre Kadastro Müdürlüklerince tesis ve tanzim edilerek muvafakat verilir verilmeyeceği hususunda Milli Emlak Müdürlüklerine gönderilen yüzölçümü düzeltmesi işlemleri, işbu tebliğ uyarınca incelenmektedir.



Şekil 4: İş akış şeması

### 3.1.1 327 sayılı Milli Emlak Genel Tebliği Kapsamında Değerlendirme

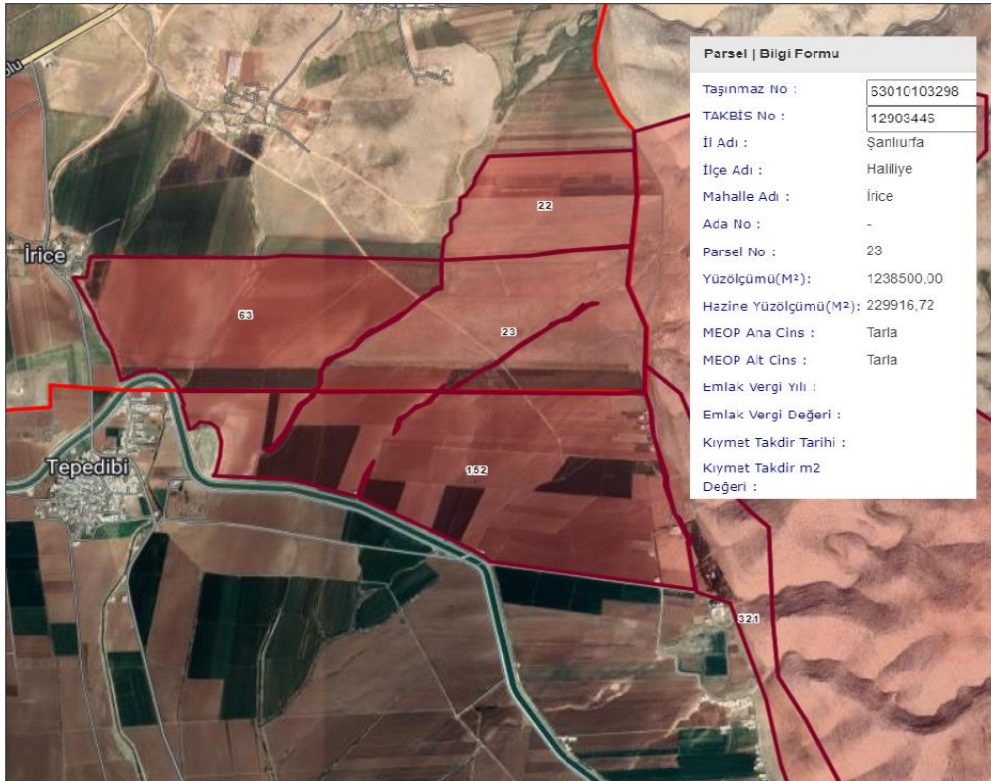
Hazineye ait parsellere uygulanan yüzölçümü düzeltmesi işlemlerinde izlenecek yolu gösteren bu tebliğ uyarınca düzeltme işlemini yapan Kadastro Müdürlüğüne tanzim edilen yüzölçümü düzeltme formundaki kıstaslar incelenerek karar verilmektedir (Şekil 5).

Şekil 5'te Şanlıurfa ili, Haliliye ilçesi, İrice Mahallesinde bulunan 23 nolu Hazine parseli (Şekil 6) üzerinde gerçekleştirilen arazi toplulaştırması işlemi sırasında fark edilen yüzölçümü hatasına istinaden hazırlanan teknik hatalar düzeltme formu verilmektedir. Parselin yüzölçümü 1 238 500.00 m<sup>2</sup>'den 1 223 720.47 m<sup>2</sup>'ye düşmektedir. Düzeltme formunda belirtilen sebeplerin 327 sayılı Milli Emlak Tebliğince analiz edilmesiyle parselin yüzölçümündeki 14 779.53 m<sup>2</sup>'lik devasa azalmaya rağmen muvafakat verilmiştir. Zira bu azalma, Hazine parselinin sınırlarında gerçekte bir daralmaya ya da komşu parsellerin alanlarında Hazine parseli aleyhine bir genişlemeye yol açmamakta, aksine evvelce yapılan hesap hatasının düzeltilmesini sağlamaktadır.



TEKNİK HATALAR DÜZELTME FORMU				
İli : ŞANLIURFA		DÜZELTMENİN DAYANAĞI		
İlçesi : HALİLİYE		(X) 3402 sayılı Kadastro Kanununun 41. Maddesi		
Mah / Köy : İRİCE		( ) 2019/13 sayılı Genelge		
İŞLEME KONU PARSEL / PARSELLERİN				
Pafta	Ada	Parsel	Eski Yüzölçümü	Yeni Yüzölçümü
N42-D-10-C/D	-	23	1238500.00 m <sup>2</sup>	1223720.47 m <sup>2</sup>
İnceleme Raporu				
İnceleme Nedeni: Arazi Topulaştırma Çalışmaları.				
<p><b>Yapılan İnceleme:</b> Şanlıurfa ili Haliliye ilçesi İrice mahallesi 23 nolu parseldeki yüz ölçüm farklılığı ile ilgili olarak zeminde, paftasında ve diğer fenni evraklarda yapılan inceleme neticesinde aşağıda ayrıntılı gösterilen hususlar tespit edilmiştir.</p> <p>a- Söz konusu parselin, tapulama ve kadastro çalışmaları sırasında İrice mahallesi kadastro çalışma alanı içinde, tapu ve vergi kayıtlarına istinaden Tarla vasfı ile tahdit ve tespitinin yapıldığı,</p> <p>b- Fotoğrametrik pafta üzerine sınırlandırılması yapılarak yüzölçümünün planimetre ile hesaplandığı,</p> <p>c- Tapulama sırasında sınırlandırılan parselin yüzölçümü; Planimetre hesap karnesinde 1238500.00 m<sup>2</sup> olarak hesaplandığı, fen klasörüne ve tapulama tutanağına 1238500.00 m<sup>2</sup> yazıldığı ve tapu kütüğüne de bu şekilde tescil edildiği, tapulama işleminden sonra sınırlarında eylemli bir değişikliğin olmadığı, orijinal ölçü değerlerine göre komşu parsellerle aralarındaki sınırlarla ilgili olarak herhangi bir ihtilafın bulunmadığı, yapılan düzeltmenin komşu parselleri etkilemediği,</p> <p>d- Tapu da tescilli yüz ölçüm ile sayısal olarak yeniden hesaplanan yüz ölçüm arasındaki farkın tecviz sınırları dışında olduğu, yüzölçümündeki farklılığın basit yazım hatasından kaynaklanmadığı,</p> <p>e- Yüz ölçümler arasındaki farkın ise planimetre çevrimine bağlı hesap hatasından ileri geldiği,</p> <p>f- Anılan parselin yüzölçümü sayısal verilere göre yeniden hesaplandığında;</p> <p>23 no.lu parselin alanının 1238500.00 m<sup>2</sup> olmayıp 1223720.47 m<sup>2</sup> olması gerektiği hususları tespit edilmiştir.</p>				

Şekil 5: Milli Emlak Müdürlüğü'nden 2022 yılında temin edilen Şanlıurfa ili, Haliliye ilçesi, İrice Mahallesi'nde bulunan 23 nolu Hazine parseline ait Teknik Hatalar Düzeltme Formu



Şekil 6: Milli Emlak Otomasyon Sistemi'nde yer alan 2022 yılında temin edilen Şanlıurfa ili, Haliliye ilçesi, İrice Mahallesi'nde bulunan 23 nolu Hazine parsel ve çevresinin mevcut durumu

Şekil 6'da söz konusu 23 nolu parsel ve çevresinin mevcut durumu gösterilmektedir. Düzeltme formu üzerinde yapılan tetkiklerce komşu parsellerin yüzölçümlerinde Hazine aleyhine bir artış olmadığı gibi, komşu parsellerin sınırlarında da eylemli bir değişikliğin olmadığı, sadece yüzölçümü değerinde rakamsal bir değişikliğin olduğu anlaşılmaktadır.

TEKNİK HATALAR DÜZELTME FORMU				
İli : ŞANLIURFA		DÜZELTMENİN DAYANAĞI		
İlçesi : HALİLİYE		(X) 3402 sayılı Kadastro Kanununun 41. Maddesi		
Mah / Köy : KANOĞLU		( ) 2019/13 sayılı Genelge		
İŞLEME KONUSU PARSEL / PARSELLERİN				
Pafta	Ada	Parsel	Eski Yüzölçümü	Yeni Yüzölçümü
N41-B-24-A/D N41-B-23-B	-	49	1541000.00 m <sup>2</sup>	1560173.84 m <sup>2</sup>
İnceleme Raporu				
İnceleme Nedeni: Arazi Topluşturma Çalışmaları.				
<p><b>Yapılan İnceleme:</b> Şanlıurfa İli Haliliye İlçesi Kanoğlu mahallesi 49 nolu parseldeki yüz ölçüm farklılığı ile ilgili olarak zeminde, paftasında ve diğer fenni evraklarda yapılan inceleme neticesinde aşağıda ayrıntılı gösterilen hususlar tespit edilmiştir.</p> <p>a- Söz konusu parselin, tapulama ve kadastro çalışmaları sırasında Kanoğlu mahallesi kadastro çalışma alanı içinde, Tapu kaydına istinaden Tarla vasfı ile şahıs adına tahdit ve tespitinin yapıldığı, daha sonra mahkeme kararı ile Maliye Hazinesi adına tescil edildiği,</p> <p>b- Fotogrametrik pafta üzerine sınırlandırılması yapılarak yüzölçümünün planimetre ile hesaplandığı,</p> <p>c- Tapulama sırasında sınırlandırılan parselin yüzölçümü; Planimetre hesap karnesinde <b>1541000.00 m<sup>2</sup></b> olarak hesaplandığı, fen klasörüne ve tapulama tutanağına <b>1541000.00 m<sup>2</sup></b> yazıldığı ve tapu kütüğüne de bu şekilde tescil edildiği, tapulama işleminden sonra sınırlarında eylemli bir değişikliğin olmadığı, orijinal ölçü değerlerine göre komşu parsellerle aralarındaki sınırlarla ilgili olarak herhangi bir ihtilafin bulunmadığı, yapılan düzeltmenin komşu parselleri etkilemediği,</p> <p>d- Tapu da tescilli yüz ölçüm ile sayısal olarak yeniden hesaplanan yüz ölçüm arasındaki farkın tevcih sınırları dışında olduğu, yüzölçümündeki farklılığın basit yazım hatasından kaynaklanmadığı,</p> <p>e- Yüz ölçümler arasındaki farkın ise planimetre çevrimine bağlı hesap hatasından ileri geldiği,</p> <p>f- Anılan parselin yüzölçümü sayısal verilere göre yeniden hesaplandığında;</p> <p><b>49 no.lu parselin alanının 1541000.00 m<sup>2</sup> olmayıp 1560173.84 m<sup>2</sup> olması gerektiği hususları tespit edilmiştir.</b></p>				

Şekil 7: Milli Emlak Müdürlüğü'nden 2022 yılında temin edilen Şanlıurfa ili, Haliliye ilçesi, Kanoğlu Mahallesi'nde bulunan 49 nolu Hazine parseline ait Teknik Hatalar Düzeltme Formu

Şekil 7'de Şanlıurfa İli, Haliliye İlçesi, Kanoğlu Mahallesi'nde bulunan 49 nolu Hazine parseli üzerinde gerçekleştirilen arazi toplulaştırması işlemi sırasında fark edilen yüzölçümü hatasına istinaden yapılan yüzölçümü düzeltmesi işlemine ait teknik hatalar düzeltme formu verilmektedir. Parselin yüzölçümü 1 541 000.00 m<sup>2</sup>'den 1 560 173.84 m<sup>2</sup>'ye çıkmaktadır. Burada Hazine parselinin alanında artış olduğundan herhangi bir inceleme yapılmamıştır. Şanlıurfa Kadastro Müdürlüğü tarafından tesis edilen yüzölçümü düzeltmesi işlemine doğrudan muvafakat verilmiştir.

### 3.1.2 327 sayılı Milli Emlak Genel Tebliği Kapsamı Dışında Değerlendirme

Bir Hazine taşınmazı üzerinde gerçekleştirilen yüzölçümü düzeltmesi işleminin çeşitli sebeplerden kaynaklandığı bilinmektedir. Bu sebeple de 327 sayılı Milli Emlak Genel Tebliği, düzeltme işleminin sebebine ve Hazine taşınmazına etkisine göre izlenecek usul ve esasları içermektedir. Ancak bu tebliğin yeterince açık bir şekilde yol gösteremediği durumlarla da karşılaşılabilir. Böylesi durumlarda kurum mühendislerince parselin arşiv dosyasındaki bilgi ve belgeler ile teknik hatalar düzeltme formundaki ifadeler ışığında yapılacak yorumlara göre karar verilmektedir.

TEKNİK HATALAR DÜZELTME FORMU				
İli : ŞANLIURFA		DÜZELTMENİN DAYANAĞI		
İlçesi : KARAKÖPRÜ		(X) 3402 sayılı Kadastro Kanununun 41. Maddesi		
Mah / Köy : KASIMKUYU		( ) 2019/13 sayılı Genelge		
İŞLEME KONU PARSEL / PARSELLERİN				
Pafta	Ada	Parsel	Eski Yüzölçümü	Yeni Yüzölçümü
N41-A-01-C	-	369	991090.00 m <sup>2</sup>	981974.02 m <sup>2</sup>
İnceleme Raporu				
İnceleme Nedeni: Arazi Topulaştırma Çalışmaları.				
Yapılan İnceleme: Şanlıurfa İli Karaköprü İlçesi Kasımkuyu mahallesi 369 nolu parseldeki yüz ölçüm farklılığı ile ilgili olarak zeminde, paftasında ve diğer fenni evraklarda yapılan inceleme neticesinde aşağıda ayrıntılı gösterilen hususlar tespit edilmiştir.				
a- Söz konusu parselin, tapulama ve kadastro çalışmaları sırasında Bozova İlçesi İğdeli mahallesi kadastro çalışma alanı içinde, Tapu kaydına istinaden Tarla vasfı ile Maliye Hazinesi adına tahdit ve tespiti yapılan 577 nolu parselin kamulaştırılma sonucu ayrılması ile oluştuğu, daha sonra idari yolla yapılan mahalle ayrımı sonucu, parselin Karaköprü İlçesi Kasımkuyu mahallesine aktarıldığı,				
b- 577 nolu parselin kamulaştırma sonucu, 637, 638 ve 639 nolu parsellere ayrıldığı, düzenlenen beyannamede 639 nolu parselin alanının planimetre ile 991090.00 m <sup>2</sup> hesaplandığı ve bu şekilde tescil edildiği, mahalle ayrımı sonucu 639 nolu parselin numarasının 369 olarak değiştirilerek, Kasımkuyu mahallesine aktarıldığı,				
c- Ayrılma işleminden sonra, sınırlarında eylemlerle bir değişikliğin olmadığı, orijinal ölçü değerlerine göre komşu parsellerle aralarındaki sınırlarla ilgili olarak herhangi bir ihtilafın bulunmadığı, yapılan düzeltmenin komşu parselleri etkilemediği,				
d- Tapu da tescilli yüz ölçüm ile sayısal olarak yeniden hesaplanan yüz ölçüm arasındaki farkın tecviz sınırları dışında olduğu, yüzölçümündeki farklılığın basit yazım hatasından kaynaklanmadığı,				
e- Yüz ölçümler arasındaki farkın ise 577 nolu parseldeki planimetre çevrimine bağlı hesap hatasından ileri geldiği,				
f- Anılan parselin yüzölçümü sayısal verilere göre yeniden hesaplandığında;				
369 nolu parselin alanının 991090.00 m <sup>2</sup> olmayıp 981974.02 m <sup>2</sup> olması gerektiği hususları tespit edilmiştir.				

**Şekil 8:** Milli Emlak Müdürlüğü'nden 2022 yılında temin edilen Şanlıurfa ili, Karaköprü İlçesi, Kasımkuyu Mahallesinde bulunan 369 nolu Hazine parseline ait Teknik Hatalar Düzeltme Formu

Şekil 8'de Şanlıurfa İli, Karaköprü İlçesi, Kasımkuyu Mahallesinde bulunan 369 nolu Hazine parseli üzerinde gerçekleştirilen yüzölçümü düzeltmesi işlemine ait teknik hatalar düzeltme formu verilmektedir. Parselin yüzölçümü 991 090.00 m<sup>2</sup>'den 981 974.02 m<sup>2</sup>'ye düşmüştür. Teknik hatalar düzeltme formunda: söz konusu parselin evvelce 577 nolu parsel olarak var olduğu ve bu parsel üzerinde yapılan kısmi kamulaştırma sonucunda parselin 637, 638 ve 639 nolu parsellere ayrıldığı, kamulaştırılarak Hazine mülkiyetine geçen 639 nolu parselin yüzölçümünün planimetre ile yapılan hesaplamada 991 090.00 m<sup>2</sup> olarak hesaplandığı, daha sonra ise yapılan mahalle ayrımı işlemi ile Hazine mülkiyetindeki 639 nolu parselin isminin değişerek 369 ismini aldığı belirtilmektedir. Burada dikkat çeken husus: 991 090.00 m<sup>2</sup> olarak hesaplanan ve bu miktar üzerinden kamulaştırılan parselin aslında 981 974.02 m<sup>2</sup> olduğundan dolayı yaklaşık 10 bin m<sup>2</sup> fazladan kamulaştırma ücretinin ödenmiş olabileceği durumudur. Ayrıca hatanın, söz konusu parselin kamulaştırma sırasında parçalanmış olan ana parselden yani 577 nolu parselden kaynaklı olarak doğmuş olabileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda var olan ana parselden gelen hatanın ayrılma sırasında Hazine mülkiyetine geçen parseli yüklenmiş olabileceği hususu yine Hazine zararına sebebiyet vermektedir. Bu sebeplerce söz konusu yüzölçümü düzeltmesi işlemine muvafakat edilmemiştir. Bu durumda; Muhakemat Müdürlüğüne yüzölçümü düzeltmesi işlemine karşı anılan sebepler gereği dava açılması gerektiği yazıyla iletilmiştir.

#### 4. Sonuçlar

Hazine parselleri üzerinde gerçekleştirilen iş ve işlemlerde tasarruf ve karar verme yetkilisi olan Milli Emlak Müdürlükleri, Kadastro Müdürlüklerince yapılan yüzölçümü düzeltmesi işlemlerini incelerken 327 sayılı Milli Emlak Genel Tebliği'ne göre hareket etmekle yükümlüdür. Bu tebliğ "Hazine taşınmazlarıyla ilgili hataların düzeltilmesi işlemleri" bölümü, (a) ve (b) bentlerinden oluşmaktadır. Bu bentlerin her ikisi de sadece; "komşu taşınmazların yüzölçümlerinde Hazine taşınmazı

aleyhine ve bu taşınmazlar lehine bir artışın olup olmaması” durumunun tetkik edilmesine hükmetmektedir. Ancak (a) ve (b) bentleri kapsamında herhangi bir Hazine zararı görülmediği halde, uygulandığı taktirde Hazine zararına yola açabilecek durumlarla da karşılaşılabilir. Şekil 8’de işlenen örnekte bu duruma açıkça yer verilmektedir. Bu örnekte yer alan yüzölçümü düzeltmesi işleminin incelenmesinde izlenecek yol, (a) ve (b) bentlerinde karşılık bulamamaktadır. Anlaşılabileceği üzere 327 sayılı tebliğ, yüzölçümü düzeltmelerinin kontrolü kapsamında izlenecek yolları tarif etmekte bazen yeterli olamamaktadır. Bu sebeple Milli Emlak Müdürlükleri’nde görevli mühendisler, yüzölçümü düzeltmesinin sebebi her ne olursa olsun “Hazine parselinin yüzölçümünün azaldığı” işlemlerde muhtemel bir Hazine zararına yol açmamak ve kendilerini riske atmamak için çoğu zaman dava yoluna gitmektedir. Tüm bunların sonucu olarak; kimi zaman yüzölçümü düzeltmesi işlemine karşı aslında dava açılması gerektiği halde dava açılmamakta ve Hazine zararı oluşmaktadır. Kimi zaman ise dava açılmasına gerek olmadığı halde yüzölçümü düzeltmesi işlemine karşı dava açılmakta ve Kadastro Müdürlükleri, Muhakemat Müdürlükleri, Mahkemeler gibi devlet kurumları gereksiz iş ve işlemlerle meşgul edilmektedir.

## 5. Öneriler

Tebliğin açıklamakta yetersiz kaldığı durumlarda (tıpkı Şekil 8’de verilen kamulaştırma örneğinde olduğu gibi) parselin arşiv dosyasında bulunan bilgi ve belgeler, parselin geçirdiği teknik ve hukuki işlemler, parselin yüzölçümü düzeltme formunda açıklanan sebeplerce irdelenerek karar verilmelidir. Böylelikle yapılacak sağlıklı analiz ve verilecek doğru kararlar sayesinde, muhtemel bir Hazine zararının önüne geçilerek Milli Emlak Müdürlüğü’nün en temel görevi yerine getirilmiş olacaktır. Bu konularda yeterliliğe sahip olabilmeleri açısından kurumda görevli mühendisler gerekli eğitim ve seminerlerden geçirilmelidir. Tıpkı Milli Emlak gibi kendi alanında iş ve işlemlerini kamu yararınca yerine getirmekle yükümlü olan Kadastro Müdürlükleri’nin yapacağı her yüzölçümü düzeltmesine “sırf Hazine yüzölçümünde azalma var” diye dava açılmamalıdır. Zira bir Hazine taşınmazının yüzölçümünün azalması, her zaman Hazine zararı oluşacağı anlamına gelmez. Masrafı ve külfeti göz önünde bulundurulduğunda “dava açılmaması” gereken bir yüzölçümü düzeltmesi işlemine karşı “dava açılması” dolaylı yoldan bir Hazine zararı anlamına gelmektedir.

Öte yandan yetersiz kaldığı düşünülen 327 sayılı Milli Emlak Genel Tebliği’nin ilgili kısmının revize edilmesi yaklaşımı da uygun olacaktır. Bölüm 3.1’de detaylarıyla açıklanan tebliğin “Hazine taşınmazlarıyla ilgili hataların düzeltilmesi işlemleri” kısmında yer alan (a) ve (b) bentleri kapsamında “komşu taşınmazların yüzölçümlerinde Hazine taşınmazı aleyhine ve bu taşınmazlar lehine bir artışın olup olmaması” durumunun incelenmesine ek olarak; yüzölçümü düzeltmesiyle alanı azalan Hazine parselinin geçmişte geçirdiği işlemlerin de incelenmesi isabetli olacaktır. Yüzölçümü azalan Hazine parselinin kök kayıtlarına doğru bir inceleme yapılmalıdır. İşleme konu Hazine parseli, geçmişte; parsellasyon, hisse ayrımı, kamulaştırma vb. sebeplerce yapılan ifraz işlemiyle bir şahıs parselden ayrılarak meydana gelmişse; Hazine parselindeki hata miktarı, parselin önceden parçası olduğu ana parseldeki bir yüzölçümü hatasından kaynaklanıyor olabilir. Böylesi bir durumda ana parseldeki bu hata miktarının tümü ifraz sırasında Hazine parselinin üzerine yüklenmişse; Hazine zararı söz konusudur. Ayrıca yüzölçümü azalan Hazine parseli, şahıs mülkiyetindeki bir parselden geçmiş bir tarihte ifraz edilip kamulaştırılarak meydana gelmişse; şahsa parselin önceki (hatalı) yüzölçümü üzerinden hak etmediği (fazladan) bir kamulaştırma ücreti ödendiği anlamı hasıl olur. Dolayısıyla yine Hazine zararı söz konusudur. Bu bağlamda olası Hazine zararlarına engel olunması amacıyla 327 sayılı Milli Emlak Genel Tebliği’nin Hazine taşınmazlarıyla ilgili hataların düzeltilmesi işlemleri bölümünün (a) ve (b) bentlerine ek olarak: “yüzölçümü düzeltmesi sebebiyle yüzölçümü azalacak olan Hazine parselinin kök kayıtlarına bakılarak inceleme yapılacaktır. Bu inceleme kapsamında yüzölçümü azalan Hazine parselinin, daha önceki bir zamanda şahıs mülkiyetindeki bir parselden ayrılarak oluşup oluşmadığı durumu tespit edilecektir. Böyle bir durumun varlığı halinde; kadastro kayıtlarından faydalanılması suretiyle Hazine parselinde tespit edilen yüzölçümü hatası miktarının ana parselle olan bağlantısı kurularak karar verilecektir.” hükmünü içeren bir (c) bendinin ihdas edilmesi yerinde olacaktır.

## Teşekkür

Çalışma kapsamında bilgi ve belge paylaşımını sağlayan Şanlıurfa Milli Emlak Müdürlüğü'ne (İmar ve Taşınmaz Geliştirme Bürosu) teşekkürlerimizi sunarız.

## Yazar Katkısı

**Mehmet Aziz Sayar:** Fikir, Tasarım, Denetleme, Yazım. **Mustafa Ulukavak:** Literatür taraması, Veri toplama ve işleme, Yazım.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu çalışmada bilinen ilgili herhangi bir finansal veya finansal olmayan çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

## Kaynaklar

- Atak, B., & Durduran, S.S. (2015). Ülkemizdeki Geçmiş Kadastro Ölçme Yöntemlerinden Günümüze Yansıyan Sorunlar ve Oluşan Kayıplar. Turkey, *Proceedings of the World Cadastre Summit*, İstanbul.
- Ayduran, E., & Uyan, M. (2022). Kadastro Güncelleme Çalışmalarında Yaşanılan Sorunlar, Eksiklikler ve Giderilmesinde Alternatif Öneriler. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 4(1), 12-17.
- Dale, P.F., & McLaughlin, J.D. (1999). *Land Administration*. Oxford University Press, New York.
- Henssen, J. (1995). Basic principles of the main cadastral systems in the world. *P Proceedings of the One Day Seminar Held during the Annual Meeting of Commission 7, Cadastre and Rural Land Management, of the International Federation of Surveyors (FIG)*, Delft, Hollanda.
- Karataş, K., & Gençer, E. (2021). Kadastro Haritalarının Sayısallaştırılması Kapsamında Yapılan Çalışmaların Analizi. *Geomatik*, 6(2), 124-134.
- Şimşek, S. (2020). *Hazine taşınmazları açısından imar planlama ve uygulama sorunları ve çözüm önerileri* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Toker, K. (2015). Türkiye'de Çeşitlerine Göre Kadastro Süreçlerinin Analizi. *Proceedings of the World Cadastre Summit*, İstanbul.
- URL-1: 09.11.1982 tarihli ve 17863 sayılı Resmî Gazete, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=2709&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> (Erişim Tarihi: 1 Kasım 2022).
- URL-2: 08.12.2001 tarihli ve 24607 sayılı Resmî Gazete, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=4721&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> (Erişim Tarihi: 1 Kasım 2022).
- URL-3: 09.07.1987 tarihli ve 19512 sayılı Resmî Gazete, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=3402&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> (Erişim Tarihi: 1 Kasım 2022).
- URL-4: 24.03.2010 tarihli ve 27531 sayılı Resmî Gazete, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=13879&MevzuatTur=9&MevzuatTertip=5> (Erişim Tarihi: 1 Kasım 2022).





# Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi

## Journal of Geodesy and Geoinformation

# İÇİNDEKİLER - CONTENTS

### ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

- Bulut bilişimde sunucusuz mimariler ile coğrafi bilgi teknolojilerinin kullanımı üzerine bir inceleme  
A review on the usage of geographic information technologies with serverless architectures in cloud computing ..... 1-15  
*Mete Ercan PAKDİL, Rahmi Nurhan ÇELİK*
- Arazi ve arsa düzenlemelerinde düzenleme ortaklık payının alınmadığı durumlarda bedele dönüştürülmesi  
The conversion of the development readjustment share into the price ..... 16-29  
*Murat Selim ÇEPNİ*
- Küresel BeiDou Sistemi (BDS-3) için hassas nokta konumlama performansının değerlendirilmesi  
Evaluation of the precise point positioning performance for Global BeiDou System (BDS-3) ..... 30-44  
*Berkay BAHADUR*
- Açık kaynak kodlu Eo-learn kütüphanesi ve çok zamanlı Sentinel-2 görüntüleri ile tarımsal ürün sınıflandırması  
Agricultural crop classification with open source Eo-learn library and multi-temporal Sentinel-2 images ..... 45-62  
*Fatih Fehmi ŞİMŞEK, Süleyman Savaş DURDURAN*
- Toplu taşınmaz değerlemede makine öğrenme algoritmalarının kullanımı ve konumsal/konumsal olmayan özneliklerin tahmin doğruluğuna etkilerinin karşılaştırılması  
Using machine learning algorithms in mass valuation and comparing the effects of geographical/non-geographical features on prediction accuracy ..... 63-83  
*Arif Çağdaş AYDINOĞLU, Rabia BOVKIR, İsmail ÇÖLKESEN*
- Yüzölçümü hatalarının giderilmesinde hazine hak/menfaatlerinin korunmasına dair bir araştırma  
A study on the protection of treasury rights/benefits in elimination of surface errors ..... 84-95  
*Mehmet Aziz SAYAR, Mustafa ULUKAVAK*