

GEOmatik

Geomatik Dergisi
Cilt 7 / Sayı 3 - Aralık 2022

ISSN:2564-6761

**Dergi Hakkında**

Geomatik Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak harita mühendisliği alanında yeni gelişmelerle ilgili yapılan çalışmalarını yayınlayan bir dergidir. Geomatik dergisi Tubitak Ulakbim TR Dizin’de Dizinlenmektedir.

Amaç & Kapsam

Geomatik Dergisi 2016 yılından beri yayın hayatını sürdüren uluslararası hakemli TÜRKÇE yayın yapan bir dergi olup hakem değerlendirme sistemi mevcuttur. Harita Mühendisliğine ait kuramsal ve uygulamalı araştırma, tarama-inceleme, bildiri, vaka çalışması, kısa rapor ve editöre mektup niteliklerinden birine uygun eserler hakem değerlendirmesinden yayınlanabilir olduğuna dair karar verildikten sonra yayımlanır. Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan eser, dergi editörlüğünce değerlendirme için hakemlere gönderilir. Geomatik Dergisinde KÖR HAKEMLİK uygulaması mevcuttur. Yayımlanmasına, hakemlerin görüşü doğrultusunda Dergi Editör ve Yayın Kurulu karar verir. Gönderilen makaleler yayımlansın veya yayımlanmasın iade edilmez. Dergimizde yayınlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik v.b.) yazarlara aittir. Yayımlanan yazıların telif hakkı dergiye aittir ve referans gösterilmeden aktarılamaz. Araştırmacılar arasındaki bilimsel iletişimi oluşturmak amacıyla aşağıda nitelikleri açıklanan, başka bir yerde yayımlanmamış makaleler Türkçe olarak kabul edilmekte ancak özetinin İngilizce de basılması zorunluluğu vardır.

GEOMATİK dergisinin kapsamı;

- ✓ Fotogrametri ve Uzaktan Algılama,
- ✓ Lidar, Yersel lazer tarama, Mobil lazer tarama,
- ✓ GPS ve uygulamaları, Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları
- ✓ Ölçme teknikleri - endüstriyel ölçmeler, deformasyon ölçmeleri,
- ✓ Jeodezi
- ✓ Hidrografik ölçmeler, navigasyon, madencilik ölçmeleri
- ✓ Mühendislik ölçmeleri, Jeodezi, dengeleme,
- ✓ Kartografik uygulamalar,
- ✓ Arazi Toplulaştırma ve uygulamaları, Kadastro ve uygulamaları
- ✓ İmar Bilgisi ve uygulamaları ve
- ✓ Geomatik mühendisliği ve yerbilimleri ile bağlantılı multi disiplinler çalışmaları.

Yayımlanma Sıklığı

Yılda 3 sayı (Nisan, Ağustos, Aralık aylarında sayı çıkarılır.)

e-ISSN

2564-6761

WEB

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

İletişim

geomatikdersisi@gmail.com



EDİTÖR

Prof. Dr. Murat YAKAR

Mersin Üniversitesi,
Mersin

EDİTÖR YARDIMCILARI

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

Konya Teknik Üniversitesi,
Konya

EDİTÖR KURULU

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

DANIŞMA KURULU

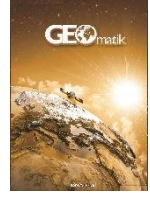
- Prof. Dr. Dursun Zafer Şeker, İstanbul Teknik Üniversitesi
- Prof. Dr. Hacı Murat YILMAZ, Aksaray Üniversitesi
- Prof. Dr. Cengiz ALYILMAZ, Atatürk Üniversitesi
- Prof. Dr. Abdurrahman Geymen, Erciyes Üniversitesi
- Prof. Dr. Ferruh YILDIZ, Selçuk Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

CİLT 7 / SAYI 3

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

** Akıllı şehirlerde büyük coğrafi veri yönetimi ve analizi: hava kalitesi örneği	
Arif Çağdaş Aydın [*] , Rabia Bovkır, Muzaffer Bulut	174
** Deniz seviyesi değişimlerinin belirlenmesinde GNSS-IR yönteminin kullanımı ve doğruluk analizi üzerine bir araştırma	
Cemali Altuntaş [*] , Nursu Tunalıoğlu	187
** Şekil göstergeleri ve topluluk öğrenmesi sınıflandırma algoritmaları ile bina detaylarının şekil karmaşıklık analizi	
Hüseyin Safa Duman [*] , Melih Başaraner	197
** Türkiye'de COVID-19 sürecinde alınan önlemler çerçevesinde okul bahçe ve sınıflarının CBS ile değerlendirilmesi	
Murat Başeğmez [*] , Cevdet Coşkun Aydın	209
** Düzce bölgesi taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesi	
Esin Oğuz, Kahraman Oğuz [*] , Kurtuluş Öztürk	220
** İstanbul Terkos Gölü zamansal değişiminin Google Earth Engine kullanılarak belirlenmesi	
Merve Karaca, Nur Yağmur, Filiz Bektaş Balçık	235
** QZSS uyduları ve sinyal yapıları	
Atınç Pırtı [*] , Zeynep Örs Gündoğan, Merve Şimşek	243
** Çok zamanlı muktispektral uydu verilerinin Marmara Gölü kıyı değişimi analizinde kullanılması	
Abdurahman Yasin Yiğit, Halil İbrahim Şenol [*] , Yunus Kaya	253



Akıllı şehirlerde büyük coğrafi veri yönetimi ve analizi: hava kalitesi örneği

Arif Çağdaş Aydınoglu^{*1}, Rabia Bovkır¹, Muzafer Bulut²

¹Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Kocaeli, Türkiye

²Nil Proje Müh. İnş. Tur. Mad. Dış Tic. Ltd. Şti., Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Hava Kalitesi İndeksi (HKİ)
 NoSQL
 Büyük Coğrafi Veri Yönetimi
 MongoDB
 Büyük Veri

ÖZ

Bilişim teknolojilerinin gelişmesiyle, veri üretim teknikleri ve toplanan veri hacmi artmıştır. Akıllı şehir uygulamaları ile sensörler, IoT, internet, giyilebilir teknolojiler gibi farklı veri kaynaklarından akan verilerin yönetimi ve bu verilerden değer yaratmak mümkün hale gelmiştir. Günümüzde toplanan büyük hacimli ve karmaşık verinin yönetimi için geleneksel veri depolama ve yönetim yaklaşımları yetersiz kalmış ve büyük verinin hacim, hız ve çeşitlilik gibi karakteristik özellikleri kapsamında yeni bir yaklaşım ihtiyacı doğmuştur. SQL tabanlı yapısal veri tabanlarının yanı sıra, bu ihtiyaca cevap olarak yapılandırılmamış veriyi yönetmede esnek ve ölçeklenebilir bir çözüm olarak NoSQL veri tabanı sistemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada, akıllı şehirlerde örnek teknolojiler değerlendirilmiş, coğrafi büyük verinin CBS ile entegrasyonu kapsamında hava izleme istasyonlarından elde edilen anlık sensör ölçme verileri kullanılarak NoSQL veri tabanı ortamı olan MongoDB’ de Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) hesaplanmıştır. CBS ortamında hava izleme istasyonlarına yakın olan trafik sensörlerinden elde edilen veriler ile ortalama trafik yoğunlukları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre hava kalitesinin trafik ile ilişkisi belirlenmiştir.

Geographical big data management and analysis in smart cities: the example of air quality

Keywords

Air Quality Index (AQI)
 NoSQL
 Big Geographic Data
 Management
 MongoDB
 Big data

ABSTRACT

With the development of information technologies, the data production style and the collected data volume have increased. With smart city applications, the importance of managing flowing from different data sources such as sensors, IoT, internet, wearable technologies and creating value from these data has increased. Today, traditional data storage and management approaches are insufficient for the management of large volumes and complex data collected, and a new approach has been born with the characteristics of big data such as volume, speed and diversity. Besides SQL-based databases, the NoSQL database provides flexible and scalable solution to manage unstructured data in response to this need. Such sample technologies were evaluated and displayed on the sensor obtained from air monitoring stations in the integration of geographic big data with GIS. Air Quality Index (AQI) was calculated in MongoDB on the NoSQL monitor. The average traffic density was calculated with the data obtained from traffic sensors close to air monitoring stations in GIS environment. According to the results, its relationship with air traffic has been determined.

1. Giriş

Bilişim teknolojilerinin gelişmesi ile özellikle son on yılda teknolojilerin günlük yaşamda kullanılması ve sürekli veri üretilmesi söz konusu olmuştur (George ve ark., 2014). 21. yüzyılın petrolü olarak tanımlanan büyük veri, bilgisayar ağlarının büyüüp karmaşıklaşması, internet, IoT, giyilebilir teknolojiler, sosyal medya ve sensörler gibi farklı ortamlardan elde edilen büyük hacimli veri kümelerini ifade eder (Doğan ve Arslantekin, 2016). Günümüz teknolojisinde sadece internet yoluyla çok küçük zaman dilimlerinde terabyte boyutlarına varan veriler üretilmekte ve dijitalleşmiş verilerin %90'a yakınının yalnızca son iki yılda toplanmış olduğu belirtilmektedir (Al Nuaimi ve ark., 2015; Aydın, 2017; Şahin ve ark., 2020).

Büyük veri kavramı ile verilerin elde edilme yollarının farklılaşması ve bunu takiben depolanabilir veri miktarında meydana gelen artış, bu büyük hacimdeki karmaşık verinin modellenerek saklanması için yeni arayışlara yönelmeyi zorunlu hale getirmiştir (Öztürk ve Atmaca, 2017; Şahin ve ark., 2020). Büyük veri, farklı kaynak ve ortamlardan gerçek zamanlı olarak elde edildiği için genellikle yapılandırılmamış olarak üretilmektedir (Aydın, 2017; Aydınoglu ve ark., 2020) ve son yıllarda dünyada üretilen tüm veri hacminin %80'den fazlasının yapısal olmayan formatta üretildiği belirtilmektedir (Wei ve ark., 2017; Taleb ve ark., 2018; Onay, 2020). Geleneksel veritabanı modellerinde bir şemaya bağlılıktan dolayı kaynak ve format çeşitliliği fazla olan büyük verinin yönetiminde daha pratik yaklaşımlara ihtiyaç vardır (Daşdemir ve Kara, 2019). Bu gereksinime çözüm olarak geliştirilen NoSQL (Not Only SQL-SQL'den Fazlası) veritabanı yaklaşımları, büyük hacimli ve yapısal olmayan veriyi performanstan feragat etmeden kullanmaya imkân sağlayan sistemlerdir (JRC, 2014; Daşdemir ve Kara, 2019; Aydınoglu ve ark., 2020). NoSQL veritabanları, büyük veri yönetiminde klasik ilişkisel veritabanı yaklaşımı olan SQL veritabanlarından çok daha iyi performans göstermekte ve büyük veri uygulamalarında özellikle esneklik ve yatay ölçeklenebilirlik avantajları sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedirler (Schönberger ve Cukier, 2013; Aydın, 2017; Baralis ve ark., 2017; Aydınoglu ve ark., 2020; Anbaroğlu, 2021).

Akıllı şehirler, artan nüfus ile birlikte gittikçe yoğunlaşan şehir alanlarındaki trafik, hava ve çevre kirliliği, ulaşım, enerji, su ve atık yönetimi gibi altyapı sorunlarına çözüm olarak ortaya atılmış yeni nesil şehir yönetim anlayışıdır (Neirotti ve ark., 2014; Albino ve ark., 2015; Aydınoglu ve ark., 2020). En genel ifadesi ile akıllı şehirler, vatandaşlarına daha iyi hizmetler sunmak için teknoloji tabanlı yaşam ve planlama çözümlerini üreten ve şehir kaynaklarını etkin, ölçülebilir ve sürdürülebilir olarak kullanan akıllı sistemler bütünü olarak tanımlanabilir (Hollands, 2008; O'Grady ve O'Hare, 2012; Ballas, 2013; Terzi ve Ocakçı, 2017). Akıllı şehirlerde başarı için bilişim teknolojilerindeki gelişmelerin izlenmesi ve büyük veri işleme kabiliyetleri oldukça önemlidir. Bilgi ve İletişim Teknolojilerinin (BİT) yardımı ile trafik, enerji, ulaşım, hareketlilik, güvenlik, arazi ve taşınmaz yönetimi gibi kritik şehir sorunlarını çözmek için bilgisayar, bulut ve ulaşım ağlarının Kent Bilgi

Sistemleri (KBS) uygulamaları ile birlikte kullanılabilmesi öngörülmektedir (Aydınoglu ve ark., 2020).

Şehirlerde yaşanabilirlik ve sürdürülebilirlik kapsamında çevre ve hava kalitesi önemli bir yere sahiptir. Dünya Sağlık Örgütü, hava kirliliğinin insan sağlığını etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğunu ve her yıl yaklaşık 7 milyon insanın kirli havaya maruz kaldığı için yaşamını yitirdiğini ifade etmektedir (WHO, 2021). Yoğunlaşan şehirlerde nüfustaki hızlı ve kontrolsüz artış nedeniyle, mega şehirlerin neredeyse tamamı artan sıcaklık olaylarından ve yüksek hava kirliliği seviyelerinden etkilenmiştir (Sabrin ve ark., 2020). Bu nedenle şehirlerde hava kalitesi endeksinin (HKİ) belirlenmesi, hava kalitesi koşullarını ölçmek ve değerlendirmek kapsamında yetkililer için temel bir ihtiyaç haline gelmiştir (Tan ve ark., 2021). Bu anlamda HKİ değerlerinin, şehirlerde hareketliliğin yoğun olduğu alanlar için hesaplanması ve değer farklılıklarının yorumlanması oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, akıllı şehir mimari bileşenleri, büyük coğrafi veri teknolojileri ve altyapıları ile akıllı şehir uygulamaları irdelenmiştir. Özellikle yapısal ve yapısal olmayan veri kavramları açıklanarak, yapısal olmayan veri yönetimi kapsamında ortaya çıkan veri altyapı çözümü olan NoSQL kavramı üzerinde durulmuştur. Akıllı şehirlerde büyük veri yönetimi kapsamında NoSQL veritabanlarını yaklaşımları olan MongoDB ve açık kaynaklı CBS veritabanı çözümü olan PostGIS kullanılarak, günümüzün en büyük problemlerinden olan trafik yoğunluğunun hava kalitesine olan etkisinin irdelenmesi amacı ile örnek uygulama gerçekleştirilmiştir. İstanbul ilinde trafik ve hava kalitesi ölçüm sensörlerinden gelen büyük coğrafi verinin MongoDB'nin etkin veri yönetim imkânları ile birlikte analizi sonucu, akıllı şehirler için örnek bir CBS uygulama yaklaşımı gerçekleştirilmiştir.

2. Akıllı şehirler

Akıllı şehir (smart city) kavramı, özellikle son 20 yılda BİT gelişiminde meydana gelen hızlı gelişim ile birlikte literatürde yoğun olarak tartışılmaya başlamıştır (Aydınoglu ve ark., 2020). Literatürde akıllı şehirler ile ilgili birçok tanım yer almakta "akıllı-smart" kavramı yerine "zeki-intelligent", "dijital-digital" ya da "algılayan-sensing" kavramları kullanılabilir (O'Grady ve O'Hare, 2012). Bu kavramların hepsi aynı anlama gelmekle birlikte akıllı şehirler en temelde vatandaşları için yaşam kalitesini artırmayı, teknolojiyi yaşama entegre etmeyi ve daha iyi kentsel hizmetler sunmayı hedefler (Ballas, 2013; Demirci ve Köseoglu, 2018; Aydınoglu ve ark., 2020). Akıllı şehirler için birçok farklı tanım yapılmıştır. Örneğin OGC (2015)'de akıllı şehir; vatandaşları için daha yaşanabilir ve sürdürülebilir hizmetler sağlayan, yerel düzeyde paydaşlar arasındaki iş birliğini destekleyen, sistemlerin yeni teknolojiler ve yenilikçi yaklaşımlarla birlikte çalışabilirliğini sağlayan, verilerin etkin yönetimi ile şehrin sorunlarını ve ihtiyaçlarını öngören şehir olarak tanımlanmıştır.

Boyd Cohen'e göre (USDN, 2014) akıllı şehirler; akıllı ekonomi, akıllı çevre, akıllı insanlar, akıllı hareketlilik, akıllı yaşam ve akıllı devlet olmak üzere 6 ana bileşenden oluşur. KBS'nin de temel bileşenleri

olarak kabul edilebilen bu bileşenler için farklı uygulamalar ve farklı gereksinimlere ihtiyaç duyulabilir. Uygulama alanından bağımsız olarak değerlendirildiğinde, akıllı şehirler temel olarak teknoloji, veri ve insan faktörlerini içermektedir. Teknoloji açısından bir akıllı şehir uygulaması; İletişim Arayüzü (Communication Interfaces), Entegre Operasyon ve Kontrol Merkezleri (Integrated Operation and Control Centers), Sensörler ve Bağlantı Altyapısı (Connectivity Infrastructure) olarak 4 temel bileşeni içerir (IDB, 2016). Sürdürülebilir bir akıllı şehir mimarisinde, Algılama (Sensing), İletişim (Communication), Veri (Data) ve Hizmet/Uygulama (Service/Application) olmak üzere 4 ana katman (Aydınöglü ve ark., 2020; URL-1) mevcuttur (Şekil 1).

- Algılama katmanı, çeşitli tematik şehir aksiyonları hakkında fiziksel veri toplayan ve bu verileri veri katmanındaki merkezlere gönderen, şehir alanına yayılmış sensörler ve diğer veri algılama cihazlarını içerir. Bu çalışmada ulaşım uygulamalarına yönelik RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor) gibi aktif sensörlerden ve diğer pasif veri sağlayıcılarından gelen verinin uygulamalarda kullanılması sağlanacaktır.

- İletişim katmanı, sensörler ve veri işleme platformu arasındaki iletişimi sağlar. WiFi, optik fiber, Ethernet gibi geleneksel LAN ve WAN iletişim teknolojileri ile UMTS ve LTE gibi mobil iletişim teknolojilerinden faydalanmaktadır.

- Veri katmanı, akıllı şehir mimarisinin veri altyapısının yapılandırıldığı yer olarak kabul edilebilir. Bu katman güvenilir ve birlikte çalışabilir verinin varlığıyla etkin bir şekilde çalışabilir. Bu katmanda veri dönüşüm araçları ile verilerin kullanılabilir hale gelmesi ve ileri istatistiksel modeller ile işlenmesi olanaklı hale

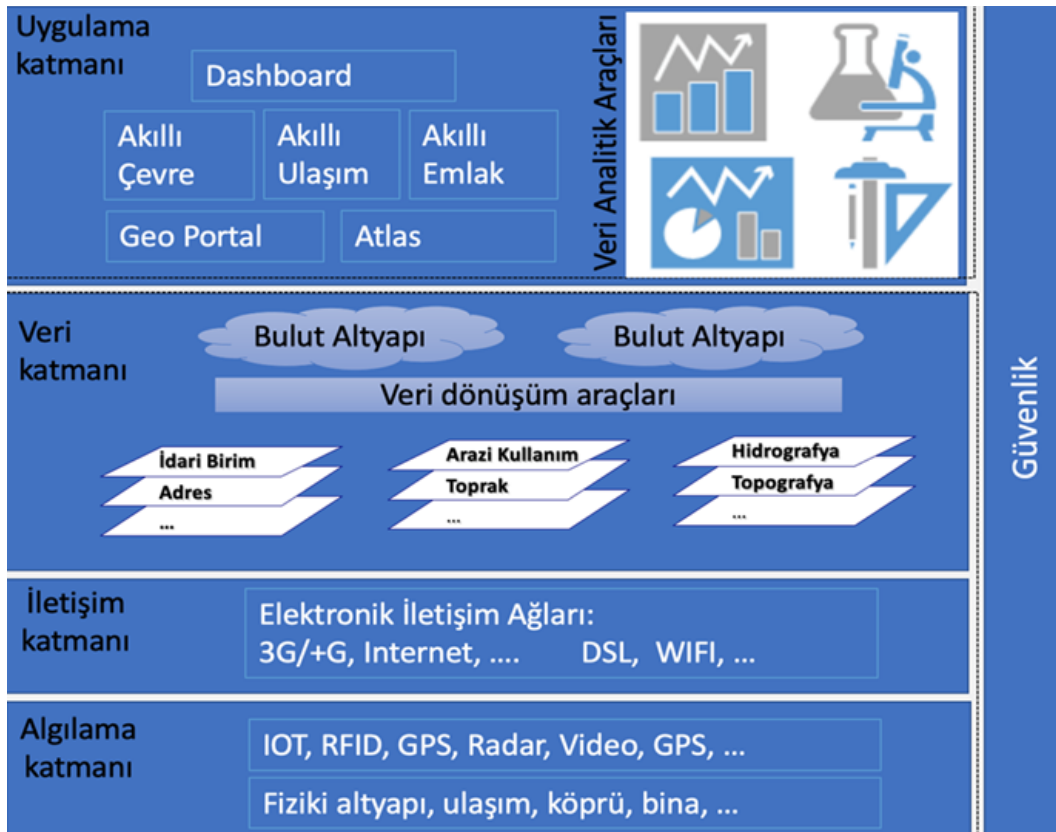
gelmektedir. Veri sunucuları ve bulut altyapısı bu katmanda yapılandırılmaktadır.

- Uygulama katmanı, farklı kurumlar ve birimler arası bir operasyon merkezi olarak çalışır. Kamu/belediye kurumları, bu katmanda yer alan web portalları ve mobil uygulamalar aracılığıyla bilgi paylaşmaktadır. Vatandaşlar da bu bilgilere kurulan portal ve uygulamalar aracılığıyla erişebilmektedir. Çalışmada geliştirilecek uygulamalara yönelik, mevcut donanımlar ile birlikte web ve veri tabanı arayüzlerinde veri erişimi için uygulama oluşturulmakta ve test edilmektedir. Büyük veri işleme ve karar destek için geliştirilen veri analitik araçları da bu katmanda yapılandırılmaktadır.

KBS'nin de parçası olarak kabul edilen akıllı şehir uygulama alanları, BIT'lerin de kilit etkinleştirici bileşen olarak önemli rol oynadığı "hard domains" ve "soft domains" olarak sınıflandırılabilir (Aydınöglü ve ark., 2020).

Hard domains, konut veya ticari amaçlı kullanılan binalar, enerji ve su yönetimi, doğal kaynaklar, çevre, ulaştırma ağları, atık yönetimi, sağlık, kamu güvenliği, hareketlilik ve lojistik alanlardaki akıllılaştırma süreç ve uygulamalarını kapsar. Büyük verilerin yönetimi için akıllı sensörler, kablosuz teknolojiler ve yazılım çözümleri ile daha etkin akıllı şehir uygulamalarına olanak sağlar (McKinsey Global Institute, 2011; McAfee ve Brynjolfsson, 2012).

Soft domains, eğitim, kültür, sosyal, ekonomi, arazi ve taşınmaz yönetimi ve e-devlet gibi uygulama alanlarında etkin ve akıllı yönetim çözümlerini kapsar (Washburn ve ark., 2010; Correia ve Wünstel, 2011; Nam ve Pardo, 2011; Chourabi ve ark., 2012; Accenture, 2015).



Şekil 1. Akıllı şehir mimari bileşenleri (Aydınöglü ve ark., 2020)

3. Büyük coğrafi veri kavramı ve teknolojileri

İnsan yaşamının parçası olarak BİT'lerin kullanımı, daha hareketli şehirlerin oluşmasına ve şehirlerde karmaşıklığın artmasına sebep olarak şehir yönetimini zorlaştırmıştır (Örselli ve Akbay, 2019). İnternet ve kablosuz ağ teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte, şehirlerde başta sensörler olmak üzere her an veri üretilebilir hale gelmiş, akıllı cihazlar ve telefonlar ile her bir birey de veri kaynağı haline gelmiştir. Büyük veri yönetimi kavramı, akıllı şehir uygulamaları kapsamında çok çeşitli veri kaynaklardan anlık ve büyük hacimde akan verinin hızlı, etkin ve gerçek zamanlı yönetilerek bilgilerin konum bazlı toplanması ve coğrafi özellikleri ile analizi anlamında oldukça önemlidir (Yue ve Jiang, 2014; Al Nuaimi ve ark., 2015; Hashem ve ark., 2015; Duarte ve Teodoro, 2021; Goodchild, 2021).

Büyük veri için de çeşitli tanımlamalar yapılmıştır. Büyük veri, genel olarak geleneksel veritabanı sistemleri ile depolanamayan, yönetilemeyen ve analiz edilemeyen devasa hacimlere sahip yapılandırılmış ve yapılandırılmamış veri kümelerini (Li ve ark., 2016), bütüncül bir bilgi yönetimi stratejisini tanımlamaktadır (Oracle, 2017). Bilgi elde edilmesi, depolanması, dağıtılması, yönetimi ve analizini gerçekleştirmek için gelişmiş ve eşsiz veri depolama, yönetim, analiz ve görselleştirme teknolojilerine ihtiyaç duyacak kadar büyük ve karmaşık olan veri setlerini tanımlayan terimdir (NESSI, 2012; TechAmerica, 2012; Microsoft, 2013).

Büyük veriler; 3V olarak da adlandırılan hız (velocity), hacim (volume) ve çeşitlilik (variety) özellikleri ile birlikte büyük veriyi anlamlı ve kullanılabilir hale getiren değer (value) ve doğrulama (veracity) özelliklerine sahiptir (White 2012; Demchenko ve Membrey, 2014; Jin ve ark., 2015; Yin ve Kaynak, 2015; Viceconti ve ark., 2015; Aydınoğlu ve ark., 2020; Şahin ve ark., 2020). Bunların yanında literatürde bazı kaynaklarda bu özellikler 7V'ye (Khan ve ark., 2014; Landmark Solutions, 2015; Agraphari ve Rao, 2017) ve 10V'ye (BalaAnand ve ark., 2017; Firican 2017) çıkabilmektedir (Şahin ve ark., 2020). Temel anlamda benzer özellikleri ifade eden bu bileşenler büyük verinin hem zorluklarını hem de sağlayacağı avantajları anlamak için büyük öneme sahiptir (Firican, 2017).

Hız (Velocity): Büyük verinin üretilme, analiz edilme, saklama ve işleme hızını ifade eder (Al Nuaimi ve ark., 2015; Firican, 2017; Khan ve ark., 2014). Mobil cihazlar ve sosyal medya ağlarının yaygınlaşması ile veri üretim hızı doğanın çok üzerine çıkmıştır. Bu durum verileri depolamak ve işlemek için mevcut yöntemlerin yetersiz kalmasına sebep olmuştur.

Hacim (Volume): Büyük verinin en iyi bilinen özelliklerinden biridir. Mevcut tüm kaynaklardan üretilen verinin hacmini ifade eder (Al Nuaimi ve ark., 2015; Firican, 2017; Khan ve ark., 2014).

Çeşitlilik (Variety): Büyük veri ile yapılandırılmış veriden çok yapılandırılmamış veri ele alınmaktadır. Veriler, ses, görüntü, metin ve video gibi farklı ortamlardan ele edilebilir. Büyük veri çeşitliliği 3 temel

formda ifade edilebilir (Al Nuaimi ve ark., 2015; Firican, 2017; Khan ve ark., 2014):

- Yapısal veri: Tanımlanmış bir veri tabanı şemasında sabit sütunlar altında kaydolurak tutulabilen ve işlenebilen verileri ifade eder (Ming ve ark., 2014; Seveli, 2016). Veriler belirli tür ve boyutlarda olduğundan, yapısal verileri modellemek, depolamak, sorgulamak, işlemek ve görselleştirmek kolaydır. Sorgular, yapısal sorgu dili olan SQL ile gerçekleştirilir.

- Yarı yapısal veri: Yarı yapısal veriler, yapısal verilere benzer şekilde kolay şekilde ilişkilendirilebilir ve işlenebilir, ancak yapısal veriler gibi sağlam bir modele sahip değildir (Rusu ve ark., 2013; Aktan, 2018). XML (Extensible Markup Language) ve JSON (JavaScript Object Notation) yapıdaki veriler yarı-yapısal verilere örnektir.

- Yapısal olmayan veri: Önceden tanımlanmış bir yapı veya biçime sahip olmayan veriler yapısal olmayan verilerdir (Ghazal ve ark., 2013; Seveli, 2016). Yapısal olmayan verilere örnek; basit metin dosyaları, e-posta, sosyal medya verisi, ses ve video gibi çoklu-ortam dosyalarıdır.

Değer (Value): Büyük verinin en önemli bileşeni ve istenen sonucudur. Büyük veriden çıkarılacak faydalı bilgiyi ifade eder. Eğer büyük veriden değer kavramı üretilmezse diğer özellikler anlamsızdır (Al Nuaimi ve ark., 2015; Firican, 2017; Khan ve ark., 2014).

Doğrulama (Veracity): Büyük verinin en önemli bileşeni, analizler sonucunda veri çöplüğünden çıkarılacak olan değerdir. Ancak doğru bilgi çıkarabilmek için verilerin doğru tutulması gereklidir. Doğrulama kavramı verinin yapılacak analiz için ne kadar anlamlı olduğunun ölçüsüdür (Firican, 2017; Khan ve ark., 2014).

Ayrıca Değişkenlik (Variability), Geçerlik (Validity), Güvenlik (Vulnerability), Dalgalanma (Volatility) ve Görselleştirme (Visualization) kavramları ile de büyük veri tanımlanmaktadır.

En çok bilinen ve büyük veri teknolojilerinde öncü olan Apache Hadoop, popüler arama motoru kütüphanesi olan Apache Lucene projesinin de geliştiricisi olan Doug Cutting tarafından Java dili ile geliştirilmiş açık kaynaklı bir yazılım kütüphanesidir. Apache Hadoop, basit programlama modellerini kullanarak, bilgisayar kümeleri arasında, büyük veri setlerinin dağıtık işlemlerine izin verir ve bir sunucudan binlerce makineye, hesaplama ve depolama olanağı yaratır. Hadoop, tek bir sunucudan yerel hesaplama ve depolama sağlayan binlerce makineye kadar ölçeklendirmeye olanak sağlar. Ayrıca sağladığı dağıtık dosya sistemi ve desteklediği paralel işlem gücü ile önemli performans artışı sağlamaktadır (URL-2). Apache Hadoop ekosistemi; Hadoop Common, Hadoop Dağıtılmış Dosya Sistemi (HDFS), Hadoop YARN ve Hadoop MapReduce dört temel modülden meydana gelmektedir. Apache Hadoop ekosisteminde; küme ve veri yönetimi altyapıları, veritabanı ve veri ambarı altyapıları ve analiz altyapıları için teknolojiler tanımlanmıştır.

3.1. Büyük veri altyapıları

Büyük veri yönetiminde, NoSQL ve NewSQL olarak ifade edilen iki veritabanı türü kullanılmaktadır (JRC, 2014).

NoSQL – Not Only SQL (SQL ve daha fazlası), ilişkisel veri tabanı yönetim sistemlerine alternatif olarak ortaya çıkmıştır. SQL tabanlı ilişkisel veritabanı, yenilikler devam etse de verilerin orantısız büyümesi, sensör verilerinin kullanılmaya başlaması, sosyal medya ve büyük ölçekli web uygulamalarının yaygınlaşması ile farklı kanallardan gelen büyük veriyi yönetmede yetersiz kalmıştır (Aydınöğlü ve ark., 2020). Geleneksel ilişkisel veritabanları, şema öncelikli bir tasarıma sahip olduğu için büyük veri yönetiminde yazılımsal ve donanımsal kaynak tüketiminin artmasına sebep olmakta (Aydın, 2017), büyük verileri hızlı ve etkin bir şekilde yönetebilmek hantal ve maliyetli olmaktadır.

NoSQL veritabanları, önceden belirlenmiş bir kayıt yapısı gerektirmeyen, farklı tip ve büyüklüklerde veri içerisinden arama yapılmasına olanak sağlar. Bu veritabanı yapısı, yapısal dağınıklığa izin vermesinin karşılığında daha fazla işlem ve depolama alanı gerektirse de maliyetleri düşüğü ve ölçeklenebilirlik, esneklik ve performans açısından sağladığı avantajlar doğrultusunda büyük veri uygulamalarının hemen hepsinde kullanılmaktadır (Schönberger ve Cukier, 2013; Daşdemir ve Kara, 2019; Anbaroğlu, 2021).

NoSQL 'in büyük veride dağıtık kurgu mimarisinde daha esnek, yüksek performans ve güvenilirlik sağlar (Gökşen ve Aşan, 2015; Aydın, 2017; Aydınöğlü ve ark., 2020). NoSQL sistemler, ilişkisel veritabanlarının aksine kullanıcıya şemasız veri saklayabilme olanağı sağlar ve ölçeklenebilirler. Ancak NoSQL ve klasik SQL ilişkisel veritabanı sistemleri, birbirlerinin alternatifi olmamakla birlikte, bu iki sistemin farklı ihtiyaçların çözümüne yönelik geliştirilmiş teknolojiler olduğu söylenebilir.

Daha iyi performans ve ölçeklenebilirlik özellikleri beraberinde tutarlılık açısından bir takım fedakârlık yapılmasını gerektirir. İlişkisel veritabanları, **ACID** olarak adlandırılan özelliklere sahiptir. Bu özellikler kısaca; "hepsi ya da hiçbiri" anlamına gelen **Atomicity (Bölünmezlik)**; "Her bir işlemin sonucunun tutarlı olması" anlamında **Consistency (Tutarlılık)**; "tüm işlemlerin bağımsızlığı" anlamına gelen **Isolation (Yalıtım)** ve "veritabanı sistem hatalarından arınma" anlamına gelen **Durability (Dayanıklılık)** özellikleridir (Pokorny, 2013). NoSQL veritabanlarında, ACID özelliklerini eşzamanlı olarak sağlamak zordur (Aydın, 2017), tutarlılık duygusu, uzun süreli bir güncelleme olmadığında, tüm güncellemelerin sistem üzerinden yayılacağı ve tüm düğümlerin tutarlı olacağı anlamına gelen nihai tutarlılığı ifade eder (JRC, 2014). Bu anlamda NoSQL veritabanları için ACID ilkelerine karşılık olarak **BASE (Basicly Available-Kolay Ulaşılabilir, Soft state-Esnek, Eventuallyly consistent-Eninde sonunda tutarlı)** özellikleri tanımlanmıştır (Gökşen ve Aşan, 2015):

- Kolay Ulaşılabilirlik: Verileri dağıtık bir ortamda kopyaları ile tutar ve veri erişim sorunlarını ortadan kaldırır. Veriler farklı sunucuda depolanır ve veri güvenliği sağlanmış olur.

- Esnek Durum: NoSQL sistemler SQL sistemlerden farklı olarak tutarsız verilerin barınmasına olanak tanır.

- Eninde Sonunda Tutarlı: NoSQL sistemler anlık değil gelecekte bir zamanda tutarlılığı garanti eder.

NoSQL sistemler veri saklama ve veri okuma yöntemleri bakımında çeşitlilik gösterir ve temel anlamda beş çeşitten oluşur (JRC, 2014):

- Anahtar-Değer (Key-value store) Veritabanları: En basit ve kolay NoSQL veritabanlarıdır. Veritabanında saklanan her bir veri bir anahtar (key) ve bu anahtara karşılık gelen değer (value) ikilisi olarak saklanır. En popüler örnekleri olarak redis, Voldemort ve riak verilebilir.

- Sütun Bazlı (Wide-column store) Veritabanları: Veriler satır değil sütun tabanlı gruplanarak tutulur. Bu tarz veritabanları büyük verileri dağıtık olarak saklayabilmek için oluşturulmuştur. Popüler sütun veritabanlarına örnek olarak Hadoop ekosistemi içerisindeki HBase ve Cassandra, Google'un kullandığı veritabanı yapısı olan BigTable ve BigQuery verilebilir.

- Döküman Bazlı (Document store) Veritabanları: Anahtar-Değer veri tabanlarına benzemektedir. Ancak burada anahtarlara karşılık gelen değerler versiyonlanmış dökümanlardan oluşur ve daha karmaşıktır. Bu veritabanlarına örnek olarak MongoDB, CouchBase, Apache CouchDB ve Xist verilebilir.

- Graf (Graph store) Veritabanları: Sütun ve satır kullanım yerine daha esnek olan graf modelini temel alarak kenarlar (edge) ve düğüm noktaları (node) yardımıyla ağ (network) hakkında bilgi tutar. Birden çok bilgisayara ölçeklenebilir. Popüler graf veritabanı örnekleri olarak Neo4j, InfoGrid, Oracle Spatial ve Graph veritabanı verilebilir.

- Dizi (Array) Veritabanları: Özellikle raster veri olarak da adlandırılan diziler için etkin veritabanı hizmetleri sağlar. Dizi yapısı, genellikle sensör, simülasyon, görüntü veya istatistik verileri temsil etmek için kullanılır. Dizi veritabanları, bu verilere esnek ve ölçeklenebilir depolama ve erişim imkânı sunmayı amaçlar. Dizi veritabanları; coğrafi-bazlı 1B'lu sensör veri dizileri, 2B uydu görüntüleri, 3B x, y, t görüntü-zaman serileri ve x,y,z jeofizik verileri ile 4B'lu x,y,z,t iklim ve oşinografi verilerinin yönetiminde etkin şekilde kullanılır. Popüler örnekleri arasında Oracle Spatial ve Graph, MonetDB, PostGIS, Rasdaman ve SciDB bulunur.

NewSQL veritabanları, modern ilişkisel veritabanı sistemleri olarak kabul edilebilir. Geleneksel veritabanı sistemleri ACID özelliklerini korurken, NoSQL sistemleri hızlı veri işleme ve ölçeklenebilirlik performansını sağlamayı hedeflemektedir. NewSQL veritabanları şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Yeni mimariler: Her düğümün verinin bir alt kümesine sahip olduğu dağınık kümelenmiş ve ortak bir düğümleri olmayan yeni veritabanı platformlarıdır. NewSQL veritabanlarına örnek olarak; Google Spanner, Clustrix, VoltDB, MemSQL, FoundationDB ve Nuodb verilebilir.

- SQL Motorları: Bu kategoride yer alan sistemler, SQL programlama arabirimini sağlayan ve SQL için yüksek düzeyde optimize edilmiş depolama motorları ile donatılmıştır. Örnekleri arasında TokuDB ve InfiniDB bulunmaktadır.

- Transparan parçalama: Bu sistemler, veritabanlarını otomatik olarak birden fazla düğüme bölmek için veritabanı veya arama motoru içerisinde yer alan veri kümelerinin yatay bölünmesini sağlar. Bu sistemlere örnek olarak dbShards, Scalearc ve ScaleBase verilebilir.

4. Örnek uygulama

Şehir yaşamında, üretilenden daha fazla kaynak, enerji ve zaman bilinçsiz tüketim eğilimine girmiştir (Demirarslan ve Akıncı, 2018). Söz konusu bilinçsiz ve aşırı tüketim, şehirlerde hava, su, toprak kirliliği ve yeşil alanların yok olması başta olmak üzere, trafik, gürültü ve aşırı ısınma gibi çok çeşitli problemlere sebep olmuştur (Cui ve Shi 2012; Lu ve Cao 2015). Hava kirliliği, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından insan sağlığını etkileyen en önemli faktörlerden biri olarak kabul edilmekte ve her yıl yaklaşık 7 milyon insanın havada yer alan kirletici partiküllere bağlı hastalıklar nedeniyle hayatlarını kaybettiği belirtilmiştir (WHO, 2021). Öldürücü etkisinin yanında uzun süre kirli havaya maruz kalındığında, kanser, bronşit ve kronik öksürük gibi akciğer hastalıkları başta olmak üzere çeşitli kalp ve damar yolu hastalıkları ile depresyon, kronik yorgunluk gibi ruh sağlığı hastalıklarına neden olduğu belirtilmektedir (Çetin ve Demirci 2015; Özşahin ve ark., 2016).

Hava kirliliği, doğal veya insan kaynaklı bir şekilde ortaya çıkabildiği bilinmekte, günümüzde ulaşılan ciddi seviyenin temel sorumlusunun insan kaynaklı faaliyetler olduğu belirtilmektedir (Özşahin ve ark., 2016). Söz konusu bu kirletici faaliyetlerin temel kaynağı, kentleşme ve endüstrileşme ile birlikte artan trafik, sanayi faaliyetleri ve atık gazlar oluşturmaktadır. Bu çalışmada, hava kalite endeksi belirlenen saat dilimlerinde hesaplanarak kirliliğin en önemli sebeplerinden olan trafik ile olan ilişkisi irdelenmektedir.

4.1. Çalışma alanı seçimi ve büyük veri yönetimi

Çalışma alanı olarak Türkiye'nin en yoğun kentleşme ve nüfus yoğunluğuna sahip şehri İstanbul seçilmiştir. İstanbul yalnızca ülkemizin en kalabalık şehri değil, aynı zamanda belediye sınırları dikkate alınarak yapılan sıralamada Avrupa'da birinci, dünyada ise altıncı sıradadır (URL-3). İstanbul 5.461 km² lik yüzölçümüne ve 39 ilçeye sahiptir. 2020 yılı sayımlarına göre ilde 15.462.452 kişi ikamet etmektedir (www.tuik.gov.tr). İstanbul'un sahip olduğu bu yoğun nüfus ve ileri derecedeki sanayileşme, hava, su ve toprak kalitesi üzerinde olumsuz sonuçlara neden olmuştur. Ayrıca denetimsiz ve plansız kentsel alanlar, trafik yoğunluğu ve gürültü kirliliği gibi sorunlara neden olmaktadır.

Uygulama kapsamında öncelikli veri ihtiyacı hava kirleticilere ve trafik yoğunluğuna ait verilerdir. Çalışma

alanına ait hava kirletici verileri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2005 yılında kurulmuş olan 355 izleme istasyonundan gelen hava kalitesi izleme verilerini paylaşan Ulusal Hava Kalitesi İzleme Ağı (www.havaizleme.gov.tr) veri portalından temin edilmiştir. İstanbul ili çalışma alanına ait Şekil 2'deki haritada görülen 39 adet istasyon verisine ait CO, NO₂, NO_x, O₃ SO₂, PM₁₀ ve PM_{2,5} konsantrasyonları 1 Ocak – 31 Aralık 2020 tarihleri arasında saatlik olarak CSV formatında temin edilmiştir.

Trafik yoğunluğunu temsil eden trafik sensör verileri ise İBB'nin belediye ve çevre kuruluşları tarafından üretilen verileri kullanıcılara açık olarak paylaştığı İBB Açık Veri Portalı (<https://data.ibb.gov.tr/>)'ndan CSV formatında temin edilmiştir. Veri setinde İstanbul'un coğrafi olarak eşit bölünmüş parçalarına ait saatlik araç sayısı ile minimum, maksimum ve ortalama hız bilgilerini içermektedir. Kullanılan veri seti 1 Ocak – 31 Aralık 2020 tarihleri arasındaki trafik bilgilerini içermektedir.

Temin edilen trafik yoğunluğuna ait CSV formatındaki sensör verisi konum bilgisi (enlem-boyun) içerdiğinden daha etkin bir yönetim için PostgreSQL/PostGIS ortamında, hava izleme sensörlerinden elde edilen CSV formattaki ölçümler ise HKİ hesaplaması için daha esnek ve hızlı yönetim imkânı sunan MongoDB ortamında depolanmıştır. MongoDB yapısal olmayan büyük veri altlıklarının yönetiminde geliştirme ve ölçekleme kolaylığı ile yaygın olarak kullanılan belge tabanlı bir NoSQL veritabanı sistemidir (Daşdemir ve Kara, 2019). Eklenen her kayıt bir belge olarak ifade edilir ve BSON, JSON ve GeoJSON gibi veri formatlarını destekler. Ayrıca temel coğrafi analizlere imkân sağlar (URL-4). Çalışma kapsamında temin edilen hava kalitesi parametreleri MongoDB ortamına aktarıldı. Veriler, \$match fonksiyonu ile 15-19 saatleri arasında olacak şekilde filtre edildi. Daha sonra \$group fonksiyonu kullanılarak veriler sensör bilgisi ve tarih alanlarına göre gruplandı ve günlük ortalama değerler bulundu. \$switch fonksiyonu ile ortalama değerlerin hangi kırılım aralığına düştüğü belirlendi ve HKİ hesaplandı. Ardından gün bazlı etkin kirleticiler tespit edildi. PostgreSQL büyük hacimli yapısal verinin yönetiminde kullanılan güçlü, açık kaynak kodlu ve nesne ilişkisel veri tabanı yönetim sistemidir. Coğrafi veri yönetiminde PostGIS ile binden fazla mekansal fonksiyonu desteklemektedir (Agarwal ve Rajan, 2016). Yarı-yapısal olan CSV, JSON ve XML gibi NoSQL veri formatlarını destekler ve MongoDB gibi çeşitli veritabanlarına erişim imkânı sağlar (URL-4). Çalışma kapsamında elde edilen gün bazlı etkin kirletici tablosu PostGIS ortamına aktarıldı ve hava kalitesi sensörlerinin geometrileri ile birleştirildi. Ardından trafik yoğunluğu verisi 15:00-19:00 saatleri arasında filtre edildi ve günlük ortalamaları bulundu. PostGIS'in st_dwithin fonksiyonu kullanılarak hava kalitesi sensörlerine 250 m mesafede bulunan trafik yoğunluğu noktalarının değerleri bulunmuştur ve etkin kirletici tablosu ile tarih ve st_dwithin fonksiyonunun sonucuna göre birleştirilerek sonuç tablo elde edilmiştir.



Şekil 2. Hava izleme istasyonlarının haritası

4.2. Hava kalitesi hesaplanması

Hava kirlenici gazlar (CO , SO_2 , NO_x , CO_2 , O_3) ve partiküller (PM_{10} , $PM_{2,5}$) olmak üzere iki kısımda incelenirler.

- *Karbonmonoksit (CO)*; yanma işlemi sırasında oksijen miktarı yetersiz olduğunda karbonun tamamı oksitlenemez ve çok kuvvetli bir zehirli gaz olarak meydana getirir. Solunan havada konsantrasyonu artarsa, kanla dokulara oksijen taşınmaz ve hücre ölümü meydana gelir. Uzun süreli maruz kalındığında ölüme sebep olabilir.

- *Kükürtdioksit (SO_2)*; yakıtların içinde bulunan kükürdün oksitlenmesi sonucu oluşan renksiz ve sağlığa zararlı gazdır. Ana kaynakları, termik santraller ve endüstriyel atıklardır. Uzun süre ile maruz kalındığında solunum ve kalp hastalıklarına sebep olur.

- *Azotoksitler (NO_x)*; en önemli kaynağı araç egzozu ve yakma/bertaraf tesisleridir. Kötü kokulu bir gaz olan azotoksit bileşiklerinin yüksek konsantrasyonları zehirlenmelere yol açarken, aşırı düzeyde maruz kalındığında ise öldürücü ciğer hastalıklarına ve felce yol açabilir.

- *Karbondioksit (CO_2)*; renksiz, kokusuz ve zehirsiz olan karbondioksit gazı normalde atmosfer havasının %0.03-0.04'ünü kaplamaktadır. Havada daha yüksek değerlere ulaştığında merkezi sinir sistemi oksijen azlığından dolayı etkilenir. Konsantrasyon değeri %15'lere ulaştığında baş ağrısı, kusma, mide bulantısı ve

baygınlığa yol açabilir. Daha yüksek konsantrasyonlarda, kan dolaşımı yetersizliğine ve ölüme sebep olabilir.

- *Ozon (O_3)*; atmosferin üst katmanlarında yer alan ozon tehlikeli morötesi ışınlarından koruyucu etkiye sahipken, atmosferin en alt katmanı olan troposferde, ozon insan sağlığına ve doğaya zarar veren önemli bir kirlenicidir. Yüksek ozon konsantrasyonları daha az oksijen solumaya bağlı olarak kalp-damar hastalıkları veya astım gibi solunum hastalıklarına neden olabilir.

- *Partikül maddeler (PM)*; birçok farklı bileşenden oluşmuş olan fiziksel ve kimyasal yapısı sağlık açısından oldukça önemli olan maddelerdir. PM_{10} , aerodinamik çapları $10 \mu m$ den daha küçük olan toz, polen ve küf gibi partikülleri; $PM_{2.5}$ ise aerodinamik çapları $2,5 \mu m$ 'den küçük olan yanma ve metal parçacıkları, organik bileşikler gibi ince partiküllerdir. Havadaki partikül maddeler insan sağlığını etkileyen en zehirli ve kanser yapıcı kirlenicilerden biridir.

HKİ (Air Quality Index-AQI), hava kalitesinin değerlendirilmesi için tüm dünyada yaygın olarak kullanılan sınıflama sistemidir. HKİ ile havadaki kirlenicilerin değer aralıklarına göre hava kalitesini iyi, orta, hassas, sağlıksız ve tehlikeli gibi derecelendirmeler yapılarak sağlık endişe seviyeleri özetlenmektedir (Tablo 1). Ulusal Hava Kalitesi İndeksi, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA)'nın geliştirdiği hava kalitesi indeksine göre hesaplanmaktadır (ÇŞB, 2017). HKİ, temel kirlenicilerin konsantrasyonlarını birleşik bir endekle özetleyerek hava kalitesi hakkında

mevcut durum ve ilerisi için tahminler yapmaya olanak sağlar (Mirabelli ve ark., 2020).

Endeks formülüne göre bir coğrafi konum için HKİ değeri, her bir kirletici için ayrı ayrı hesaplanır ve en yüksek değere sahip kirletici etkin kirletici kabul edilerek ona ait endeks ilgili konumdaki HKİ değeri olarak kullanılır (U.S. EPA, 2018). EPA tarafından geliştirilen HKİ formülü;

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} * (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

şeklinde. Burada IHi ölçümün düştüğü kesme noktası aralığının maksimum değerini, ILo ise minimum değerini, BPHi aralığın üst sınırını, BPLo aralığın alt sınırını, Cp ise o an için ölçülen kirletici değerini ifade etmektedir.

Formül hesaplamalarında yer alan sabitler U.S. EPA (2018) standardında yer alan kesme noktaları tablosundan gerekli dönüşümler yapılarak kullanılmıştır. Hesaplama aşamasında O3 verisi virgülden sonra 3 hane, PM2.5 ve CO verisi virgülden sonra 1 hane, PM10, SO2 ve NO2 verileri tamsayı olacak şekilde kesilmiştir (U.S. EPA, 2018).

Tablo 1. HKİ sınıf değerleri ve anlamları (URL-5)

Hava Kalitesi İndeksi (HKİ) Değerler	Sağlık Endişe Seviyeleri	Renkler	Açıklaması
0- 50	İyi	Yeşil	Hava kalitesi memnun edici ve hava kirliliği az riskli veya hiç risk teşkil etmiyor.
51- 100	Orta	Sarı	Hava kalitesi uygun fakat alışılmadık şekilde hava kirliliğine hassas olan çok az sayıda insan için bazı kirleticiler açısından orta düzeyde sağlık endişesi oluşabilir.
101- 150	Hassas	Turuncu	Hassas gruplar için sağlık etkileri oluşabilir. Genel olarak kamunun etkilenmesi olası değildir.
151- 200	Sağlıksız	Kırmızı	Herkes sağlık etkileri yaşamaya başlayabilir, hassas gruplar için ciddi sağlık etkileri söz konusu olabilir.
201- 300	Kötü	Mor	Sağlık açısından acil durum oluşturabilir. Nüfusun tamamının etkilenmesi olasıdır.
301- 500	Tehlikeli	Kahverengi	Sağlık alarmı: Herkes daha ciddi sağlık etkileri ile karşılaşabilir.

HKİ hesaplamaları için mongoshell'de yazılan kodda kullanılan fonksiyonlar ve işlevleri sırası aşağıdaki gibi listelenmiştir.

- **\$addField:** Girdi olarak aldığı belgelerdeki tüm alanlara ek olarak belgeye yeni alan eklemek için kullanılır.
- **\$dateFromString:** String olarak aldığı alanı bir date/datetime objesine döndürür. Parametre olarak string bilgi içeren alanı (dateString), alanın dönüştürüleceği tarih formatını (format) ve saat dilimini (timezone) alır.
- **\$hour:** Bir tarih objesinin saat bölümünü 0-23 arasında bir integer sayı olarak döndürür.
- **\$dateToString:** Bir tarih nesnesini kullanıcının tanımlayacağı formatta bir string nesnesine dönüştürür.
- **\$match:** Belgeleri kullanıcının tanımladığı parametrelere göre filtreleyerek bir sonraki aşamaya sadece kullanıcının istediği belgelerin geçmesini sağlar.
- **\$and:** Belgede üzerinde filtreleme yaparken sağlanması istenen bir veya birden fazla koşulun kontrol edilmesini sağlar. Aldığı koşullardan biri sağlanmazsa diğer koşullar kontrol edilmez ve belge sonuçlara eklenmez.
- **\$ne:** Belirtilen alanın, belirtilen değere eşit olmadığı belgeleri ve alanı içermeyen belgeleri döndürür.
- **\$gte:** Bir alanın belirtilen değerden büyük ve eşit olmasını kontrol eder ve koşulu sağlayan belgeleri seçer.
- **\$lte:** Bir alanın belirtilen değerden küçük ve eşit olmasını kontrol eder ve koşulu sağlayan belgeleri seçer.
- **\$group:** Girdi belgelerini _id olarak aldığı parametredeki alanlara göre gruplar ve yeni belgeler

çıkartır. Yeni belgeler gruplama aşamasında hesaplanmış ortalama, toplam gibi değerler içerebilir.

- **\$avg:** Gruplama aşamasında aynı _id'ye sahip her bir belgenin parametre olarak verilen alana ait sayısal değerlerin ortalamasını döndürür. Sayısal olmayan değerleri yok sayar.
- **\$multiply:** Sayıları ve alanları çarpar ve sonucu döndürür.
- **\$trunc:** Bir ondalıklı sayıyı tamsayıya çevirmeye ya da belirli bir basamaktan kesmeye yarar.
- **\$project:** Sorgulama aşamasında istenilen alanları bir sonraki aşamaya geçirmek için kullanılır. Bir sonraki aşamaya geçen belgeler önceki alanları içerebileceği gibi yeni hesaplanmış alanlar da içerebilir.
- **\$switch:** Farklı koşullara sahip bir dizi durum ifadesini işletir. Koşullar branches yapısının altında tutulan case yapılarında sıralanır ve case bloğu true değer üretirse then bloğu çalışır. Eğer hiçbir şart sağlanmazsa default bloğunda belirtilen değer alana eklenir.
- **\$round:** Bir ondalık sayıyı ne yakın tamsayıya yuvarlar.
- **\$sort:** Tüm girdi belgeleri sıralar ve sıralı bir şekilde geri döndürür. Parametre olarak sıralanacak alanlar ve ilgili sıralama düzenini belirten değeri (1: artan, -1: azalan) alır.

\$dateFromString fonksiyonu ile string olarak tutulan tarih verisi, tarih objesine çevirilerek \$addField fonksiyonu ile belgeye yeni alan olarak eklendi. \$hour fonksiyonu ile tarih objesinden saat bilgisi, \$dateToString fonksiyonu ile tarih bilgisi çekilerek

\$addField fonksiyonu ile belgeye eklendi. \$match fonksiyonu ile veri NaN olmayacak (\$ne: NaN) ve sıfırdan büyük veya eşit (\$gte:0) olacak şekilde filtrelendi. \$group fonksiyonu ile tarih ve sensöre göre gruplanan verilerin birim dönüşümü için belirlenen katsayı ile \$multiply fonksiyonu yardımıyla çarpıldı ve ardından \$avg fonksiyonu ile ortalaması alındı. Bulunan ortalama değerler \$trunc fonksiyonu ile kesildi ve \$switch fonksiyonu ile ait olduğu kesme aralığının katsayıları ile AQI hesaplandı. \$round fonksiyonu ile en yakın tamsayı değerine yuvarlandı ve ilgili kirleticiye ait HKİ değeri hesaplandı. Benzer şekilde her bir kirletici için hesaplamalar yapılarak her bir istasyon için her kirleticinin 8 saatlik ortalama 1 Ocak 2020 – 31 Aralık 2020 tarihleri için benzer şekilde hesaplanmıştır. U.S. EPA (2018) standardında belirttiği üzere bir noktadaki esas kirletici, ilgili noktadaki etkin tüm kirletici içinde en yüksek HKİ değerine sahip olan ve onun HKİ değeri ilgili konumun HKİ değeri olarak kabul edilir. Toplam 39 istasyonda günlük her bir kirletici için hesaplanan HKİ değerleri arasından etkin kirletici ve ona ait HKİ değerinin sorgulaması için \$sort ve \$group fonksiyonları kullanılmıştır.

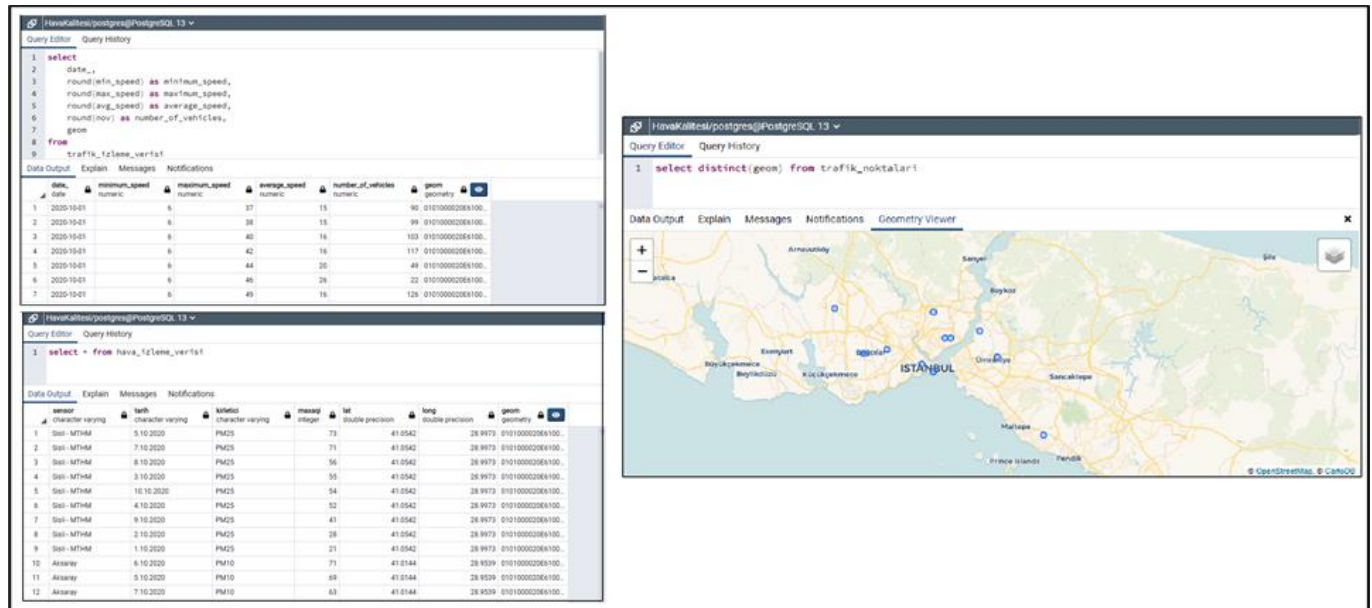
Hesaplanan HKİ değerleri sonucunda MongoCompass arayüzü ile sorgu sonuçları CSV formatında dışarı aktarılmıştır. Hesaplamalar tüm kirleticiler için yapıldıktan sonra raporlar tek bir MongoDB koleksiyonunda toplanmış ve gün bazlı etkin kirletici değerleri bulunarak CSV formatında dışarı aktarılmıştır. Etkin kirletici değerlerinin yer aldığı rapor PostgreSQL veritabanına aktarılmış ve hava izleme istasyonlarının geometrilerinin tablo ile birleştirilmiştir. PostGIS ortamında hava izleme istasyonlarına yapılan analiz ile 250 m yakınlıktaki trafik sensörleri ve hız değerleri elde edilmiştir. Buna göre 11 istasyon için bütünlük HKİ ve trafik bilgisi elde edilmiştir. Trafik yoğunluğu verileri filtrelenmiş, filtrelenen verilerden gün bazlı 15:00-19:00 saatleri arasını kapsayacak şekilde ortalama hızlar ve araç sayısı hesaplanmıştır.

Şekil 3'de uygulama arayüzünde görüldüğü gibi yakın konumda (250m yarıçap içerisinde) bulunan sensörler

PostgreSQL ortamında sorgulanıp belirlenmiş ve 11 sensörden gelen hava kalitesi ve trafik ortalama hız verileri görselleştirilmiştir. Bu şekilde belirlenen her bir konumda trafiğin yoğun saatlerini temsil eden zaman diliminde, trafik yoğunluğundan kaynaklanan hesaplanan hava kalitesi endeks değeri arasındaki ilişki irdelenmiştir. Bu kapsamda elde edilen veriler arasındaki ilişkiyi analiz etmek için Pearson korelasyon analizi yapılmıştır. Pearson korelasyon analizi, veri kümesindeki sürekli değişkenler arasındaki ilişkiyi ölçen en yaygın istatistiksel analiz tekniğidir (Schober ve ark., 2018). Bu analiz tekniğinde hesaplanan Pearson korelasyon katsayısı (r) -1 ile +1 arasında bir değer alır ve bu katsayı tahmin edilen iki değişkenin kapsamını ölçmek için kullanılır. Ayrıca değişkenler arasındaki ilişkinin yönü ve büyüklüğü hakkında da bilgi sağlar. r'nin değeri -1'e yakın değerler alırsa değişkenler arasında negatif, + 1'e yakın değerler alırsa pozitif bir ilişki olduğu söylenebilir (Egghe ve Leydesdorff, 2009; Sensuse ve ark., 2015).

Bu kapsamda veri sorgulamalarından sonra hesaplanan HKİ ile trafik yoğunluğu verileri arasındaki ilişkinin doğası ve anlamlılığı kapsamında yapılan Pearson korelasyon analizinin sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Korelasyon analizi sonucu HKİ ile Ortalama araç sayısı ve Minimum hız arasında anlamlı bir ilişkinin olduğu görülmektedir (Tablo 2). Analiz sonuçları değerlendirildiğinde bir noktadan geçen araç sayısı ne kadar fazla ve trafik yoğunluğu nedeniyle araç hızları ne kadar düşüğe HKİ değeri o noktada o kadar yüksektir.

Korelasyon analizinden sonra 11 istasyon için 1 Ocak – 31 Aralık 2020 tarihleri için 2020 yılı HKİ-Trafik yoğunluğuna ait HKİ, ortalama araç sayısı ve hız verileri Şekil 4 (sol)'da CBS ortamında Ekim ayı için görselleştirilmiştir. Şekil 4 (sağ)'da ise Aksaray istasyonuna ait örnek sensör veri analiz grafikleri görselleştirilmiştir. Üstten alta sırası ile yıllık, aylık ve ekim ayına ait günlük HKİ-Trafik yoğunluğu verileri görselleştirilmiştir.



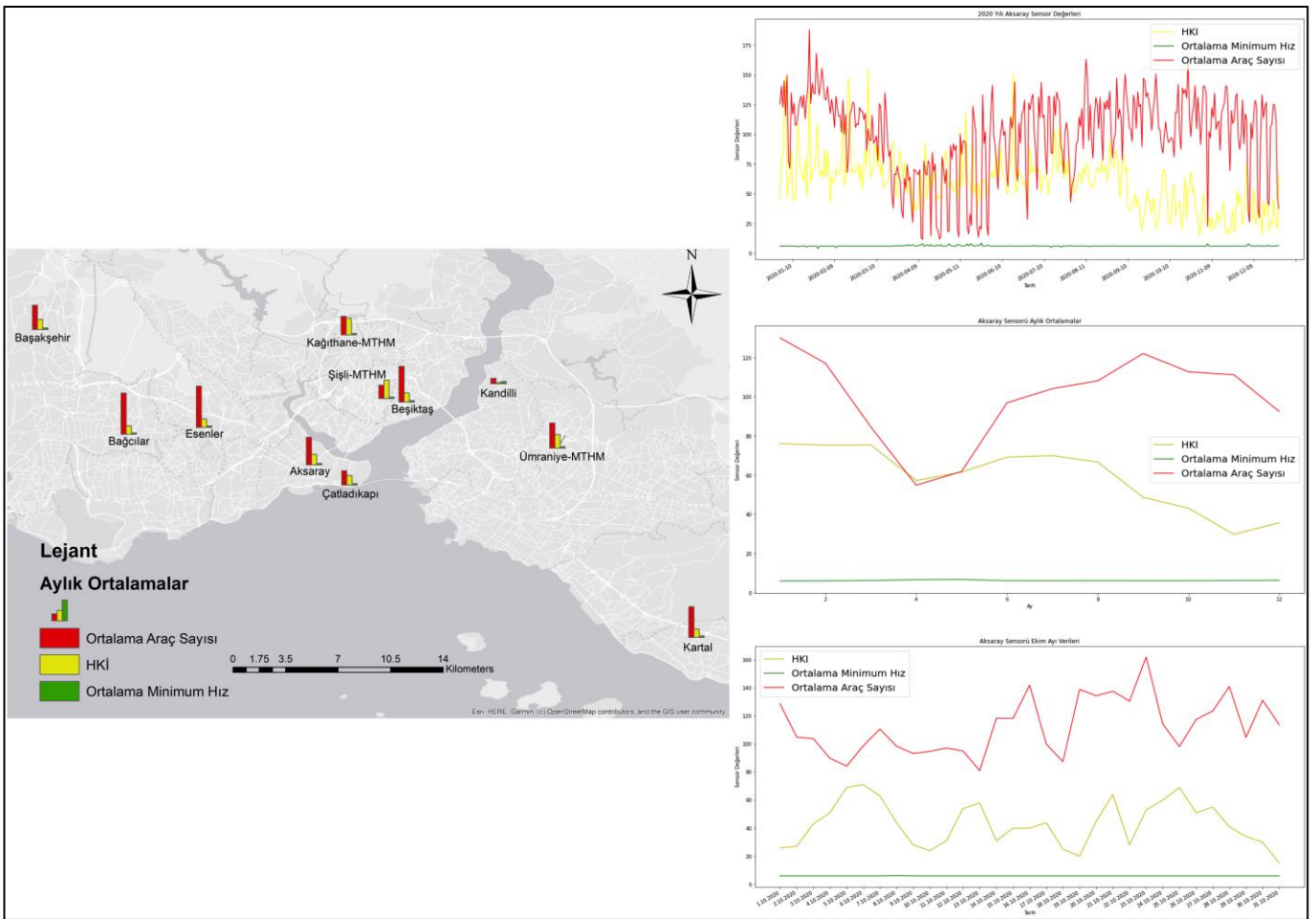
Şekil 3. PostgreSQL / PostGIS sorgu görselleri

Tablo 2. Pearson Korelasyon Analizi Sonuçları

		MaxHKİ	MinHiz	MaksHiz	OrtHiz	OrtAracSay
MaxHKİ	Pearson Correlation	1	-,701**	,452**	,039	,613**
	Sig. (2-tailed)		,000	,000	,666	,000
	N	122	122	122	122	122
MinHiz	Pearson Correlation	-,701**	1	-,276**	,194*	-,760**
	Sig. (2-tailed)	,000		,002	,032	,000
	N	122	122	122	122	122
MaksHiz	Pearson Correlation	,452**	-,276**	1	,846**	,461**
	Sig. (2-tailed)	,000	,002		,000	,000
	N	122	122	122	122	122
OrtHiz	Pearson Correlation	,039	,194*	,846**	1	,040
	Sig. (2-tailed)	,666	,032	,000		,661
	N	122	122	122	122	122
OrtAracSay	Pearson Correlation	,613**	-,760**	,461**	,040	1
	Sig. (2-tailed)	,000	,000	,000	,661	
	N	122	122	122	122	122

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

**Şekil 4.** Ekim Ayı HKİ-Trafik Yoğunluğu Ortalamaları (sol) Aksaray İstasyonu Örnek Sensör Veri Analiz Grafikleri (sağ)

5. Sonuç ve değerlendirme

Şehirlerin nüfusunun hızla artması kentsel ısı adalarının oluşmasına, trafik ve kaynak yönetimi gibi sıkıntılarının artmasına sebep olmuştur. Bu sorunlara çözüm getirebilmek ve yaşam kalitesini artırmak için akıllı şehir uygulamaları kapsamında farklı büyük veri altlıklarından temin edilen ve şehir yaşam kalitesini etkileyen parametrelerin gerçek zamanlı analizi önem arz etmektedir. Akıllı şehir yönetiminde iklimden hava kalitesine, ulaşımdan sosyo-ekonomik parametrelere

kadar büyük veri altlıklarının açık veri portalları ile erişilebilir olması gerekmektedir. Çalışmada bahsedildiği gibi yapılanmış veri yönetiminde kullanılan geleneksel ilişkisel veritabanı ortamlarının yanısıra, yapılmamış büyük verinin yönetimi için NoSQL olarak ifade edilen veri tabanı ortamlarının kullanımı gerekmektedir.

Gerçekleştirilen örnek uygulamada görüldüğü gibi hava izleme ve trafik izleme sensörlerinin sağladığı veriler akıllı şehir uygulamaları için kullanıma açılmıştır. Bu çalışmada hava izleme sensörlerinin kaydettiği veriler kullanılarak MongoDB ortamında hava kalitesi

endeksi hesaplanmıştır. Yakın konumdaki trafik sensörlerinden elde edilen veriler de kullanılabilir hale getirilmiştir. Sonuç veri analitik raporları, PostGIS ortamında hava izleme istasyonlarının geometrileri ile birleştirilip QGIS ortamına aktarılmıştır. Tamamen açık-kaynaklı yazılım ortamlarında gerçekleştirilen uygulamalarda, trafik yoğunluğu noktalarından da ortalama hız ve araç sayısı değerleri hesaplanmış ve bu değerler karşılaştırılarak trafik yoğunluğunun hava kalitesine etkisi olduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilecek akıllı şehir gösterge paneli uygulamalarında, gerçek zamanlı trafik yoğunluğu ve hava kalitesi ilişkisi analiz edilebilir, risk durumuna göre trafik yönlendirmesi yapılabilir. Bu yaklaşımla, örnek teknolojiler kullanılarak şehir yaşam kalitesini ve yerel yönetimlerin hizmet potansiyelini artıran birçok akıllı şehir uygulaması geliştirilebilir.

Araştırmacıların katkı oranı

Arif Çağdaş Aydınoglu: Düzenleme, Metodoloji, Kontrol; **Rabia Bovkır:** Literatür Çalışması, Veri Analizi, Makale Yazımı; **Muzaffer Bulut:** Veri Analizi ve Uygulama Geliştirme

Çatışma beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Accenture (2015). Building and managing an intelligent cities in India.

Agarwal S & Rajan K S (2016). Performance Analysis of MongoDB versus PostGIS/PostgreSQL Databases for Line Intersection and Point Containment Spatial Queries. *Spat. Inf. Res.*, 24:671–677. <https://doi.org/10.1007/s41324-016-0059-1>

Agrahari A & Rao D (2017). Big Data: Technologies, Tools and Trends. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(10):640-649.

Aktan E (2018). Büyük Veri: Uygulama Alanları, Analitiği ve Güvenlik Boyutu. *Bilgi Yönetimi Dergisi*, 1(1), 1-22.

Albino V, Berardi U & Dangelico R M (2015). Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1):3–21.

Al Nuaimi E, Al Neyadi H, Mohamed N & Al-Jaroodi J (2015). Applications of big data to smart cities. *Journal of Internet Services and Applications*, 6(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s13174-015-0041-5>

Anbaroğlu B (2021). Spatial Query Performance Analyses on a Big Taxi Trip Origin–Destination Dataset. In: Mobasher A. (eds) *Open Source Geospatial Science for Urban Studies. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58232-6_3

Aydın G (2017). NoSQL Veri Tabanları Üzerinde Bir Metin Madenciliği Uygulaması [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Aydın Üniversitesi.

Aydınoglu A Ç, Çölkesen İ, Şenbil M, Bovkır R, Yomralioğlu T (2020). 116Y204 nolu TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu. TÜBİTAK ÇAYDAG, Ankara, 04.2020

BalaAnand M, Karthikeyan N, Karthik S & Sivaparthipan C B (2017). A Survey on BigData with Various V's on comparison of Apache Hadoop and Apache Spark. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 11(4):362-369.

Ballas D (2013). What Makes a 'Happy City'? *Cities* 32(1), 39–50.

Baralis E, Dalla Valle A, Garza P, Rossi C & Scullino F (2017). SQL versus NoSQL databases for geospatial applications. 2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), 3388-3397. <https://doi.org/10.1109/BigData.2017.825834>

Bilici Z & Babahanoğlu V (2018). Akıllı Kent Uygulamaları ve Konya Örneği. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 9 (2), 124-139.

Čerešňák R & Kvet M (2019). Comparison of Query Performance in Relational a Non-Relation Databases. *Transportation Research Procedia*, 40, 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.027>

Chourabi H, Nam T, Walker S, Gil-Garcia J R, Mellouli S & Nahon K (2012). Understanding Smart City initiatives: An integrative framework. 45. Hawaii international conference on system sciences, 2289-2297, 4–7 Ocak, Maui, HI.

Correia L M & Wüstel K (2011). Smart Cities applications and requirements. White Paper of the Experts Working Group, NetWorks European Technology Platform.

Cui L & Shi J (2020). Urbanization and its environmental effects in Shanghai, China. *Urban Climate*, 2: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2012.10.008>

Çetin M & Demirci O K (2016). Erzincan'da Doğal Gaz Kullanımının Hava Kalitesine Etkisi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1):8-18.

Daşdemir Y & Kara B C (2019). Farklı İş Yükleri Altında NoSQL Sistemlerinin Performans Analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(4), 1466-1477. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.547532>

Demchenko Y & Membrey P (2014). Defining Architecture Components of the Big Data Ecosystem. *International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, Minneapolis, MN, USA:104-112, <https://doi.org/10.1109/CTS.2014.6867550>

Demirarslan K O & Akıncı H (2018). CBS ve Hava Kalitesi Verileri Kullanılarak Marmara Bölgesinin Kış Sezonunda Hava Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Doğ Afet Çevre Derg.* 4(1):11-27. <https://doi.org/10.21324/dacd.344564>

Demirci Y & Köseoğlu Ö (2018). Akıllı Şehirler ve Yerel Sorunların Çözümünde Yenilikçi Teknolojilerin Kullanımı. 4(2), 40-57.

Doğan K & Arslantekin S (2016). Büyük veri: Önemi, Yapısı ve Günümüzdeki Durum. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi- DTCF Dergisi*, 56(1), 15-36. https://doi.org/10.1501/Dtcfder_0000001461

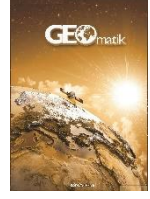
Duarte L & Teodoro A C (2021). GIS Open-Source Plugins Development: A 10-Year Bibliometric Analysis on Scientific Literature. *Geomatics* 1(2), 206-245.

Egghe L & Leydesdorff L (2009). The relation between Pearson's correlation coefficient r and Salton's cosine

- measure. *Journal of the American Society for information Science and Technology*, 60(5):1027-1036.
- Firican G (2017). The 10 Vs of Big Data. <https://tdwi.org/articles/2017/02/08/10-vs-of-big-data.aspx>. Erişim: 10.04.2021.
- George G, Haas M R & Pentland A (2014). Big Data and Management. *Academy of Management Journal*, 57(2), 321-326. <https://doi.org/10.5465/amj.2014.4002>
- Ghazal A, Rabl T, Hu M, Raab F, Poess M, Crolotte A & Jacobsen H A (2013). BigBench: Towards an Industry Standard Benchmark for Big Data Analytics. SIGMOD'13: Proceedings of the 2013 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, 1197-1208.
- Goodchild M F (2021). GIS in the Era of Big Data. *European Journal of Geography*.
- Gökşen Y & Aşan H (2015). Veri Büyüklüklerinin Veritabanı Yönetim Sistemlerinde Meydana Getirdiği Değişim: NOSQL. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 8(3). 125-131 <https://doi.org/10.17671/btd.52374>
- Hashem I A T, Yaqoob I, Anuar N B, Mokhtar S, Gani A & Khan S U (2015). The rise of “big data” on cloud computing: Review and open research issues. *Information Systems*, 47:98-115. <https://doi.org/10.1016/j.is.2014.07.006>.
- Harrison G (2015). *Next Generation Databases*. Springer Science+Business Media, New York, ABD.
- Hollands R G (2008). Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial? *City*, 12(3):303-319.
- Inter-American Development Bank (IDB) (2016). *The Road toward Smart Cities: Migrating from Traditional City Management to the Smart City*.
- Jin X, Wah B W, Cheng X, Wang Y (2015). Significance and Challenges of Big Data Research. *Big Data Research*, 2, 59-64.
- JRC (European Commission-Joint Research Centre) (2014). *Scientific Pilot Study on Big Data Analysis*.
- Khan M A, Uddin M F, Gupta N (2014). Seven V's of Big Data: Understanding Big Data to extract Value. Proceedings of 2014 Zone 1 Conference of the American Society for Engineering Education.
- Khanduja V, Arora A & Garg S (2017). Applications of big data in real world: It's not what you know. It's what you do with what you know. 2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA), 159-163. <https://doi.org/10.1109/CCAA.2017.8229792>
- Landmark Solutions (2015). *The 7 pillars of Big Data. White Papers*. Erişim Adresi: https://www.landmark.solutions/portals/0/lmsdocs/whitepapers/the_7_pillars_of_big_data_whitepaper.pdf. Erişim Tarihi: 19.02.2021
- Li S, Dragicevic S, Castro F A, Sester M, Winter S, Coltekin A, ... & Cheng T (2016). Geospatial big data handling theory and methods: A review and research challenges, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115:119-133. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.012>.
- Lu J & Cao X (2015). PM2.5 pollution in major cities in China: Pollution status, emission sources and control measures. *Fresenius Environ. Bull.*, 24:1338-1349.
- Lu Y, Xie H, Arshika Zain S, Xu Z (2019). Geographic Information Systems and Big Data Driven Framework for Planning and Design of Smart Cities. 2019 4th International Conference on Information Systems Engineering (ICISE), 6-10. <https://doi.org/10.1109/ICISE.2019.00009>
- McAfee A & Brynjolfsson E (2012). *Big Data's Management revolution*. Harvard Business Review.
- McKinsey Global Institute (2011). *Big Data: The next frontier for innovation, competition and productivity*. McKinsey Global Institute, 1-6.
- Microsoft (2013). *The big bang: how the big data explosion is changing the world*. Erişim Adresi: <https://news.microsoft.com/2013/02/11/the-big-bang-how-the-big-data-explosion-is-changing-the-world/>. Erişim Tarihi: 16.04.2021.
- Ming Z, Luo C, Gao W, Han R, Yang Q, Wang L, Zhan J (2014). BDGS: A Scalable Big Data Generator Suite in Big Data Benchmarking, in: *Information Security and Privacy. Information Security and Privacy*, 138-154.
- Mirabelli M C, Ebel S, Damon S A (2020). Air Quality Index and air quality awareness among adults in the United States. *Environmental Research*, 183, 109185.
- Morcali M H & Akan D S (2017). Monitoring and Determination of Air Pollution Sources in Kahramanmaraş. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(2), 105-115. <https://doi.org/10.17780/ksujes.310602>
- Nam T A & Pardo T (2011). Conceptualizing Smart City With Dimensions Of Technology, People, and Institutions. Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times, 284-285.
- Neirotti P, De Marco A, Cagliano A, Mangano G, Scorrano F (2014). Current trends in Smart City initiatives: Some stylised facts. *Cities*, 38, 25-36.
- NESSI (2012). *Big Data White Paper*. Erişim Adresi: http://www.nessi-europe.com/Files/Private/NESSI_WhitePaper_BigData.pdf. Erişim Tarihi: 16.04.2021.
- O'Grady M & O'Hare G (2012). How Smart Is Your City? *Science* 335(3), 1581-1582.
- Onay A (2020). Büyük Veri Çağında İç Denetimin Dönüşümü. *Muhasebe Bilim Dünyası Dergisi*, 22(1):127-163. <https://doi.org/10.31460/mbdd.620837>
- Oracle (2017). <https://www.oracle.com/big-data/guide/what-is-big-data.html>. Erişim: 13.04.2021.
- Örselli E & Akbay C (2019). Teknoloji ve Kent Yaşamında Dönüşüm: Akıllı Kentler. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 2(1):228-241. <https://doi.org/10.33712/mana.544549>
- Özşahin E, Eroğlu İ, Pektezel H (2016). Keşan'da (Edirne) Hava Kirliliği. *Selçuk Ün. Sos. Bil. Ens. Der.* 36, 83-100.
- Öztürk S & Atmaca H E (2017). İlişkisel ve İlişkisel Olmayan (NoSQL) Veri Tabanı Sistemleri Mimari Performansının Yönetim Bilişim Sistemleri Kapsamında İncelenmesi. *Bilişim Teknolojileri*

- Dergisi, 199-199.
<https://doi.org/10.17671/gazibtd.309303>
- Perkins L, Redmond E & Wilson J R (2018). Seven Databases in Seven Weeks. The Pragmatic Programmers, LLC, ABD.
- Pokorny J (2013). NoSQL databases: a step to database scalability in web environment. *IJWIS* 9(1):69-82.
- Rusu O, Halcu I, Grigoriu O, Neculoiu G, Sandulescu V, Marinescu M & Marinescu V (2013). Converting unstructured and semi-structured data into knowledge. 11th RoEduNet International Conference, Sinaia, 1-4.
- Sabrin S, Karimi M, Fahad Md G R & Nazari R (2020). Quantifying environmental and social vulnerability: Role of urban Heat Island and air quality, a case study of Camden, NJ. *Urban Climate*, 34, 100699.
- Schober P, Boer C, Schwarte L A (2018). Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5):1763-1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Schönberger V M & Cukier K (2013). Büyük Veri- Yaşama, Çalışma ve Düşünme Şeklimizi Dönüştürecek Bir Devrim. Çev. Banu Erol. İstanbul: Paloma Yayınevi.
- Sensuse D I, Cahyaningsih E & Wibowo W C (2015). Identifying Knowledge Management Process of Indonesian Government Human Capital Management using Analytical Hierarchy Process and Pearson Correlation Analysis. *Procedia Computer Science*, 72:233-243.
- Sevli O (2016). A Platform for Processing Non-Structural Data by Big Data Analysis Methods and Associate It With Structural Data: Developing a Recommendation Engine based on Social Media. PhD Thesis, Süleyman Demirel University, Graduate School of Applied and Natural Sciences.
- Şahin E K, Bovkir R & Aydinoglu A Ç (2020). Yeni Teknolojik Gelişmelerin Coğrafi Bilgi Sistemlerine Etkisi. *Harita Dergisi*, 1-16.
- Tan X, Han L, Zhang X, Zhou W, Li W & Qian Y (2021). A review of current air quality indexes and improvements under the multi-contaminant air pollution exposure. *Journal of Environmental Management* 279, 111681.
- Taleb I, Serhani M A, Dssouli R (2018). Big Data Quality Assessment Model for Unstructured Data. 13th International Conference on Innovations in Information Technology (IIT), 69-74.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, ÇED, İzin ve Denetim Müdürlüğü (2017). 1. Ulusal Hava Kalitesi Yönetimi Çalıştay Sonuç Bildirgesi ve Raporu.
- TechAmerica Foundation (2012). Demystifying big data: A practical guide to transforming the business of Government. TechAmerica Foundation: Federal Big Data Commission Report.
- Terzi F & Ocağcı M (2017). Kentlerin Geleceği: Akıllı Kentler. *İTÜ Vakfı Dergisi*, 77:10-13.
- Urban Sustainability Directors Network (USDN), (2015). Getting Smart About Smart Cities. USDN Innovation Fund.
- URL 1: <https://historicjournals.itu.int/viewer/699/?return=1&cssname=include#page=17&viewer=picture&o=&n=0&q=> (Erişim Tarihi: 25 Haziran 2021)
- URL 2: <http://hadoop.apache.org/> (Erişim Tarihi: 24 Haziran 2021)
- URL-3: <https://www.statista.com/markets/411/topic/446/demographics/#insights> (Erişim Tarihi: 24 Haziran 2021)
- URL-4: <https://www.mongodb.com/> (Erişim Tarihi: 24 Haziran 2021)
- URL-5: <https://sim.csb.gov.tr/Home/HKI?baslik=HAVZA%20%C4%B0ZLEME%20S%C4%B0STEM%C4%B0> (Erişim Tarihi: 24 Haziran 2021)
- US EPA (2018). Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality AQI Index. U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards.
- Viceconti M, Hunter P & Hose R (2015). Big Data, Big Knowledge: Big Data for Personalized Healthcare. *IEEE Journal Of Biomedical And Health Informatics*, 19(4):1209-1215.
- Washburn D, Sindhu U, Balaouras S, Dines R A, Hayes N M & Nelson L E (2010). Helping CIOs understand “Smart City” initiatives: Defining the Smart City, its drivers, and the role of the CIO. Cambridge, MA: Forrester Research, Inc.
- Wei D, Wang B, Lin G, Liu D, Dong Z, Liu H, Liu Y (2017). Research on Unstructured Text Data Mining and Fault Classification Based on RNN-LSTM with Malfunction Inspection Report. *Energies*, 10(406). <https://doi.org/10.3390/en10030406>
- White M (2012). Digital workplaces: vision and reality. *Bus. Inf. Rev.*, 29(4):205-214.
- WHO (2021). Official website of WHO. Erişim Adresi: <https://www.who.int/news-room/air-pollution>. Erişim Tarihi: 02.04.2021.
- Yin S & Kaynak O (2015). Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends. *Point of View*, 103(2):143-146.
- Yue P & Jiang L (2014). BigGIS: How big data can shape next-generation GIS. The Third International Conference on Agro-Geoinformatics, 1-6. <https://10.1109/AgroGeoinformatics.2014.6910649>





Deniz seviyesi değişimlerinin belirlenmesinde GNSS-IR yönteminin kullanımı ve doğruluk analizi üzerine bir araştırma

Cemali Altuntaş*¹ , Nursu Tunalioglu¹ 

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

GNSS-İnterferometrik
Reflektometri (GNSS-IR)
Deniz Seviyesi
Lomb-Scargle
Periyodogramı (LSP)
Sinyal-Gürültü Oranı (SNR)

ÖZ

GNSS İnterferometrik Reflektometri (GNSS-IR) yöntemi, GNSS verilerinin analizi ile anten etrafındaki çevresel özelliklerin kestirimine olanak sağlamaktadır. Deniz kıyısındaki GNSS antenlerinin, deniz yüzeyinden yansıma alabilecek kadar yeterli açık görüş açısına sahip olması durumunda, GNSS-IR yöntemine dayalı olarak deniz seviyesi değişimleri belirlenebilmektedir. Bu çalışmada, deniz seviyesi değişimlerinin GNSS-IR yöntemine dayalı olarak belirlenebilirliği, TUSAGA-Aktif ağına ait istasyonlardan Tekirdağ (TEKR) istasyonunun 2020 yılına ait bir yıllık statik GPS uydu verileri ile SNR1 ve SNR2 (L1 ve L2 frekansları) için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Analizlerde frekans limiti, uydu yükseklik açısı limiti, spektral analiz ile elde edilen arka plan gürültü koşulu (AGK) ve medyan mutlak sapma (MAD) koşulu dikkate alınmıştır. Verilerin değerlendirilmesi için 18 farklı analiz stratejisi oluşturulmuş ve kestirimler için doğrulama verisi olarak TUDES Marmara Ereğlisi mareograf istasyonunun sağladığı deniz seviyesi ölçüleri kullanılmıştır. Sonuçlar, veriden elde edilen kestirim sayısı (KS) ve 1 yıllık veride toplam günlük kestirim kapsam sayısı bakımından da incelenmiştir. Buna göre, 1 yıllık veri için en yüksek korelasyon SNR1 ile 5°-20° yükseklik açısı ve 5AGK koşulu için %75 (KS: 1911, Kapsam: 279) olarak bulunmuştur. Yıllık veri için en yüksek korelasyonun elde edildiği strateji ile aylık değerlendirmeler yapıldığında ise SNR1 için %84'e, SNR2 için ise %88'e varan korelasyon değerleri elde edilmiştir.

An investigation on the use of GNSS-IR method for determining sea level changes and its accuracy analysis

Keywords

GNSS-Interferometric
Reflectometry (GNSS-IR)
Sea Level
Lomb-Scargle Periodogram (LSP)
Signal-to-Noise Ratio (SNR)

ABSTRACT

GNSS Interferometric Reflectometry (GNSS-IR) allows retrieving environmental characteristics around the GNSS antenna by analyzing the GNSS data. When the GNSS antenna located at the seashore has sufficient open view for receiving reflections from the sea surface, sea level changes can be determined based on the GNSS-IR method. In this study, the determinability of the sea level changes based on GNSS-IR was analyzed with 1-year static GPS data dated 2020 using SNR1 and SNR2 (L1 and L2 frequencies) values of Tekirdağ station (TEKR), which is involved to CORS-TR Network. In the analyses, frequency limit, satellite elevation angle limit, background noise condition (BNC) obtained by spectral analysis and median absolute deviation (MAD) condition were considered. In order to evaluate the accuracy of the estimation results, 18 different analysis strategies were created, and sea level measurements provided by the TUDES Marmara Ereğlisi tide gauge were used as verification data. The results were also examined in terms of the number of estimates (NE) obtained from the data and the number of daily estimates coverage in 1-year data. Accordingly, the highest correlation for 1-year data was found to be 75% (NE: 1911, Coverage: 279) for SNR1 with 5°-20° elevation angle and 5BNC condition. When monthly evaluations were made with the strategy in which the highest correlation was obtained for the annual data, correlation values of up to 84% for SNR1 and 88% for SNR2 were obtained.

*Sorumlu Yazar

(cemali@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-9660-6124
(ntunali@yildiz.edu.tr) ORCID ID 0000-0001-9345-5220

Kaynak Göster (APA)

Altuntaş C & Tunalioglu N (2022). Deniz seviyesi değişimlerinin belirlenmesinde GNSS-IR yönteminin kullanımı ve doğruluk analizi üzerine bir araştırma. Geomatik, 7(3), 187-196

1. Giriş

Son yıllarda küresel iklim değişiminin meydana getirdiği ortalama deniz seviyesindeki yükselme, özellikle kıyı alanları başta olmak üzere, bu bölgelere yakın alanlarda uzun dönemde oluşabilecek risklerin belirlenmesi, izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması için önem taşımaktadır. Ayrıca, özellikle küresel iklim değişikliğinin yarattığı çevresel değişimlerin izlenmesi, iklim modellerinin ve buna bağlı gelecek planlamalarının yapılmasına da katkı sağlayacaktır. Dünya nüfusunun büyük bir bölümünün kıyı alanlarında yer alması ve faaliyetlerin buralarda sürdürülmesi ise deniz kaynaklı tehlikelere karşı çalışmaların hassas yapılmasını gerektirmektedir (Neumann vd., 2015).

Farklı nedenlerle ortaya çıkan değişimlerin incelenmesinde değişik ölçme ve izleme teknikleri kullanılmaktadır. Son yıllarda, GNSS alıcılarında toplanan sinyallerin çevresel karakteristiklerin belirlenmesinde kullanılabilir olduğu kanıtlanmıştır (Wang vd., 2018). GNSS İnterferometrik Reflektometri (Interferometric Reflectometry, IR) olarak adlandırılan bu yöntem, GNSS alıcılarının tesis edildikleri yerlerin yakın çevresindeki çevresel değerlerin (zemin ile alıcı arasındaki düşey mesafe- reflektör yüksekliği-, yüzeyin yansıtıcılık özellikleri vb.) elde edilmesinde çok yolluluk sinyal yansıma özelliklerini kullanmaktadır (Larson vd., 2008, Larson vd., 2017; Small vd., 2010; Nievinski ve Larson, 2014a, 2014b; Strandberg vd., 2016, 2019). GNSS-IR tekniği, GNSS alıcısına doğrudan ve yansyarak gelen sinyallerin oluşturduğu girişim modelini inceleyerek, yansıyan sinyallere ait parametrelerin belirlenmesine dayanmaktadır (Wang vd., 2018; Williams vd., 2020). GNSS alıcıları, anten çevresindeki yansıtıcı yüzeylerin neden olduğu çok yolluluk etkisi altındaki yansıyan sinyaller ile alıcıya doğrudan gelen sinyalleri eşzamanlı olarak anten faz merkezinde kaydetmektedir. Çok yolluluk etkisi genel olarak düşük uydu yükseklik açılarından gelen sinyallerde görülmektedir. Yüksek doğrulukta hassas konum belirleme için bir hata ve gürültü kaynağı olan yansıyan GNSS sinyalleri, alıcıda kaydedilen sinyallerin gücünde karakteristik salınımlar oluşturur. Salınım etkisinin analizi sonucunda alıcı anteni ile yansıtıcı yüzeyin arasındaki yükseklik farkı, oluşan geometrik eşitlik vasıtasıyla belirlenebilmektedir (Hofmann-Wellenhof vd., 2008).

Çok yolluluk etkisi nedeniyle alıcıda kaydedilen sinyallerin meydana getirdiği girişimin etkisi, kod, taşıyıcı faz ve sinyal gürültü oranı (Signal-to-Noise Ratio, SNR) verilerinde görülmektedir. Bunların içinden SNR, girişim yapan sinyallerde, geometrik ve radyometrik özellikler hakkında bilgi içermektedir. Sinyal gücünün gürültüye oranı olan SNR değeri, alınan sinyalin gücüyle ilişkilidir ve GNSS verilerinde yansımanın neden olduğu salınım özellikleriyle çevresel değerlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Qian ve Jin, 2016; Tabibi vd., 2017). Axeldrad vd. (1996), yansıyan sinyallerin ve sinyal genliklerinin özelliklerinin belirlenmesinde SNR verilerinin kullanılabilirliğini göstermiştir.

Uydudan alıcıya yansyarak gelen sinyaller ile yansıtıcı yüzeylere ilişkin çevresel özellikleri belirleme

çalışması ilk olarak Martin-Neira (1993) tarafından gerçekleştirilmiştir. Martin-Neira (1993), alıcıda kaydedilen okyanus yüzeyinden yansıyan GPS sinyalleri ile deniz seviyesi altimetresinin belirlenebilirliğini araştırmıştır. Klasik anlamda, GPS sistemine dayalı deniz seviyesi değişimlerinin belirlenmesi, bir antenin zenit doğrultusunda diğerinin ise nadir doğrultusunda olmak üzere iki farklı anten konfigürasyonunun birlikte kullanılarak doğrudan gelen ve yansıyan sinyallerin anten faz merkezlerinde kaydedilmesine dayanmaktadır. GNSS-IR yöntemine dayalı olarak tek bir alıcı kullanılarak deniz seviyesi değişimlerinin belirlenmesine yönelik ilk çalışma, Larson vd. (2013) tarafından gerçekleştirilmiştir. Jeodezik alıcıların sağladığı SNR verilerinde özellikle düşük uydu yükseklik açılarından (5°-25°) gelen sinyallerde bu girişim etkisi görülmektedir. Daha yüksek uydu yükseklik açılarından da kullanılabilirliği ile ilgili bir çalışma, Santamaría-Gómez ve Watson (2017) tarafından, bir alıcı zenit doğrultusunda diğeri ise ufuk doğrultusunda yerleştirilmek üzere iki jeodezik antenin SNR verilerinin karşılaştırılması ile yapılmıştır. Bu çalışmada, ufuk doğrultusunda yerleştirilen antenin daha yüksek uydu yükseklik açılarından gelen sinyaller için de girişim salınımlarına sahip olduğu ve deniz seviyesi değişimlerinin belirlenmesinde zenit doğrultusundaki alıcı verisinden üç kat daha hassas sonuç elde edilmesini sağladığı gösterilmiştir. Altuntaş ve Tunaliolu (2022), GNSS alıcı özelliklerinin ve kurulumlarının değiştirilmesinin SNR metriklerinin kestirim doğrulukları üzerindeki etkisini göstermek için, iki akıllı mobil telefonu ve iki jeodezik GNSS antenini (bir alıcı zenit doğrultusuna diğer alıcı ise ufuk doğrultusuna bakacak şekilde) yerleştirerek, eş zamanlı toplanan verileri analiz etmişlerdir. Buna göre, ufuk düzleminde toplanan sinyallerin daha yüksek uydu yükseklik açıları (30°-60°) için de uygun kestirim değerleri ürettiği görülmüştür.

Bununla birlikte, literatürde, GNSS-IR'a dayalı kalınlığının/örtüsünün belirlenmesi ve etkin reflektör yüksekliğinin kestirimi (Larson vd., 2009b; Ozeki ve Heki, 2012; Gutmann vd., 2012; Chen vd., 2014; Jin vd., 2016; Tunaliolu vd., 2019, Altuntas ve Tunaliolu, 2021), deniz seviyesi değişimlerinin ve dalga modellerinin araştırılması (Anderson, 2000; Xi vd., 2018; Beşel ve Tanır Kayıkçı, 2021), toprak nemi ve tarımsal ürünlerin izlenmesi (Larson vd., 2008; Larson vd., 2009a; Roussel vd., 2016; Chew vd., 2016; Zhang vd., 2017; Han vd., 2020; Altuntas ve Tunaliolu, 2020) gibi pek çok çalışma bulunmaktadır.

Temel olarak bu yöntem, çok yolluluk etkisinin, diğer bir ifadeyle anten faz merkezinde kaydedilen yansıyan sinyallerin doğrudan gelen sinyaller ile yaptığı girişim deseninin modellenmesini içermektedir. Genel anlamda klasik GNSS-IR yaklaşımı, GNSS alıcılarından sağlanan SNR verilerine ve Lomb Scargle Periyodogramı (LSP) spektral analiz yöntemine dayanmaktadır. GNSS-IR yöntemine dayalı uygulamaların yaygınlaştırılmasında ve geliştirilmesinde, yöntemde kullanılan metodolojiye bağlı olarak elde edilen kestirim değerlerinin doğruluğunun araştırılmasına, artırılmasına ve buna bağlı sonuçların kalite kontrollerinin yapılmasına yönelik araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada, deniz seviyesi değişimlerinin GNSS-IR yöntemine dayalı olarak belirlenebilirliğini araştırmak için, TUSAGA-AKTİF ağına ait TEKR (Tekirdağ) istasyonunun 2020 yılına ait 1 yıllık RINEX verisinden elde edilen SNR verisi; hatalı ölçü ve kestirim değerlerinin elimine edilmesi için frekans limiti, uydu yükseklik açısı limiti, arka plan gürültü koşulu (AGK) ve medyan mutlak sapma (median absolute deviation, MAD) kriterleri dikkate alınarak oluşturulan 18 farklı analiz stratejisi altında değerlendirilmiştir. Çalışmada, doğrulama verisi olarak Marmara Ereğlisi mareograf istasyonundan alınan veriler kullanılmış, aylık ve 1 yıllık korelasyon değerleri ve karesel ortalama hatalar (KOH) hesaplanmıştır.

2. GNSS-IR Yöntemi

GNSS-IR yönteminde kullanılan SNR değeri, uydu yükseklik açısının bir fonksiyonudur. Uydu, alıcıya göre yükselen veya alçalan doğrultuda yörüngesindeki hareketine devam ettiği sürece yansıyan ve doğrudan gelen sinyaller alıcıda eş zamanlı olarak kaydedilir. Yöntemde, alıcıya doğrudan ve yansıyan gelen sinyallerin meydana getirdiği girişim, uydu yükseklik açısına (ϵ), GNSS sinyalinin dalga boyuna (λ) ve yansıtıcı yüzey ile alıcının faz merkezi arasındaki düşey mesafeye (reflektör yüksekliği, h) bağlı periyodik bir sinyal meydana getirir. Uzun periyotlarda SNR verisi üzerinde bu sinyal girişimi, karakteristik bir salınım meydana getirir. Oluşan bu sinyal Eşitlik 1'de verildiği gibi modellenilebilmektedir.

$$SNR = A_d + A \cos\left(\frac{4\pi h}{\lambda} \sin\epsilon + \phi\right) \quad (1)$$

Burada, A_d doğrudan gelen sinyalin genliği, A yansıyan sinyalin genliği, ϕ faz ofsetidir. Eşitlik 1'de doğrudan gelen sinyalin etkisini elimine etmek için, düşük dereceli polinom SNR verisine uygulanıp bu trend veriden çıkarılırsa geriye kalan trendden arındırılmış veri Eşitlik 2'de verildiği gibi bulunur (Larson vd., 2013):

$$\delta SNR = A \cos\left(\frac{4\pi h}{\lambda} \sin\epsilon + \phi\right) \quad (2)$$

δSNR verisi üzerinde baskın frekans $f = 2h/\lambda$ eşitliği ile ilişkilidir. Burada, çok yolluluk etkisine sahip sinyalin baskın frekansı hesaplanırsa, h değeri hesaplanabilmektedir. δSNR verisi, düzenli bir aralık değerine sahip olmayıp uydu yükseklik açısının sinüsüne bağlı bir aralık değer ile temsil edildiğinden düzensiz örneklenmekte, bu nedenle baskın frekansın hesaplanmasında, LSP kullanılmaktadır (Lomb, 1976; Scargle, 1982). Periyodogram üzerinden, her bir uydu geçişi için δSNR verisine ait hesaplanan frekans değerleri, $h = f\lambda/2$ ilişkisi kullanılarak deniz yüzeyinden alıcı faz merkezine olan düşey mesafeye (reflektör yüksekliği) dönüştürülür.

3. Uygulama

3.1. Test alanı

Test alanı olarak Marmara Denizi kıyısında yer alan Tekirdağ ili sahil kesimi seçilmiştir. Bu amaçla ülkemizde ulusal düzeyde sıklıkla Ağ-RTK uygulamaları için

kullanılan TUSAGA-AKTİF ağına ait TEKR isimli referans istasyonunun 2020 yılına ait 30 saniye veri kayıt aralıklı, 24 saatlik 1 yıllık RINEX formatındaki gözlem verileri kullanılmıştır. TEKR istasyonu, Marmara Bölgesi'nde Tekirdağ ili sınırları içinde, deniz kenarındaki bir yapının terasında yer almaktadır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, TEKR istasyonu verileri kullanılarak GNSS-IR yöntemi ile yapılan kestirimlerin doğrulaması, Harita Genel Müdürlüğü (HGM) yetki ve sorumluluğunda olan Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi (TUDES) ağına yer alan Marmara Ereğlisi mareograf istasyonunun sağladığı deniz seviyesi ölçüleri ile yapılmıştır (Şekil 1). İstasyonlara ilişkin bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. İki istasyon arasındaki mesafe yaklaşık 40 km'dir.

3.2. Verilerin değerlendirilmesi ve analizi

Bu çalışmada TEKR istasyonunda 2020 yılı boyunca toplanan 1 yıllık statik GNSS gözlemleri ve Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu tarafından sağlanan deniz seviyesi ölçülerinin günlük ortalamaları kullanılmıştır. GNSS gözlemlerinden yalnızca GPS uyduları için sağlanan veriler kullanılmış, L1 SNR (SNR1) ve L2 SNR (SNR2) verileri değerlendirilmiştir.

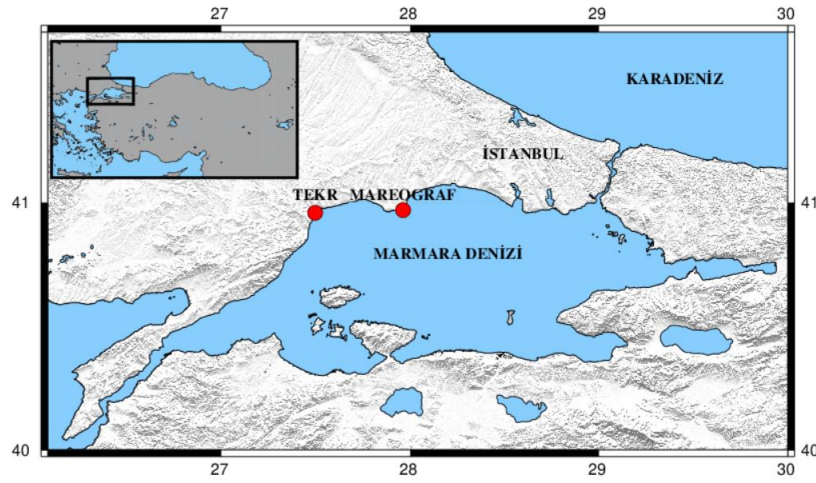
GNSS-IR çalışmalarında verinin azimut ve yükseklik açıları yönünden filtrelemeye tabi tutulması önemlidir. Yükseklik açısı sınır değerleri genellikle yansımanın fazla olduğu düşük yükseklik açılarını içerecek şekilde belirlenir. Azimut sınır değerleri ise, istasyon konumuna bağlı olarak çevreleyen alan özellikleri dikkate alınarak seçilir.

Bu çalışma kapsamında değerlendirilecek verinin deniz yüzeyinden olan yansımaları içermesi dikkate alınmıştır. Bu nedenle, öncelikle TEKR istasyonunun denize olan mesafesi ve azimut değerleri irdelenmiştir. İstasyon ile yansıma yüzeyi arasındaki mesafe, 50° azimut yönünde yaklaşık 100 m iken, 60° 'de yaklaşık 80 m, 80° 'de yaklaşık 55 m, 100° 'de yaklaşık 40 m, 120° 'de yaklaşık 35 m, 140° 'de yaklaşık 40 m, 190° 'de ise yaklaşık 100 m'dir (Tablo 2).

TEKR istasyonunun deniz seviyesinden olan yüksekliği yaklaşık 10 m'dir. GNSS alıcısına yansıyan gelen sinyalin yansıma yaptığı noktanın konumu, bu yükseklik değerine ve uydu yükseklik açısına bağlı olarak belirlenebilmektedir. Buna göre, 10 m reflektör yüksekliğine sahip TEKR istasyonunun yansıma noktalarına olan mesafesi uydu yükseklik açısına bağlı olarak Tablo 3'te verildiği şekilde değişim göstermektedir.

Tablo 1. İstasyonlara ilişkin konum (WGS 84) ve kayıt bilgileri

GNSS	TEKR	Enlem	40° 57' 30.00" K
		Boylam	27° 29' 47.39" D
		Veri kayıt aralığı	30 sn
Mareograf	MARMARA EREĞLİSİ	Enlem	40° 58' 08.28" K
		Boylam	27° 57' 43.75" D
		Gözlem sıklığı	15 dk



(a)



(b)



(c)

Şekil 1. (a) Test alanı ve istasyonların konumları, (b) TEKR sabit GNSS istasyonu (c) Marmara Ereğlisi mareograf istasyonu

Tablo 2. TEKR istasyonunun denize olan mesafesinin azimuta göre değişimi

Azimut (°)	50	60	80	100	120	140	160	180	190
Denize olan mesafe (m)	~100	~80	~55	~40	~35	~40	~45	~70	~100

Tablo 3. TEKR istasyonunun yansımaya noktasına olan mesafesinin uydu yükseklik açısına göre değişimi

Uydu yükseklik açısı (°)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Yansımaya noktasına mesafe (m)	114	95	81	71	63	56	51	47	43	40	37	36	34	32	31	29

Tablo 2 ve Tablo 3'teki değerler incelendiğinde teorik olarak yansımaların deniz yüzeyinden gelebilmesi için uygun olan açı aralıkları uydu yükseklik açısı için 5° - 10° , buna bağlı olarak azimut açısı için ise 80° - 170° olmaktadır. Bu aralıklar, yansımaya noktalarının deniz yüzeyinde yer alması gerekliliği dikkate alınarak belirlenmiştir (5° - 10° uydu yükseklik açısı aralığı için yansımaya noktasına olan mesafe en az ~56 m olmaktadır. Denize olan mesafenin 56 m'den daha düşük olduğu aralık ise 80° - 170° azimut aralığıdır). Fakat deniz yüzeyi düz bir arazi yüzeyi gibi pürüzsüz ve durağan değildir. Dalgalı ve zamana bağlı olarak değişen bir yüzey yapısına sahiptir. Bu durum dikkate alındığında, deniz yüzeyinden olan gerçek yansımaya açısının hesaplanan bu değerlerden

farklı olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle 5° - 10° uydu yükseklik açısı aralığına 5° - 15° ve 5° - 20° aralıkları da ilave edilmiştir. Azimut aralığı ise 80° - 170° olacak şekilde sabit alınmıştır.

Uydu yükseklik açısı ve azimut aralığı koşullarını sağlayan SNR verileri alçalan ve yükselen uydu geçişleri için gruplandırılmış, her bir uydu geçişine ait SNR veri setleri belirlenmiştir. TEKR istasyonu çatı terasında yer aldığı ve teras yüzeyinden gelen yansımaları da almış olduğu için SNR verisi üzerinde düşük frekanslı bir bileşenin de mevcut olduğu görülmüştür. SNR verisinin trendinin ve bu düşük frekanslı bileşenin birlikte giderilmesi için 5. dereceden bir polinom kullanılmıştır. Her bir δSNR veri setinin frekansının bulunması için LSP

kullanılmıştır. LSP ile her bir frekansa karşılık gelen spektral genlik değeri hesaplanmaktadır. Spektral genliği maksimum olan frekans değeri, δSNR verisinin baskın frekansı olarak kabul edilmektedir. Fakat bu maksimum spektral genlik (pik) değeri her zaman baskın frekansa karşılık gelmemektedir. Bu nedenle kestirimlere ilk olarak minimum-maksimum frekans limiti uygulanarak sınır değerlerin dışında kalan kestirimler atılmıştır. SNR1 verileri için bu limit 100-120 olarak ayarlanırken, SNR2 verileri için 80-100 olarak ayarlanmıştır. Bu frekans aralıkları uzunluk türünden sırasıyla ~4 m ve ~5 m'ye karşılık gelmektedir. İstasyondaki yıllık deniz seviyesi değişiminin maksimum 1 m seviyelerinde olduğu dikkate alındığında bu frekans aralıklarının kaba hatalı kestirimlerin giderilmesi için ön bir adım olarak uygulanmasının uygun olduğu görülmüştür. Bunun dışında, literatürdeki çalışmalarda pik genliğinin, arka plan gürültüsü olarak adlandırılan ortalama genlik değerine bölünmesiyle bulunan bir oran (AGK) üzerinden kestirimlere ilişkin kalite kontrolü yapılmaktadır. Söz konusu oranın belirlenen bir sayıdan büyük olması durumunda kestirilen frekans değeri efektif kabul edilmektedir. Bu çalışmada, AGK için

uygulanacak katsayılar 3, 4 ve 5 olarak belirlenmiştir. AGK, LSP ile bulunan spektral genlik değerleri (A_{LSP}) kullanılarak, Eşitlik 3 ile hesaplanmıştır:

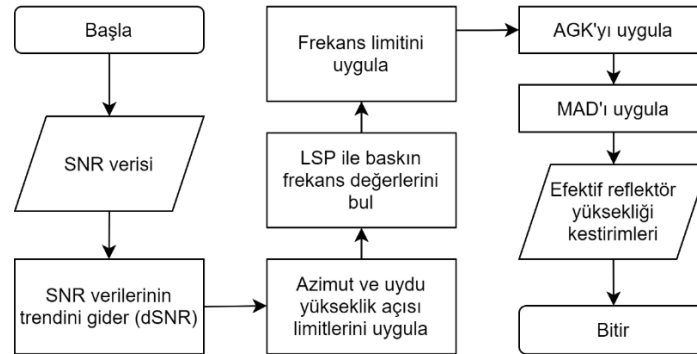
$$AGK = \frac{\text{maksimum}(A_{LSP})}{\text{ortalama}(A_{LSP})} \quad (3)$$

AGK ile hatalı kestirimler büyük oranda giderilse de bazı durumlarda ek bir ölçüt kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, MAD koşulu 1 katsayısıyla uygulanmıştır. MAD değeri, Eşitlik 4 vasıtasıyla hesaplanmıştır (Rousseeuw ve Leroy, 1987):

Burada; \mathbf{h} ile GNSS-IR ile yapılan reflektör yüksekliği kestirimleri, $med(\mathbf{h})$ ile kestirimlerin ortanca değeri ifade edilmektedir. Tüm büyüklükler metre birimindedir. Alıcının sağladığı SNR verisinden reflektör yüksekliğinin kestirimine kadar izlenen işlem adımları Şekil 2'de verilmiştir.

Tüm durumlar dikkate alındığında, toplamda 18 farklı analiz stratejisi (AS) ile değerlendirme yapılmıştır (Tablo 4).

$$MAD = \begin{cases} 1.2533 \times \frac{1}{n} \times \sum |\mathbf{h} - med(\mathbf{h})|, med|\mathbf{h} - med(\mathbf{h})| = 0, \\ 1.4826 \times med|\mathbf{h} - med(\mathbf{h})|, med|\mathbf{h} - med(\mathbf{h})| \neq 0, \end{cases} \quad (4)$$



Şekil 2. SNR verisinden reflektör yüksekliği kestirimi için izlenen iş akış diyagramı

Tablo 4. Analiz stratejileri (UYAA: Uydu yükseklik açısı aralığı)

#AS	UYAA (°)	AGK	MAD
AS01	5-10	3	-
AS02	5-15	3	-
AS03	5-20	3	-
AS04	5-10	4	-
AS05	5-15	4	-
AS06	5-20	4	-
AS07	5-10	5	-
AS08	5-15	5	-
AS09	5-20	5	-
AS10	5-10	3	1
AS11	5-15	3	1
AS12	5-20	3	1
AS13	5-10	4	1
AS14	5-15	4	1
AS15	5-20	4	1
AS16	5-10	5	1
AS17	5-15	5	1
AS18	5-20	5	1

Farklı analiz stratejileri için yapılan GNSS-IR reflektör yüksekliği kestirimlerini deniz seviyesi ölçüleriyle kıyaslayabilmek için aşağıda sıralanan metodoloji izlenmiştir:

(1) Mareograf istasyonunun 1 Ocak 2020 tarihi için sağladığı deniz seviyesi verisinin ortalaması ilk günün deniz seviyesi ölçüm değeri olarak kaydedilmiştir ($DS_{mare,1}$).

(2) GNSS-IR ile 1 Ocak 2020 tarihi için yapılan reflektör yüksekliği kestirimlerinin ortalaması ilk günün reflektör yüksekliği kestirimi olarak kaydedilmiştir (RH_1).

(3) Tüm günler için yapılan reflektör yüksekliği kestirimleri (RH_i), RH_1 'den çıkarılarak yükseklik farkları bulunmuştur (ΔRH_i).

(4) Her bir gün için GNSS-IR tekniğiyle yapılan deniz seviyesi kestirimleri $DS_{mare,1}$ ile ΔRH_i değerleri toplanarak bulunmuştur ($DS_{GIR,i}$).

Son adımda belirtilen durum Eşitlik 5'te gösterilmektedir:

$$DS_{GIR,i} = DS_{mare,1} + \Delta RH_i \quad (5)$$

Burada; $DS_{GIR,i}$: GNSS-IR deniz seviyesi kestirim değerini, $DS_{mare,1}$: ilk gün için mareograf istasyonundan sağlanan deniz seviyesi değerini, ΔRH_i : 1. gün ile i . gün arasındaki GNSS-IR reflektör yüksekliği kestirim değerleri farkını ifade etmektedir. Verilen eşitlikteki tüm büyüklükler metre birimindedir.

4. Bulgular ve tartışma

Yapılan analizler sonucunda elde edilen korelasyon, KOH, kestirim sayısı (KS) ve kapsam (kestirim yapılan gün sayısı) değerleri Tablo 5'te verilmiştir. KOH değerleri Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (DS_{GIR,i} - DS_{mare,i})^2}{N}} \quad (6)$$

Burada; $DS_{GIR,i}$: i . gün için GNSS-IR deniz seviyesi kestirim değerini, $DS_{mare,i}$: i . gün için mareograf istasyonundan sağlanan deniz seviyesi ölçüm değerini, N ise gün sayısını ifade etmektedir.

Tablo 5. SNR1 ve SNR2 verilerinin 18 farklı stratejiyle yapılan analiz sonuçları

	SNR1				SNR2			
	Korelasyon	KOH (cm)	KS	Kapsam (gün)	Korelasyon	KOH (cm)	KS	Kapsam (gün)
AS01	0.58	18.0	4270	361	0.42	13.5	5202	363
AS02	0.54	12.5	5056	359	0.67	8.5	7094	364
AS03	0.61	10.7	5792	360	0.69	7.9	7448	364
AS04	0.58	14.8	1780	321	0.39	29.8	1426	318
AS05	0.63	11.3	2920	320	0.68	8.5	5212	355
AS06	0.60	11.0	4069	332	0.68	8.6	6026	361
AS07	0.40	31.1	276	156	0.28	18.7	69	54
AS08	0.61	12.8	1093	253	0.72	8.4	2783	323
AS09	0.75	10.8	1911	279	0.71	7.8	4148	343
AS10	0.52	18.6	2966	361	0.37	15.2	3555	363
AS11	0.53	12.8	3397	359	0.62	9.3	4765	364
AS12	0.59	11.1	3862	360	0.66	8.5	4968	364
AS13	0.55	17.8	1292	321	0.38	30.6	1042	318
AS14	0.62	11.7	1981	320	0.65	9.0	3549	355
AS15	0.59	11.3	2761	332	0.65	9.0	4111	361
AS16	0.39	31.2	246	156	0.28	18.8	65	53
AS17	0.57	12.8	802	253	0.70	8.9	1925	323
AS18	0.73	11.7	1318	279	0.69	8.0	2859	342

Tablo 5'te yer alan sonuçlara göre SNR1 ile yapılan kestirimlerde en yüksek korelasyon değeri AS09 stratejisi ile 0.75 olarak elde edilmiştir. En düşük KOH değeri ise AS03 stratejisiyle 10.7 cm olarak elde edilmiştir. Fakat bu stratejide korelasyon değeri 0.61'dir. Bununla beraber en yüksek korelasyonun elde edildiği AS09 stratejisinin KOH değeri de 10.8 cm olduğundan KOH yönünden AS03 kadar iyi bir sonuç sağladığı görülmektedir. Bu durumda, SNR1 ile en iyi sonuçlar AS09 stratejisiyle elde edilmiştir. AS09 ile yapılan analizler sonucunda 2020 yılının 366 gününün 279'u için deniz seviyesi kestirimi yapılabilmektedir. 279 adet günlük kestirim değeri toplam 1911 adet kestirim kullanılarak hesaplanmıştır.

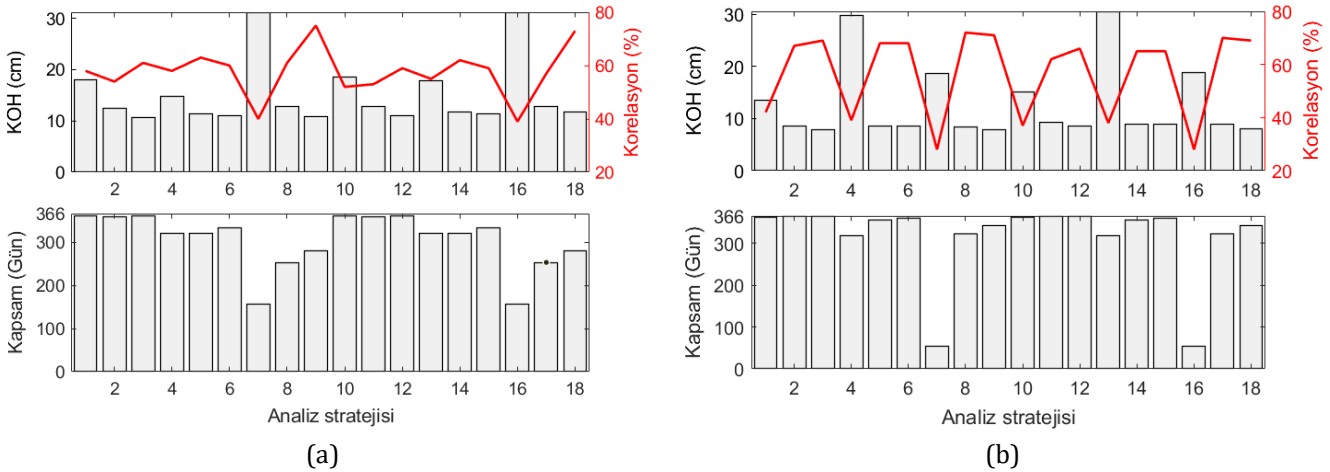
SNR2 verisiyle yapılan kestirimlerde en yüksek korelasyon değerinin AS08 ile 0.72 olarak elde edildiği görülmüştür. En düşük KOH değeri ise AS09 ile 7.8 cm olarak bulunmuştur. Fakat SNR2 kestirimlerinde korelasyon ve KOH yönünden öne çıkan tek bir strateji olmadığı görülmektedir. Burada, bazı stratejilerin korelasyon ve KOH değerleri birbirlerine çok yakındır. Örneğin AS08'in korelasyon değeri 0.72 iken, AS09'un korelasyon değeri 0.71'dir. Bu iki stratejinin KOH değerleri ise sırasıyla 8.4 cm ve 7.8 cm'dir. Yine aynı iki stratejinin kestirim sayıları sırasıyla 2783 ve 4148 iken, kapsamlarının da 323 gün ve 343 gün olduğu görülmektedir. Burada, iki strateji arasındaki korelasyon farkının küçük olması ve diğer ölçütler (KOH, KS,

kapsam) yönünden daha iyi sonuçlar sağlıyor olması nedeniyle AS09 stratejisi, SNR2 verileri için de en uygun strateji olarak öne çıkmaktadır. Bununla beraber 0.69'luk korelasyon, 7.9 cm'lik KOH, 7448'lik kestirim sayısı ve 364 günlük kapsam değerleri veren AS03 stratejisinin de kullanılabilirliği görülmektedir.

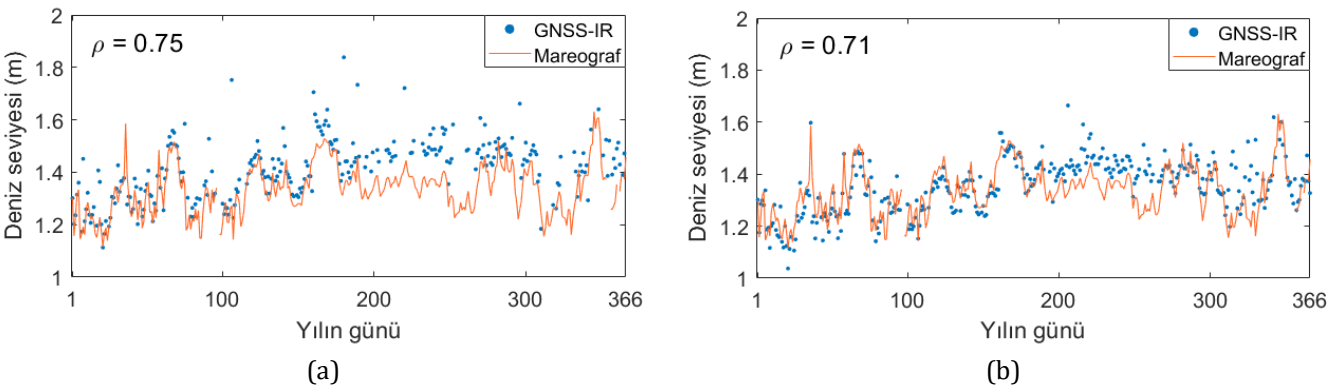
SNR1 ve SNR2 sonuçları genel olarak incelendiğinde dikkat çeken ilk husus, uydu yükseklik açısı aralığı 5°-10° olarak kullanıldığında SNR verisinin iyi kestirimler yapabilmek için yetersiz kaldığıdır (Şekil 3). SNR1 sonuçlarında 5°-15° yerine 5°-20° aralığının kullanıldığı durumlarda da kestirimler dört ölçüt yönünden de iyileşmiştir. SNR2 sonuçlarında ise bu iyileşme, korelasyon ve KOH yönünden düşük olurken, daha çok kestirim sayısı ve kapsam ölçütlerinde gerçekleşmiştir. Buna göre, TEKR istasyonunda GNSS-IR analizlerinde 5°-20° uydu yükseklik açısı aralığını kullanmanın uygun olduğu görülmektedir. Bunun dışında, mevcut koşullara ek olarak MAD koşulunun uygulanmasının sonuçları iyileştirmedeği görülmüştür.

Şekil 4'te AS09 stratejisi izlenerek yapılan deniz seviyesi kestirimleri gösterilmiştir. Hem SNR1 hem de SNR2 ile yapılan kestirimlerde yıllık korelasyon değeri 0.70'in üzerinde hesaplanmış olsa da, grafik üzerinde bazı dönemlerde yüksek hataların ve düşük korelasyonun olduğu görülmektedir. Bu durumun incelenmesi için aylık korelasyon ve KOH değerleri hesaplanmış, sonuçlar Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5'teki grafik çiftlerinde üst grafikler GNSS-IR deniz seviyesi kestirimleriyle mareograf istasyonu ölçülerini gösterirken, alt grafik günlük GNSS-IR kestirimi ile günlük mareograf istasyonu ölçümü arasındaki farkları (hataları) göstermektedir.

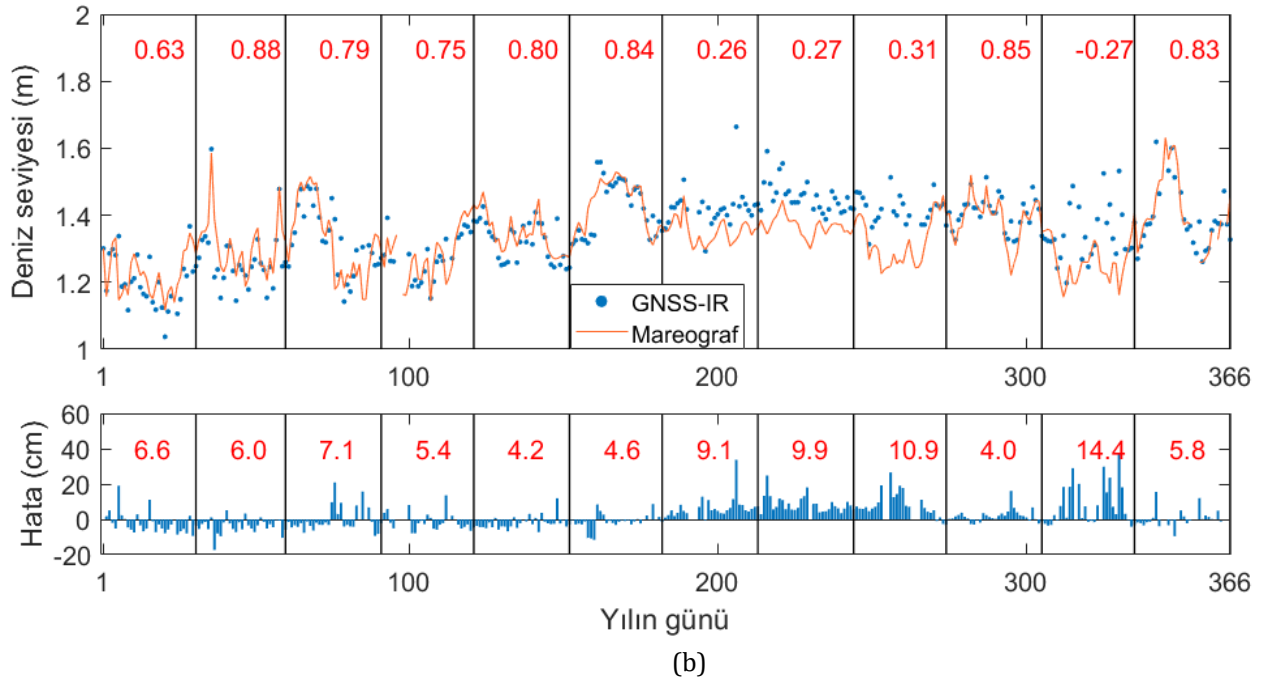
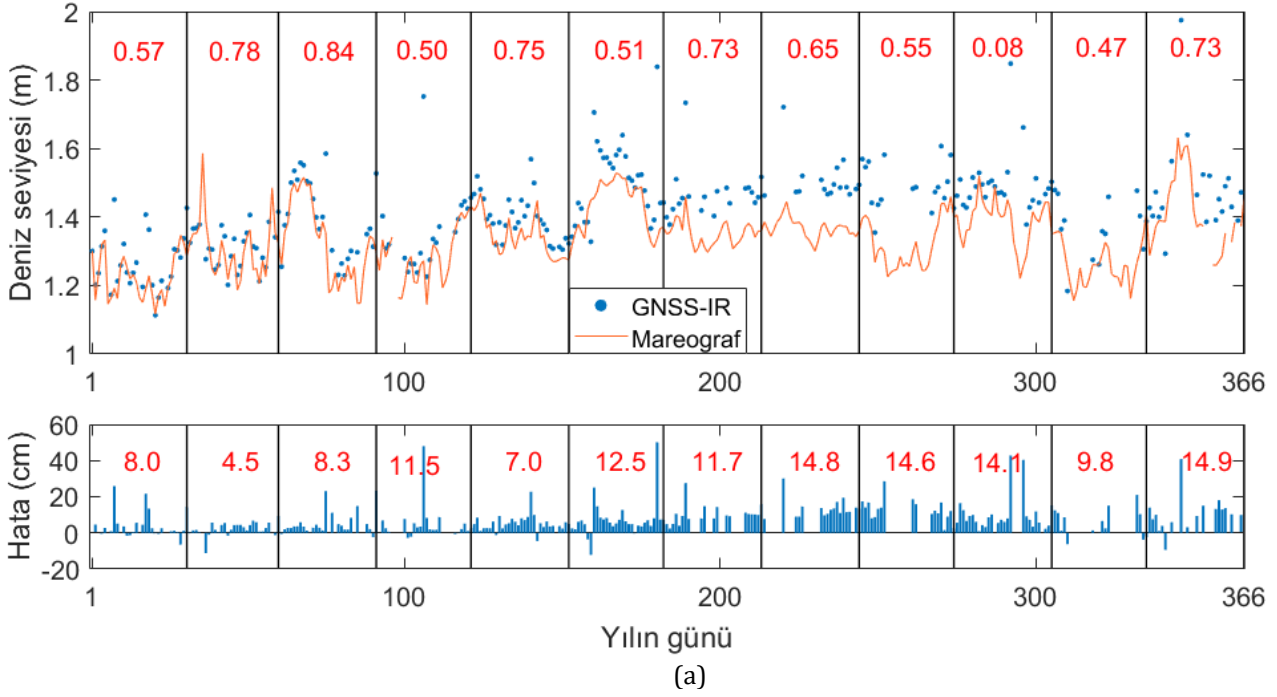
Şekil 5'e bakıldığında SNR1 verileri ile 0.84'e, SNR2 verileri ile 0.88'e varan aylık korelasyon değerleri olduğu görülmektedir. Ayrıca, en düşük KOH değerleri bakımından incelendiğinde, farklı aylık periyotlarda olmakla birlikte SNR1 için 4.5 cm, SNR2 için 4.0 cm civarında hatalar bulunmuştur.



Şekil 3. Korelasyon, KOH ve kapsam değerleri (a) SNR1 analiz sonuçları (b) SNR2 analiz sonuçları



Şekil 4. AS09 stratejisiyle yapılan deniz seviyesi kestirimleri (a) SNR1 kestirimleri (b) SNR2 kestirimleri



Şekil 5. AS09 stratejisiyle yapılan deniz seviyesi kestirimleri (aylık sonuçlar) (a) SNR1 kestirimleri (b) SNR2 kestirimleri (Deniz seviyesi grafiklerindeki kırmızı sayılar aylık korelasyon değerlerini gösterirken, hata grafiklerindeki kırmızı sayılar aylık KOH değerlerini göstermektedir).

5. Sonuç

Deniz seviyesi değişimlerinin uzun periyotlarda izlenmesi ve izlenen değerlerin iklim modellerinde kullanılması, okyanuslar ve diğer su kütleleri başta olmak üzere atmosferik çalışmalar, karasal alanlar, kar ve buzullar gibi küresel iklim değişiminin etkilediği tüm bileşenler ile dikkatle incelenip irdelenmesi gereken önemli bir konudur. Özellikle küresel iklim değişikliğinin yarattığı çevresel değişimlerin izlenmesi son yıllarda yoğun olarak araştırılan bir alan haline gelmiştir. Son yıllarda, GNSS-IR adı verilen yöntem, GNSS alıcısında toplanan sinyallerin analizi ile çevresel parametrelerin kestirilmesine olanak sağlamaktadır. GNSS alıcılarından sağlanan SNR verilerinin kullanıldığı GNSS-IR yöntemi,

denize yakın ve yeterli açık görüşe sahip istasyonlarda uygulandığında, deniz seviyesi değişimlerinin de izlenebilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye kıyılarında deniz seviyesi değişimlerinin GNSS-IR yöntemine dayalı olarak belirlenebilirliğini araştırmak için Marmara Denizi kıyısında bulunan TEKR istasyonuna ait 1 yıllık GPS gözlem verisi kullanılmıştır. Dört farklı kriter altında, oluşturulan 18 senaryoya göre istasyon konumu da dikkate alınarak, deniz seviyesi değişimleri belirlenmiş, elde edilen sonuçlar Marmara Ereğlisi mareograf istasyonunun aynı zaman aralığında tanımlı deniz seviyesi değişim verileri ile karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen analizlerde, TEKR istasyonunun deniz yüzeyindeki yansıma noktası başta olmak üzere, uydu

yükseklik açısı aralık değeri ve buna bağlı olarak kestirimde izlenecek metodolojinin önemi bu çalışmada kapsamlı bir şekilde irdelenmiştir. Çalışmada verisi kullanılan TEKR istasyonunun anteni zenit doğrultusunda yerleştirilmiş jeodezik bir antendir. Literatür incelendiğinde, konu ile ilgili araştırma çalışmalarının yoğun olarak devam ettiği ve yeni yaklaşımların araştırıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, literatürde alıcı kurulum konfigürasyonunun değiştirilmesi ile daha sağlıklı ve hassas sonuçların elde edilebileceğini gösteren çalışmalar da bulunmaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, GNSS referans istasyonu konum ve kurulum özellikleri irdelenerek Türkiye kıyılarındaki istasyon altyapıları kullanılarak deniz seviyesi değişimleri ulusal boyutta GNSS-IR yöntemi ile alternatif olarak izlenebilir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Çalışma kapsamında kullanılan GNSS verilerini sağlayan Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'ne (TKGM), mareograf istasyonu verileri sağlayan Harita Genel Müdürlüğü'ne (HGM) teşekkür ederiz.

Araştırmacıların katkı oranı

Cemali Altuntaş: Fikir, Analiz ve yorumlama, Makale yazma, Görselleştirme. **Nursu Tunalioglu:** Fikir, Analiz ve yorumlama, Makale yazma ve düzenleme.

Çatışma beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Altuntaş C & Tunalioglu N (2020). Estimation performance of soil moisture with GPS-IR method. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 38(4), 2217-2230.
- Altuntaş C & Tunalioglu N (2021). Feasibility of retrieving effective reflector height using GNSS-IR from a single-frequency android smartphone SNR data. *Digital Signal Processing*, 112(2021), 103011.
- Altuntaş C & Tunalioglu N (2022). Retrieving the SNR metrics with different antenna configurations for GNSS-IR. *Turkish Journal of Engineering*, 6(1), 87-94. DOI: 10.31127/tuje.870620
- Anderson K D (2000). Determination of water level and tides using interferometric observations of GPS signals. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 17(8), 1118-1127, doi:10.1175/1520-0426(2000)017<1118:DOWLAT>2.0.CO;2.
- Axelrad P, Comp C J & Macdorran P F (1996). SNR-based multipath error correction for GPS differential phase. *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, 32, 650-660, https://doi.org/10.1109/7.489508.
- Beşel C, Tanır Kayıkcı E (2021). Türkiye denizlerinde GNSS reflektometre tekniği ile deniz seviyesi değişiminin araştırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 8(1), 1-17. DOI: 10.9733/JGG.2021R0001.T

- Chen Q, Won D & Akos D M (2014). Snow depth sensing using the GPS L2C signal with a dipole antenna. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2014(1), 106, doi:10.1186/1687-6180-2014-106.
- Chew C, Small E E & Larson K M (2016). An algorithm for soil moisture estimation using GPS-interferometric reflectometry for bare and vegetated soil. *GPS solutions*, 20(3), 525-537, doi:10.1007/s10291-015-0462-4
- Gutmann E D, Larson K M, Williams MW, Nievinski F G & Zavorotny V (2012). Snow measurement by GPS interferometric reflectometry: an evaluation at Niwot Ridge, Colorado. *Hydrological Processes*, 26(19), 2951-2961, doi:10.1002/hyp.8329.
- Han M, Zhu Y, Yang D, Chang Q, Hong X, Song S (2020). Soil moisture monitoring using GNSS interference signal: proposing a signal reconstruction method. *Remote Sens. Letters*, 11(4), 373-382. DOI: 10.1080/2150704X.2020.1718235.
- Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Wasle E (2008). *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more.* Springer Science & Business Media.
- Jin S, Qian X, Kutoglu H (2016). Snow depth variations estimated from GPS-Reflectometry: A case study in Alaska from L2P SNR data. *Remote sensing*, 8(1), 63, doi:10.3390/rs8010063.
- Larson K M, Löfgren J S & Haas R (2013). Coastal sea level measurements using a single geodetic GPS receiver. *Adv. Space Res.*, 51, 1301-1310, https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.04.017.
- Larson K M, Palo S, Roesler C, Mattia M, Bruno V, Coltelli M & Fee D (2017). Detection of plumes at Redoubt and Etna volcanoes using the GPS SNR method. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 344, 26-39, https://doi.org/10.1016/j.polar.2018.11.009.
- Larson K M, Small E E, Gutmann E, Bilich P & Axelrad J B (2008). Using GPS multipath to measure soil moisture fluctuations: initial results. *GPS Solut.* 12 (3), 173-177. https://doi.org/10.1007/s10291-007-0076-6.
- Larson K M, Braun J J, Small E E, Zavorotny V U, Gutmann E D, Bilich A L (2009a). GPS multipath and its relation to near-surface soil moisture content. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 3(1), 91-99, doi:10.1109/JSTARS.2009.2033612.
- Larson K M, Gutmann E D, Zavorotny V U, Braun J J, Williams MW, Nievinski F G (2009b). Can we measure snow depth with GPS receivers? *Geophysical Research Letters*, 36(17), doi:10.1029/2009GL039430.
- Lomb N R (1976). Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. *Astrophys. Space Sci.*, 39, 447-462, https://doi.org/10.1007/BF00648343.
- Martin-Neira M (1993). A passive reflectometry and interferometry system (PARIS): Application to ocean altimetry. *ESA J.* 17 (4), 331-355.
- Neumann B, Vafeidis A, Zimmermann J & Nicholls R (2015). Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding—a global assessment. *PLoS ONE* 10(3):e0118571. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118571

- Nievinski F G & Larson K M (2014a). Inverse Modeling of GPS Multipath for Snow Depth Estimation—Part I: Formulation and Simulations. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 52 (10), 6555–6563. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2297681>.
- Nievinski F G & Larson K M (2014b). Inverse Modeling of GPS Multipath for Snow Depth Estimation—Part II: Application and Validation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 52 (10), 6564–6573. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2297688>.
- Ozeki M, Heki K (2012). GPS snow depth meter with geometry-free linear combinations of carrier phases. *Journal of Geodesy*, 86(3), 209-219, doi:10.1007/s00190-011-0511-x.
- Qian X & Jin S (2016). Estimation of snow depth from GLONASS SNR and phase-based multipath reflectometry. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(10), 4817-4823.
- Rousseeuw P J & Leroy A M (1987). *Robust regression and outlier detection* (Vol. 1). New York: Wiley.
- Roussel N, Frappart F, Ramillien G, Darrozes J, Baup F, Lestarquit L, Ha M C (2016). Detection of soil moisture variations using GPS and GLONASS SNR data for elevation angles ranging from 2 to 70. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9 (10), 4781-4794, doi:10.1109/JSTARS.2016.2537847.
- Santamaría-Gómez A & Watson C (2017). Remote leveling of tide gauges using GNSS reflectometry: Case study at Spring Bay, Australia. *GPS Solutions*, 21, 451–459, <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0537-x>.
- Small E E, Larson K M & Braun J J (2010). Sensing vegetation growth with reflected GPS signals. *Geophys. Res. Lett.* 37 (12), 245–269. <https://doi.org/10.1029/2010GL042951>.
- Scargle J D (1982). Studies in astronomical time series analysis. II. Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. *Astrophys. J.*, 263, 835–853, <https://doi.org/10.1086/160554>.
- Strandberg J, Hobiger T & Haas R (2016). Improving GNSS-R sea level determination through inverse modeling of SNR data. *Radio Science*, 51(8), 1286-1296.
- Strandberg J, Hobiger T & Haas R (2019). Real-time sea-level monitoring using Kalman filtering of GNSS-R data. *GPS Solut.* 23 (3). <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0851-1>.
- Tabibi S, Geremia-Nievinski F & van Dam T (2017). Statistical comparison and combination of GPS, GLONASS, and multi-GNSS multipath reflectometry applied to snow depth retrieval. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(7), 3773-3785.
- Tunalıoğlu N, Doğan A H & Durdağ U M (2019). GPS sinyali gürültü oranı verileri ile kar kalınlığının belirlenmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 6(1) 1-9. Doi: 10.9733/JGG.2019R00601001.T.
- Xi R, Zhou X, Jiang W, Chen Q (2018). Simultaneous estimation of dam displacements and reservoir level variation from GPS measurements. *Meas.*, 122, 247-256, doi:10.1016/j.measurement.2018.03.036.
- Wang X, Zhang Q, Zhang S (2018). Water levels measured with SNR using wavelet decomposition and Lomb-Scargle periodogram. *GPS Solut* 22, 22. <https://doi.org/10.1007/s10291-017-0684-8>
- Williams S D, Bell P S, McCann D L, Cooke R & Sams C (2020). Demonstrating the potential of low-cost GPS units for the remote measurement of tides and water levels using interferometric reflectometry. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 37(10), 1925-1935.
- Zhang S, Roussel N, Boniface K, Ha M C, Frappart F, Darrozes J, Baup F & Calvet J C (2017). Use of reflected GNSS SNR data to retrieve either soil moisture or vegetation height from a wheat crop. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 4767–4784, <https://doi.org/10.5194/hess-21-4767-2017>.



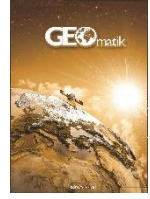
© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



Şekil göstergeleri ve topluluk öğrenmesi sınıflandırma algoritmaları ile bina detaylarının şekil karmaşıklık analizi

Hüseyin Safa Duman*¹ , Melih Başaraner² 

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, UA ve CBS Programı, İstanbul, Türkiye

²Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Kartografya Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Şekil Karmaşıklığı
Bina Detayları
Şekil Göstergeleri
Rastgele Orman
Gradyan Artırma

ÖZ

Şekil analizi, bilgisayar görüşü, coğrafi bilgi bilimi, kartografya, uzaktan algılama, kent morfolojisi, arazi yönetimi ve ekoloji gibi çeşitli alanlarda mekansal olguları/nesneleri karakterize etmek ve mekansal örüntüleri ortaya çıkartmak için kullanılır. Bu bağlamda, şekil göstergeleri, genel olarak mekansal detayların geometrilerinin ve/veya onlardan türetilen yardımcı geometrilerin metrik özellikleri yardımıyla karmaşıklık ve benzerlik gibi şekilsel karakteristikleri niceliksel olarak ifade ederler. Bununla birlikte, şekil göstergeleri mekansal detayların farklı şekilsel özelliklerini ölçmektedir. Bu nedenle, bir detayı şekilsel olarak karakterize ederken tek bir şekil göstergesinin kullanımı her zaman yeterli olmaz. Ayrıca, bu amaçla uygun sınıflandırma yöntemlerinin kullanılması da önemlidir. Bu çalışmada, dairesellik, dışbükeylik ve dikdörtgensellik şekil göstergeleri ile rastgele orman ve gradyan artırma topluluk öğrenme sınıflandırma algoritmaları birlikte kullanılarak 300 adet bina detayı şekilsel karmaşıklık düzeylerine göre basit, orta ve karmaşık olarak sınıflandırılmıştır. Görsel algıya dayalı olarak etiketlenen veri setiyle karşılaştırıldığında rastgele orman algoritması %93.33 genel doğruluk ($\kappa = 0.900$) üretirken, gradyan artırma algoritması ise %92.33 genel doğruluk ($\kappa = 0.885$) üretmiştir. Bu bulgular, bina detaylarının şekilsel karmaşıklık düzeylerinin, çeşitli şekil göstergeleri ve yaygın kullanılan topluluk öğrenmesi sınıflandırma algoritmaları aracılığıyla oldukça yüksek bir doğrulukla sınıflandırılabileceğini göstermiştir.

Shape complexity analysis of building features with shape indices and ensemble learning classification algorithms

Keywords

Shape Complexity
Building Features
Shape Indices
Random Forest
Gradient Boosting

ABSTRACT

Shape analysis is used to characterize spatial phenomena/objects and reveal spatial patterns in various fields such as computer vision, geographic information science, cartography, remote sensing, urban morphology, land management and ecology. In this context, shape indices quantitatively describe the morphological properties such as complexity and similarity usually through the metric properties of the geometries of spatial features and/or the auxiliary geometries derived from them. However, shape indices measure different shape characteristics of spatial features. Therefore, the use of a single shape index is not always sufficient when characterizing a feature morphologically. In addition, it is also important to use appropriate classification methods for this purpose. In this study, using circularity, convexity and rectangularity shape indices together with random forest and gradient boosted ensemble learning algorithms, 300 building features were classified as simple, moderate and complex by their shape complexity. Compared to the benchmark data generated based on visual perception, the random forest algorithm produced 93.33% overall accuracy ($\kappa = 0.900$) while the gradient boosting algorithm produced 92.33% overall accuracy ($\kappa = 0.885$). These findings showed that the shape complexity levels of building features can be categorized with quite high accuracy if various shape indices are used in conjunction with widely used ensemble learning classification algorithms.

1. Giriş

Şekil, mekansal olguların karakteristiklerinin ve örüntülerinin incelenmesinde kullanılan bir bileşen olup, mekansal analizde önemli bir rol oynar. Şekil tanıma yöntemleri, mekansal veriler ile çalışan bilgisayar görüşü, kent morfolojisi, coğrafya, kartografya, arazi yönetimi ve uzaktan algılama gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Şekil analizi, mekansal olguların karşılaştırılması, eşleştirilmesi ve gruplandırılması gibi işlemleri kapsar (Ai ve Ark., 2013; Basaraner ve Cetinkaya, 2017; Da Costa ve Cesar, 2009; Wentz, 1997).

Bilgisayar görüşü kapsamında şekil tanıma yöntemleri ve analizine oldukça yaygın olarak başvurulmaktadır. Tıp alanında tümörlerin tanımlanması, sınıflandırılması, anatomik yapıların değişimleri ve deformasyonlarının ölçülmesi gibi çalışmalara katkı sağlamaktadır. Hücrelerin şekli ve işlevleri arasındaki ilişkinin belirlenmesine dayalı olarak tanımlama/sınıflandırılması (örn. beyaz kan hücreleri) ve ayrıca büyüme ve şekil değişikliklerinin tespiti gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Güvenlik alanında yüz, parmak izi, iris tanıma, insan yürüyüşünün analizi ve imza doğrulama gibi uygulamalara hizmet etmektedir (Da Costa ve Cesar, 2009).

Mekansal detayların şekilsel analizi, genelleştirme, geometrik veri kalitesi incelemesi, mekansal veri tabanı güncelleme, kent simgesi (referans nesne) saptaması, semantik sınıflandırma, detay eşleştirme, kent yayılımının incelenmesi ve uydu görüntülerinden otomatik detay çıkartımı gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Genelleştirme, detayların tekli olarak genelleştirilmesi (bağımsız genelleştirme) ve detay gruplarının genelleştirilmesi (bağlamsal genelleştirme) adımlarından meydana gelir. Bağımsız genelleştirme aşamasında, detayların şekilsel özelliklerine göre uygulanacak genelleştirme işlemleri ve/veya parametreleri farklılık gösterebilir. Ayrıca, bağımsız genelleştirme sonuçlarının değerlendirilmesinde şekil analizinden yararlanılabilir. Bağlamsal genelleştirme ise yakınlık, büyüklük, şekil ve semantik özelliklerine göre birbiriyle ilintili detayların otomatik olarak saptanmasını ve grup halinde genelleştirilmesini gerektirir. Bu kapsamda, benzer veya aynı şekle sahip detayların belirlenmesi ve buna uygun genelleştirme işleminin otomatik seçimi önemlidir (Basaraner ve Cetinkaya, 2017; Başaraner, 2005; Cetinkaya, 2014). Ayrıca, OpenStreetMap (OSM) gibi gönüllü coğrafi bilgi (volunteered geographic information) ve katılımcı harita yapımı (collaborative mapping) uygulamalarında kitle kaynaklı verilerin resmi verilere kıyasla geometrik kalitesini - özellikle ayrıntı düzeyi anlamında - değerlendirmek için kullanılabilir (Basaraner, 2020). Mekansal veri setlerindeki değişikliklerin saptanması veya veri tabanı içeriklerinin daha kolay ve işlevsel bir biçimde güncellenmesine katkı sağlar (Zhou ve ark., 2018). Ayrıca, kent simgesi/referans detay (landmark) olarak adlandırılan ve özellikle insan ya da araç navigasyonu için önem arz eden dikkat çekici detayların saptanmasında kullanılabilir (Grabler ve Ark., 2008). Benzer geometrik ve topolojik özelliklere sahip detayların aynı sınıfa ait olma olasılığı daha yüksek olduğu için şekil analizi, semantik özellikleri bilinmeyen

detayların sınıflarının belirlenmesine yardımcı olabilir (Huang ve Ark., 2013). Farklı veri setleri bütünleştirilirken, eşlenik detayların belirlenmesinde alansal örtüşme oranına ilave olarak şekil analizinden yararlanılabilir. Kentsel yayılma ve büyüme dinamiklerinin belirlenmesinde ve arazi kullanımının sınıflandırılmasında da şekil analizinden faydalanılmaktadır (Frenkel ve Ashkenazi, 2008; Li ve ark., 2013; Wentz, 1997; Zhong ve Ark., 2020). Arazi toplulaştırmasında düzenli şekillere sahip yeni parsellerin oluşturulması amacıyla şekil analizinden yararlanılabilir (Demetriou ve ark., 2013). Ayrıca, uzaktan algılama ile elde edilen görüntülerden detay çıkartımı işlemine katkı sağlayabilir (Vohra ve Tivari, 2020).

Şekillerin sınıflandırılabilmesi için kullanılan birçok yöntem vardır. Bu amaçla, şekil göstergeleri yaygın olarak kullanılır. Şekil göstergeleri, bir detayın (nesnenin) kendi geometrisinin ya da bu geometri üzerinden elde edilen yardımcı geometrilerin metrik büyüklükleri aracılığıyla detayların belirli şekilsel özelliklerinin sayısal olarak ifade edilmesini ve böylece birbirleriyle karşılaştırılabilirliklerini, benzerliklerinin ölçülebilmesini ve sınıflandırılabilirliklerini sağlayan ölçülerdir (Aktaş, 2012; Angel ve Ark., 2010; Basaraner ve Cetinkaya, 2017; Da Costa ve Cesar, 2009; Wentz, 1997).

Bir şekil göstergesinin sahip olması gereken özellikler şöyledir (Arkin ve Ark., 1991): (1) metrik olmalıdır, (2) öteleme, dönüklük ve ölçek değişiminden etkilenmemelidir, (3) hesaplaması kolay olmalıdır ve (4) sezgilerimizle uyuşmalıdır. Şekil göstergeleri, uygun biçimde formüle edildiklerinde genellikle 0 ile 1 arasında değer üretirler. Çokgenlerin şekilleri ne kadar karmaşıkta şekil göstergelerinin ürettiği değerler 0'a o kadar yakın olur. Ters durumda, değerler 1 ya da 1'e yakın olur (Basaraner ve Cetinkaya, 2017).

Şekil göstergelerinin her biri şeklin belirli bir özelliğini ifade etmektedir. Dolayısıyla, çoğu zaman tek bir şekil göstergesi şekilleri sınıflandırmada yeterli olmaz (Aktaş, 2012; Angel ve Ark., 2010; Basaraner ve Cetinkaya, 2017; Wentz, 1997). Şekil analizine ilişkin çeşitli çalışmalar yapılmış olsa da bunların önemli bir kısmı raster verilere odaklanmıştır. Vektör veriler üzerine yapılan çalışmalar daha azdır (Ai ve Ark., 2013). Medda ve Ark. (1998) yerleşim alanı şekillerinin analizi için Boyce ve Clark'ın önerdiği şekil göstergesini esas alarak yeni bir gösterge geliştirmişlerdir. Zhao ve Stough (2005) parçalanmış veya boşluklu çeşitli çokgenler arasındaki şekil benzerliğini analiz etmek için örtüştürmeye dayalı bir uzanım göstergesi önermişlerdir. Ai ve Ark., (2013) bina detayları örneğinde Fourier dönüşümü temelli şekil tanıma ve eşleştirme yöntemi sunmuştur. Xu ve Ark. (2017) boşluk içeren çokgenlerin benzerliğini analiz etmek için açılar ve mesafeler gibi değişmezleri kullanarak karmaşık geometrik şekillerde boşluk dağılımını tanımlamak için konum çizgelerini ve ayrıca boşluklu çokgenler arasındaki benzerliği ölçmek için ise Fourier tanımlayıcıları ve konum çizgelerine dayalı bir yöntem önermişlerdir. Basaraner ve Cetinkaya (2017) binaların algısal şekil karmaşıklık düzeylerini (basit, orta ve karmaşık) CBS ortamında çok sayıda şekil göstergesi ve

dört farklı sınıflandırma şeması (eşit aralık, standart sapma, doğal kırılma ve kutu grafiklerine dayalı) çiftlerini kullanarak elde etmiş ve tek başlarına kullanıldığında kendileri tarafından önerilen iki yeni gösterge dahil olmak üzere az sayıda şekil göstergesinin iyi performans sergilediğini ve şekil karmaşıklık düzeyi arttıkça bu performansın azaldığını göstermişlerdir.

Bu bağlamda, şekil göstergelerinin birlikte kullanımının sınıflandırma performansını arttırabileceği öngörülebilir. Ayrıca, bu amaçla kullanılan sınıflandırma yöntemleri de önemlidir. Bu kapsamda, makine öğrenme algoritmaları bir potansiyele sahiptir. Literatürde vektör verilerle temsil edilen binaların şekil karmaşıklığının incelemesine ilişkin olarak şekil göstergeleri ve makine öğrenmesi sınıflandırma yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yaklaşımın sınıflandırma doğruluğunu artırabileceği öngörülebilir. Bu nedenle, bu çalışmada bina şekil karmaşıklık düzeylerinin (basit, orta ve karmaşık) otomatik olarak belirlenmesi için sık tercih edilen üç şekil göstergesi (dairesellik, dikdörtgensellik ve dışbükeylik) ve başarısı nedeniyle yaygın kullanılan iki topluluk öğrenme algoritmasının (rastgele orman ve gradyan artırma) sınıflandırma performanslarının incelenmesi amaçlanmaktadır.

2. Yöntem ve uygulama

Çalışma, üç aşamadan oluşmaktadır: (1) Eğitim (kıyas) verilerinin hazırlanması, (2) Şekil göstergelerin hesaplanması, (3) Topluluk öğrenmesi algoritmalarıyla detayların karmaşıklık düzeylerine göre sınıflandırılması ve sınıflandırma doğruluğunun değerlendirilmesi.

2.1. Kullanılan veriler

Bu çalışmada Almanya'nın Dresden şehrine ait OpenStreetMap (OSM) bina veri seti kullanılmıştır. Bu bölgenin seçilme nedeni, farklı karmaşıklık derecelerine sahip birçok binanın bir arada bulunmasıdır. Bu veri setinde yaklaşık 5000 adet bina bulunmaktadır. Bu veri seti içinden 300 adet bina deneysel çalışmada kullanılmıştır. Şekil göstergeleri hesaplanmadan önce, CBS araçları yardımıyla bina geometrilerindeki hatalar (gereksiz ya da çift noktalar ve kendini kesme gibi) giderilmiştir. Bu veriler, sınıflandırma aşamasındaki çapraz doğrulama işlemi kapsamında eğitim ve test verisi olarak kullanılmıştır.

2.2. Eğitim (kıyas) verisinin hazırlanması

Bina detayları, genel itibariyle aşağıdaki hususlar dikkate alınarak görsel algı temelinde farklı sınıflara ayrıştırılabilir (Basaraner ve Cetinkaya, 2017):

- (1) kenar (nokta) sayısı,
- (2) kenar uzunluklarının homojenliği/heterojenliği,
- (3) iç açıların homojenliği/heterojenliği,
- (4) çokgenin büyüklüğüne göre sınırı boyunca girinti ve çıkıntıların büyüklüğü ve sayısı,
- (5) geometrideki simetriklik/asimetriklik.

Şekil algısına ilişkin bu hususlar dikkate alınarak, bina detayları için üç şekil karmaşıklık düzeyi (basit, orta, karmaşık) oluşturulmuş ve binalar buna göre etiketlenmiştir. Eğitim verisi, etiketlenmiş çok daha geniş bir veri seti içinden her sınıfa eşit sayıda (100'er) bina düşecek biçimde rastgele seçilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Örnek bina detaylarının şekil karmaşıklık kategorileri

2.3. Şekil göstergelerinin hesaplanması

Şekil göstergeleri, detayların belirli şekilsel özelliklerini sayısal olarak ifade etmeye yarayan matematiksel ölçülerdir (Wentz, 1997). Bu amaçla, detayın kendi geometrisi ve/veya detayın geometrisi aracılığıyla elde edilen yardımcı geometrileri (dışbükey çokgen, minimum alanlı sınırlayıcı dikdörtgen, kenarlar, ağırlık merkezi vb.) üzerinden elde edilen metrik büyüklüklerden (alan, çevre, kenar uzunluğu, ağırlık merkezine olan mesafe, açı vb.) yararlanılır. Şekil analizi için kullanılan birçok şekil göstergesi mevcuttur. Yapılacak uygulamaya göre, şekillerin bazı özellikleri diğerlerinden daha önemli olabilir (Da Costa ve Cesar, 2009). Bu nedenle uygulamaya göre uygun şekil göstergeleri seçilmelidir. Bu çalışmada, çeşitli mekansal çalışmalarda (örn. Basaraner ve Cetinkaya, 2017; Fleischmann ve Ark., 2020; Oksanen, 2013; Yan ve Ark., 2019) şekil analizi için sıklıkla tercih edilen üç farklı şekil göstergesi (dairesellik, dışbükeylik ve dikdörtgensellik) kullanılmıştır.

2.3.1. Dairesellik

Dairesellik, bir çokgenin daireye benzerlik oranını belirler. Başka bir ifadeyle, çokgenin şekilsel kompaktlığını ölçer (Basaraner ve Cetinkaya, 2017; Burghardt ve Steiniger, 2005). Aynı düzlemde yer alan sabit bir noktaya eşit uzaklıktaki noktaların oluşturduğu geometri olan daire, en kompakt şekil olarak kabul edilir (Angel ve Ark., 2010). Bir çokgenin şekli, daireden ne kadar farklı ise, yani ne kadar düzensiz ve/veya ince uzun ise dairesellik değeri o kadar küçük olur. Bir çokgenin dairesellik değeri, o çokgenin alanının kendisine eşit çevre uzunluğuna sahip bir dairenin alanına oranlanmasıyla hesaplanır (Eşitlik 1). Daha açık bir ifadeyle, çokgenin karşılaştırılacağı dairenin alanının hesaplanması için yarıçapının bilinmesi gerekir. Bu amaçla, çokgenin çevre değeri doğrudan dairenin çevre değeri olarak alınır ve yarıçap, dairenin çevresini veren eşitlik kullanılarak elde edilir. Dolayısıyla, gerekli sadeleştirmeler yapıldığında dairesellik, çokgenin alanının ve çevresinin bir fonksiyonu olur. Bu eşitlikte, D dairesellik, A_{CG} ve A_{ECD} sırasıyla çokgen ve eşit çevreli dairenin alanlarını ve C_{CG} çokgenin çevresini ifade etmektedir. Daire şekilli çokgenlerin dairesellik değerleri, 1 olur. Çokgenlerin şekilleri, daireden ne kadar farklı ise dairesellik değerleri sıfıra o kadar yakın olur.

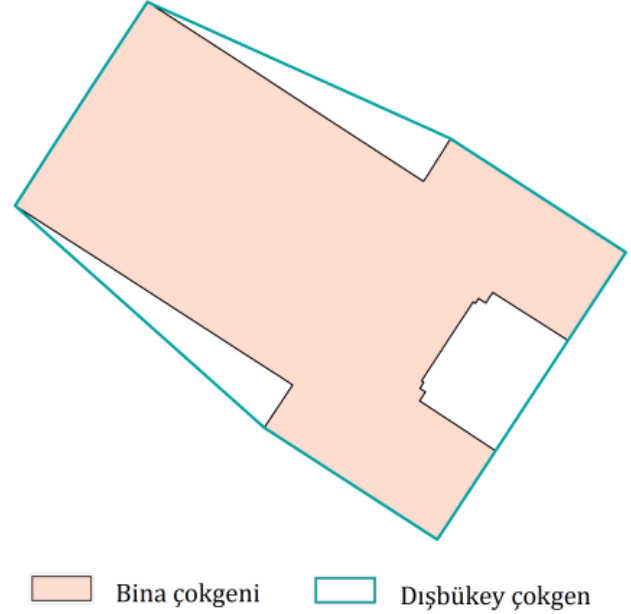
$$D = \frac{A_{CG}}{A_{ECD}} = \frac{4\pi A_{CG}}{C_{CG}^2} \quad (1)$$

2.3.2. Dışbükeylik

Dışbükeylik, bir çokgenin kendi minimum dışbükey çokgeninden (convex hull) olan farklılaşma oranını ortaya koyar (Şekil 2). Başka bir ifadeyle, bir çokgenin içe veya dışa doğru kıvrımlı olma derecesini gösterir (Basaraner ve Cetinkaya, 2017; Burghardt ve Steiniger, 2005; Ruas ve Holzapfel, 2003). Çokgenin alanının minimum dışbükey çokgeninin alanına oranıyla hesaplanır (Eşitlik 2). Bu eşitlikte, DB dışbükeylik şekil göstergesini, A_{CG} ve A_{MDC} sırasıyla çokgenin ve minimum

dışbükey çokgeninin alanlarını ifade etmektedir. Bu şekil göstergesi, bütün dışbükey çokgenler için 1 değerini üretir. Çokgenin şekli dışbükeylikten uzaklaştıkça, yani içbükeyliği arttıkça bu değer sıfıra yaklaşır.

$$DB = \frac{A_{CG}}{A_{MDC}} \quad (2)$$



Şekil 2. Bina çokgeni ve minimum dışbükey çokgeni

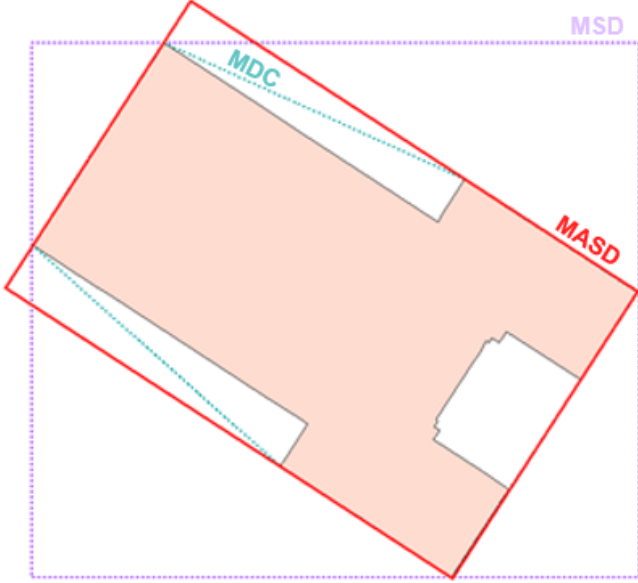
2.3.3. Dikdörtgensellik

Dikdörtgensellik, bir çokgenin şeklinin dikdörtgene (ve özel durumda kareye) benzerlik derecesini gösterir (Basaraner ve Cetinkaya, 2017; Rosin, 2000). Çokgenin alanının kendi minimum alanlı sınırlayıcı dikdörtgeninin (MASD) alanına oranıyla hesaplanır (Eşitlik 3). Bu eşitlikte, DD dikdörtgensellik, A_{CG} ve A_{MASD} sırasıyla çokgenin ve minimum alanlı sınırlayıcı dikdörtgeninin alanlarını ifade etmektedir. Dikdörtgen ve kare şekilli çokgenlerin dikdörtgensellik değerleri, 1 olur. Çokgenlerin şekilleri, dikdörtgen (veya özel durumda kareden) ne kadar farklı ise dikdörtgensellik değerleri sıfıra o kadar yakın olur.

$$DD = \frac{A_{CG}}{A_{MASD}} \quad (3)$$

MASD, bir çokgenin dışbükey çokgenine dayalı olarak hesaplanır (Toussaint, 1983). Dışbükey çokgen, sırasıyla her bir kenarı yatay eksene paralel olacak biçimde ilgili köşe noktasına dayalı olarak döndürülür ve her seferinde minimum sınırlayıcı dikdörtgeni (MSD) elde edilir, alan değeri ve ilgili köşe nokta numarası kaydedilir. Sonrasında en küçük alan değerini veren MSD, ilgili dışbükey çokgen kenarının yatayla yaptığı açı kadar ilgili köşe noktasına dayalı olarak ters yönde döndürülerek MASD elde edilir. MSD, çokgenin minimum ve maksimum koordinatlarından oluşturulan yatay dikdörtgendir. Bu nedenle çokgenin dönüklüğü MSD'yi ve dolayısıyla şekil gösterge değerini etkiler. MASD ile bu olumsuzluk giderilir. Daha açık bir ifadeyle, farklı dönüklüklere ve

aynı şekle sahip çokgenlerin MSD'leri farklı iken MASD'leri aynı olur. Şekil 3, dikdörtgensellik ile ilintili geometrileri göstermektedir. Çokgenlerin şekilleri MASD'lerinden ne kadar farklı ise dikdörtgensellik değerleri sıfıra o kadar yakın olur.



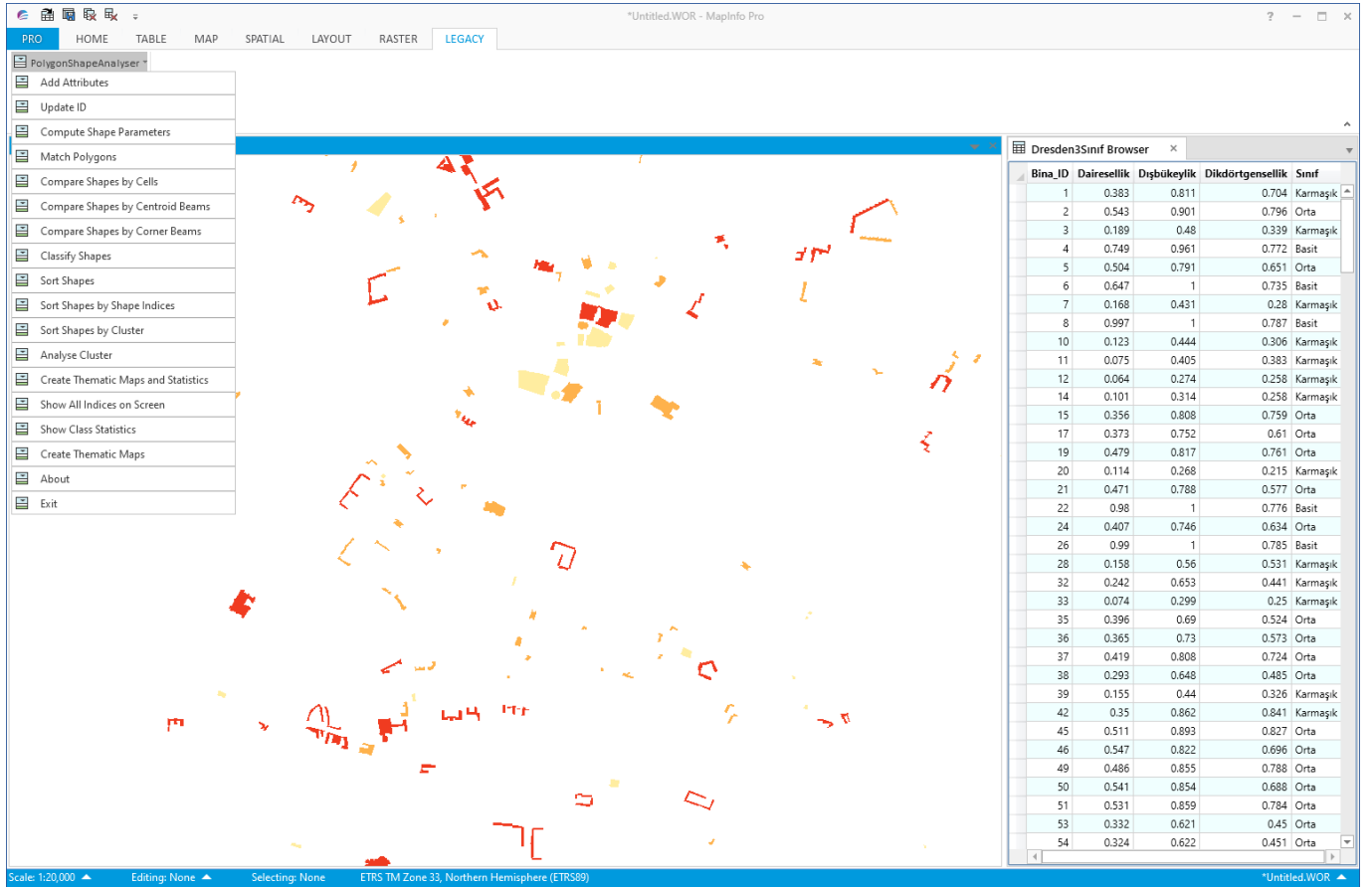
Şekil 3. Dikdörtgensellik ile ilintili geometriler: minimum dışbükey çokgen (MDC), minimum sınırlayıcı dikdörtgen (MSD) ve minimum alanlı sınırlayıcı dikdörtgen (MASD)

2.3.4. Bina Detayları ve Şekil Gösterge Değerleri

Bu bölümde bina detaylarına ilişkin olarak şekil karmaşıklık düzeylerine göre şekil göstergelerinin ürettiği değerler hakkında fikir verebilmek amacıyla örnek bina çokgenleri ve bu çokgenlerin şekil gösterge değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Şekil göstergeleri, MapInfo Pro CBS yazılımı üzerinde MapBasic programlama diliyle geliştirilen bir eklenti yardımıyla hesaplanmıştır (Şekil 4).

Tablo 1. Örnek bina çokgenleri ve şekil gösterge değerleri

		Karmaşıklık düzeyi		
		Basit	Orta	Karmaşık
Şekil göstergeleri	D	0.785	0.418	0.187
	DB	1	0.829	0.612
	DD	1	0.775	0.487



Şekil 4. Bina detaylarının şekil gösterge değerleri ve hesaplamada kullanılan yazılım eklentisi

2.4. Topluluk öğrenmesi algoritmalarıyla detayların karmaşıklık düzeylerine göre sınıflandırılması

Bina detaylarının şekilsel karmaşıklık düzeylerine göre sınıflandırılması için genel olarak yüksek doğruluklu sonuçlar üretmesi (Breiman, 2001; Han ve Ark., 2012; Tattar, 2018) ve yaygın kullanımları (Witten ve Ark., 2016) nedeniyle topluluk öğrenmesi algoritmalarından rastgele orman ve gradyan artırma algoritmaları tercih edilmiştir. Sınıflandırma işlemi, veri bilimi ve makine öğrenmesi yazılımı olan RapidMiner ile gerçekleştirilmiştir.

Topluluk öğrenmesi, tek bir süper doğru modeli öğrenmeye çalışmak yerine, çok sayıda düşük doğruluklu modeli eğitmeye ve ardından yüksek doğrulukta bir üst model elde etmek için bu zayıf modeller tarafından üretilen tahminleri birleştirmeye odaklanan bir öğrenme paradigmasıdır (Burkov, 2019). Bu nedenle, topluluk sınıflandırıcıları genellikle yüksek doğrulukta modeller üretir (Burkov, 2020; Vukicevic ve Ark., 2013). Bütün topluluk öğrenme algoritmalarında olduğu gibi, eğitimde kullanılan ağaçların çeşitliliği ve sayısı ne kadar çok olursa, topluluğun hatası o kadar düşük olur (Breiman, 2001; Kotu ve Deshpande, 2019).

Akar ve Görmüş (2019) Gram Schmidt ve ana bileşen yöntemleri ile Göktürk 2 multispektral, Göktürk 2 pankromatik ve Hyperion EO-1 uydu görüntülerini kaynaştırarak daha yüksek doğrulukta arazi kullanım haritasının üretilmesini amaçlamışlardır. Sınıflandırma için rastgele orman ve destek vektör makineleri algoritmalarını kullanmışlar ve en yüksek doğruluğun rastgele orman algoritması ile elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Görmüş ve Akar (2019) hiperspektral hava fotoğraflarının boyutunu indirgeme yöntemlerinin performanslarını değerlendirmek için rastgele orman ve destek vektör makineleri algoritmalarını kullanmışlardır. Bu bağlamda, rastgele orman algoritması ile biraz daha yüksek doğruluklu sonuçlar elde etmişlerdir. Üstüner ve Ark., (2020) yeni nesil topluluk öğrenme algoritmaları olan aşırı gradyan artırma ve hafif gradyan artırma makineleri algoritmalarının tarım ürünlerinin sınıflandırılmasındaki performanslarını karşılaştırmışlardır. Hafif gradyan artırma algoritmasıyla daha yüksek doğruluklu sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca, bu bağlamda parametre seçiminin gücüne de değinmişlerdir. Zeybek (2020) nokta bulutundan ağaç gövdesinin otomatik çıkarımında lojistik regresyon, doğrusal ayrıştırma analizi, rastgele orman ve destek vektör makinesi algoritmalarının performanslarını analiz etmiştir. Bu bağlamda, sınıflandırma doğruluğu en yüksek yöntemin rastgele orman algoritması olduğunu saptamışlardır. Zeybek (2021) İHA görüntüleri ile elde edilen görüntülerden üretilen nokta bulutunun, radyometrik ve geometrik (kovaryans) özelliklerine göre sınıflandırılması için rastgele orman algoritmasıyla %96 genel doğruluk elde etmiştir.

Rastgele orman ve gradyan artırma algoritmalarında girdi olarak kullanılan özellik (öznitelik) değerlerinin normalleştirilmesinin veya standartlaştırılmasının sonuçlara anlamlı bir etkisi yoktur (Tattar, 2018).

Öğrenme aşamasında veri setini eğitim ve test verileri biçiminde manuel olarak bölmek yerine çapraz

doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, veri setini rastgele olarak eşit parçalara bölerek her seferinde bir parçayı test için ayırıp diğer parçalardan eğitim işlemi yapar ve son olarak her modelden elde edilen başarı oranlarının ortalamalarını alır (Bonaccorso, 2020). Böylelikle, aşırı öğrenme (over-fitting) sorunu önlenmiş ve bütün veriler hem eğitim hem de test için kullanılmış olur (Euler, 2014). Bu çalışmada, Han ve Ark. (2012) tarafından önerilen k-katlamalı ($k = 10$) çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır.

2.4.1. Rastgele orman algoritması

Rastgele orman algoritması, torbalama (bagging) tekniğine dayanan karar ağacı tabanlı bir topluluk öğrenme algoritmasıdır (Bonaccorso, 2020; Breiman, 2001).

Bu algoritmada, topluluktaki sınıflandırıcıların her birinin bir karar ağacı sınıflandırıcısı olduğu ve böylece sınıflandırıcıların oluşturduğu grubun bir "orman" olduğu kabul edilir. Ayrı karar ağaçları, bölünmeyi belirlemek için her düğümde rastgele bir özellik (öznitelik) seçimi kullanılarak oluşturulur. Başka bir ifadeyle, her ağaç, ormandaki tüm ağaçlar için bağımsız olarak ve aynı dağılımla örneklenen rastgele bir vektörün değerlerine bağlıdır. Sınıflandırma sırasında, her karar ağacı, o ağacın eğitiminde kullanılmayan örneklerin sınıflandırmasına oy verir ve en çok oy alan sınıf döndürülür (Han ve Ark., 2012; Kotu ve Deshpande, 2019).

Rastgele orman algoritmasının temel adımları şöyledir (Yang, 2019):

- 1: Verileri yükle ve kullanıma hazırla.
- 2: Döngüyü başlat (her bir ağaç için).
- 3: D adet özellikten rastgele m adet özellik seç.
- 4: T adet farklı ağaç oluşturmak için verileri örnekle.
- 5: Karar düğümlerini iteratif olarak bölerek her bir ağacı oluştur.
- 6: Çoklu ağaçlara dayalı olarak herhangi bir test özelliğini tahmin et.
- 7: Çoğunluk oylamasını kullanarak sınıflandır.
- 8: Döngüyü bitir.

Rastgele orman, en yaygın olarak kullanılan ve en etkili topluluk öğrenme algoritmalarından biridir. Etkili olmasının nedeni, orijinal veri kümesinin birden çok örneğini kullanarak son modelin varyansının azaltılmasıdır. Düşük varyans, düşük aşırı öğrenme anlamına gelmektedir. Model, veri kümesindeki küçük değişimleri açıklamaya çalıştığında aşırı öğrenme gerçekleşir, çünkü veri kümesi, modellenmeye çalışılan olgunun tüm olası örneklerine ilişkin yığın yalnızca küçük bir örneklemdir. Eğitim setinin değiştirilmesiyle birden fazla rastgele örnek oluşturarak istenmeyen unsurların (gürültü, aykırı değerler ve fazla veya az temsil edilen örnekler) etkisi azaltılır (Burkov, 2019).

Uygulama aşamasında, algoritma çalıştırılmadan önce çeşitli hiperparametrelerin (ağaç sayısı, maksimum derinlik vb.) girilmesi gerekmektedir. Yazılım parametre optimizasyonunu mümkün kılmaktadır. Böylece uygun parametre aralıkları seçilerek, bu aralıklarda en iyi sonuç

üreten parametre değerleri iteratif olarak belirlenebilmektedir. Bu bağlamda, bazı hiperparametreler için uygun minimum ve maksimum değerler, literatür araştırması ve denemeler sonucunda kararlaştırılmıştır.

Önemli hiperparametrelerden biri, ağaç sayısıdır. Ağaç sayısı arttıkça ve çeşitlendikçe topluluğun hatası bir dereceye kadar azalır. Bu sınıra ulaştıktan sonra ağaç sayısındaki artışın performansa etkisi önemsiz sayılabilecek kadar az olabilir ve hesaplama süresinin gereksiz uzamasına neden olur (Breiman, 2001). Bu nedenle, ağaç sayısı ve diğer hiperparametrelerin optimizasyonu, ızgaralı arama (grid search) yöntemiyle farklı kombinasyonlar denenerek sağlanır.

Ağaç sayısının küçük veri setleri için 50, büyük veri setleri için ise 500 ve daha fazla seçilmesinin uygun olacağı belirtilmiştir (Zeybek, 2021). Oshiro ve ark., (2012) ise 64-128 aralığında olmasını önermektedir. Bu aralık biraz daha genişletilerek denemeler yapılmıştır. Bununla birlikte, optimum değer, önerilen aralıkta yer almıştır. Maksimum derinlik parametresi, 5-20 aralığında seçilmiştir. Yani, varsayılan değerler yerine daha geniş bir değer aralığı seçilmiştir. Yazılım, bu değer aralıkları içinde optimizasyon yaparak hiperparametrelerin en uygun değerlerini belirlemektedir. Burada, belirli bir aralık değerinin yani minimum ve maksimum değerlerin girilmesinin nedeni, işlem süresinin kısaltılmasıdır. Doğrulukların istenen düzeyde olmaması durumunda seçilen değer aralıkları gözden geçirilebilir.

2.4.2. Gradyan artırma algoritması

Gradyan artırma, artırma (boosting) tekniğine dayanan karar ağacı tabanlı bir topluluk öğrenme algoritmasıdır (Freeman, 2001). Gradyan artırma algoritması, tahminleri rastgele orman algoritmasına göre farklı bir teknik kullanarak yapar. Burada, ağaç oluşturma sürecini paralelleştirmek yerine, tahminleri elde etmek için sıralı bir yaklaşım benimser. Gradyan, bir model oluşturduktan sonra elde edilen hatayı veya artığı ifade eder. Gradyan artırmada, her karar ağacı bir önceki karar ağacının hatasını tahmin eder ve böylece hatayı (gradyan) kademeli olarak azaltır (Ayyadevara, 2018).

Gradyan artırma algoritmasının temel adımları şöyledir (Ayyadevara, 2018):

- 1: Basit bir karar ağacıyla tahminleri başlat.
- 2: Artıkları (gerçek değer ve tahmin değeri farkını) hesapla.
- 3: Tüm bağımsız değerlere dayalı olarak artıkları tahmin eden başka bir sığ karar ağacı oluştur.
- 4: Orijinal tahmini, öğrenme oranıyla çarpılan yeni tahminle güncelle.
- 5: Belirli bir iterasyon sayısı için 2'den 4'e kadar olan adımları tekrarla (iterasyon sayısı, ağaç sayısı olacaktır).

Artırma algoritmalarının ardındaki genel düşünce, zayıf öğrenenleri güçlü öğrenenlere dönüştürmektir. Zayıf bir öğrenici, rastgele tahminde bulunmaktan pek de iyi değildir. Ancak zayıf başlangıcın arkasında bir amaç vardır. Bu genel düşünceye dayalı olarak, güçlü bir temel

model kurarak değil, yinelemeli hata düzeltmeye odaklanarak işler hızlandırılır. Temel model çok güçlüyse, öğrenme süreci zorunlu olarak sınırlıdır ve bu nedenle, artırma modellerinin arkasındaki genel stratejiye zarar verir. Zayıf öğrenenler, yüzlerce iterasyon yoluyla güçlü öğrenicilere dönüştürülür. Gradyan artırma, her yeni ağaç için hatalara bakar ve ardından tamamen bu hataların etrafında yeni bir ağaç oluşturur. Yeni ağaç, zaten doğru olan tahminleri dikkate almaz. Gradyan artırma, başarılı sonuçlar üretme açısından en iyi makine öğrenimi algoritmalarından biri olmuştur (Wade, 2020).

Bu algoritma için ise ağaç sayısının 40-70, maksimum derinlik parametresinin ise 5-8 aralığında seçilmesi önerilmektedir (URL-1). Uygulamada bu öneriler de dikkate alınarak çeşitli denemeler yapılmış ve bu değerler uygun bulunmuştur. Yazılım, yine bu değer aralıkları içinde optimizasyon ile en iyi sonucu veren değeri elde etmektedir.

2.4.3. Doğruluk değerlendirme

Sınıflandırma doğruluğunun değerlendirilmesi, hata (karışıklık) matrisine dayalı olarak gerçekleştirilir (Tablo 2). Hata matrisi, sınıflandırıcının farklı kategorileri ne kadar iyi tahmin ettiğini analiz etmek için kullanışlı bir araçtır (Han ve Ark., 2012). Bu matris, belirli bir kategoriye atanan birim sayısını "gerçeğe" (referans verilere) kıyasla ifade eden karesel sayı dizisinden oluşur. Bu yöntem, örneğin sınıflandırılmış bir uydu görüntüsünün veya tematik haritaların doğruluğunu değerlendirmek için uygulanabilir (Shi, 2010).

Genel doğruluk, en yaygın olarak rapor edilen doğruluk değerlendirme istatistiğidir. Ancak, sadece genel doğruluğu vermek yeterli değildir. Diğer doğruluk ölçütlerinin gerektiği gibi hesaplanabilmesi ve sınıflar arasındaki herhangi bir karışıklığın açıkça sunulabilmesi ve anlaşılabilmesi için matrisin tamamının sunulması önemlidir. Üretici ve kullanıcı doğrulukları, tüm matris için genel sınıflandırma doğruluğunun hesaplanmasına ek olarak bireysel sınıf doğruluklarını belirlemek için hesaplanabilir (Congalton ve Green, 2019). F_1 -skor ise üretici doğruluğu ve kullanıcı doğruluğu parametrelerinin harmonik ortalaması alınarak hesaplanır (Han ve Ark., 2012). Kappa parametresi, iki veri setinin gözlemlenen uyumu ile tesadüfen olan uyumu arasında farkın ölçümünü sağlar (Shi, 2010). Tüm hata matrisi için kappa parametresini hesaplamaya ek olarak, matris içindeki her bir kategori için uyuma bakmak faydalı olabilir. Bireysel kategori uyumu, koşullu kappa parametresi kullanılarak test edilebilir (Congalton ve Green, 2019). Bu değerler ne kadar yüksek ise sınıflandırma doğruluğu o oranda başarılıdır.

Bu kapsamda, genel doğruluk (Gnl_Dg), kappa (κ), üretici doğruluğu (hassasiyet) (Urt_Dg), kullanıcı doğruluğu (kesinlik) (Kul_Dg), F_1 -skor ve koşullu kappa (Kos_k) parametreleri sırasıyla 4-9 eşitlikleriyle hesaplanmıştır (Congalton ve Green, 2019; Han ve Ark., 2012).

Tablo 2. Hata matrisi (Congalton ve Green, 2019)

		j = Sütunlar (Gerçek / Referans) toplamı			Satır
		1	2	k	n _{i+}
i = Satırlar (Tahmin / Sınıflandırma)	1	n ₁₁	n ₁₂	n _{1k}	n ₁₊
	2	n ₂₁	n ₂₂	n _{2k}	n ₂₊
	k	n _{k1}	n _{k2}	n _{kk}	n _{k+}
Sütun toplamı		n ₊₁	n ₊₂	n _{+k}	n
n _j					

$$Gnl_Dg = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \times 100 \quad (4)$$

$$\kappa = \frac{n \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}} \quad (5)$$

$$Urt_Dg = \frac{n_{jj}}{n_{+j}} \times 100 \quad (6)$$

$$Kul_Dg = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \times 100 \quad (7)$$

$$F_1 - skor = \frac{2 \times Urt_Dg \times Kul_Dg}{Urt_Dg + Kul_Dg} \quad (8)$$

$$Kos_k = \frac{nn_{ii} - n_{i+}n_{+i}}{nn_{i+} - n_{i+}n_{+i}} \quad (9)$$

3. Bulgular ve tartışma

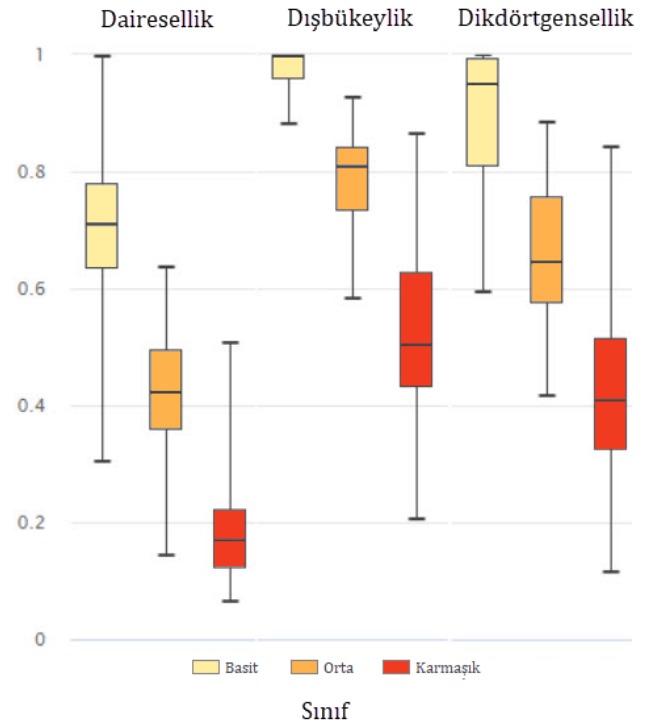
Çalışmada kullanılan bina veri seti için hesaplanan şekil göstergelerine ilişkin betimleyici istatistikler, Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Şekil göstergelerinin istatistiksel değerleri

	D	DB	DD
Min.	0.064	0.204	0.115
Maks.	0.997	1	1
Ort.	0.431	0.762	0.659
St. Sapma	0.230	0.212	0.232
Med.	0.414	0.810	0.658

Ayrıca eğitim verisindeki görsel algıya dayalı olarak belirlenen sınıflara göre şekil göstergelerinin değer dağılımı, Şekil 5'te kutu grafiğiyle gösterilmektedir. Buna göre, sınıf (şekil karmaşıklık kategorileri) temelinde şekil gösterge değerlerinin %50'lik kısmının gayet net olarak ayrıştırılabildiği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, değerlerin tamamı dikkate alındığında tüm kategoriler arasında çakışmaların var olduğu görülmektedir.

Rastgele orman ve gradyan artırma algoritmalarıyla gerçekleştirilen sınıflandırma işlemleri sonucunda elde edilen hata matrisleri sırasıyla Tablo 4 ve 5'te, bu matrise dayalı hesaplanan doğruluk parametrelerinin değerleri ise sırasıyla Tablo 6 ve 7'de verilmiştir.



Şekil 5. Şekil göstergelerinin şekil karmaşıklık kategorilerine göre değer dağılımlarını gösteren kutu grafiği

Çoklu karar ağaçları üreten rastgele orman ve gradyan artırma algoritmalarından karar ağacı örnekleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Gradyan artırma algoritmasından elde edilen karar ağaçları sınıf temelli olup yorumlanması güçtür. Rastgele orman algoritmasından elde edilen karar ağacının yorumlanmasının daha kolay olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Rastgele orman algoritması ile sınıflandırma sonucu elde edilen hata matrisi

		Gerçek			Satır toplamı
		Basit	Orta	Karmaşık	
Tahmin	Basit	98	2	0	100
	Orta	2	93	11	106
	Karmaşık	0	5	89	94
	Sütun toplamı	100	100	100	300

Tablo 5. Gradyan artırma algoritması ile sınıflandırma sonucu elde edilen hata matrisi

		Gerçek			Satır toplamı
		Basit	Orta	Karmaşık	
Tahmin	Basit	98	2	0	100
	Orta	1	87	8	96
	Karmaşık	1	11	92	104
	Sütun toplamı	100	100	100	300

Tablo 6. Rastgele orman algoritması ile sınıflandırma sonucu elde edilen doğruluk parametrelerinin değerleri

Rastgele Orman				
Gen_Dg		% 93.33		
κ		0.900		
Sınıf	Urt_Dg	Kul_Dg	F ₁ -skor	Kos_κ
Basit	0.98	0.98	0.98	0.97
Orta	0.93	0.88	0.90	0.82
Karmaşık	0.89	0.95	0.92	0.92

Tablo 7. Gradyan artırma algoritması ile sınıflandırma sonucu elde edilen doğruluk parametrelerinin değerleri

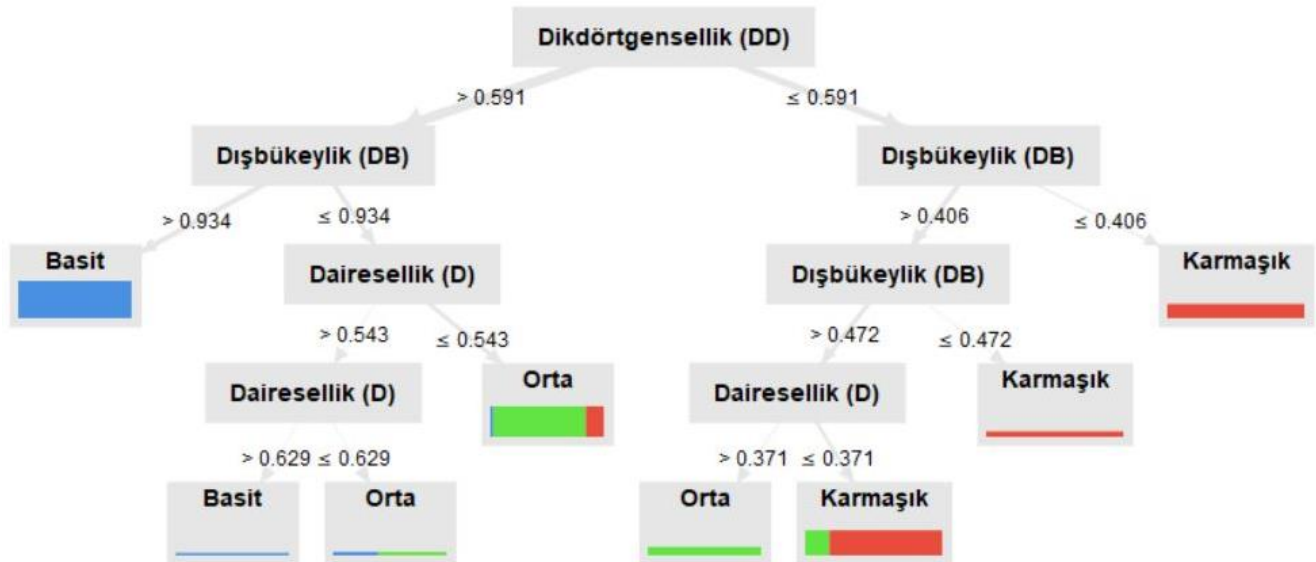
Gradyan Artırma				
Gen_Dg		%92.33		
κ		0.885		
Sınıf	Urt_Dg	Kul_Dg	F ₁ -skor	Kos_κ
Basit	0.98	0.98	0.98	0.97
Orta	0.87	0.91	0.89	0.86
Karmaşık	0.92	0.88	0.90	0.83

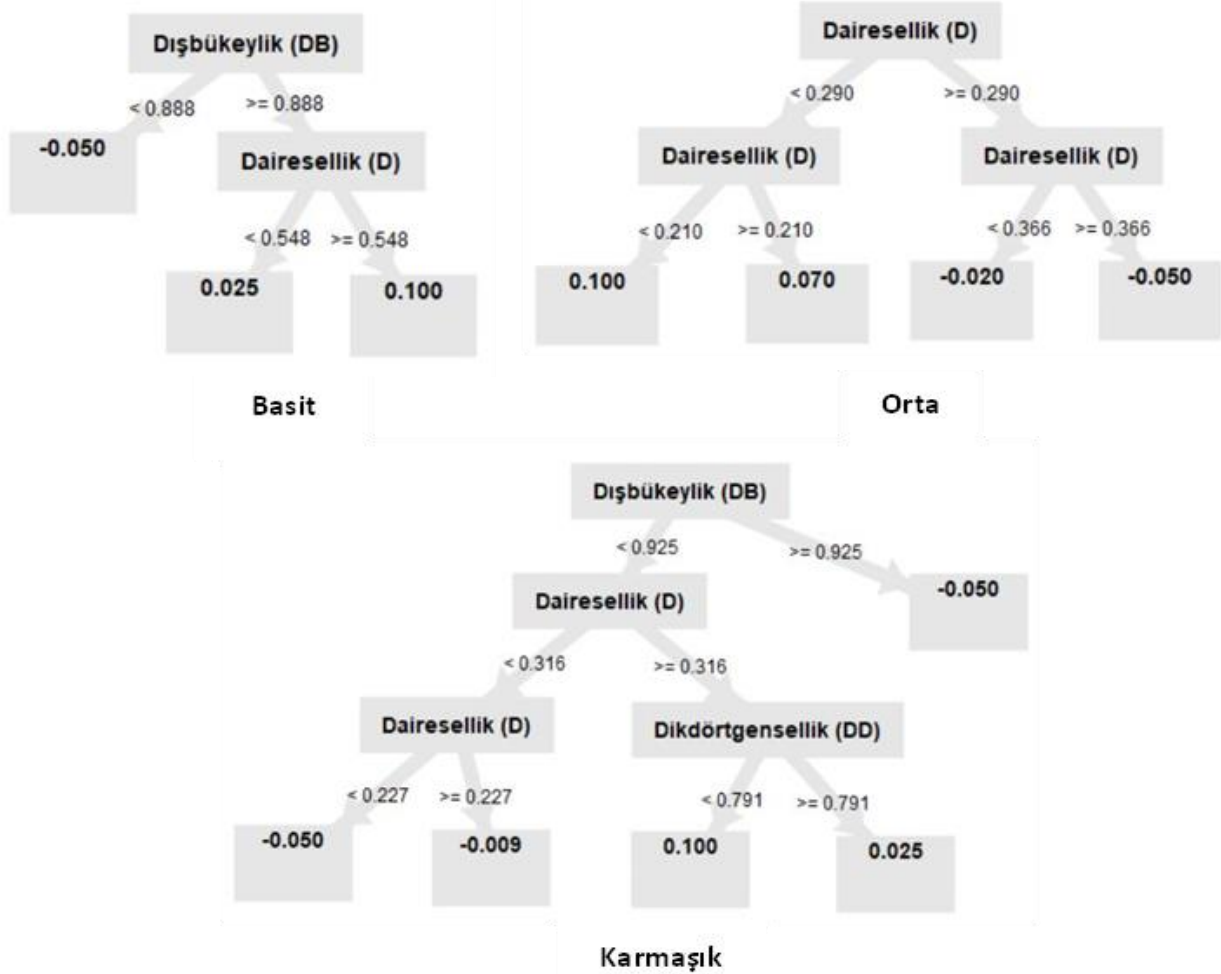
Rastgele orman algoritması, gradyan artırma algoritmasına göre çok az daha iyi bir genel performans göstermiştir. Her iki algoritma ile “basit” şekil karmaşıklık düzeyi, “orta” ve “karmaşık” şekil karmaşıklık düzeylerine göre daha başarılı biçimde sınıflandırılmıştır.

Çalışmanın sınırlılığı olarak üç husus belirtilebilir. İlki eğitim (kıyas) verisinin oluşturulmasıdır. Bu işlem görsel algıya dayalı olduğu için kısmen öznellik içermektedir.

Fakat bu bağlamda önceki literatürde yer alan genel ilkelere mümkün olduğunca uyularak bu potansiyel olumsuzluğun en aza indirgenmesine çalışılmıştır. İkinci olarak şekil göstergelerinin şekilleri tanımlama beceresinin kısıtlı olmasıdır. Başka bir ifadeyle, her şekil göstergesi şeklin belirli bir özelliğine odaklanmaktadır. Dolayısıyla, çoğu durumda tek başlarına şekilleri birbirinden ayırt etmede yeterince etkili olamamaktadırlar. Bu kapsamda, özellikle sınıf sayısının artması halinde daha fazla şekil göstergesinin katkı sağlayabileceği öngörülebilir. Son olarak, makine öğrenmesi algoritmalarının çok sayıda parametreye dayalı olması ve bu parametrelerin seçilmesindeki güçlükten bahsedilebilir. Bu problemi en aza indirmek amacıyla bazı temel hiperparametreler için önerilen değer aralıkları esas alınmış ve çeşitli ön denemeler yapılarak uygun aralıklara karar verilmiştir. Bu kapsamda, elde edilen doğruluk değerleri yönlendirici olmuştur. Sonrasında, yazılım bu aralıklar içinde en yüksek doğruluk veren parametreleri optimizasyonla belirlemektedir.

Basaraner ve Cetinkaya (2017) dairesellik, dışbükeylik ve dikdörtgensellik şekil göstergeleri ve kutu grafikleri yardımıyla belirlenen eşik değerlere dayalı sınıflandırma yaklaşımıyla sırasıyla %73.8 ($\kappa = 0.491$), %88.3 ($\kappa = 0.784$), %85.5 ($\kappa = 0.736$) genel doğruluk elde etmişlerdir. Bu şekil göstergeleri ile kullandıkları diğer sınıflandırma şemaları daha düşük doğruluk üretmiştir. Bu çalışma da ise, tekli şekil göstergesi kullanımına dayalı bulgulara göre şekil göstergelerinin birlikte hem rastgele orman ve hem de gradyan artırma topluluk öğrenme algoritmalarıyla kullanılmasının sınıflandırma doğruluğunu artırdığı gösterilmiştir.

**Şekil 6.** Rastgele orman algoritmasıyla elde edilen karar ağaçlarından bir örnek



Şekil 7. Gradyan artırma algoritmasıyla elde edilen karar ağaçlarından bir örnek

4. Sonuçlar

Bu makale, şekil göstergeleri ve topluluk öğrenmesi algoritmalarıyla bina detaylarının şekil karmaşıklık düzeylerinin otomatik olarak belirlenmesini ele almıştır. Bu kapsamda, önceki çalışmalarda başarılı bulunan dairesellik, dışbükeylik ve dikdörtgensellik şekil göstergeleri ile birlikte rastgele orman ve gradyan artırma topluluk öğrenmesi algoritmaları kullanılmıştır. Bu yaklaşım, OSM'den elde edilen 300 adet bina üzerinde test edilmiştir. Sınıflandırma doğruluğu incelemesi için eğitim verisi oluşturmak üzere tüm binalar şekil karmaşıklık düzeylerine göre basit, orta ve karmaşık olarak etiketlenmiştir. Deneysel çalışma sonucu, her iki algoritmayla oldukça yüksek doğruluk düzeyleri elde edilmiştir. Rastgele Orman algoritmasının çok az daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, birden fazla şekil göstergesinin, uygun topluluk öğrenmesi algoritmalarıyla kullanımının bina şekil karmaşıklık düzeylerini otomatik olarak belirlemede oldukça etkin olduğu ve önceki çalışmalarda yer alan tekli şekil göstergesi ve CBS sınıflandırma şemaları kullanımına göre performansı artırdığı görülmüştür.

Her iki algoritmadan elde edilen çoklu karar ağaçlarına dayalı modellerin farklı bina veri setlerinin sınıflandırılmasında kullanılabileceği öngörülebilir.

Gelecek çalışmalarda, daha fazla ve farklı şekilsel özellikleri ölçen şekil göstergeleri kullanılarak değerlendirmeler yapılabilir. Bu kapsamda, farklı makine

öğrenmesi algoritmaları ve istifleme (stacking) yöntemi de test edilebilir. Ayrıca, şekil karmaşıklık kategorilerinin sayısı artırılabilir ve uygulama daha kapsamlı bir veri setiyle gerçekleştirilebilir.

Araştırmacıların katkı oranı

Hüseyin Safa Duman: Literatür taraması, Yöntem, Uygulama, Makale yazımı; **Melih Başaraner:** Literatür taraması, Tasarım, Yöntem, Makale yazımı

Çatışma beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

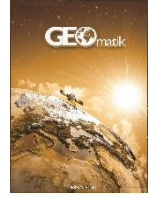
- Ai T, Cheng X, Liu P & Yang M (2013). A shape analysis and template matching of building features by the fourier transform method. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 219–233.
- Akar Ö & Görmüş E T (2019). Göktürk-2 ve Hyperion EO-1 Uydu Görüntülerinden Rastgele Orman Sınıflandırıcısı ve Destek Vektör Makineleri ile Arazi Kullanım Haritalarının Üretilmesi. *Geomatik*, 4(1), 68-81.
- Aktaş M (2012). Shape Descriptors. Doktora Tezi, Exeter Üniversitesi, Bilgisayar Bilimleri Bölümü, İngiltere.

- Angel S, Parent J & Civco L (2010). Ten compactness properties of circles: measuring shape in geography. *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, 54(4), 441-461.
- Arkin E, Chew L P, Huttenlocher D P, Kedem K & Mitchell J S B (1991). An efficiently computable metric for comparing polygonal shapes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(3), 209-216.
- Basaraner M & Cetinkaya S (2017). Performance of shape indices and classification schemes for characterising perceptual shape complexity of building footprints in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(10), 1952-1977.
- Basaraner M (2020). Geometric and semantic quality assessments of building features in OpenStreetMap for some areas of Istanbul. *Polish Cartographical Review*, 52(3), 94-107.
- Başaraner M (2005). Nesne Yönelimli Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Orta Ölçekli Topografik Haritalar İçin Bina ve Yerleşim Alanlarının Otomatik Genelleştirilmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bonaccorso G (2020). *Mastering Machine Learning Algorithms*, 2nd edn. Packt Publishing, Birmingham, 798 s.
- Breiman L (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
- Burghardt D & Steiniger S (2005). Usage of principal component analysis in the process of automated generalisation. *Proceedings of 22nd International Cartographic Conference*, La Coruna, Spain.
- Burkov A (2019). *The Hundred-Page Machine Learning Book*. Andriy B., 159 s.
- Burkov A (2020). *Machine Learning Engineering. True Positive Inc.*, Quebec City, 310 s.
- Congalton R G & Green K (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*, 3rd edn. CRC Press, Boca Raton, FL, 328 s.
- Çetinkaya S (2014). Kartografik Genelleştirmede Bina Dizilimlerinin Karakterizasyonu ve Yorumlanmasına İlişkin Yeni Yaklaşımlar. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Da Costa F & Cesar R (2009). *Shape Classification and Analysis: Theory and Practice*, 2nd edn. CRC Press, Boca Raton, FL, 685 s.
- Demetriou D, See L & Stillwell J (2013). A parcel shape index for use in land consolidation planning. *Transactions in GIS* 17(6), 861-882.
- Euler T (2014). Who wants my product? Affinity-based marketing. M. Hofmann ve R. Klinkenberg (ed.) *Data Mining Use Cases and Business Analytics Applications*. Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, FL, 77-96.
- Fleischmann M, Romice O & Porta S (2020). Measuring urban form: Overcoming terminological inconsistencies for a quantitative and comprehensive morphologic analysis of cities. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*. DOI: 10.1177/2399808320910444
- Frenkel A & Ashkenazi M (2008). Measuring urban sprawl: how can we deal with it? *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(1), 56-79.
- Friedman J H (2001). Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of Statistics*, 29, 1189-1232.
- Görmüş E T & Akar Ö (2019). Headwall Hyperspec VNIR kamerası ile elde edilen hiperspektral hava fotoğrafı için boyut indirgeme yöntemlerinin performanslarının analizi. *Geomatik*, 4(3), 201-214.
- Grabler F, Agrawala M, Sumner W & Pauly M (2008). Automatic generation of tourist maps. *ACM Transactions on Graphics* 27(3), 1-11.
- Han J, Micheline K & Jian P (2012). *Data Mining: Concepts and Techniques*. 3rd edn. Morgan Kaufmann, Cambridge, MA, 744 s.
- Huang H, Kieler B & Sester M (2013). Urban building usage labeling by geometric and context analyses of the footprint data. *Proceedings of 26th International Cartographic Conference*, 25-30 August, Dresden, Germany.
- Kotu V & Deshpande B (2019). *Data Science: Concepts and Practice*, 2nd ed. Morgan Kaufmann Publishers, Cambridge, MA, 568 s.
- Li W, Goodchild F & Church R (2013). An efficient measure of compactness for two-dimensional shapes and its application in regionalization problems. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(6), 1227-1250.
- Medda F, Nijkamp P & Rietveld P (1998). Recognition and classification of urban shapes. *Geographical Analysis*, 30(3), 304-314.
- Oksanen T (2013). Shape-describing indices for agricultural field plots and their relationship to operational efficiency. *Computers and Electronics in Agriculture*, 98, 252-259.
- Oshiro T M, Perez P S & Baranauskas J A (2012). How many trees in a Random Forest? P. Perner (ed.) *Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition- MLDM 2012. Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7376. Springer, Berlin, Heidelberg, 154-168.
- Rosin P L (2000). Measuring shape: ellipticity, rectangularity, and triangularity. *Proceedings 15th International Conference on Pattern Recognition (ICPR-2000)*, Vol. 1, 952-955.
- Ruas A & Holzapfel F (2003). Automatic characterisation of building alignments by means of expert knowledge. *Proceedings of 21st International Cartographic Conference*, Durban, South Africa, 1604-1615.
- Shi W (2010). *Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses*. CRC Press, Boca Raton, FL, 454 s.
- Tattar P N (2018). *Hands-On Ensemble Learning with R*. Packt Publishing, Birmingham, 376 s.
- Toussaint G (1983). Solving geometric problems with the "Rotating Calipers". *Proceedings of IEEE MELECON'83*, A10.02/1-4.
- URL-1:
<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2016/02/complete-guide-parameter-tuning-gradient-boosting-gbm-python/> Erişim Tarihi: 05.04.2021.
- Üstüner M, Abdikan S, Bilgin G & Şanlı F B (2020). Hafif gradyan artırma makineleri ile tarımsal ürünlerin sınıflandırılması. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 1(2), 97-105.

- Vohra R & Tiwari K C (2020). Spatial shape feature descriptors in classification of engineered objects using high spatial resolution remote sensing data. *Evolving Systems*, 11(4), 647–660.
- Vukicevic M, Jovanovic Z, Delibašić B & Suknovic M (2013). Recommender system for selection of the right study program for higher education students. M. Hofmann ve R. Klinkenberg (ed.) *Data Mining Use Cases and Business Analytics Applications*. Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, FL, 145-156.
- Wade C (2020). *Hands-On Gradient Boosting with XGBoost and scikit-learn: Perform accessible machine learning and extreme gradient boosting with Python*. Packt Publishing, Birmingham, 310 s.
- Wentz A (1997). Shape analysis in GIS. *Proceedings of Auto-Carto 13*, 204–213.
- Witten I H (2017). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. 4nd edn. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, 654 s.
- Xu Y, Xie Z, Chen Z & Wu L (2017). Shape similarity measurement model for holed polygons based on position graphs and Fourier descriptors. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(2), 253-279.
- Yan X, Ai T, Yang M & Yin H (2019). A graph convolutional neural network for classification of building patterns using spatial vector data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 150, 259-273.
- Yang X (2019). *Introduction to Algorithms for Data Mining and Machine Learning*. Academic Press, Cambridge, MA, 188 s.
- Zeybek M (2020). El-tipi LiDAR nokta bulutundan tek ağaç gövdesinin otomatik çıkarımında istatistiksel sınıflandırma algoritmalarının performans analizi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21 (2), 200-213.
- Zeybek M (2021). Classification of UAV point clouds by random forest machine learning algorithm. *Turkish Journal of Engineering*, 5(2),48-57.
- Zhao Z & Stough R R (2005). Measuring similarity among various shapes based on geometrical matching. *Geographical Analysis*, 37(4), 410–422.
- Zhong Y, Lin A, He L, Zhou Z & Yuan M (2020). Spatiotemporal dynamics and driving forces of urban land-use expansion: a case study of the Yangtze River Economic Belt, China. *Remote Sensing*, 12(2), 287.
- Zhou X, Chen Z, Zhang X & Tinghua A (2018). Change detection for building footprints with different levels of detail using combined shape and pattern analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(10), 406–430.



© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Türkiye'de COVID-19 sürecinde alınan önlemler çerçevesinde okul bahçe ve sınıflarının CBS ile değerlendirilmesi

Murat Başeğmez^{*1} , Cevdet Coşkun Aydın² 

¹Milli Eğitim Bakanlığı, CBS ve Emlak Daire Başkanlığı, Ankara, Türkiye

²Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

CBS
COVID-19
Sağlık
Eğitim Politikası

Öz

Bu çalışmada COVID-19 döneminde okul bahçelerinde ve sınıflarında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak sağlık güvenliğini sağlayabilecek bir yaklaşım oluşturulmuştur. Çalışmanın yöntemi, okul alanlarına ve binalarına ait verilerin analizi, bahçe ve sınıflarda 4 m²'lik sosyal mesafelerin oluşturulması ve bu alanların sağlık önlemleri bakımından değerlendirilmesidir. Bu kapsamda, ilk olarak Türkiye'deki devlet kurumlarının salgın ile ilgili yayınladıkları genelgeler ve raporlar değerlendirilmiştir. Böylece okullardaki mevcut durumun eğitim politikalarına etkisi incelenmiştir. Uygulama aşamasında Emek, Bahçelievler ve Yukarıbahçelievler mahallelerinde 9 okul seçilmiş ve bu okullarda eğitimin sürdürülebilirliği değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, okul bahçelerinin %33,3'ünün pandemi yönetmeliklerine uygun olduğu ve sınıfların sadece %44,4'ünün ikili gruplama yoluyla eğitimi destekleyebildiği belirlenmiştir. Ayrıca CBS'nin, sağlık önlemleri kapsamında okul alanlarının analizinde, okulların birbiriyle kıyaslanmasında, salgın yayılımının takibinde ve yüksek riskli okul alanlarının tespitinde etkin bir analiz aracı olduğu görülmüştür.

Evaluation of school gardens and classes via GIS in terms of measures taken during the COVID-19 process in Turkey

Keywords

GIS
COVID-19
Health
Education Policy

ABSTRACT

In this study, an approach has been generated that can provide health security by using Geographic Information Systems (GIS) in school gardens and classes during the COVID-19 period. The method of the study is the analysis of the data of school areas and buildings, the establishment of social distances of 4 m² in the garden and classes, and the evaluation of these areas in terms of health measures. In this context, firstly, the circulars and reports published by state institutions in Turkey regarding the pandemic were evaluated. Thus, the effect of the current situation in schools on education policies was examined. Then, in the application stage, 9 schools in Emek, Bahçelievler and Yukarıbahçelievler neighbourhoods were selected, and education sustainability in these schools was evaluated. The study results indicated that 33.3% of the school gardens comply with the pandemic regulations, and only 44.4% of the classes can support education through binary grouping. In addition, GIS has been found to be a very effective analysis tool in the analysis of school areas within the scope of health measures, comparing schools with each other, tracking the spread of the pandemic and identifying high-risk school areas.

1. Giriş

Tarih boyunca salgın hastalıklar toplumlara sosyal, ekonomik ve kültürel alanlarda etkilemiştir. 2019 yılının sonunda ilk kez Wuhan'da (Çin) ortaya çıkan SARS-CoV-2'nin kısa bir zaman dilimi içerisinde tüm dünyaya yayılması daha önce karşılaşılmayan küresel anlamda bir salgın sorununu ortaya çıkarmıştır (World Health Organization (WHO), 2021). Dünyada büyük bir etki oluşturan COVID-19 pandemisi, başta ekonomi, sağlık ve eğitim olmak üzere devletlerin birçok alanında yıkıcı etkiler bırakmaktadır. Öğrenci, öğretmen ve ailelerden oluşan geniş bir kitleyi içinde barındırması sebebiyle eğitim, ülke nüfuslarının büyük bir çoğunluğunu etkilemektedir (ETF, 2020; Hopegood, 2020; OECD, 2020; Saavedra, 2020). UNESCO tarafından yapılan bir tahmin, 27 Mart 2020 tarihine kadar 180'den fazla ülkede iki milyara yakın öğrencinin ve yaklaşık altmış milyon eğitimcinin okulların kapanmasından etkilendiğini göstermiştir (OECD, 2020).

Salgına ait ilk vaka Türkiye'de 11 Mart 2020 tarihinde görülmüş ve ülke genelinde 1 Temmuz 2021 itibariyle toplam 5.430.940 vaka, 49.774 vefat ve 5.300.504 iyileşen hasta bulunmaktadır (Sağlık Bakanlığı (SB), 2021). Ülke genelinde artan salgın tehdidine karşın SB tarafından bir bilim kurulu oluşturularak salgına karşı alınacak önlemler ile devlet tarafından oluşturulan yeni politikaların uygulanabilirliği hakkında tavsiyelerde bulunulması sağlanmıştır. Eğitim politikalarının oluşturulması ve uygulamasından sorumlu olan Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), 1 milyon 126 bin 780 öğretmenin ve 17 milyon 870 bin 712 öğrencinin sağlığını korumak amacıyla SB'den ve Bilim Kurulu'ndan alınan görüşler doğrultusunda okulları 16 Mart 2020 tarihinde kapatmıştır. Okulların kapatılmasıyla eğitim ve öğretim faaliyetlerinde oluşan boşluk Eğitim Bilişim Ağı (EBA), Canlı Sınıf Uygulamaları ile EBA TV (İlkokul, Ortaokul ve Lise) yoluyla uzaktan eğitim ile sağlanmıştır. Salgına karşı alınan önlemlerin salgının yayılma hızında azalmaya sebep olmasıyla 31 Ağustos 2020 tarihinde okullar ülke genelinde kademeli olarak açılmış ve seyrletilmiş sınıf uygulamasına geçilmiştir (Ashour ve ark., 2020; Güngörer, 2020; Eren, 2020).

Tüm dünyada etkisini sürdüren bu salgın ile ülkelerin eğitim politikalarının sağlık politikası ile yakından ilişkili olduğu görülmüştür. Özellikle bu ilişki salgının etki alanı içerisindeki eğitim kurumlarının ülke içindeki yerlerinin tespit edilmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Öyle ki, bu yerlerin tespiti ve gerekli önlemlerin alınması özellikle salgın dönemlerinde karmaşık ve hayati bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca uzun vadeli süreç, birçok kriterin bir arada kullanılmasını gerektirmektedir. Günümüz teknolojilerinin bu süreçte kullanılacağı düşünüldüğünde konum belirleme, öğrenci sayısı, derslik sayısı, arazi kullanımı, karar verme, süreçlerin değerlendirilmesi, çok yoğun verinin yönetilmesi ve sürdürülebilir bir politikanın sağlık politikası ile uyumlu olarak hayata geçirilmesi aşamalarında bu karmaşıklık daha da artmaktadır.

Tüm dünyada ve Türkiye'de sağlık politikasına dayalı uygulanabilir yeni eğitim politikalarının geliştirilmesi bu dönemde devletlerin öncelikli gündemlerinden biridir. Özellikle nüfus yoğunluğu fazla olan kent alanlarındaki

eğitim kurumlarının salgın tehdidinden en az şekilde etkilenmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak için de yüksek yoğunluklu verinin yönetilmesi önemlidir. Okulların sürdürülebilir eğitim-öğretim faaliyetlerine devam edebilmesi için hayati kriterler olan sosyal mesafe, öğrenci sayısı ve derslik sayısı kriterlerinin sağlık politikasına uygun olacak şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Tüm dünyada sağlık politikasına bağlı olarak yürütülen projelerde yoğun verinin yönetilmesinde ve değerlendirilmesinde CBS yaygın olarak kullanılmaktadır (Pardo ve ark., 2020; Sarwar ve ark., 2020; Zhou ve ark., 2020). Özellikle salgının seyri ve alınacak önlemlere altlık oluşturması bakımından CBS kabiliyetleri sorunların çözümünde etkin rol oynamaktadır (Yomralıoğlu, 2009). Konum ve zaman verilerinin CBS'nin araçları ile birleştirilmesi, karar verme sürecinde yaşanan sorunların çözümüne ciddi katkılar sağlamaktadır (Liu ve ark., 2018; Pedro ve ark., 2019; Ustaoglu ve Aydınoglu, 2020; Xie ve ark., 2020). Özellikle daha önceki yıllarda yaşanan salgın verilerinin zaman ve konum verileriyle birleştirilerek çeşitli algoritmaların elde edilmesi, günümüzdeki salgın yayılımının takip edilmesi için iyi bir yöntemdir (Sarwar ve ark., 2020). Uygulanacak bu yöntem ile salgın riski taşıyan alanlar sınıflandırılabilir, yeni oluşturulan eğitim politikalarının öncelikli uygulama alanları tespit edilebilir ve alınan önlemlerin hızlı bir şekilde hayata geçirilmesi sağlanabilecektir.

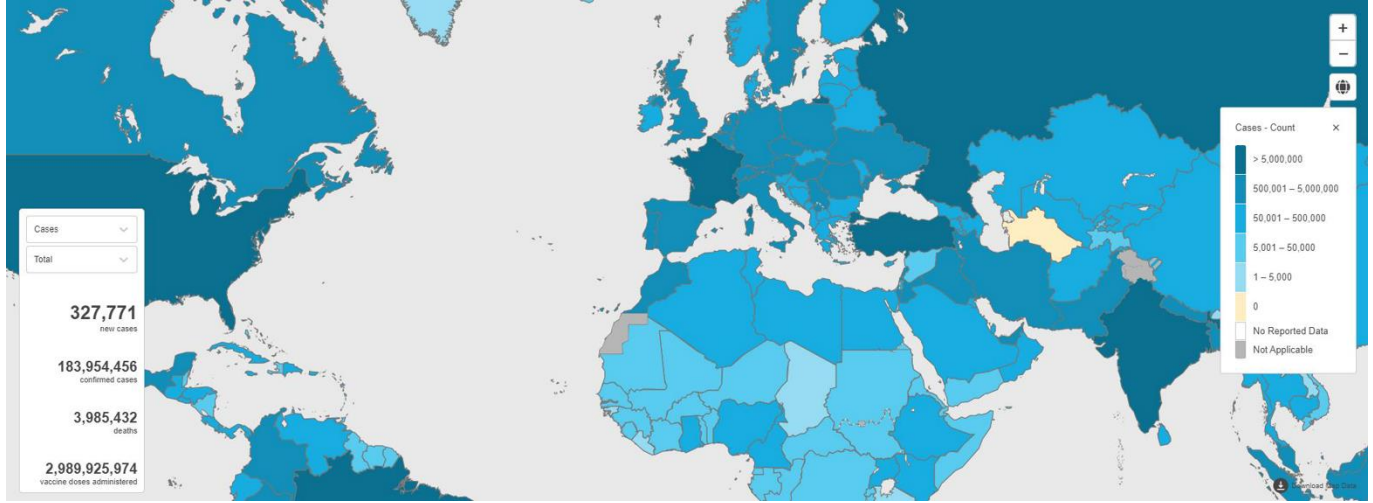
Dünya'da CBS, eğitim politikalarının uygulanmasında da etkisini göstermektedir. Özellikle eğitim politikalarının merkezini oluşturan öğrencilerin akademik gelişiminin bilimsel bir altlıkla takip ve analiz edilmesi, STEM (Science, Technology, Engineering, Math) öğrenimi ile proje tabanlı deneyimlere olanak sağlaması ve okul yönetimlerine güvenlik, raporlama, maliyet ve sağlık yönetimi gibi konularda çözümler sunması CBS'nin eğitim politikalarındaki geniş kullanım alanlarını ortaya koymaktadır (ESRI, 2020; Mulvenon ve Airola, 2020).

Türkiye'de ise eğitim politikalarını oluşturan MEB, bünyesinde oluşturduğu Milli Eğitim Bakanlığı Coğrafi Bilgi Sistemi (MEBCBS) ile Türkiye'deki tüm okulların ve kullanılan tesislerin, arazilerin, mülkiyetlerin ve imar plan verilerinin konum ve öznitelik verilerini bu sistemde toplayarak eğitim politikalarının uygulanmasında yaşanacak sorunların çözülmesini hedeflemektedir (Başgömez ve Taşdemir, 2019). Özellikle Türkiye gibi yoğun nüfuslu, öğrenci sayısı oldukça fazla olan ülkelerde bilimsel altlıktan uzak bir planlama sürecinin izlenmesi, hem mevcut salgın döneminde yapılması gereken düzenlemelerin etkisiz kalmasına hem de geleceğe dönük salgın eylem planlarına sağlanacak çözüm yollarının oluşturulmasını güçleştirmektedir. Bu çalışma ile sağlık politikasına uyumlu, riskli alanlarda sürdürülebilir bir eğitim politikası oluşturmak için bir örnek çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında Ankara ili Çankaya ilçesinde gerçekleştirilen bir uygulamada okul alanlarına ilişkin geometrik ve öznitelik veri altyapısı ile veri tabanı oluşturularak salgın sürecinde sürdürülen sağlık politikalarının eğitim politikalarına etkisi incelenmiştir. Çalışmada uygulama alanında bulunan MEB'e ait çeşitli kademelerde 9 okul seçilmiştir. Çalışmada kullanılan

geometrik ve öznitelik verileri MEB tarafından sağlanmış ve veri doğruluğu kontrol edilmiştir. Bu veriler CBS ortamında gerekli analizlerle çalışmanın amacına uygun olarak değerlendirilmiştir. Bu okullarda öğrenci ile derslik sayısı temel alınarak bahçe alanlarının ve sınıfların sosyal mesafe kuralına uygun olup olmadığının tespiti yapılmıştır. Bu tespitler sonucunda sınıfların ve bahçelerin salgın yönetmeliklerine göre yeniden değerlendirilmesi sonucuna ulaşılmış, elde edilen sonuçlar salgın politikaları ile beraber değerlendirilmiş ve sürdürülebilir bir eğitim için gerekli önerilerde bulunulmuştur.

2. Pandemi önlemlerinin Dünyada ve Türkiye’de eğitim politikalarına etkisi

Ebola, zika, kuş ve domuz gribi gibi çeşitli bulaşıcı hastalıklar toplumsal yaşamın değişmesinde önemli bir rol oynamışlardır (SB, 2020). Salgınlara sebep olan bu hastalıklar, başta eğitim olmak üzere birçok alanı doğrudan etkilemiştir. Son zamanlarda, hayatı büyük ölçüde etkileyen bir başka bulaşıcı hastalık da “COVID-19”dur. Bu hastalık 2019 yılının sonundan itibaren tüm dünyaya hızlıca yayılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. COVID-19’un dünyadaki yayılımı (WHO, 2021)

Salgın önlemleri kapsamında öncelikli olarak eğitim politikalarında yeni düzenlemelere gidilmiştir. COVID-19’un hızlı yayılımını önlemek için 191 devlet, çeşitli eğitim kurumlarındaki 1.575.270.054 öğrenci için eğitime ara vermiştir. Bu devletlerden 187’si eğitime bir süre ara verirken diğer dört devlet (ABD, Kanada, Rusya ve Avustralya) ise sadece bölgesel olarak okullarda eğitimi durdurmuştur. Salgının en çok etkilediği ülkeler arasında yer alan İspanya, İtalya, Almanya, İngiltere, Fransa, Çin, Türkiye, İran, Belçika ve Brezilya’da ise eğitim politikalarında daha katı önlemler alınarak eğitime ara verilmiştir (UNESCO, 2020a).

Tüm bu olumsuzlukların yanında ülkelerin gündemlerinde olan en önemli konulardan biri de okulların yeniden açılmasıdır. Bu durum zamanlama ve stratejiler bakımından ülkeler arasında farklılık göstermektedir. Hemen hemen tüm ülkeler, okulların güvenli bir şekilde yeniden açılmasını sağlamak için sağlık ve hijyen kılavuzları hazırlamıştır. Eylül 2020’de, ülkelerin yüzde 73’ü okulları tamamen veya kısmen yeniden açarken yüzde 5’i ise farklı açılma tarihi belirlemiştir. Yüksek gelirli ülkeler okulları yeniden açmış ve bunu uzaktan eğitim ile yüz yüze öğretimi birleştiren karma bir yaklaşım kullanarak yapmıştır. Düşük gelirli ülkeler ise okulların yeniden açılmasını geciktirerek salgının etkisini kaybetmesinin ardından yüz yüze eğitime tam anlamıyla dönmeyi planlamaktadır (UNESCO, 2020b; UNESCO, 2020c).

Salgın sürecinin devam ettiği bazen de hızlı artışların olduğu bugünlerde yetkililer, salgının etkisini hafifletmek ve öğrenim kaybını önlemek için yeni

yaklaşımlar oluşturmaktadır (OECD, 2020). Bu kapsamda ABD’nin New York eyaletinde öğrenciler haftada bir ile üç gün arası okula gitmekte, diğer günlerde uzaktan eğitimi kullanmışlardır. Ayrıca, sınıflar on iki kişi ile sınırlandırılarak salgına karşı önlem alınmaya çalışılmıştır. Almanya’da öğrencilerin haftanın beş günü, günde en az altı saat derslere gireceği açıklanmıştır. Berlin’deki bazı eyaletlerde okul içinde ve bahçesinde maske takılması ile ilgili karar alınırken Kuzey Ren Vestfalya’da sınıflarda da maske takma şartı getirilmiştir. Almanya’nın genelinde uygulamaya konulan ortak önlemler ise; öğrenciler arasında fiziki temasın yasaklanması, her ders bitiminde sınıfların havalandırılması ve öğrencilerin 1,5 metre sosyal mesafeye uyamadığı alanlarda maske takma şartıdır. Fransa’da on bir yaş ve üzerindeki öğrencilerin, öğretmenlerin ve diğer çalışanların okul alanlarında maske takmasının zorunlu olacağı açıklanmıştır. İngiltere’de okullarda öğrenci ve öğretmenler gruplandırılarak fiziki temasın azaltılacağı ve böylece vaka görülen grubun tespit edilerek tümünün evlere gönderileceği açıklanmıştır. Buna ek olarak okullarda el dezenfektanı sayısının artırılacağı ve öğrencilerin okullara farklı yerlerden alınacağı belirtilmiştir. Ayrıca, İngiltere’de öğrenciler ve öğretmenlerin okul alanlarında maske takma zorunluluğu bulunmamaktadır. İtalya’da 6 yaş üzeri öğrencilerin okuldaki kalabalık alanlarda maske takacağı ve sınıflarda tek kişilik masalarda oturacakları açıklanmıştır. İspanya’da ise küçük çocukların sınıflarda maske takmayacağı, diğer öğrencilerin bu uygulamaya teşvik edileceği ve

öğretmenlerin okullarda maske kullanmasının zorunlu olacağı açıklanmıştır (Bakiler, 2020).

Türkiye’de salgının ortaya çıkmasıyla MEB öncelikle ilkokul, ortaokul ve lise seviyesindeki okulları 16 Mart tarihinden başlayarak bir hafta süreyle kapatmıştır. COVID -19 salgınının ilk aşamalarından itibaren MEB, SB ve Bilim Kurulu ülke genelinde alınacak önlemlere ilişkin iletişimlerini sürdürmektedir. Yaklaşık 18 milyon öğrenci ve 1 milyon öğretmenden oluşan bir eğitim sistemini yöneten MEB, tüm eğitim paydaşlarının sağlık ve refahını dikkate alarak Bilim Kurulu'nun önerileriyle Nisan ayının sonuna kadar okulların kapanmasına karar vermiştir (Bakiler, 2020; TSI, 2019). Ülke genelinde yaşanan vaka artışlarının olması ve okulların kapalı kalmasına yönelik kararların alınması üzerine 23 Mart tarihinden itibaren tüm kademelerdeki okullar ile üniversitelerde uzaktan eğitim yöntemiyle eğitim yapılmasına karar verilmiştir (Yüksek Öğretim Kurulu (YÖK), 2020; Özer, 2020).

Türkiye’de salgının etkilerinin azalmasıyla birlikte okullar 31 Ağustos 2020 tarihinde açılmıştır. Bu kapsamda COVID -19’un yayılmasını azaltacak tedbirlere uyulması şartıyla ilk olarak okul öncesi eğitime ve ilkokul birinci sınıfa başlayacak öğrencilere 31 Ağustos- 04 Eylül 2020 tarihleri arasında uyum eğitimleri verilmiştir. Ardından ortaokul ve imam hatip ortaokullarının beşinci sınıf öğrencilerine, lise hazırlık ve dokuzuncu sınıf öğrencilerine ve pansiyonlarda kalan öğrencilere rehberlik çalışmaları yapılmıştır (MEB, 2020a). 21 Eylül 2020 tarihinde normal eğitime dönüş için ilk aşamada anaokulları ve ilkokullar birinci sınıf düzeyinde yüz yüze eğitime başlamıştır (MEB, 2020b). Salgın önlemleri kapsamında başlayan eğitim öğretim dönemi anaokullarında ve ilkokullarda birinci sınıflar için "1 gün yüz yüze eğitim" olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Eğitim sorumluları tarafından ihtiyaçların belirlenmesi ve sosyal mesafe kuralına uyularak okulların fiziki durumları göz önüne alınmak suretiyle öğrenciler gruplara ayrılarak yüz yüze eğitimler gerçekleştirilmiştir. Sınıflardaki öğrencilerin gruplara ayrılmasıyla her grubun okullara geliş tarihleri okul idarecilerince belirlenmiştir. Ayrıca MEB, öğrencilerin yüz yüze eğitime katılımını zorunlu tutmamıştır. Okula öğrencinin gitmesini istemeyen aileler yazılı bir başvuruda bulunmadan öğrencisinin sadece uzaktan eğitime katılmasını sağlayabilmiştir. Okullarda yüz yüze eğitime katılan öğrencilerin ders programları da salgın önlemlerine göre planlanmıştır. Anaokullarında okulların açıldığı ilk hafta bir gün içinde her biri otuz dakikalık beş ders saati ile uyum eğitimleri yapılmıştır. Uyum haftasının tamamlanmasının ardından anaokullarında haftada iki gün olacak şekilde her gün bu program doğrultusunda eğitim-öğretim faaliyetleri yapılmaya devam edilmiştir. İlkokul birinci sınıflarda normal eğitimin ilk haftasında her biri otuz dakikalık beş ders saati ile uyum eğitimleri yapılmıştır. Uyum haftasının ardından haftada iki gün olacak şekilde ders programı uygulanmaya devam edilmiştir. Her ders bitiminde öğrencilere on dakikalık dinlenme süreleri verilmiştir. İdareciler tarafından ders aralarında öğrencilerin sağlıklarının korunması için gerekli önlemler alınmıştır (MEB, 2020c). Ülke genelinde özellikle engelli çocukların eğitimi salgın sürecinde

çözülmesi gereken bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Bu sorunun çözülmesi için MEB her şehre en az 1 adet özel eğitim anaokulu kurarak toplam özel anaokulu sayısını 110’a çıkarmıştır. Böylece özel eğitim alması gereken çocuklar için sağlıklı eğitim ortamları hazırlanmıştır (MEB, 2020d).

Normal eğitime geçişin ikinci adımı 12 Ekim 2020 tarihinde başlatılmıştır. Yeni başlayan bu aşama ile eğitimde yeni bir politika değişikliğine de gidilmiştir. Bu kapsamda, ilkokul ile ortaokul sekizinci sınıflarda haftada iki gün olmak üzere toplam on iki saat, imam hatip ortaokullarında yine haftada iki gün olmak üzere on dört saat ders ile eğitim-öğretim faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. Liselerin hazırlık sınıfları ile on ikinci sınıflarında haftada iki gün olmaz üzere toplam on altı saat ders eğitim yapılmıştır. Sınıflar, öğrenci sayıları göz önüne alınacak şekilde sosyal mesafeye göre gruplara bölünmüştür. Bu uygulamaya birlikte her ders süresi otuz dakika ve dinlenme süresi de on dakika olarak okullarda eğitim faaliyetleri sürdürülmüştür. Ayrıca bazı illerdeki ilkokullarda ve ortaokul sekizinci sınıflarda valilik kararlarıyla cumartesi günleri de okullar açık tutulmuştur. Anaokullarının tamamında haftada beş gün ve günde altı etkinlik saati olmaz üzere eğitim faaliyetleri yürütülmüştür. Nüfus yoğunluğu az olan yerleşim yerlerindeki ilkokullar, ortaokullar ile imam hatip ortaokullarında il hıfzısıhha kurullarının kararları doğrultusunda dersler yüz yüze eğitimle gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak birleştirilmiş sınıf uygulaması yapılan ilkokullarda da dersler yine yüz yüze eğitimle yapılmıştır. Lise hazırlık sınıflarında ve on ikinci sınıflardaki seçmeli, ortak ve mesleki derslerden okul idarelerince uygun görülenler yüz yüze eğitimle, diğerleri ise uzaktan eğitim yöntemiyle yapılmıştır. Yüz yüze eğitim için çocuğunu okula göndermek istemeyenler için ilk aşamada belirlenen politikada değişiklik yapılmış ve ikinci aşamaya birlikte velinin yazılı onayı alınmasına karar verilmiştir. Ayrıca, okulda yüz yüze eğitime katılmayan öğrenciler devamsız sayılmamıştır. Ancak ailelerinin kararlarıyla okula gitmeyi tercih etmeyen öğrenciler ders müfredatından sorumlu tutularak uzaktan eğitimle derslerine devam etmesi sağlanmıştır (MEB, 2020e).

Türkiye’de yaşanan eğitim politikalarındaki bu değişiklikler sonucunda özellikle okullarda salgına karşı alınacak önlemler önemli bir sorun olarak yöneticilerin önünde yer almaktadır. Okulların yüz yüze eğitim ve uzaktan eğitim sistemlerinin karma olarak uygulandığı Türkiye’de bu sorunların çözümü için MEB, SB ve Bilim Kurulu ortak bir çalışma yürütmüştür.

Bu çalışmalar sonucunda SB “COVID-19 Salgın Yönetimi ve Çalışma Rehberi”ni yayımlayarak okulların da içinde bulunduğu birçok alanda alınması gereken önlemleri ortaya koymuştur. Bu rehberde, “okullara yönelik olarak; COVID-19’dan sorumlu bir okul yöneticisinin görevlendirilmesi, her ders faaliyetinden önce okulun genel temizliğinin su ve deterjanla yapılması, okullarda temassız ateş ölçer, maske, sıvı sabun ve el antiseptiği veya en az %70 alkol içeren kolonya bulundurulması, kullanılmış maskeler için kapaklı çöp kutularının temin edilmesi, okullarda en az 4 metrekareye bir kişi düşecek şekilde personel ve öğrenci planlaması yapılması, okula alınması gereken kişi

Tablo 1. Çalışmada kullanılan okullara ait öğrenci ve derslik sayısı verileri

Okulun Adı	Kodu	Konum	Sınıf Sayısı	Öğrenci Sayısı	Sınıfa Düşen Öğrenci Sayısı	Sınıf Boyutu (m ²)	Öğrenciye Düşen m ²
Bahçelievler Anadolu Lisesi	#1	Emek	24	778	32,4	49	1,51
Bahçelievler Nebahat Keskin İlkokulu	#2	Bahçelievler	28	584	20,9	40	1,91
Gülen Muharrem Pakoğlu Ortaokulu	#3	Emek	56	1180	21,1	49	2,32
Cumhuriyet Fen Lisesi	#4	Emek	29	674	23,2	49	2,11
Ulubatlı Hasan İlkokulu	#5	Yukarı	21	479	22,8	40	1,75
Bahçelievler Deneme Anadolu Lisesi	#6	Bahçelievler Yukarı	31	907	29,3	49	1,67
İMKB Alpaslan İmam Hatip Ortaokulu	#7	Bahçelievler	32	338	10,6	49	4,62
Bahçelievler 100. Yıl Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	#8	Emek	22	465	21,1	49	2,32
Hamdullah Suphi İlkokulu	#9	Emek	26	672	25,8	40	1,55

Tablo 2. Öğrenci sayısı ve bahçe alanı verileri

Okulun Adı	Kodu	Konum	Öğrenci Sayısı	Bahçe Alanı (m ²)	m ² ye Düşen Öğrenci Sayısı	4 m ² ye Düşen Öğrenci Sayısı
Bahçelievler Anadolu Lisesi	#1	Emek	778	1.589,69	0,5	2,0
Bahçelievler Nebahat Keskin İlkokulu	#2	Bahçelievler	584	3.212,26	0,2	0,8
Gülen Muharrem Pakoğlu Ortaokulu	#3	Emek	1180	3.393,55	0,3	1,2
Cumhuriyet Fen Lisesi	#4	Emek	674	5.874,34	0,1	0,4
Ulubatlı Hasan İlkokulu	#5	Yukarı	479	1.449,43	0,3	1,2
Bahçelievler Deneme Anadolu Lisesi	#6	Bahçelievler Yukarı	907	2.061,45	0,4	1,6
İMKB Alpaslan İmam Hatip Ortaokulu	#7	Bahçelievler	338	3.178,65	0,1	0,4
Bahçelievler 100. Yıl Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	#8	Emek	465	775,40	0,6	2,4
Hamdullah Suphi İlkokulu	#9	Emek	672	2.462,01	0,3	1,2

Tablo 3. Sınıf verileri

Okulun Adı	Kodu	Konum	Sınıfa Düşen Öğrenci Sayısı	Sınıf Boyutu (m ²)	m ² ye Düşen Öğrenci Sayısı	4 m ² ye Düşen Öğrenci Sayısı
Bahçelievler Anadolu Lisesi	#1	Emek	32,4	49	0,7	2,8
Bahçelievler Nebahat Keskin İlkokulu	#2	Bahçelievler	20,9	40	0,5	2,0
Gülen Muharrem Pakoğlu Ortaokulu	#3	Emek	21,1	49	0,4	1,6
Cumhuriyet Fen Lisesi	#4	Emek	23,2	49	0,5	2,0
Ulubatlı Hasan İlkokulu	#5	Yukarı	22,8	40	0,6	2,4
Bahçelievler Deneme Anadolu Lisesi	#6	Bahçelievler Yukarı	29,3	49	0,6	2,4
İMKB Alpaslan İmam Hatip Ortaokulu	#7	Bahçelievler	10,6	49	0,2	0,8
Bahçelievler 100. Yıl Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	#8	Emek	21,1	49	0,4	1,6
Hamdullah Suphi İlkokulu	#9	Emek	25,8	40	0,6	2,4

3.2. Veri toplama

Çalışmada kullanılan veriler Tablo 4'te gösterilmiş olup, poligon, çizgi ve nokta verileri Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nde belirtilen hata sınırları dahilinde MEB'den temin edilmiştir. Öznitelik verileri de MEB tarafından elde edilmiş ve doğruluğu kontrol edilmiştir. Gerekli analizleri yapabilmek için tüm

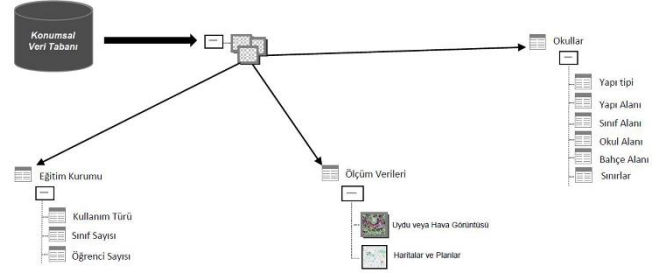
ölçme materyalleri farklı kaynaklardan temin edilmiştir. Girdi verileri olarak, imar planları, Google haritalar, ortofotolar, 2B ve 3B sayısal fotogrametrik haritalar ve öznitelik verileri, okul bahçe alanlarının konumunu ve sınıf boyutları da dahil olmak üzere çıktı verilerini tanımlamak için kullanılmıştır. Ardından uygulama aşamasına geçilerek gerekli tüm değerlendirmeler yapılmıştır.

Tablo 4. Uygulama çalışmasında kullanılan veri katmanları

Veri Katman Adı	Veri Tipi	Edinim Tarihi	Veri Kaynağı	Ölçek
İmar Planı	Raster	2021	MEB	1/1000
Ortofoto Harita	Image	2021	MEB	1/5000
Google Maps 2D/3D	Image	2021	Google	-
Fotogrametrik Haritalar	Vektör	2021	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	1/5000
Okul Binası	Poligon	2021	MEB	1/1000
Eğitim Kurumu	Nokta	2021	MEB	1/1000
Okul Alanı	Poligon	2021	MEB	1/1000
Okul Sınırı	Çizgi	2021	MEB	1/1000

3.3. Veri tabanı tasarımı

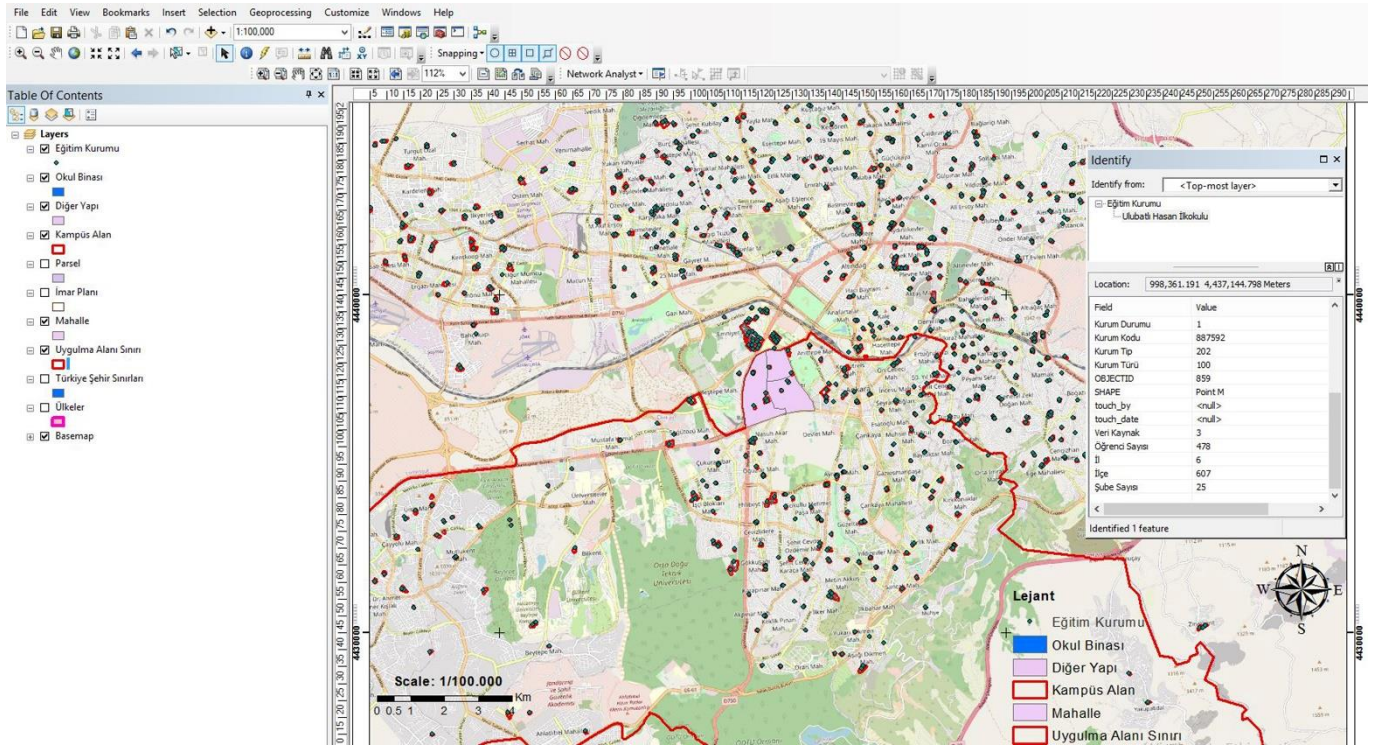
Çalışmada sistemdeki verileri işlemek, düzenlemek, yönetmek ve analiz etmek için ArcGIS 10.5 ve NetCAD 7.6 yazılımları kullanılmıştır. Bu çalışmada, WGS-84 Datum ve UTM projeksiyon Zone 36N koordinat sistemi kullanılmıştır. Verilerin koordinat dönüşümleri ArcGIS yazılımı ile yapılmıştır. İhtiyaç duyulan veriler ArcGIS yazılımında sayısallaştırılmış ve Feature Class formatına dönüştürülerek nokta, çizgi, poligon ve raster tiplerinde kullanılmıştır (Şekil 3).

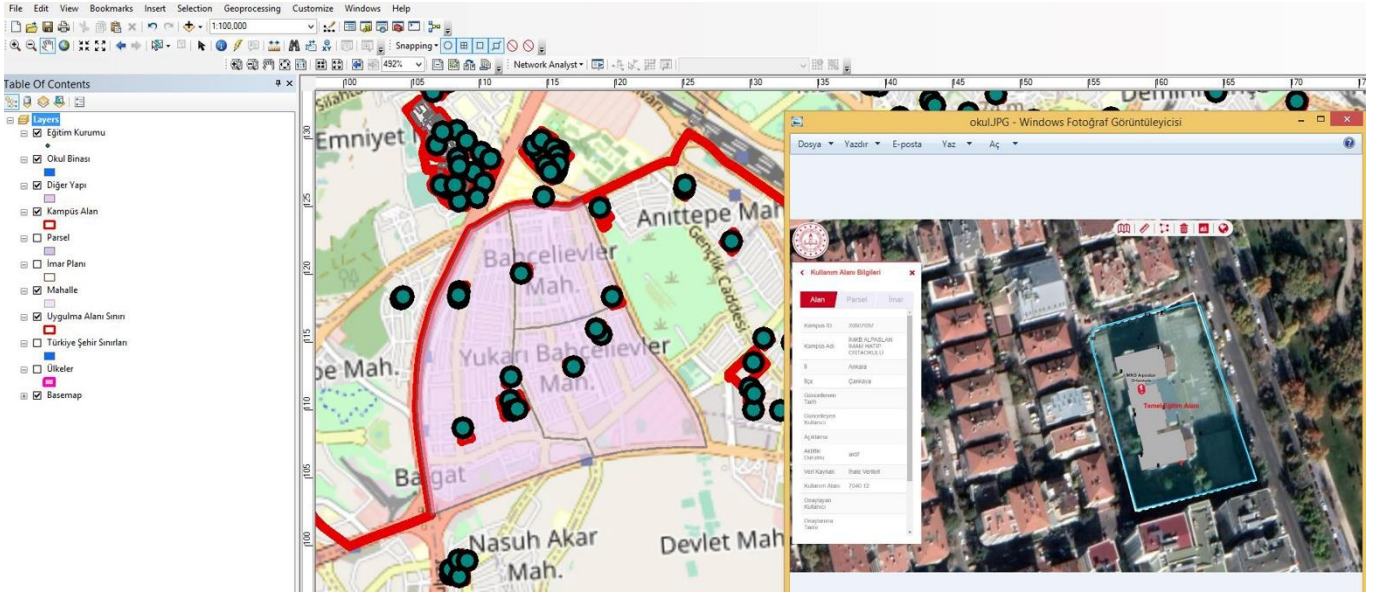
**Şekil 3.** Veri tabanı tasarımı

4. Uygulama

Uygulamanın temeli, CBS'nin etkin sorgulama ve analiz yeteneklerini kullanarak sürdürülebilir eğitim politikalarının mevcut durumunu ve geleceğe yönelik bakış açılarının neler olabileceğini ortaya çıkarmaktır. Buna göre ilk aşamada bir ön değerlendirme çalışması yapılmış ve tüm veriler CBS ortamına aktarılmıştır (Şekil 4).

Seçilen okul bahçesi alanları ve derslikler, geometrik ve öznitelik verileri ile 4 m² sosyal mesafe kuralı kullanılarak incelenmiştir (Şekil 5). Şekil 5, bir okul binasını, bahçe alanını ve eğitimle ilgili tüm gerekli verileri göstermektedir. Uygulama aşamasında tüm okullar aynı yaklaşımla değerlendirilmiştir.

**Şekil 4.** Ön değerlendirme aşaması: Gerekli verilerin toplanması ve mevcut durumun belirlenmesi



Şekil 5. #5 kodlu okula ait veriler

Öncelikle salgın dönemi göz önünde bulundurulmadan sınıfların mevcut durumu MEB'in yayımladığı Eğitim Yapıları için Asgari Tasarım Standartları Kılavuzuna göre değerlendirilmiştir. Uygulama alanındaki #1, #6 ve #9 kodlu okullardaki sınıflarda her bir öğrenciye ayrılması gereken alanın kılavuzun belirttiği minimum alandan az olduğu belirlenmiştir. Bu durum bahse konu okullardaki sınıfların standartların altında nitelik taşıdıklarını göstermektedir.

#1, #2, #3, #4 kodlu okulların bahçe alanlarındaki sosyal mesafe kuralı (Tablo 2) dikkate alındığında 4 m²'ye düşen öğrenci sayısının #1 ve #3 kodlu okullarda 1'in üstünde olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla bu okullardaki bahçe alanının öğrencilerin kullanımı için yetersiz olduğu görülmüştür. Sınıflarda 4 m²'ye düşen öğrenci sayısı (Tablo 3) #1 kodlu okulda 2,8, #2 kodlu okulda 2,0, #3 kodlu okulda 1,6 ve #4 kodlu okulda 2,0'dır. Bu sonuçlara göre yüz yüze eğitim ancak bu okullarda gruplama yöntemiyle mümkün olabilmektedir.

#5, #6, #7, #8, #9 kodlu okulların bahçe alanlarında sadece #7 kodlu okulun öğrenciler için uygun bahçe alanına sahip olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla #5, #6, #8 ve #9 okullardaki bahçe alanının öğrencilerin kullanımı için yetersiz olduğu görülmüştür. Sınıflarda 4 m²'ye düşen öğrenci sayısı #5 kodlu okulda 2,4, #6 kodlu okulda 2,4, #7 kodlu okulda 0,8, #8 kodlu okulda 1,6 ve #9 kodlu okulda 2,4'tür. Bu sonuçlara göre #7 kodlu okul dışındaki okullarda yüz yüze eğitim ancak gruplama yöntemiyle mümkün olabilmektedir.

5. Bulgular

5.1. Okul bahçeleri açısından COVID-19 önlemlerinin analizi

Çalışma alanında gerçekleştirilen uygulama sonucunda, okulların sadece üç tanesinde (#2, #4, #7) öğrencilerin kurallara uyması koşuluyla okul bahçelerinin sağlıklı bir şekilde kullanılacağı belirlenmiştir. Öte yandan, eğitim-öğretim faaliyetlerinin yürütülmesi için öğrencilerin iki ayrı gruba bölünmesi halinde #8 kodlu okul dışındaki tüm okullarda sağlıklı bir

eğitim ortamının oluşacağı görülmüştür. #8 kodlu okulda ise üç ayrı grubun oluşturulması halinde 4 m²'ye düşen öğrenci sayısı 0,8 olarak belirlenmiştir. Bu durum #8 kodlu okuldaki öğrencilerin, eğitim-öğretim faaliyetlerinde aksaklığa sebep vermemesi için öğrenci sayısı ve bahçe kullanımı açısından daha uygun olan diğer okullara nakledilmesi gerektiğini göstermiştir. Alternatif olarak, #8 kodlu okulda öğrenciler en az üç ayrı gruba ayrılarak haftada bir ya da iki kez okula gelebilmeleri için idareciler tarafından bir program yapılabileceğini göstermiştir.

5.2. COVID-19 önlemlerinin sınıflar açısından analizi

Öğrenci sayısı ve sosyal mesafe kriterleri göz önüne alındığında sınıflarda eğitim-öğretim faaliyetlerinin yürütülmesinin riskli olduğu görülmüştür. Uygulama alanındaki okullardan sadece #7 kodlu okulda herhangi bir gruplamaya gerek olmadan eğitim-öğretim faaliyetlerini devam ettirebilecek durumdadır.

Öğrencilerin iki gruba ayrılması planlınırsa, sadece 4 okul, kriterleri karşılayabilmektedir (Tablo 5).

İkili gruplandırılabilir okullar dışında öğrencilerin sınıflara göre üçlü gruplara ayrılarak eğitim-öğretim faaliyetlerinde bulunması halinde yalnızca 4 okulun bu kriterlere uyduğu tespit edilmiştir (Tablo 6).

6. Sonuçlar

COVID-19 pandemisi, etkileri ve dünyaya yayılma hızı ile eğitim politikalarında ve okulların sıhhi güvenliğinde önemli değişikliklere yol açmıştır. Bu nedenle devletler yeni tedbirlerle sağlıklı ve güvenilir eğitim ortamları oluşturmak zorunda kalmışlardır. Ayrıca eğitim ve sağlık politikalarında gerekli düzenlemelerin yapılması tüm dünyada hayati bir işlev görmektedir. Türkiye'de özellikle başkanlık sistemine geçişle birlikte yapılan yasal düzenlemeler, ihtiyaçları karşılayacak ve geleceğe yönelik bir vizyon oluşturacak yeni yaklaşımların önünü açmıştır. Pandemiden en çok etkilenen alanlardan biri olan eğitimde, sürdürülebilir bir eğitim sisteminin

oluşturulabilmesi için okulların bahçelerinin ve dersliklerinin öğrencilerin sağlığı için çok dikkatli planlanması gerekmektedir. Çalışma boyunca, çalışma alanı içerisinde yer alan 9 okul ile ilgili analiz ve

değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda mevcut eğitim politikasının pandeminin getirdiği sınırlamalara daha uygun hale getirilmesi için çeşitli yeni politika önerileri ortaya konmuştur.

Tablo 5. İkili gruplandırılabilir okullar ve özellikleri

Okulun Adı	Kodu	Sınıfa Düşen Öğrenci Sayısı	Sınıf Boyutu (m ²)	4 m ² 'ye Düşen Öğrenci Sayısı	İkili Gruplandırmada 4 m ² 'ye Düşen Öğrenci Sayısı
Bahçelievler Nebahat Keskin İlkokulu	#2	20,9	40	2,0	1,0
Gülen Muharrem Pakoğlu Ortaokulu	#3	21,1	49	1,6	0,8
Cumhuriyet Fen Lisesi	#4	23,2	49	2,0	1,0
Bahçelievler 100. Yıl Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	#8	21,1	49	1,6	0,8

Tablo 6. Üçlü gruplandırılabilir okullar ve özellikleri

Okulun Adı	Kodu	Sınıfa Düşen Öğrenci Sayısı	Sınıf Boyutu (m ²)	4 m ² 'ye Düşen Öğrenci Sayısı	Üçlü Gruplandırmada 4 m ² 'ye Düşen Öğrenci Sayısı
Bahçelievler Anadolu Lisesi	#1	32,4	49	2,8	0,9
Ulubatlı Hasan İlkokulu	#5	22,8	40	2,4	0,8
Bahçelievler Deneme Anadolu Lisesi	#6	29,3	49	2,4	0,8
Hamdullah Suphi İlkokulu	#9	25,8	40	2,4	0,8

Çalışma alanındaki okulların %33,3'ündeki sınıfların MEB'in belirlediği standartları sağlayamaması bu okullardaki sağlık ve eğitim önlemlerinin daha dikkatli şekilde alınmasını ve öğrencilerin gerekirse farklı eğitim kurumlarına taşınmasının gerekliliğini göstermektedir.

Bu çalışmada pandemi şartlarıyla değişen sağlık ve eğitim politikaları, mevcut durum analizi ile birlikte CBS yetenekleri ve yasal düzenlemeler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Okul bahçelerinin sadece %33,3'ünde öğrenciler için sosyal mesafe kuralının uygulanabilmesi, okul alanlarındaki fiziki planlanmanın iyi yapılmadığını göstermektedir.

Okulların merkezi bir bölgede olması ise okullarda öğrenci yoğunluğunun yüksek olmasına neden olmaktadır. Bu durumda okul binalarının sadece %44,4'ünün dersliklerin ikili gruplandırılmasına uygun olması bu okullardaki eğitim-öğretim faaliyetlerinin planlanmasının daha dikkatli yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Ayrıca öğrenci yoğunluğunu azaltmak için bölgedeki kullanılmayan okul alanlarına yatırım yapılması elzemdir. Böylece pandemi döneminde öğrencilerin daha az öğrenci yoğunluğuna sahip okullara taşınması sorunların çözümüne katkı sağlayabilir.

Kurumlar tüm dünyada eğitim alanlarında çok yoğun veri setlerini yönetmek zorundadır. Bu veri setleri farklı kriterlere göre analiz edildiğinden durum daha da karmaşık hale gelmektedir. Pandemi dönemleri, karar verme ve uygulama sürecinin hızlı ve güvenilir olması gereken aşamalar olduğundan, CBS ve araçları planlama, karar verme ve analiz aşamalarında önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada CBS, sınıf ve bahçe alanlarının analizlerini yaparak, özellikle okul alanları ile ilgili sağlık önlemlerinin belirlenmesinde çok aktif bir rol oynamıştır. CBS'nin ayrıca öğrenci sağlığı açısından alanları analiz etmek, okulları bölgesel olarak karşılaştırmak, salgının yayılım alanını gözlemlemek ve

bu alandaki riskli okulları belirlemek için çok yararlı bir araç olduğu görülmüştür.

Türkiye'de politikalar oluşturmak ve bu politikaların uygulanmasını izlemek amacıyla Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Politika Kurulları kurulmuştur. Bu aşamada politika kurulları ile politikalarını uygulayan kurumlar arasındaki iletişim çok önemlidir. Bu amaçla Sağlık ve Gıda Politikaları Kurulu ile Eğitim ve Öğretim Politikası Kurulları arasında işbirliği yapılmalıdır. Bu, pandemi dönemleri için sürdürülebilir acil eylem planlarının oluşturulmasına yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada sunulan yaklaşım, Türkiye'deki ve dünyadaki herhangi bir yerleşim alanına uygulanabilir ve mevcut politikalarla birlikte değerlendirilerek sorunlar tespit edilebilir. Ayrıca MEB tarafından geliştirilen MEBCBS portalında derslikler, okul binaları, bahçe alanları, öğrenci, öğretmen sayısı ve salgın yayılma verilerinin birlikte analiz edileceği bir "acil eylem modülü" oluşturulması önerilmektedir.

Araştırmacıların katkı oranı

Murat Başeğmez: Literatür taraması, Arazi çalışması, Modelleme, Makale yazımı; **Cevdet Coşkun Aydın:** Düzenleme

Çatışma beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Ashour H M, Elkhatib W F & Rahman M M (2020). Insights into the recent 2019 novel Coronavirus (SARS-CoV-2) in light of past human Coronavirus outbreaks. *Pathogens*, 9(3), 1–15.
- Bakiler O (2020). Farklı ülkelerde okula dönüşte corona önlemleri. Amerika'nın sesi. <https://www.amerikaninsesi.com/a/farkl%C4%B1-ulkelerde-okula-donuste-corona-onlemleri/5568041.html>. Erişim Tarihi: 30 Haziran 2021.
- Başegmez M & Taşdemir İ (2019). MEBCBS İle Okul Alanlarının Planlanması ve Yönetilmesi İstanbul ili Pendik İlçesi Örneği. TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara, 133-142.
- Eren E (2020). The impact of the new coronavirus on the Turkish education policy practices: New regulations of the ministry of national education and the council of higher education. *Jornal of Higher Education (Turkey)*, 10(2), 153-162.
- ESRI (2020). Education. <https://www.esri.com/en-us/industries/education/overview>. Erişim Tarihi: 25 Haziran 2021.
- ETF (2020). Coping with COVID-19: Mapping education and training responses to the health crisis in ETF partner countries. Torino, Italy: ETF Publishing.
- Güngörer F (2020). The effect of COVID-19 on Social Institutions. *The Journal of Social Sciences Institute*, 393-428.
- Hopegood S (2020). Coronavirus: Our principles, values, and shared humanity. https://www.worldsofeducation.org/en/woe_home_page/woe_detail/16719/%C2%ABcoronavirus-nos-principes-nos-valeurs-et-notrehumanit%C3%A9-commune-%C2%BB-par-susan-hopgood. Erişim Tarihi: 2 Temmuz 2021.
- Liu D, Zheng X & Wang H (2018). Interoperable scenario simulation of land-use policy for Beijing–Tianjin–Hebei region, China. *Land Use Policy*, 75, 155–165.
- MEB (2019). Ministry of national education statistics formal education: 2018–2019. http://sgb.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2019_09/30102730_meb_istatistikleri_orgun_egitim_2018_2019.pdf. Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2021.
- MEB (2020a). 2020-2021 Eğitim ve Öğretim Yılı Çalışma Takvimi konulu 2020/4 sayılı Genelge. https://ogm.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2020_07/11203132_03183844_2020-2021_CYalYsYma_Takvimi_Genelge-2020-4_03.07.2020.pdf. Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2021.
- MEB (2020b). Okullar yüz yüze eğitime hazırlanıyor. <https://www.meb.gov.tr/okullar-yuz-yuze-egitime-hazirlaniyor/haber/21605/tr>. Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2021.
- MEB (2020c). Okul öncesi eğitim ve 1.sınıflar yüz yüze eğitime başlıyor. <https://www.meb.gov.tr/okul-oncesi-egitim-ve-1-siniflar-yuz-yuze-egitime-basliyor/haber/21614/tr>. Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2021.
- MEB (2020d). Özel eğitim öğrencileri için her ile bir anaokulu kuruldu. <https://www.meb.gov.tr/ozel-egitim-ogrencileri-icin-her-ile-bir-anaokulu-kuruldu/haber/21652/tr>. Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2021.
- MEB (2020e). Okullarda yüz yüze eğitimde ikinci aşama 12 Ekim Pazartesi başlıyor. <https://www.meb.gov.tr/okullarda-yuz-yuze-egitimde-ikinci-asama-12-ekim-pazartesi-gunu-basliyor/haber/21776/tr>. Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2021.
- MEB (2020f). Eğitim Kurumlarında Hijyen Şartlarının Geliştirilmesi ve Enfeksiyon Önleme Kontrol Kılavuzu. http://merkeziisgb.meb.gov.tr/meb_iys_dosyalar/2020_07/28133804_ETM_KURUMLARI_KILAVUZ_BAS_KI_4.pdf. Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2021.
- MEB (2020g). 2020 yılı eğitim yapıları tip projeleri. <http://iedb.meb.gov.tr/projeler/index.htm>. Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2021.
- MEB (2020h). Eğitim Yapıları Asgari Tasarım Standartları Kılavuzu. <http://iedb.meb.gov.tr/>. Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2021.
- Mulvenon S.W & Airola D.T (2020). A Case Study: Using geographic information systems for education policy analysis. *Educational Research*, 30(2), 45-56.
- OECD (2020). A framework to guide an education response to the COVID-19 Pandemic of 2020. Paris: OECD Publishing. https://www.hm.ee/sites/default/files/framework_guide_v1_002_harward.pdf. Erişim Tarihi: 28 Haziran 2021.
- Özer M (2020). Educational Policy Actions by the Ministry of National Education in the times of COVID-19. *Kastamonu Education Journal*, 28 (3), 1124-1129.
- Pardo I.F, Napoletano B.M, Verges F.R, et al (2020). Spatial analysis and GIS in the study of COVID-19. A review. *Science of the Total Environment*, 739, 140033.
- Pedro J, Silva C & Pinheiro M.D (2019). Integrating GIS spatial dimension into BREEAM communities sustainability assessment to support urban planning policies, Lisbon case study. *Land Use Policy*, 83, 424–434.
- Saavedra J (2020). Educational challenges and opportunities of the Coronavirus (COVID-19) pandemic. <https://blogs.worldbank.org/education/educational-challenges-and-opportunities-covid-19-pandemic>. Erişim Tarihi: 28 Haziran 2021.
- Sarwar S, Waheed R, Sarwar S, et al (2020). COVID-19 challenges to Pakistan: Is GIS analysis useful to draw solutions? *Science of the Total Environment*, 730, 139089.
- SB (2020). COVID-19 salgın yönetimi ve çalışma rehberi. <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66393/covid-19-salgin-yonetimi-ve-calisma-rehberi.html>. Erişim Tarihi: 5 Temmuz 2021.
- SB (2021). COVID-19 Bilgilendirme Sayfası. <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66935/genel-koronavirus-tablosu.html>. Erişim Tarihi: 3 Temmuz 2021.
- Turkish Statistical Institute (TSI) (2019). Population and demography. <https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=n%C3%BCfus&dil=2>. Erişim Tarihi: 30 Haziran 2021.

- UNESCO (2020a). Responding to COVID-19 and beyond: The global education coalition in action. Paris: OECD Publishing. <https://en.unesco.org/covid19/educationresponse/globalcoalition>. Erişim Tarihi: 29 Haziran 2021.
- UNESCO (2020b). Global Education Monitoring Report. Inclusion and education: All means all. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373718>. Erişim Tarihi: 29 Haziran 2021.
- UNESCO (2020c). What Have we learnt?: Overview of findings from a survey of ministries of education on national responses to COVID-19. http://tcg.uis.unesco.org/wp-content/uploads/sites/4/2020/10/National-Education-Responses-to-COVID-19-WEB-final_EN.pdf. Erişim Tarihi: 29 Haziran 2021.
- Ustaoglu E & Aydınoglu A.C (2020). Suitability evaluation of urban construction land in Pendik district of Istanbul, Turkey. Land Use Policy, 99, 104783.
- WHO (2021). WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. <https://covid19.who.int/>. Erişim Tarihi: 5 Temmuz 2021.
- Xie H, He Y & Choi Y (2020). Warning of negative effects of land-use changes on ecological security based on GIS. Science of the Total Environment, 704, 135427.
- YÖK (2020). YÖK dersleri platformu öğrencilerin erişimine açıldı. <https://www.yok.gov.tr/HaberBelgeleri/BasinDuyurusu/2020/yok-dersleri-platformu-erisime-acildi.pdf>. Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2021.
- Yomralıoğlu T (2009). Coğrafi bilgi sistemleri temel kavramlar ve uygulamalar. Seçil Ofset, İstanbul, 480 ss.
- Zhou C, Su F & Pei T (2020). COVID-19: Challenges to GIS with Big Data. Geography and Sustainability, 1, 77–87.



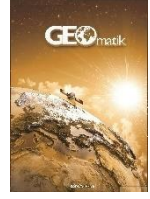
© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



Düzce bölgesi taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesi

Esin Oğuz¹, Kahraman Oğuz^{*2}, Kurtuluş Öztürk¹

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Tahminler Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye

²Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Düzce Bölgesi
Taşkın Modellemesi
Taşkın Duyarlılık Alanları
Coğrafi Bilgi Sistemleri
Analitik Hiyerarşi Yöntemi

ÖZ

Son yıllarda ülkemizde sıkça yaşanan taşkın olayları, önemli can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Düzce bölgesi, coğrafi yapısı nedeniyle taşkın olaylarının sıkça yaşandığı bölgelerden birisidir. Bu çalışmada, yağışa bağlı taşkın duyarlılık alanlarındaki değişimi görmek amacıyla iki farklı koşula göre Düzce bölgesinin taşkın duyarlılık alanları modellenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, uzun yıllar yağış ölçüm verilerine göre taşkın duyarlılık alanları modellenmiştir. İkinci aşamada ise, Düzce’de 17-18 Temmuz 2019 tarihinde gerçekleşen taşkına ait yağış verileri ile tekrar modelleme yapılmıştır. Bu yolla, hem uzun yıllar yağış verilerine göre, hem de taşkın olayının gerçekleştiği güne ait yağış verileri ile taşkın duyarlılık haritaları üretilerek aradaki değişim karşılaştırılmıştır. Çalışmada yağış verilerinin dışında eğim, bakı, akarsuya uzaklık, jeoloji, arazi kullanım ve toprak haritaları gibi diğer sayısal haritalardan yararlanılmıştır. Modelleme yapılırken son yıllarda sıkça kullanılan Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle öncelikle taşkına duyarlılık durumları göz önünde bulundurularak haritalara ağırlık dereceleri işlenmiştir. Sonrasında haritalar üst üste karşılaştırılarak her iki senaryo için ayrı ayrı modelleme aşaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, ÇKKV-AHY gibi istatistiksel yöntemler, CBS teknikleri ve radar ürünleri ile yapılan tespitlerin gerçekleşen taşkın hadiselerinin analizinde kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Determination of flood susceptibility areas of Düzce region

Keywords

Düzce Region
Flood Modeling
Flood Susceptibility Areas
Geographical Information Systems
Analytical Hierarchy Method

ABSTRACT

Frequent flood events have been causing remarkable loss of life and property in Turkey in recent years. Düzce is one of the regions where flood events are frequently experienced due to its geographical structure. In this study, flood susceptibility areas in Düzce region are modeled with two different conditions in order to investigate the changes in the flood susceptibility areas due to precipitation. In the first stage of the study, flood susceptibility areas are modeled by using long-term records of rainfall data. In the second stage, remodeling is done by employing the rainfall data of the flood event occurred on 17-18 July 2019 in Düzce. Long-term rainfall amount and the rainfall amount measured during the flood event are obtained and the variation between them is investigated. In addition to rainfall data, other digital maps such as slope, aspect, distance to stream, geology, land use and soil maps are used in the study. Analytical Hierarchy Method, which is one of the Multi-Criteria Decision Making Methods that has been used frequently in recent years is selected and the degrees of gravity are recorded on the maps by considering the flood susceptibility. The maps are overlapped and the modeling phase is carried out separately for both scenarios. As a result of the study, it is depicted that the results obtained by means of GIS techniques, weather radar products as well as statistical methods such as Multi-Criteria Decision Making Methods, can be used efficiently in the analysis of flood events.

*Sorumlu Yazar

(esoguz@mgm.gov.tr) ORCID ID 0000-0001-5449-0613

(koguz@mgm.gov.tr) ORCID ID 0000-0001-5305-6145

(kozturnk@mgm.gov.tr) ORCID ID 0000-0002-9395-3040

Kaynak Göster (APA)

Oğuz E, Oğuz K & Öztürk K (2022). Düzce bölgesi taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesi. *Geomatik*, 7(3), 220-234

1. Giriş

Taşkınlar; uzun süreli şiddetli yağışlar, heyelanlar, kar erimesi, barajlar ve/veya depolanma tesislerinden kontrolsüz su bırakılması, nehir yataklarının kontrolsüz kentleşmeye açılması sonucu akarsu yataklarının daralması gibi nedenlerle, yerleşim alanlarına, çevre arazilere, alt yapı tesislerine zarar vererek, taşkın meydana geldiği bölgede sosyal ve ekonomik faaliyetlerin kesintiye uğramasına sebep olan, canlı hayatını olumsuz yönde etkileyen maddi ve manevi kayıplara sebep olan doğal afet çeşitlerinden biridir (Demir ve Keskin, 2021). Son yıllarda ülkemizde sıklıkla görülen taşkınlar, önemli maddi ve manevi kayıplara yol açan doğal afet çeşitlerinden birisidir. Hidro-meteorolojik afetlerin etkisi ve şiddeti son yıllarda giderek artmaktadır. İlerleyen yıllarda da küresel iklim değişikliğinin ve artan çarpık kentleşmenin etkisiyle, hidro-meteorolojik afetlerde daha fazla artışlar beklenmektedir (Kadıoğlu ve Özdamar, 2008). Bu durumun ekonomik kayıpları beraberinde getirmesi de kaçınılmazdır. Türkiye İklim Değişikliği Risk Yönetimi Raporu, iklim değişikliği nedeniyle ülkemizde görülen sellerin sebep olduğu ekonomik kayıpların, depremler sebebiyle gerçekleşen ekonomik kayıplara eşit olduğunu vurgulamaktadır (Kadıoğlu, 2012). Küresel iklim değişikliğinin etkileri, iklim kuşaklarının kayması, hava sıcaklıklarında artışların olması, buzulların erimesi, buzulların erimesine bağlı deniz seviyelerinde yükselme olarak bilinse de, bu etkenlerin beraberinde getirdiği şiddetli fırtınalar ve yağışlar gibi meteorolojik hadiseler sonucu taşkın ve sel hadiselerinin şiddeti ve sıklığında artış görülmektedir. Atmosferdeki nem, yağışı etkileyen bir parametredir ve hava sıcaklıklarındaki artış ile birlikte atmosferdeki nem miktarı da artar. Özalp (2009) tarafından belirtildiği üzere, Karadeniz ve Akdeniz sahillerinde olduğu gibi nemli hava akışına dik yüksek rakımlı alanlarda şiddetli yağışlar ve büyük taşkınlar oluşur. Yağış parametresi taşkını etkileyen önemli bir etken olmasına rağmen, hatalı arazi kullanımı, akarsu yataklarının ve havza özelliklerinin tahribatı gibi olaylar da yaşanabilecek taşkınların büyüklüğünü etkilemektedir. Bunun yanında akarsular üzerine inşa edilen bazı yapılar, riskli olmayan özelliklerin riskli olarak analiz edilmesine sebep olmaktadır. Bu ise, akarsu yataklarında arazi kullanımı açısından yapılacak risk yönetimi çalışmalarında bazı yeni planların dikkate alınmasına neden olmaktadır (Özdemir, 2007).

Tüm dünyada taşkın risk ve duyarlılık analizi amacıyla bazı yöntem ve araçlar geliştirilmiştir. Risk yönetimi sistematik bir süreç olup, riskin belirlenmesi, çözümlenmesi ve büyüklüğünün tespit aşamalarından oluşur. Taşkın bölgelerinde risk yönetimi altında gerçekleştirilecek çalışmalar, özellikle taşkın sebep olacağı olumsuzlukları en aza indirmek, can ve mal kayıplarını önlemek için önemlidir. Taşkın risk yönetimi çalışmaları içerisinde, taşkın açısından riskler tespit edilmekte, senaryolar hazırlanmakta, zarar azaltma önlemleri seçilmekte, elde edilen analizler harita ve grafiklerle gözler önüne serilmekte, kullanılması muhtemel imkanlar tespit edilmekte ve sonrasında afet müdahalesi açısından optimum seçenekler hakkında

karar alınıp uygulamaya konulmaktadır (Özcan ve ark., 2009). Duyarlılık analizi de riski belirleme yöntemlerinden birisidir.

Dünyada taşkın analizi amacıyla geliştirilen en önemli araçlardan bir tanesi Coğrafi Bilgi Sistemleridir (CBS). CBS, son yıllarda özellikle risk ve duyarlılık analizlerinde sıkça kullanılmaktadır. Bu araç cazip kılan en önemli etkenlerden bir tanesi, uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin bir arada ve büyük bir coğrafyada kullanılabilir olmasıdır.

Uzun yıllardan beri taşkın risk ve duyarlılığına yönelik olarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Ancak, Düzce bölgesi için yapılmış bir taşkın duyarlılık çalışması bulunmamaktadır. Bu çalışmada, Düzce ilinin farklı yağış koşulları göz önünde bulundurularak taşkın duyarlılık alanlarını belirlemek amacıyla; yer gözlemleri, meteorolojik radar ürünleri ve CBS teknolojisi ile havzaya ait morfolojik özellikler belirlenmiş ve havza karakteristik özelliklerine göre farklı senaryolar göz önüne alınarak çeşitli taşkın duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.

2. Yöntem

2.1. Çalışma alanı ve başlıca özellikleri

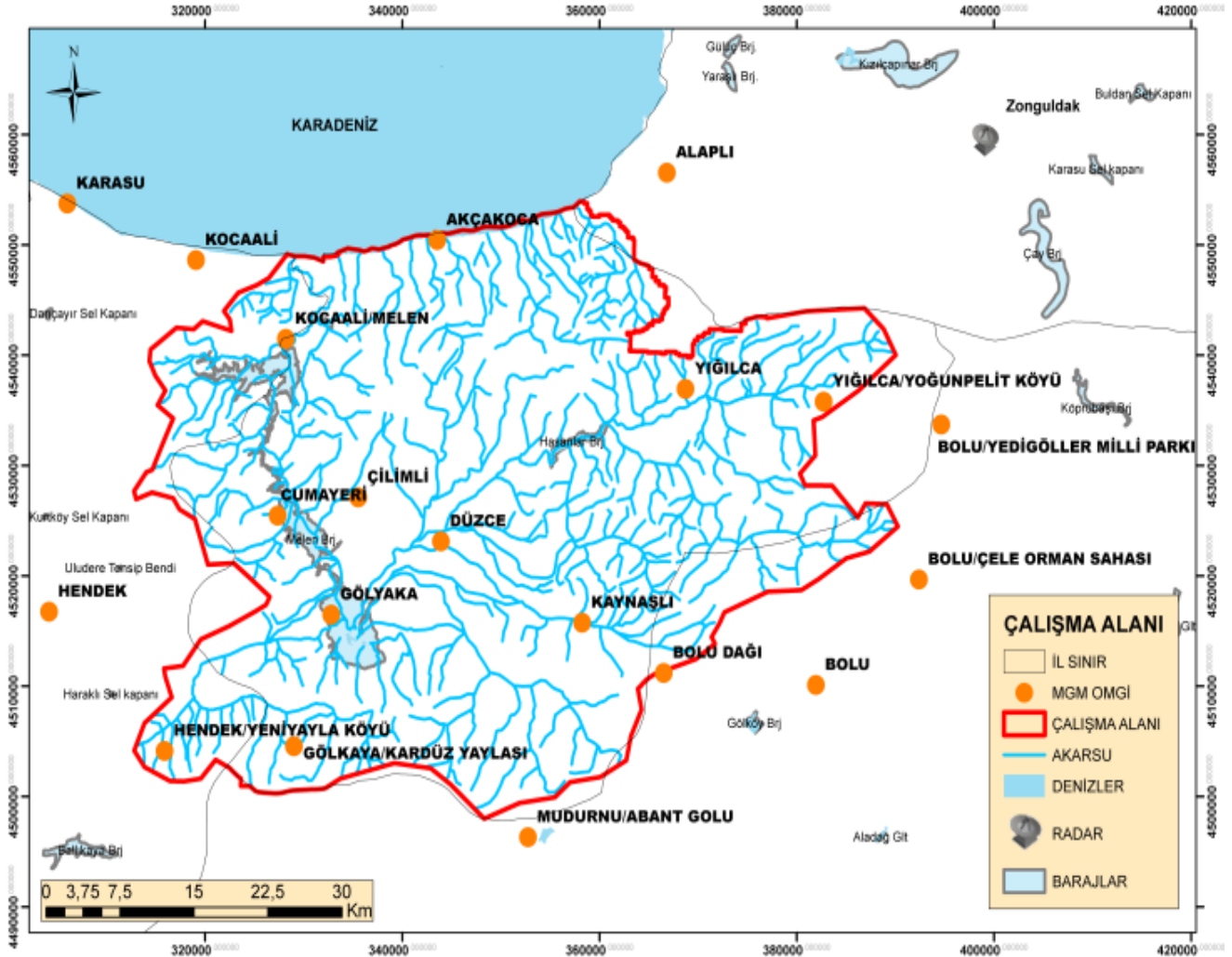
Çalışma alanını içeren Düzce ili, Karadeniz Bölgesi'nin batısında yer almaktadır. Düzce havzasının ortasında 360 km² genişliğinde Düzce Ovası, doğusunda Bolu Dağları, batısında Sakarya, kuzeyinde Orhan Dağları ve Karadeniz, güneyinde ise Abant dağları bulunmaktadır (Özaslan ve ark., 2001). Düzce ilinde çoğunlukla Karadeniz iklimi hâkim olmaktadır. Coğrafi yapısı nedeniyle yoğun yağış almaktadır. Bölgede en fazla yağış, sonbahar ve kış aylarında görülmektedir. Yaz ayları ise sıcak ve az yağışlı geçmektedir. Düzce ilinin yıllık sıcaklık ortalaması 13-14°C, yıllık toplam yağış ortalaması ise 830 mm civarındadır. Yılın ortalama 144 günü yağışlı geçmektedir (MGM, 2021a).

Düzce havzası dik yamaçlı ve çevre kaynakları düze yakın ova tabanı topoğrafyası nedeniyle, hemen hemen bütün havza kenarlarında alüvyon yelpazesi olmuştur. Havzadaki akarsular ise fazlaca bükümlü ve menderesli kanallıdır. Akarsular alüvyon yelpazelerinin dış kısımlarının ortalama yatak eğimleri ile Efteni Gölü arasında düşük kot farkı bulunması, akarsu yataklarının çok sığ kalmasına sebep olmaktadır. Bu drenaj özellikleri Düzce havzası için taşkın-sellenme riski oluşturur (Özaslan ve ark., 2001).

Batı Karadeniz havzasında yer alan Düzce bölgesinde, özellikle Düzce il merkezi, Gümüşova, Çilimli, Cumayeri, Gölyaka ilçelerinin bulunduğu alanda yüksekliğin deniz seviyesine kadar indiği ve eğimin azaldığı, çalışma alanının diğer alanlarında ise yükseklikle birlikte eğimin arttığı görülmektedir. Şehirleşmenin yoğun görüldüğü Düzce merkezi ve çevre ilçelerinin çevresindeki yüksek dağların varlığı ile birlikte yerleşim yerlerinin deniz seviyesi yüksekliğinde ve eğimin düşük olması, zemin ve arazi kullanım özellikleri nedenleriyle birlikte şehirleşmenin büyük ölçüde havza su toplama alanında olması, yağış ile beraberinde bölgede taşkın olaylarına sebep olmaktadır.

Çalışma alanı, Düzce il merkezi ve ile bağlı Akçakoca, Kocaali/Melen, Çilimli, Cumayeri, Gölyaka, Yiğilca, Kaynaşlı ve Hendek ilçelerinin bulunduğu havzayı kapsamaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı, seçili il ve ilçeler ve dahil olduğu havzalar dikkate alınarak, CBS teknolojilerinden biri olan ArcGIS 10.3 programında ile

Arazi Verilerini Ön İşleme (ArcHydro Terrain Preprocessing), Su Toplama Alanını Polygonlama (Catchment Polygon Processing) yöntemiyle çizdirilerek belirlenmiştir. Havza alanı belirlenirken 10m Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Model- DEM) verisi kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı

2.2. Araştırmanın modeli

Çalışmada Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemi kullanılmıştır. ÇKKV, birden çok ve uyum içerisinde olmayan kriterleri barındıran ve bu duruma modelleme yaklaşımıyla bir çözüm sağlayan süreci tanımlar. ÇKKV hayatın pek çok alanında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Baysal ve Tecim, 2006). ÇKKV yönteminin temel amacı, fazla sayıda kriterlerin varlığı durumunda, tüm seçenekleri göz önünde bulundurarak süreci kontrol altında tutmak ve hızlı bir şekilde çözüme ulaşmaktır (Öztürk, 2009). CBS ortamında kullanılabilen birçok ÇKKV yöntemi bulunmaktadır. Bu çalışmada, en sık kullanılan yöntemlerden birisi olan Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanılmıştır. AHY, fazla sayıda alternatifin ve karar vericilerin varlığı durumunda, ele alınan kriterlere göre karar verme amacıyla kullanılır. Kriter seviyeleri ve hiyerarşik seçenekler içeren AHY, karar üzerinde etkisi bulunan parametreler açısından kararların yüzde dağılımlarını

göz önüne alan bir karar verme ve modelleme yöntemidir (Özcan, 2017).

AHY'nin ilk aşaması, problemin hiyerarşik yapılandırmasını içermektedir. Bu aşamanın temel amacı, karar verme problemini alt ögelere ayırmak ve bu ögelerin birbiriyle ilişkilerini göz önüne seren bir modelleme yapmaktır. Sonrasında bu ögeler gruplandırılarak hiyerarşik bir yapı tasarlanır. AHY'nin ikinci aşamasında; bir karşılaştırmanın yapılabilmesi amacıyla tercih matrisleri oluşturulur. Bu matris nxn boyutundadır. Matrisin köşegen bileşenleri i=j olması durumunda, 1 değerini alır. Parametreler arası karşılaştırma işlemi, aralarındaki önem durumlarına göre karşılıklı olarak yapılır (Özcan, 2017; Yaralıoğlu, 2004). İkili karşılaştırma yöntemi, çoklu grupların birbirleri ile olan ilişkilerini değerlendirdiğinden, karar verme konusundaki karışıklığın azaltılmasını sağlamaktadır (Erten ve Coşkun, 2010). Son aşama olarak ise, faktörlerin önem dereceleri belirlenir,

ağırlıklı çakıştırma analizi ile katmanlar toplanır ve sonuç dağılımları bulunur.

Çalışmada, CBS araçlarından biri olan ArcGIS 10.3 yazılımı kullanılmıştır. Veri seti olarak, 1/25000'lik ölçekli Topografya haritalarından üretilen sayısal yükseklik modeli, eğim, bakı, yağış, jeoloji, toprak, arazi kullanım ve akarsuya olan uzaklık haritaları; yöntem

olarak ise ÇKKV Yöntemlerinden biri olan AHY kullanılmıştır. Tüm bu harita katmanları, CBS ortamında alt sınıflara ayrılarak, taşkın gerçeğindeki etki durumlarına göre ağırlık dereceleri verilmiş ve sonrasında bu katmanlar üst üste getirilerek (toplanarak) taşkın duyarlılık alanları tespit edilmiştir.

Tablo 1. Taşkın Duyarlılığına İlişkin Parametrelerin Önem ve Hiyerarşik Yapısı

JEOLOJİ (A.D: 5)	⇒	PALEOSEN (GRAİNOYİDLER)	A.D: 8
		EOSEN (KIRINTILAR, YER YER KARASAL)	A.D: 9
		PALEOSEN-EOSEN (GRAİNOYİDLER)	A.D: 5
		VOLKANİTLER VE SEDİMENTER KAYALAR	A.D: 9
		ÜST KRETASE (DASİT, RİYOLİT, RİYODASİT)	A.D: 4
		ÜST KRETASE-EOSEN (NETRİT KİREÇ TAŞLARI, KIRINTILAR VE KARBONATLAR)	A.D: 2
		ÜST PALEOSEN-EOSEN (KIRINTILAR VE KARBONATLAR)	A.D: 2
ARAZİ KULLANIM (A.D: 5)	⇒	SU YOLLARI, DENİZ VE OKYANUS	A.D: 2
		LİMANLAR, MİNERAL ÇIKARIM SAHALARI, İNŞAAT SAHALARI	A.D: 7
		GENİŞ YAPRAKLI ORMANLAR, KARIŞIK ORMAN, KESİKLİ ŞEHİR, İĞNE YAPRAKLI ORMANLAR	A.D: 1
		ÇIPLAK KAYA	A.D: 7
		SULANMAYAN KARIŞIK TARIM	A.D: 2
		DOĞAL BİTKİ ÖRTÜSÜ İLE BİRLİKTE TARIM ALANLARI	A.D: 2
		BİTKİ DEĞİŞİM ALANLARI, DOĞAL ÇAYIRLIKLAR, SEYREK BİTKİ ALANLARI	A.D: 3
EĞİM (A.D: 8)	⇒	0° - 3°	A.D: 9
		3° - 10°	A.D: 7
		10° - 20°	A.D: 5
		20° - 30°	A.D: 3
		30° >	A.D: 1
TOPRAK (A.D: 6)	⇒	YERLEŞİM (YR)	A.D: 8
		ALÜVYAL TOPRAKLAR (A)	A.D: 9
		KAHVERENGİ ORMAN TOPRAKLARI (M)	A.D: 5
		KOLÜVYAL TOPRAK (K)	A.D: 9
		KIRMIZI SARI PODZOLİK TOPRAK (Y)	A.D: 4
		YÜKSEK DAĞ ÇAYIR TOPRAK (Y)	A.D: 2
		KİREÇSİZ KAHVERENGİ ORMAN TOPRAKLARI(N)	A.D: 2
BAKİ (A.D: 7)	⇒	GÜNEY-GÜNEYDOĞU-GÜNEYBATI	A.D: 1
		DOĞU-BATI	A.D: 4
		DÜZ	A.D: 9
		KUZEY	A.D: 7
		KUZEYDOĞU-KUZEYBATI	A.D: 5
AKARSUYA OLAN UZAKLIK (A.D: 7)	⇒	0 - 208 m	A.D: 9
		208 - 430 m	A.D: 8
		430 - 665 m	A.D: 7
		665 - 927 m	A.D: 6
		927 - 1234 m	A.D: 5
		1234 - 1602 m	A.D: 4
		1602 - 2032 m	A.D: 3
		2032 - 2051 m	A.D: 2
		2051 - 3000 m	A.D: 1
YAĞIŞ (A.D: 7)	⇒	0 - 40 mm	A.D: 1
		40 - 60 mm	A.D: 2
		60 - 80 mm	A.D: 3
		80 - 90 mm	A.D: 4
		90 - 110 mm	A.D: 5
		110 - 140 mm	A.D: 6
		140 - 170 mm	A.D: 7
		170 - 200 mm	A.D: 8
		200 >	A.D: 9

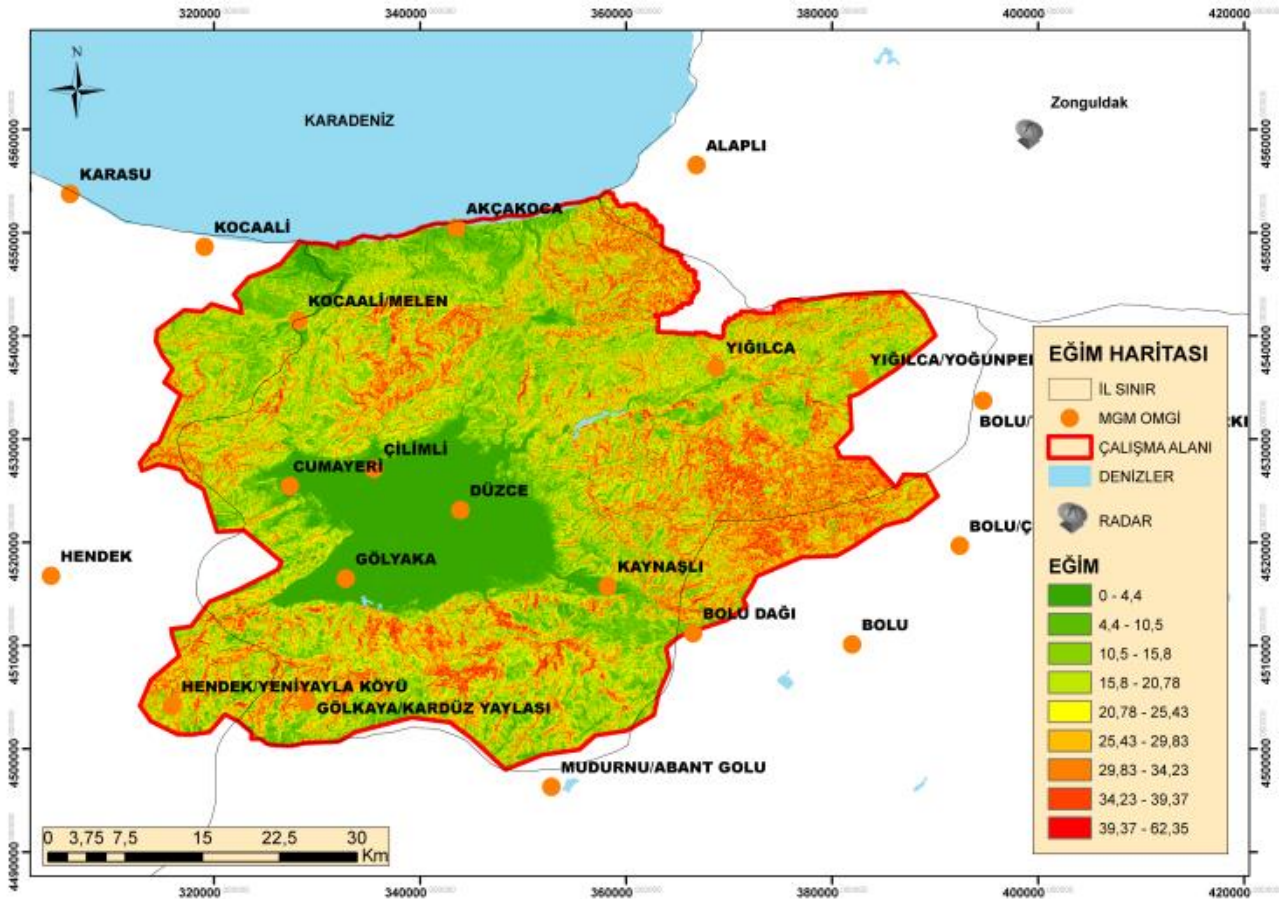
Uygulanan yöntemde taşkın duyarlılıkları belirlenirken ele alınan her bir parametre ayrı ayrı değerlendirmeye alınmıştır. Taşkın duyarlılığına ilişkin parametreler, önem derecesine göre 1 ila 9 arasında değişen ölçeğe göre ele alınmış ve bu kriterlere göre her birine ağırlık dereceleri verilmiştir. Ağırlık dereceleri verilirken (Özcan ve ark., 2009, Özcan, 2017, Sunkar ve Tonbul, 2010, Özşahin, 2013 ve Oğuz ve ark., 2016) tarafından yapılan çalışmalarda derecelendirmeler göz önüne alınmıştır. Analiz aşamasında ele alınan haritalar, farklı katmanlar olarak gösterilmiştir. Devamında, haritaların toplama işlemine tabi tutulması amacıyla, bu haritalar raster formatına dönüştürülmüştür. Sonrasında haritalar, Tablo 1’de gösterilen ağırlık oranlarına göre CBS ortamında işleme tabi tutulmuştur.

2.3. Eğim ve bakı faktörleri

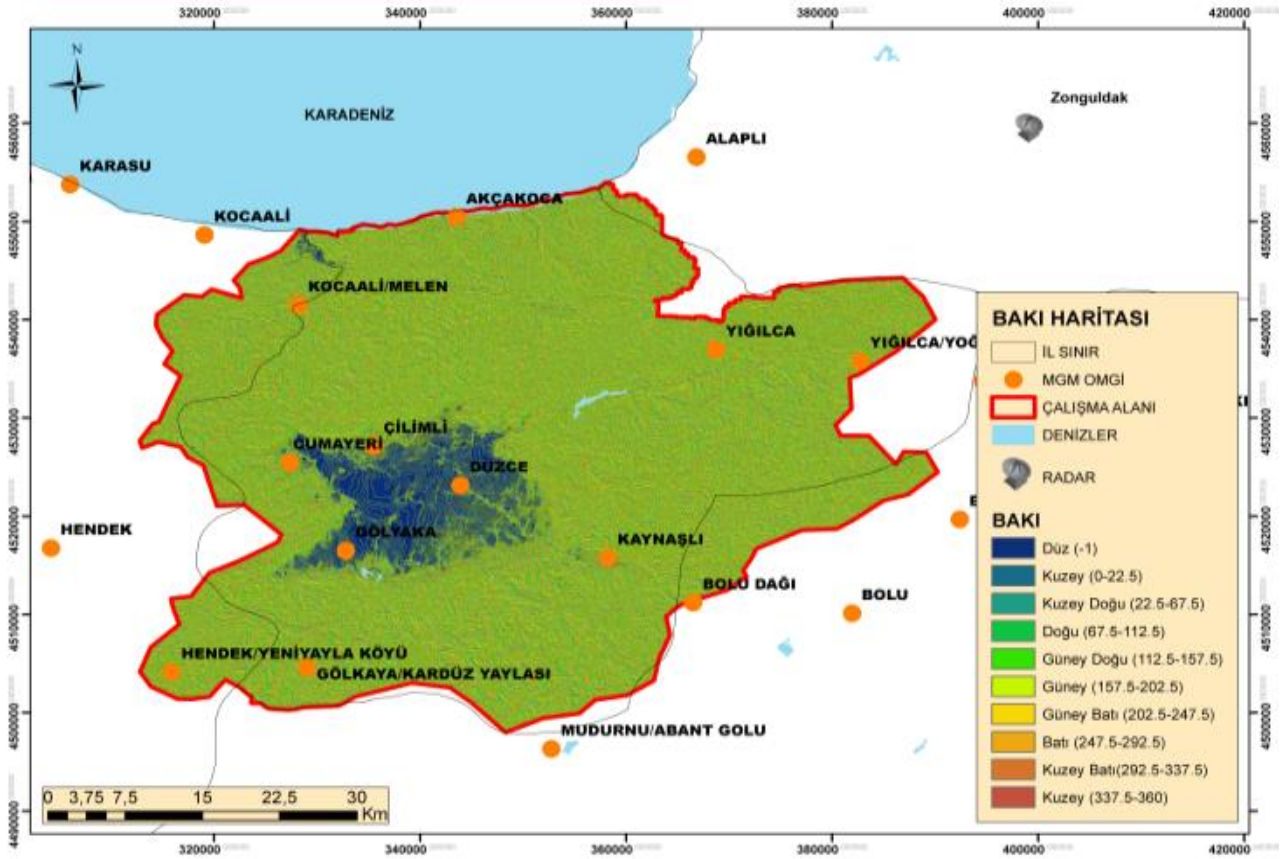
Eğim faktörü, taşkın meydana gelmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Eğimin fazla olduğu yerlerde toprağın suyu tutma kabiliyeti daha azdır. Bu nedenle de yağışla birlikte akışa geçen su miktarı eğimin fazla

olduğu alanlarda daha fazla olur (Özcan, 2008). Eğimin az olduğu yerlerde, suyun akış hızının yavaşlaması ve suyun daha hızlı birikmesi sebebiyle taşkın duyarlılığı yüksektir. Çalışma alanının eğim haritası incelendiğinde, Düzce ovasında eğimin deniz seviyesine kadar düştüğü, ova çevresinde ise eğimin arttığı ($30^\circ >$), kıyı kesimlere gidildikçe eğim oranının tekrar azaldığı görülmektedir (Şekil 2).

Bakı haritası, taşkın duyarlılığı için dolaylı etkiye sahiptir. Kuzeye bakan yamaçlar daha nemli ve su tutma kapasitesi daha düşük toprak alanları içerdiğinden, taşkın açısından daha fazla duyarlı alanlardır. Çalışmada kullanılan bakı haritası Şekil 3’de görülmektedir. Topoğrafyanın kuzey bakılı yanları, güney bakılı yanlara göre güneşi daha fazla görmekteyler. Ayrıca, doğu bakılıları sabahları daha fazla, batı bakılıları ise akşamları daha fazla güneşi görmekteyler (Özcan, 2008). Çalışma alanına bakıldığında, Çilimli, Cumayeri ve Gölyaka ilçeleri ve Düzce merkezi arasında kalan alanın düzlük yapıda olduğu, geriye kalan alanların bakısının kuzey yönlerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Eğim Haritası



Şekil 3. Baki Haritası

2.4. Arazi kullanım ve toprak faktörleri

Arazi örtüsü yer yüzeyini kaplayan bitki örtüsü, toprak, suyla kaplı alanlar ve yapay yüzeyler vb; arazi kullanımı ise araziye ilişkin insan aktivitelerini ifade eder (Öztürk, 2009; Ferreira ve ark., 2020; Jansen ve Gregorio, 2004; Li ve Yeh, 2004; Öztürk ve Batuk, 2011). Bu çalışmada kullanılan arazi kullanım ve toprak haritaları sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5’de görülmektedir. ArcGIS 10.3 programı yardımıyla görüntülenen Corine 2006 Arazi kullanım haritasına bakıldığında, çoğunluk alanın “geniş yapraklı ormanlar” ve “sulanan ve sulanmayan tarım” bölgelerinden oluştuğu görülmektedir. Bunu ise “karışık ormanlar” ile birlikte “sulanan meyve” takip etmektedir.

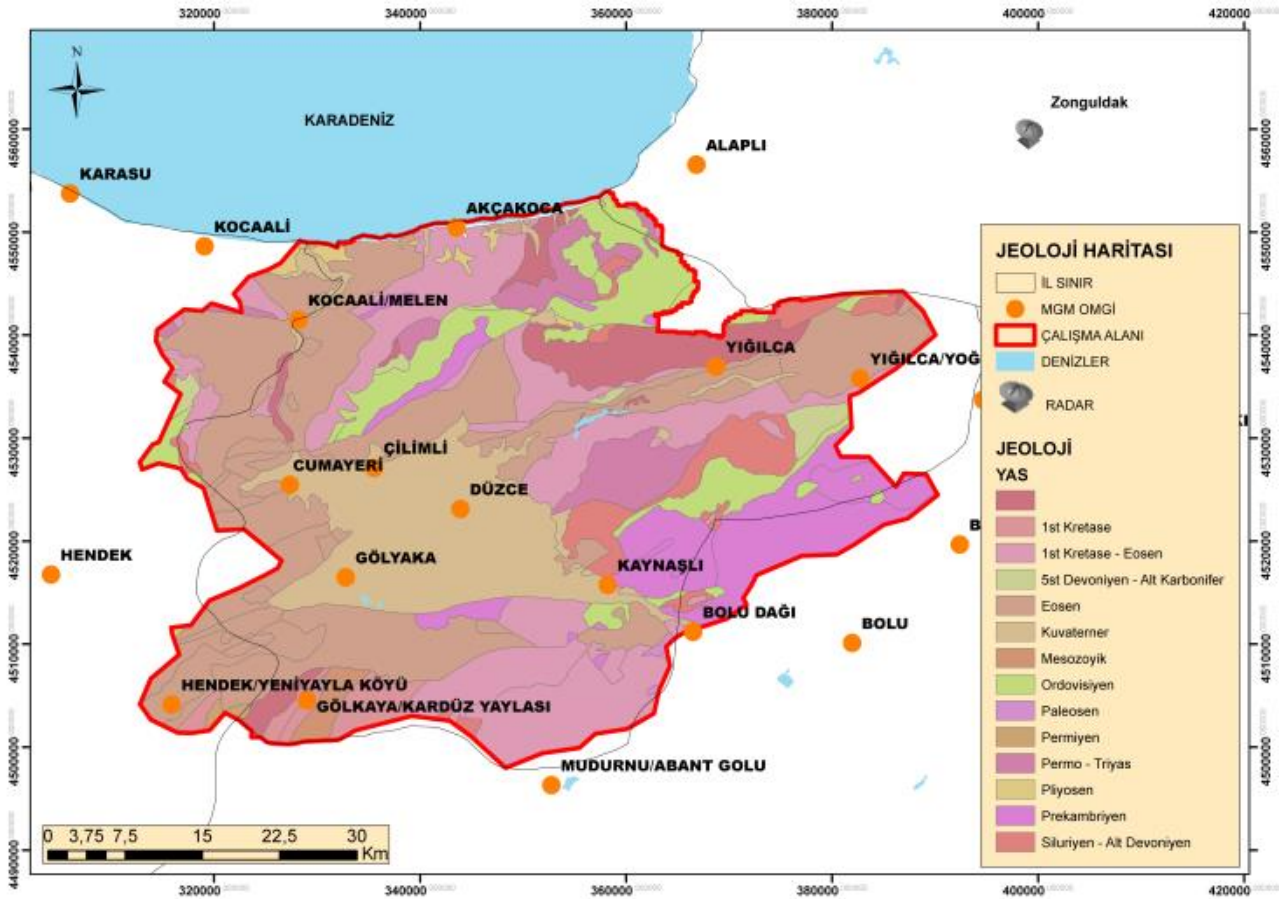
Bir toprağın ya da toprak grubunun hidrolojik özellikleri, su toplama havzasının hidrolojik analizinde temel faktördür (Özer, 1990). Toprak grupları, sızmayı farklı şekilde etkileyebilen ve dolayısıyla taşkın duyarlılığı üzerinde önemi olan bir faktördür. Çalışılan alanı toprak haritasına bakıldığında, alüvyal toprak (A), kireçsiz kahverengi toprak (N), kolüvyal toprak (K), kırmızı-sarı podzolik topraklar (P), gri-kahverengi podzolik topraklar (G) ile kaplı alanların yaygın olduğu görülmektedir. Alüvyal topraklar, akarsuların taşıdığı malzemelerden meydana gelmektedirler. Taşınır toprak olarak da bilinen alüvyal topraklar, taşkın ve sel gibi afetlere uğrayan ova gibi alanlarda sıkça görünürler. Kolüvyal toprak, dağ yamaçlarında çözünen malzemenin sel veya taşkın sularıyla dağ yamaçlarına birikmesiyle oluşan toprak türüdür. Kireçsiz kahverengi topraklar üst yüzeyi yumuşak topraklardır. Gri-Kahverengi podzolik topraklar tarım açısından verimliliği yüksek,

üst yüzeyinde organik ve alt yüzeyinde minerallerin olduğu toprak türüdür. Kırmızı-Sarı podzolik topraklar ise ormanlık alanlarda görünen toprak türüdür. Çalışma alanına bakıldığında, Düzce ovasında ve denize yakın kıyı kesimlerde “A” tipi toprak miktarının fazla olduğu, kıyı kesimlerde çoğunlukla “P” tipi toprak türü alanların olduğu ve Melen, Cumayeri, Hendek, Gölyaka ve Kaynaşlı ilçelerinin bulunduğu alanlarda ise “K” tipi toprakların yoğun olduğu görülmektedir.

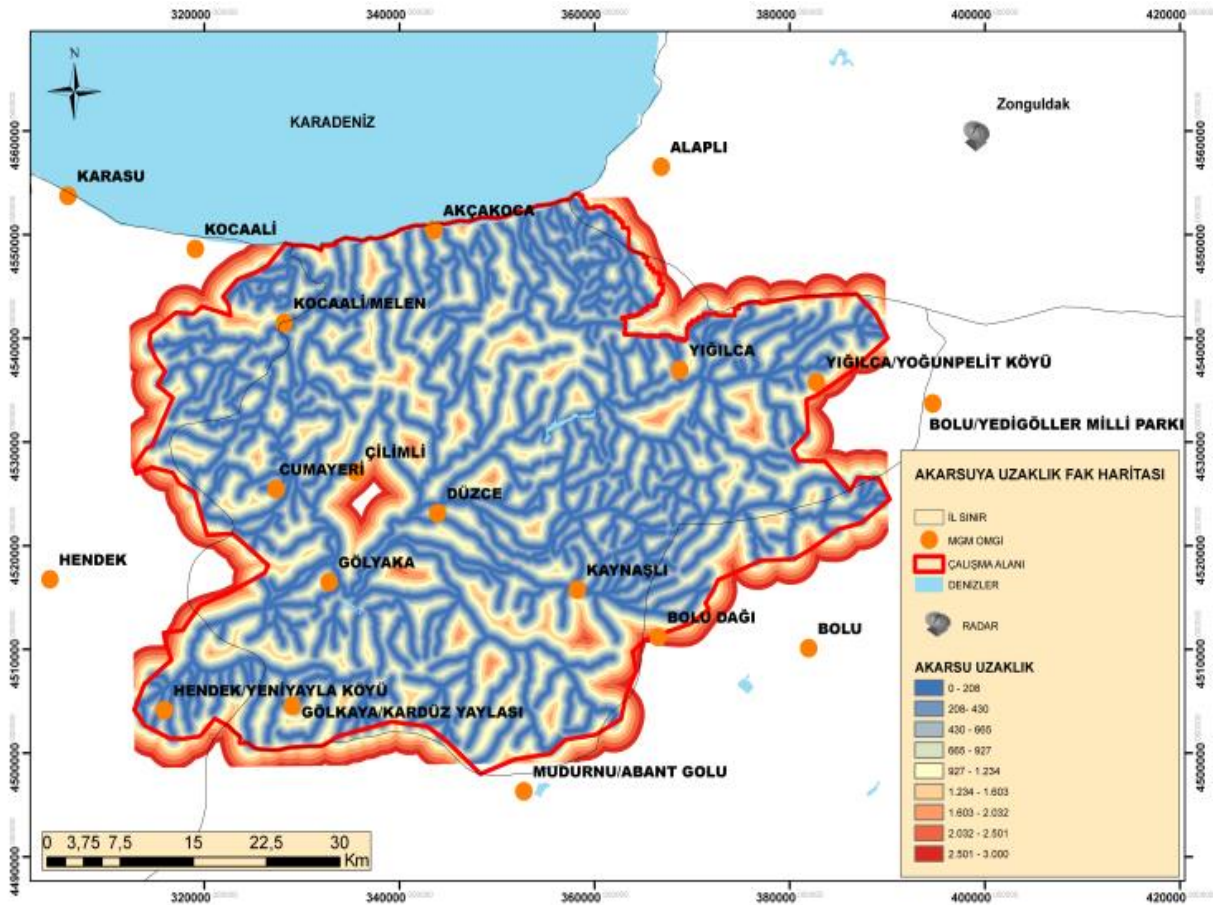
2.5. Jeoloji ve akarsuya uzaklık faktörleri

Jeolojik özellikler, topografya ve yeraltı yapıları bakımından bölgeyi tanımamıza yardımcı olur ve dolaylı olarak taşkın üzerinde etkileri bulunmaktadır. Çalışma alanının ArcGIS 10.3 programı yardımıyla MTA verisinden elde edilen jeoloji haritasına bakıldığında, jeolojik özelliklerin çoğunlukla “kuvarterner”, “eosen” ve “kretase-eosen” tiplerinden oluştuğu görülmektedir (Şekil 6). Kuzeydoğu ve doğu bölgelerin bazı kesimlerinde ise “ordovisiyen” ve “prekambriyen” jeolojik yapılarının bulunduğu görülmektedir.

Akarsuya uzaklık faktörü de taşkın açısından diğer önemli bir faktördür (Şen, 2009). Akarsuya yakın olan yerler, taşkın duyarlılığı açısından yüksek olan yerlerdir. Çalışmada, akarsuya olan uzaklık faktörü CBS ortamında hesaplanmış ve duyarlılık sınıfları işlenmiştir. Akarsuya uzaklık faktörü haritasına; akarsuya olan 0 – 208 m uzaklık çok duyarlı, 2050 m’den fazla olan uzaklıklar ise az duyarlı olacak şekilde işlenmiştir (Şekil 7). Akarsu uzaklık faktörü belirlenirken çalışılan alandaki akarsu sıklığı ve bu akarsuların yerleşim yerlerine olan uzaklıkları dikkate alınarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Jeoloji Haritası



Şekil 7. Akarsuya Uzaklık Faktörü Haritası

2.6. Yağış faktörleri

Taşkın duyarlılığı açısından en önemli faktörlerden birisi yağış miktarıdır. Taşkın gerçekleşmesi ve büyüklüğü, direkt olarak yağışa bağlıdır. Çalışmada, 2 farklı yağış ürünü kullanılmıştır. Bunlar:

- Meteoroloji Genel Müdürlüğü ölçüm verilerinden elde edilen maksimum yağışların maksimumu,
- 17-18 Temmuz 2019 tarihli MGM Zonguldak (ZNG) radarı SRI (Surface Rainfall Intensity) ürünleri kullanılarak elde edilmiş “n” saatlik toplam yağış değeri Radar RNN (RAINNN) ürünüdür.

Yağış ürünleri ayrı ayrı çalışma alanında enterpole edilerek raster formatına dönüştürülmüştür.

2.6.1. Otomatik meteoroloji gözlem istasyonu (OMGI)

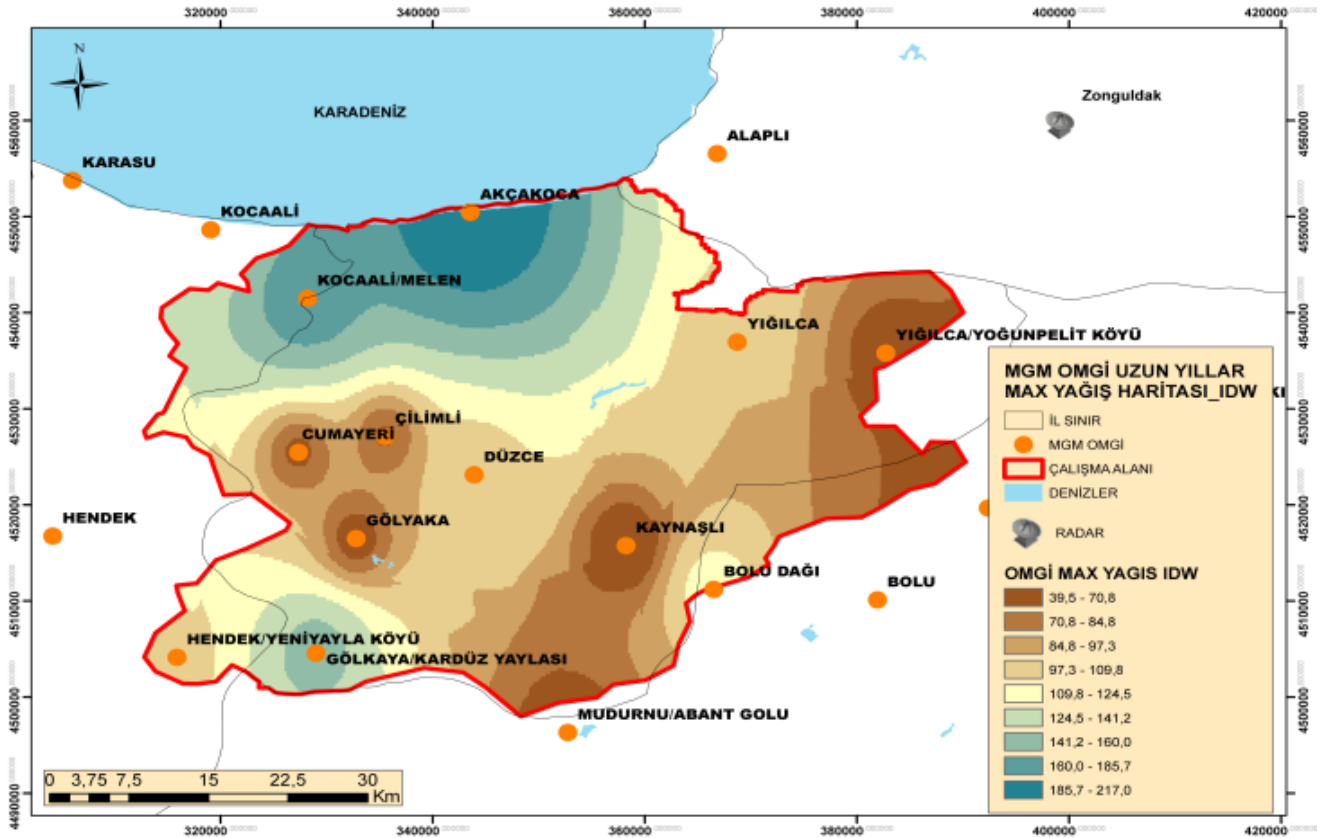
Sakarya ve Batı Karadeniz havzalarının birleşiminde yer alan çalışma alanı, Düzce iline bağlı Akçakoca, Kocaali/Melen, Çilimli, Cumayeri, Gölyaka, Yiğilca,

Kaynaşlı ve Hendek ilçelerini kapsamaktadır. Belirlenen çalışma alanı ve çevresinde iklim özelliklerini oluşturan atmosferik bileşenler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü ölçüm istasyonları tarafından ölçülmektedir. Çalışmada, Tablo 2’de bilgileri verilen MGM OMGİ istasyon verileri göz önüne alınmıştır. Bu istasyonlara ait maksimumların maksimum değeri baz alınarak, ArcGIS 10.3’de IDW (Inverse Distance Weighting) enterpolasyon yöntemi ile noktasal veriden alana yayılmış veri haline getirilmiştir.

Şekil 8’deki yağış dağılım haritası incelendiğinde, uzun yıllar maksimum yağış miktarının Düzce merkez, Cumayeri, Kaynaşlı ve Yiğilca kesimlerinde ise 40-100 mm civarlarında olduğu görülmektedir. Kocaali/Melen ve Akçakoca çevresinde uzun yıllar maksimum yağış miktarının ise 140 mm’den fazla olduğu, özellikle Akçakoca kesimlerinde bu değerlerin 200 mm’den fazla olduğu görülmektedir. Bu değerler taşkın duyarlılığı açısından oldukça yüksektir. Şekil 8’de ayrıca Meteoroloji gözlem istasyonlarının konumları (turuncu renkli noktalar) olarak görülmektedir.

Tablo 2. Çalışma Alanı ve Çevresindeki Bazı Meteoroloji İstasyonlarına Ait Karakteristik Bilgileri

Enlem	Boylam	İstasyon No	İstasyon Adı	Rakım (m)	MAK. YAĞIŞ (mm)
40,8203	31,742	19012	BOLU/ÇELE ORMAN SAHASI	1048	38,8
40,7799	31,32007	19214	KAYNAŞLI	296	39,5
40,9472	31,74871	19209	BOLU/YEDİĞÖLLER MİLLİ PARKI	717	46,8
40,7817	31,0186	18259	GÖLYAKA	118	56,8
40,9642	31,6067	19017	YIĞILCA/YOĞUNPELİT KÖYÜ	741	58,8
40,7329	31,6022	17070	BOLU	743	61,5
40,8613	30,95177	19212	CUMAYERİ	140	65,6
40,878	31,0483	19213	ÇİLİMLİ	158	68,4
41,0219	30,55348	19119	FERİZLİ/GÖLKENT BELDESİ	48	76,8
40,8437	31,1488	17072	DÜZCE	146	100,1
41,1113	30,6901	17644	KARASU	4	101,6
40,9725	31,44	18260	YIĞILCA	501	102,5
40,7778	30,6797	18105	HENDEK	65	103,2
40,6669	30,38222	18595	HENDEK/YENİYAYLA KÖYÜ	1080	104,2
41,1486	31,4133	18265	ALAPLI	20	108,3
40,7402	31,4191	17637	BOLU DAĞI	948	116
41,0681	30,8469	18419	KOCAALİ	10	124,4
40,6736	30,9772	18669	GÖLYAKA/KARDÜZ YAYLASI	1707	149,1
41,0058	30,9572	18738	KOCAALİ/MELEN	126	176,4
40,9339	30,4856	18416	FERİZLİ	45	196,7
41,0895	31,1374	17015	AKÇAKOCA	10	217,1
40,6039	31,25972	18695	MUDURNU/ABANT GÖLÜ	1367	55
40,4978	31,20444	18158	MUDURNU	785	47,2



Şekil 8. MGM OMGİ Uzun Yıllar Maksimum Yağışların Maksimumu Haritası

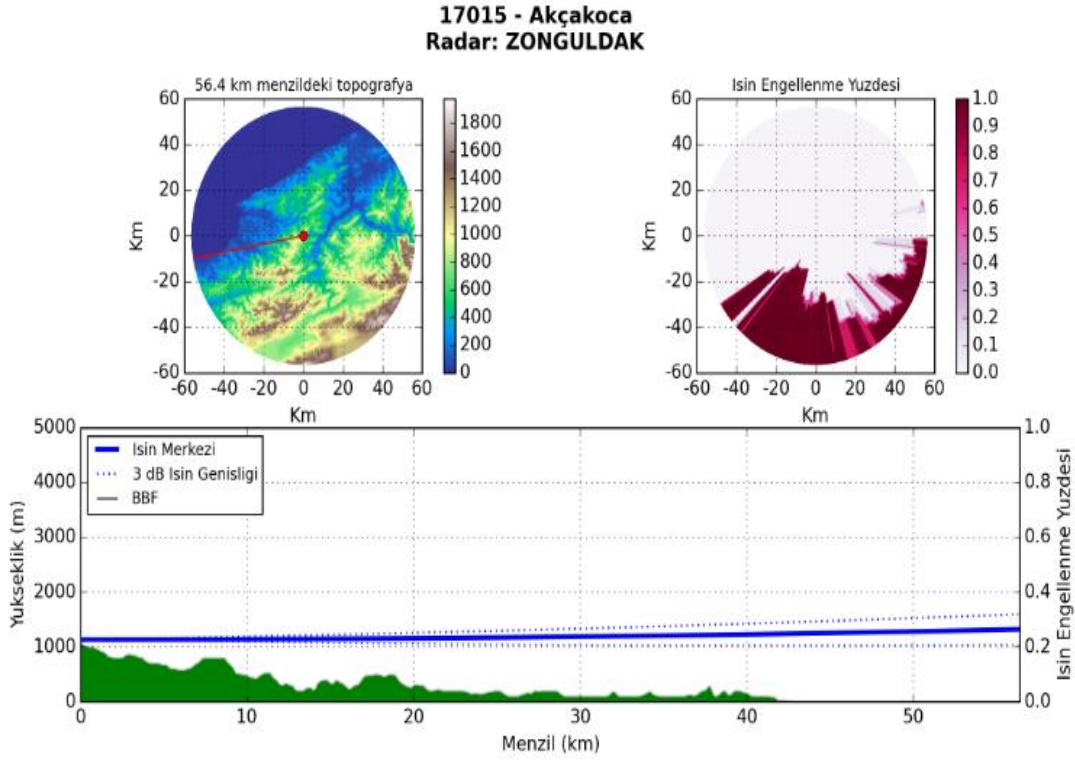
2.6.2. Meteorolojik Radar

Çalışmada, ölçüm verilerinin dışında, ikinci senaryonun modellenmesinde kullanılmak üzere 17-18 Temmuz 2019 tarihleri için meteoroloji radarı verileri kullanılmıştır. Meteoroloji radarları atmosfere belli frekansta elektromanyetik dalga gönderir ve bu dalgalar atmosferdeki hedeflerle etkileşerek saçılırlar. Meteoroloji radarları yağışı direkt olarak ölçmezler. Radar kapsama alanı içerisindeki hedefle etkileşen elektromanyetik dalganın saçılması ile radara geri dönen enerji (reflektivite) işlenerek yağmur, dolu, kar, rüzgar, micro-macrobust, wind shear, türbülans gibi bir takım meteorolojik hadiselerle ait bilgilere dönüştürülür. Reflektivite değerleri ampirik bağıntılar vasıtasıyla yağış miktarı bilgisine çevrilirler. Ülkemizde sel ve taşkın açısından yüksek riskli bölgeler bulunmaktadır. Bu bölgelere düşen yağış; bölgenin eğimi, arazi kullanımı, topografik özellikleri, toprak yapısı, bölgede gerçekleşen yağış sıklığı ve miktarı gibi nedenlerle, yere düşen yağışın hızla akışa dönüşmesiyle sel ve taşkınlara sebep olabilmektedir. Bu nedenle özellikle ülkemizde sel ve taşkın konusunda risk içeren bu bölgelerde yağış miktarının önceden tespit edilebilmesi, mevcut önlemlerin alınabilmesi için önem arz etmektedir. Meteoroloji radarları riskli bölgelere düşebilecek yağış miktarını önceden tespit ederek, bu yağışlar sonucu oluşabilecek sel ve taşkın gibi hadiselerin tahmininde kullanılan erken uyarı sistemlerinde de kullanılmak amacıyla dünyanın birçok yerinde olduğu gibi ülkemizde de kullanılmaktadır (MGM, 2021b).

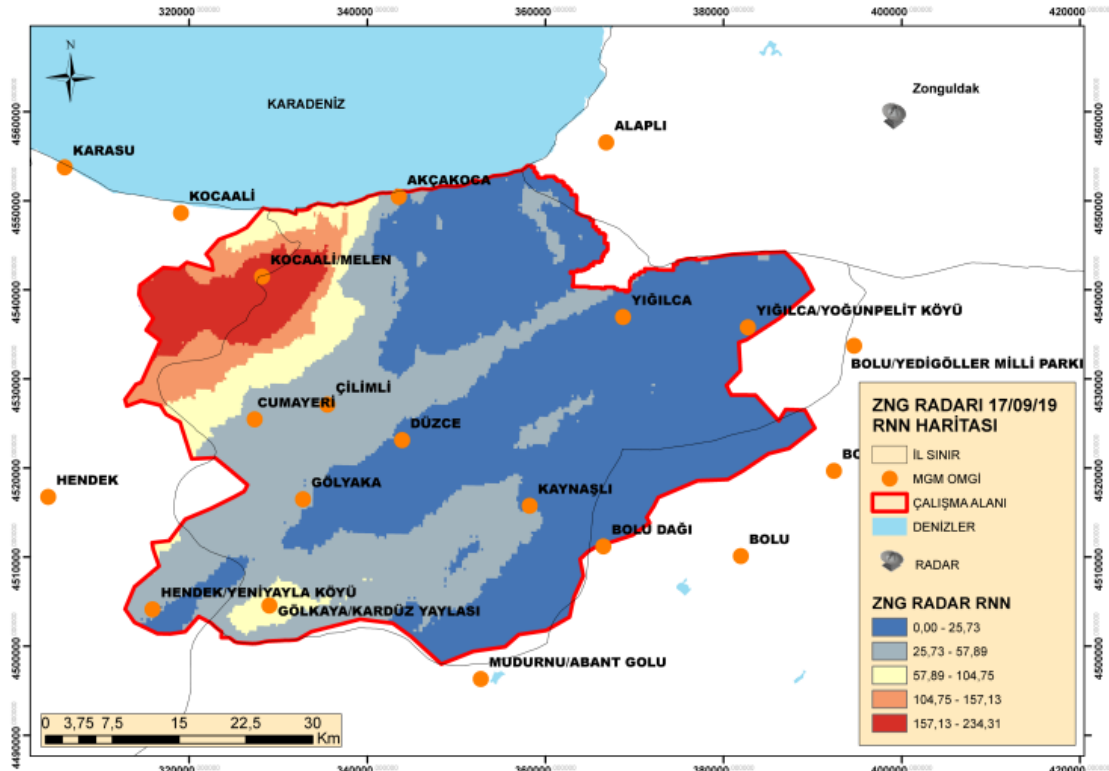
Yapılan bu çalışmada ÇKKV-AHY'de kullanılmak için, 17-18 Temmuz 2019 tarihli MGM Zonguldak (ZNG) radarı SRI ürünleri kullanılarak elde edilmiş RNN (N

saatlik toplam yağış) ürünleri kullanılmıştır. Zonguldak radarı 1108 rakım, 25m kule yüksekliğinde sahip tekli polarizasyon özellikli C band bir radardır. ZNG Radarının çalışma alanına göre konumu Şekil 10'da gösterilmiştir. 17-18 Temmuz tarihleri arasında Düzce ili ve ilçelerinde şiddetli yağış sonucu sel ve heyelan olayı gerçekleşmiştir. Sel hadisesinin şiddetinin en yoğun görüldüğü ilçe olan Akçakoca ilçesi ile ZNG radarı arasındaki görünürlük analizine bakıldığında, radar sinyalinin bölgeyi en alt tarama açısı olan 0° ile herhangi bir ışın engellenmesine maruz kalmadan sorunsuz bir şekilde gördüğü, Akçakoca ile ZNG radarı arasındaki uzaklığın 56.4 km olduğu ve minimum görülebilir ışın yüksekliğinin ise 1044 m olduğu görülmüştür. Akçakoca-ZNG radarı görünürlük analizi sonuçları Şekil 9'da ayrıntılı olarak görülmektedir.

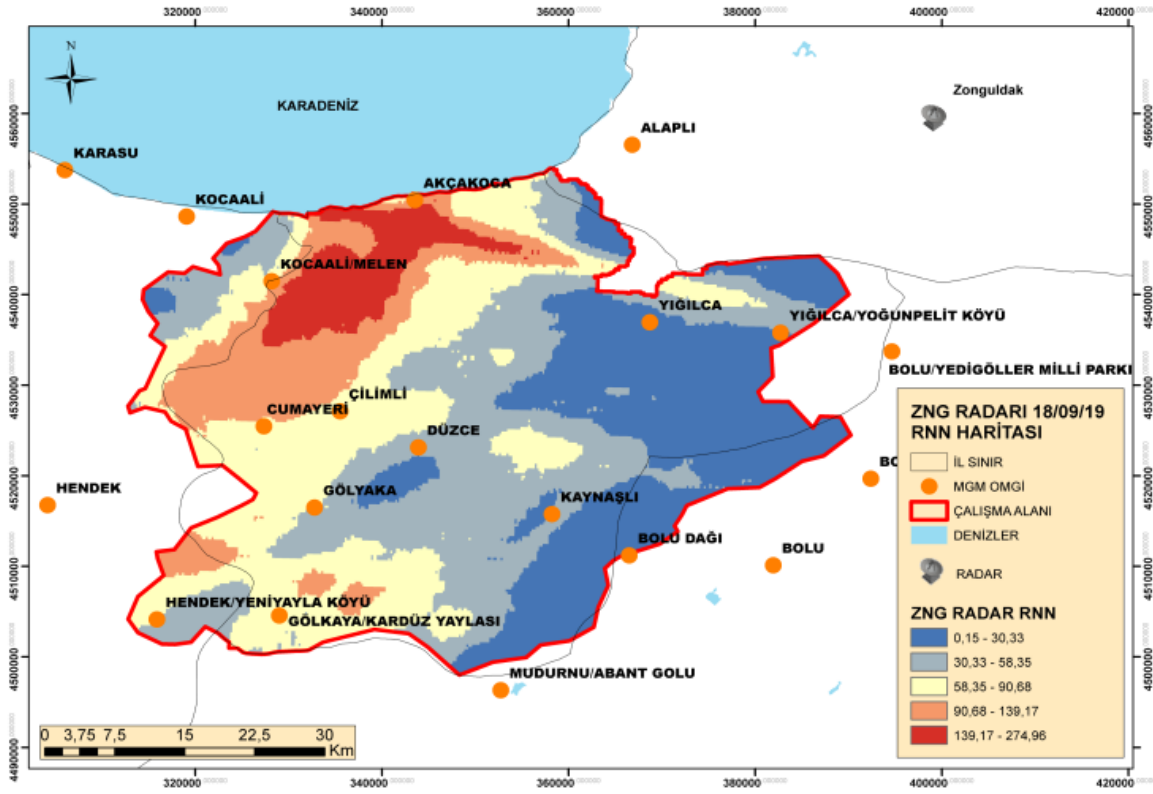
17 Temmuz 2019 tarihi ZNG radarına ait 24 saatlik toplam yağış (RN24) ürünü haritaları Şekil 10'da, 18 Temmuz 2019 tarihi ZNG radarına ait 24 saatlik toplam yağış (RN24) ürünü haritaları ise Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekil 10'a bakıldığında 17 Temmuz tarihinde Kocaali/Melen civarında radardan elde edilen 24 saatlik maksimum toplam yağış 234 mm'dir. Şekil 11'deki RN24 ürünü haritasına bakıldığında ise; ayın 18'inde yağışın doğu yönünde ve etkisini arttırarak ilerlediği, özellikle Akçakoca ve Melen bölgelerinin yağıştan daha şiddetli etkilendiği, 24 saatlik maksimum toplam yağış 274 mm civarında olduğu gözlemlenmektedir. Melen'den Cumayeri'ne doğru uzanan bölgedeki maksimum 24 saatlik toplam yağış değerinin ise 90-139 mm arasında olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Akçakoca-ZNG Radarı Görünürlük Analizi



Şekil 10. Şekil 10. 17 Temmuz 2019 ZNG Radarı RN24 Ürünü Haritası



Şekil 11. Şekil 11. 18 Temmuz 2019 ZNG Radarı RN24 Ürünü Haritası

3. Bulgular

Çalışmada, Düzce bölgesinde taşkın duyarlılığı üzerinde etkili olan faktörler (eğim, arazi kullanım, toprak, bakı, jeoloji, akarsuya olan uzaklık, uzun yıllar maksimum yağış ve Radar RN24 yağış) ele alınarak ÇKKV-AHY yöntemi ile bölgede taşkın duyarlılık alanları iki farklı senaryoya göre tespit edilmiştir. Çalışmada öncelikle, yağış verisi olarak uzun yıllar yağış ölçüm verileri kullanılarak modelleme yapılmıştır. Sonrasında, 17-18 Temmuz 2019 tarihinde Düzce’de yaşanan taşkın döneminde meteorolojik radar ile elde edilen yağış değerlerine göre tekrar modelleme yapılarak, yağışa bağlı taşkın duyarlılık alanlarındaki gelişim izlenmiştir.

MGM OMGI uzun yıllar maksimum yağış verileri ile oluşturulan taşkın duyarlılık haritasına göre, “Çok Yüksek” ve “Yüksek” taşkın duyarlılığına sahip alanların yerleşim bölgesi üzerinde kaldığı ve bu alanlar olası bir taşkında ve taşkın anında zarar görme olasılığı en yüksek yerler olarak belirlenmiştir. Çalışma alanının denize yakın kesimleri, Çilimli, Cumayeri, Gölyaka ve Düzce il merkezi çevresi, eğimin düşük ve tarım alanlarının yaygın olduğu bölgelerdir. Çilimli, Cumayeri, Gölyaka ve Düzce il merkezi’ne ek olarak, Akçakoca ve Yığılca ilçeleri civarının taşkın duyarlılığı açısından “Çok Yüksek” sınıfına girdiği görülmektedir (Şekil 12).

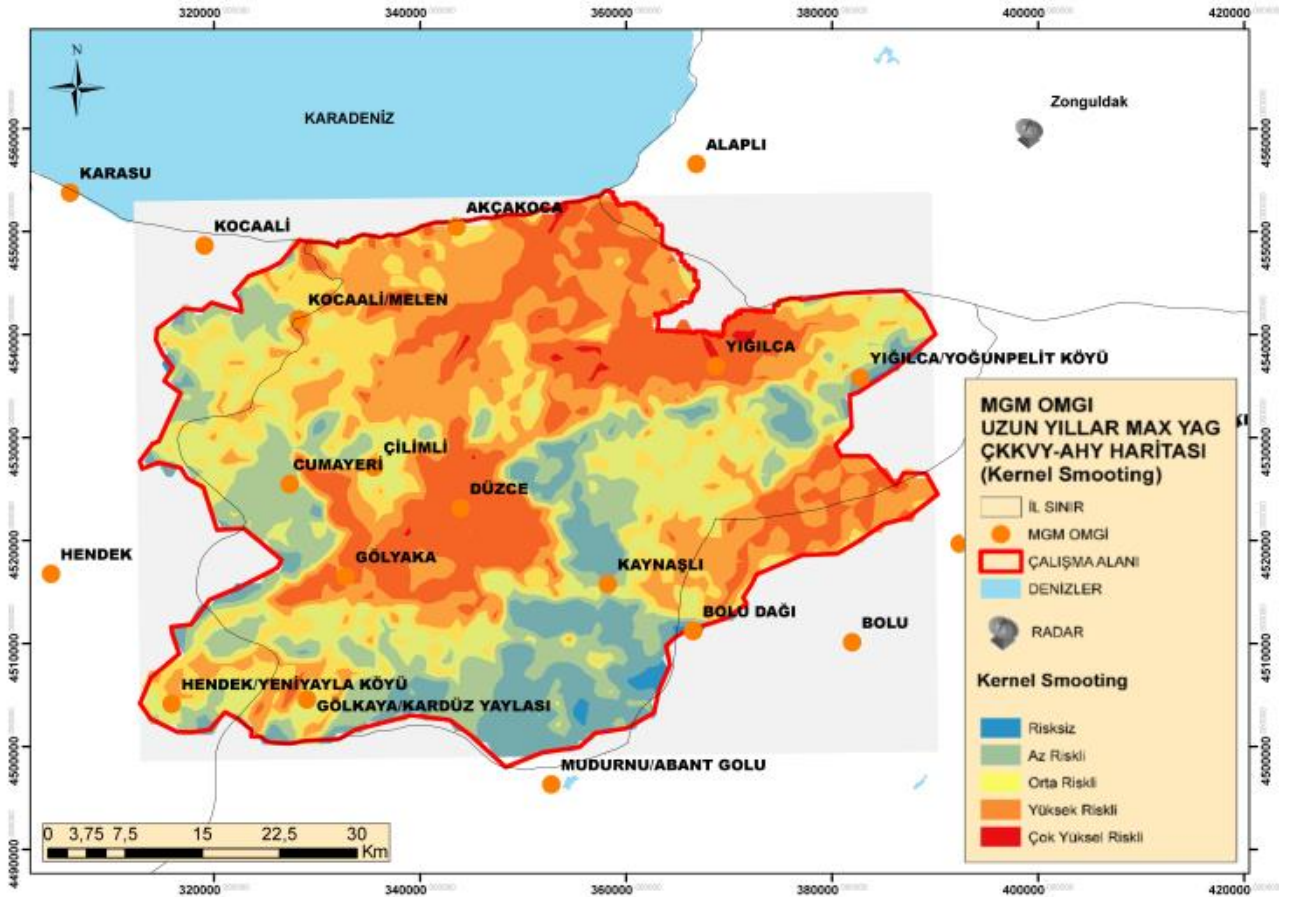
Düzce taşkınının yaşandığı 17 Temmuz 2019 ve 18 Temmuz 2019 tarihlerinde meteorolojik radar verileri ile oluşturulan taşkın duyarlılık haritaları sırasıyla Şekil 13 ve Şekil 14’de gösterilmiştir. Buna göre; yağışın yoğun olduğu 17 Temmuz 2019 tarihinde Kocaeli/Melen bölgesinin taşkın duyarlılığının Şekil 12’e göre artış gösterdiği gözlemlenmiştir. 18 Temmuz 2019 tarihi radar yağışları göz önüne alınarak elde edilen harita (Şekil 14) incelendiğinde ise, 18 Temmuz 2019

tarihinde yağış hücresinin şiddetini artırarak doğu yönünde ilerlemesi sebebiyle, Kocaeli/Melen, Akçakoca ve Cumayeri bölgelerinde taşkın duyarlılık alanlarında Şekil 12 ve Şekil 13’e göre artış olduğu gözlemlenmiştir.

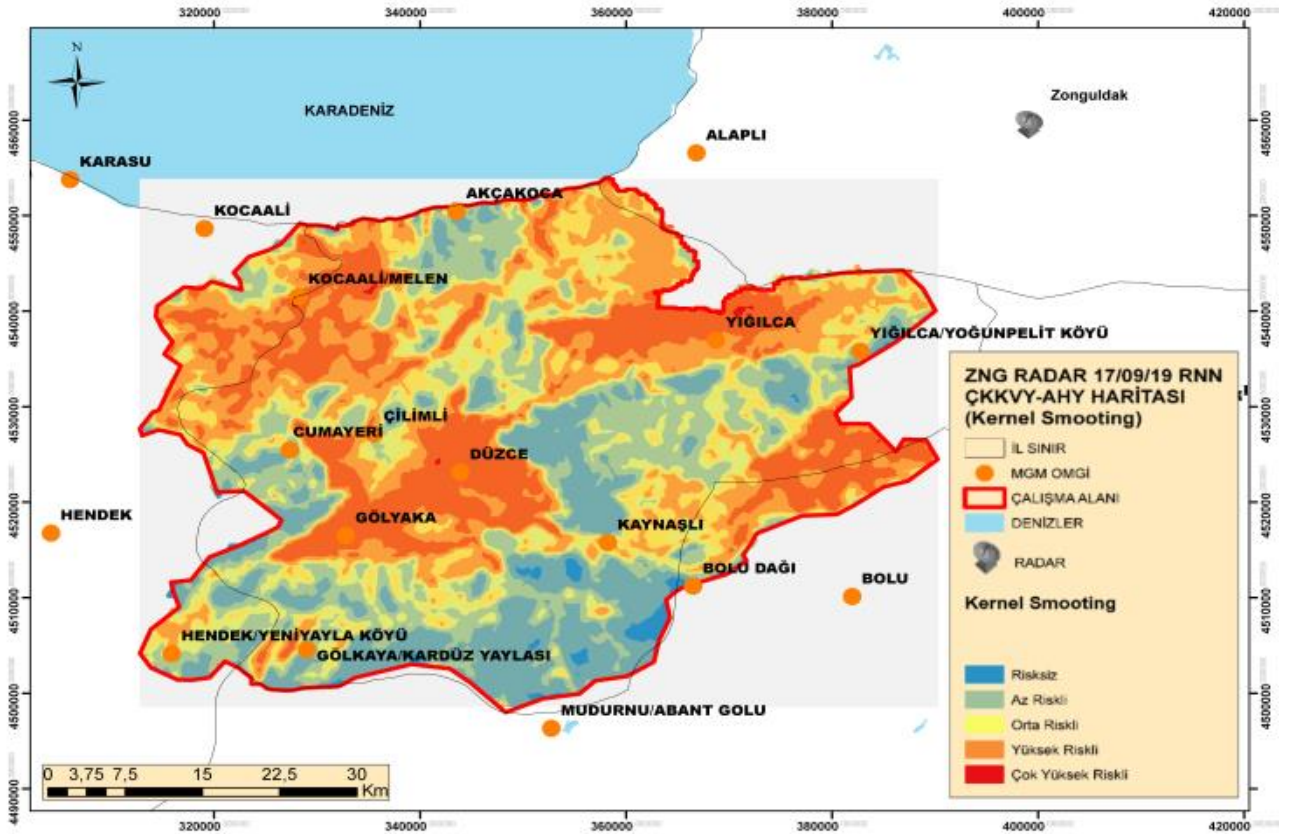
4. Sonuç

Sonuç olarak bu çalışmada öncelikle, MGM OMGI verileri kullanılarak uzun yıllar yılda anlık maksimum yağışların maksimumu hesaplanmış ve diğer faktörler de göz önüne alınarak ÇKKV-AHY yöntemi ile Düzce bölgesinde taşkın duyarlılık alanları tespit edilmiştir. Bunun yanında, 17-18 Temmuz 2019 tarihinde Gölyaka, Kocaeli/Melen, Cumayeri ve Akçakoca ilçelerinde taşkın hadisesi meydana gelmiştir. Bu tarihlere ait meteorolojik radar yağış verileri ile tekrar modelleme yapılarak, taşkın duyarlılık alanlarının yağışa göre gelişimi izlenmiştir.

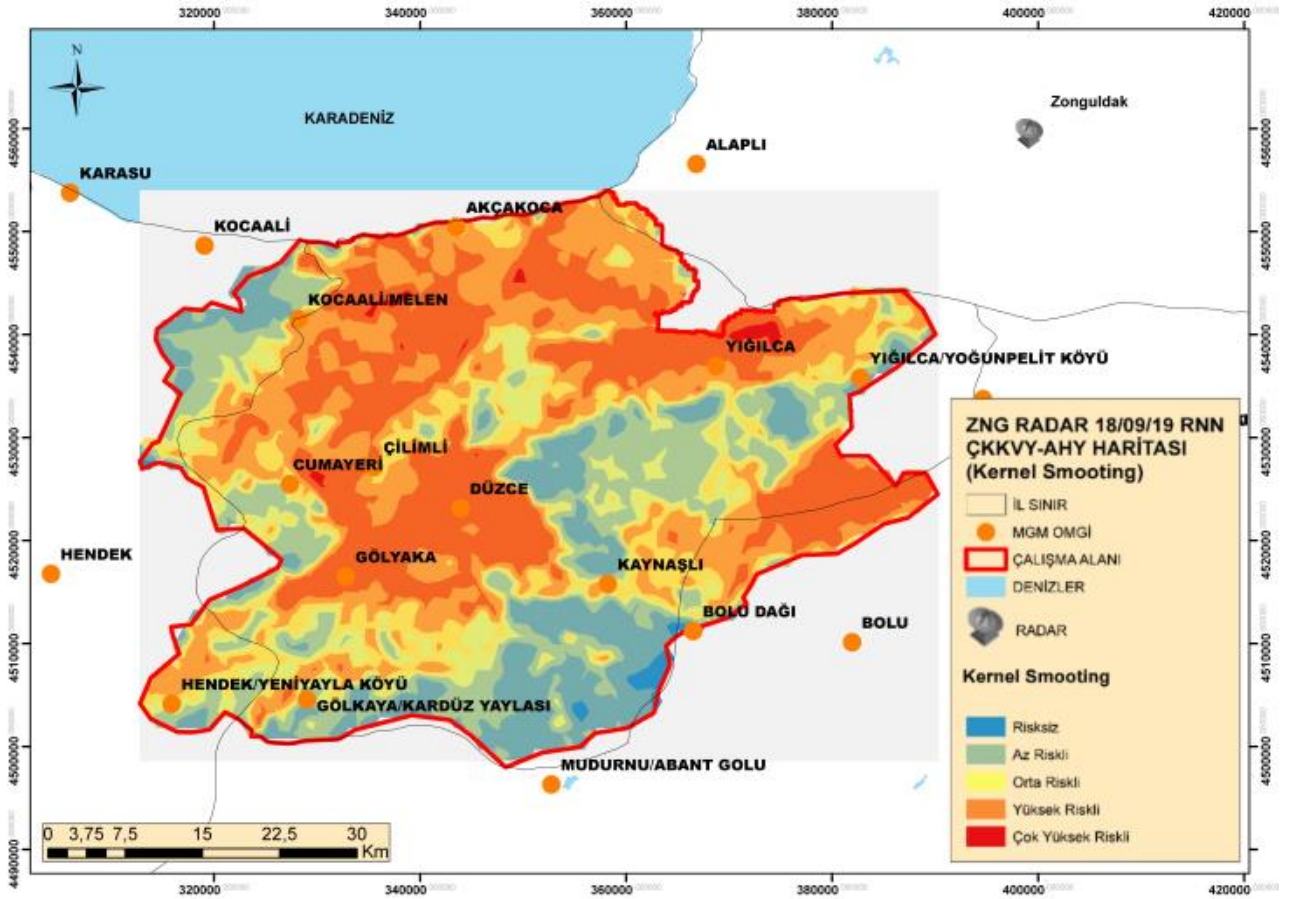
Sonuçta, uzun yıllar yağış verileri göz önüne alınarak oluşturulan haritaya göre Çilimli, Cumayeri, Gölyaka, Düzce il merkezi, Akçakoca ve Yığılca ilçeleri civarının taşkın duyarlılığı açısından “Çok Yüksek” sınıfına girdiği görülmüştür. Taşkın olayının gerçekleştiği 17-18 Temmuz 2019 tarihine ait meteoroloji radar verileri göz önüne alınarak oluşturulan taşkın duyarlılık haritasına bakıldığında, taşkın duyarlılık alanlarının yağış şiddetine göre önemli değişiklik gösterdiği ve modelleme sonucu elde edilen taşkın duyarlılık haritasının taşkının yaşandığı bölgeleri işaret ettiği görülmüştür. Çalışmanın sonucunda, ÇKKV-AHY gibi istatistiksel yöntemler, CBS teknikleri ve radar ürünleri ile yapılan tespitlerin gerçekleşen taşkın hadiselerinin analizinde kullanılabilir olduğu görülmüştür. Bu çalışma aynı zamanda, meteorolojik radar ürünlerinin taşkın analizinde kullanılabilirliğinin yaygınlaştırılması açısından da önemli bir çalışmadır.



Şekil 12. MGM OMGI Uzun Yıllar Maksimum Yağış Verileri ile Modellenmiş Taşkın Duyarlılık Haritası



Şekil 13. 17 Temmuz 2019 Meteoroloji Radarı Yağış Verileri ile Modellenmiş Taşkın Duyarlılık Haritası



Şekil 14. 18 Temmuz 2019 Meteoroloji Radarı Yağış Verileri ile Modellenmiş Taşkın Duyarlılık Haritası

Araştırmacıların katkı oranı

Esin Oğuz: Literatür taraması, CBS Modelleme, Makale yazımı; **Kahraman Oğuz:** Literatür taraması, CBS Modelleme, Makale yazımı; **Kurtuluş Öztürk:** Radar verilerinin analizi, Makale yazımı

Çatışma beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Baysal G & Tecim V (2009). Katı Atık Depolama Sahası Uygunluk Analizin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Çok Kriterli Karar Yöntemleri ile Uygulaması. 4.Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, Fatih Üniversitesi, İstanbul.

Demir V & Keskin A Ü (2022). Yeterince akım ölçümü olmayan nehirlerde taşkın debisinin hesaplanması ve taşkın modellemesi (Samsun, Mert Irmağı örneği). Geomatik, 7(2), 149-162.

Erten T & Coşkun M Z (2010). Acil Durum Servislerinin Yer Seçimi: Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve CBS Entegrasyonu. İtüdergisi/d Mühendislik, 9(6), 37-50.

Ferreira F, Sevenhuysen P & Treurnich J (1999). Satelliteearthobservationtodetect urban landusechange. 5 Ocak 2020 tarihinde

<http://www.ngo.grida.no/soesa/nsoer/issues/land/inform.htm> adresinden edinilmiştir.

- Jansen L J M & de Gregorio A (2004). Obtaining Land-useinformation from a remotely sensed land cover map: Results from a case study in Lebanon. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 5(2), 141-157.
- Kadıoğlu M & Özdamar E (2008). Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri. Ankara: JICA Türkiye Ofisi Yayını (no:2).
- Kadıoğlu M (2012). Türkiye’de İklim Değişikliği Risk Yönetimi, Türkiye Ulusal Bildirimi. Ankara: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yayını.
- Li X & Yeh A G (2004). Analyzing spatial restructuring of land-use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS, Landscape and Urban Planning, 69(4), 335-354.
- Lillesand M T & Kiefer W R (2000). Remote Sensing and Image Interpretation, New York: John Wiley&SonsPublication.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) 2021a. İllere Ait Mevsim Normalleri (1981-2010). 12 Temmuz 2021 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=DUZCE> adresinden edinilmiştir.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) 2021b. Meteoroloji Radarı Nedir? 13 Temmuz 2021 tarihinde <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiradarlar.i.aspx?s=alanlar> adresinden edinilmiştir.

- Oğuz K, Oğuz E & Coşkun M (2016). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Taşkın Risk Alanlarının Belirlenmesi: Artvin İli Örneği. 4. Ulusal Taşkın Sempozyumu, 23-25 Kasım 2016, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize.
- Özaslan M, Erşahin G, Akkahve D & Sabuncu A (2001). Düzce İl Raporu, Düzce: Devlet Planlama Teşkilatı Yayını.
- Özcan Ö (2008). Sakarya Nehri Alt Havzası'nın Taşkın Riski Analizinin Uzaktan Algılama ve CBS ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, Bilişim Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özalp D (2009). Dere Taşkın Risk Haritalarının CBS Kullanılarak Oluşturulması ve CBS İle Taşkın Risk Analizi, Doktora Tezi, Geomatik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özcan Ö, Musaoğlu N & Şeker D Z (2009). Taşkın Alanlarının CBS ve Uzaktan Algılama Yardımıyla Belirlenmesi ve Risk Yöntemi: Sakarya Havzası Örneği. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11 - 15 Mayıs 2009, Ankara.
- Özcan O (2017). Taşkın Tespitinin Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi: Ayamama Deresi Örneği. Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3(1), 9-27.
- Özdemir H (2007). Farklı Senaryolara Göre Taşkın Risk Analizi: Havran Çayı Örneği (Balıkesir). TMMOB Afet Sempozyumu, 5-7 Aralık 2007, Ankara.
- Özer Z (1990). Su Yapılarının Projelendirilmesinde Hidrolojik ve Hidrolik Esaslar (Teknik Rehber), Ankara.
- Özşahin E (2013). Arnavutluk'ta Taşkın Risk Analizi. Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi, 4(12), 91-109.
- Öztürk D (2009). CBS Tabanlı Çok Ölçütlü Karar Analizi Yöntemleri ile Sel ve Taşkın Duyarlılığının Belirlenmesi: Güney Marmara Havzası Örneği, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Öztürk D & Batuk F (2011). SCS yüzey akış eğri numarasının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. TUFUAB V. Teknik Sempozyumu, 23-25 Şubat 2011, Antalya.
- Sunkar M & Tonbul S (2010). İluh Deresi Havzası'na (Batman) Yönelik Sel ve Taşkın Riski Analizleri. e-Journal of New World Sciences Academy, 5(4), 255-273.
- Şen Z (2009). İklim Değişikliği İçerikli Taşkın Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları.
- Yaraloğlu K (2004). Analitik Hiyerarşi Proses, Uygulamada Karar Destek Yöntemleri, İlkem Ofset, İzmir, 2004.



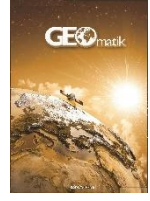
© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



İstanbul Terkos Gölü zamansal değişiminin Google Earth Engine kullanılarak belirlenmesi

Merve Karaca¹, Nur Yağmur¹, Filiz Bektaş Balçık¹

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama
Google Earth Engine
NDWI
Landsat TM
ETM+
OLI

ÖZ

Günümüzün önemli çevresel konularından biri olan su kaynakları yönetimi canlı yaşamı için hayati öneme sahiptir. Su kaynaklarından biri olan göllerin uzaktan algılama teknolojileri ile izlenmesi son yıllarda popüler hale gelmiştir. Göllerin doğru politikalar ile yönetilmesi, bu kaynakların korunabilmesi ve sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada, İstanbul'un en önemli içme suyu kaynaklarından biri olan Terkos Gölü'ne ait 2000-2020 yılları arasında meydana gelen alansal ve zamansal değişim uydu görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. Terkos Gölü su yüzeyindeki zamansal değişimi analiz edebilmek için mevcut 1160 adet Landsat TM, ETM+ ve OLI görüntüsü Google Earth Engine platformunda işlenmiştir. Gölün su yüzey alanının tespiti için Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index, NDWI) kullanılmıştır. Google Earth Engine'de yapılan sorgulamalar ile yıllık ve mevsimlik alan değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre gölün 2000 yılı ve 2020 yılı alan değeri karşılaştırıldığında Terkos Gölü su alanında % 6.9'luk bir azalma yaşandığı tespit edilmiştir. Bu azalmanın nedenleri incelendiğinde, İstanbul'daki hızlı nüfus artışı ve yağış rejimi sebebiyle gölün yok olma tehlikesi ile karşı karşıya olduğu gösterilmektedir.

Determining the temporal change of İstanbul Terkos Lake using Google Earth Engine

Keywords

Remote sensing
Google Earth Engine
NDWI
Landsat TM
ETM+
OLI

ABSTRACT

Today, water resources, which are one of the important environmental issues, are of vital importance for life. Monitoring of lakes with remote sensing technologies has become popular in recent years. The management of the lakes with the right policies is crucial in terms of protection and sustainability. In this study, the spatial and temporal changes of Terkos Lake, one of the most important drinking water resources of İstanbul, were examined using satellite images between 2000 and 2020. In order to analyze this temporal change in the water surface area of Terkos Lake, 1160 existing Landsat TM, ETM+ and OLI images were processed on the Google Earth Engine cloud platform. Normalized Difference Water Index (NDWI) was used to extract the water surface of the lake. The obtained water surface areas were evaluated with annual and seasonal trends. According to the results, the water surface area of the lake in 2000 and 2020 was compared. There is 6.9% decrease in 2020 compared to 2000. When the main reasons for this decrease are investigated, it is determined that the lake is in danger of extinction due to the rapid population growth and unstable precipitation regime in İstanbul.

1. Giriş

Doğal ekosistemin önemli bir parçası olan su kaynakları, insanlar ve diğer tüm canlılar için önemli bir kaynaktır. Sürdürülebilir kalkınmanın merkezinde yer alan su kaynakları, çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik büyüme ve canlı ihtiyaçları için kritik öneme sahiptir (UNESCO, 2021). İklim değişiklikleri ve artan nüfusla birlikte su kaynakları yıllar içerisinde zamansal ve mekansal olarak değişim göstermiştir (Kalkınma Bakanlığı, 2018). Doğal çevre sağlığı ve sürdürülebilir ekonomik gelişme için yüzey suyu değişimlerinin izlenerek doğru politikaların uygulanması, su kaynaklarının sürdürülebilir korunması, kullanımı ve yönetimi açısından oldukça önemli bir konudur.

Uzaktan algılama teknolojisi, geniş gözlem alanı ile hızlı ve zamansal veri koleksiyonu sunduğu için, yüzey suyu kaynaklarının izlenmesi ve yönetiminde yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Jiang ve ark., 2014). Günümüzde uzaktan algılamada kullanılan veriler, arazi örtüsü hakkında bilgi edinebilme ve arazi kullanımında oluşan değişimleri analiz edebilme imkânı tanımaktadır. Farklı spektral, mekânsal ve zamansal çözünürlüğe sahip bu görüntü seçeneklerini sunan uzaktan algılama sistemleri ile istenilen parametrelere ait analizler hızlı, daha düşük maliyetli ve güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Özellikle son on yılda birçok uydu görüntüsü ve arazi yüzey modellerinin Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (United States Geological Survey, USGS), Amerika Ulusal Havacılık ve Uzay Araştırmaları Dairesi (National Aeronautics and Space Administration, NASA) ve Avrupa Uzay Ajansı (European Space Agency, ESA) gibi kurumlar tarafından ücretsiz olarak erişim imkânı sunulmasıyla, uzaktan algılama verileri kullanarak yürütülen çalışmalar oldukça hız kazanmıştır.

Son yıllarda uzaktan algılama teknolojisinde büyük yeniliklere imza atılmıştır. Bu yeniliklerden biri de Google Earth Engine (GEE) platformudur. GEE, çok büyük veri kümelerini işlemek için yüksek performanslı bilgi işlem kaynaklarına erişimi kolaylaştıran bulut tabanlı bir platformdur (Gorelick ve ark., 2017). GEE platformunun en önemli avantajlarından biri, uzaktan algılama ürünlerine tam ve eksiksiz ulaşım sağlaması ve bu ürünleri çok hızlı bir şekilde işleme yeteneğine sahip olmasıdır. Platform üzerinde birçok araştırma için kullanılacak Landsat, Sentinel ve MODIS gibi çeşitli uydu görüntülerini içeren bir veri kataloğu bulunmaktadır (Gonzalo ve ark., 2017). Bu görüntüler GEE yardımcı komut dizinleri sayesinde online olarak işlenebilmektedir. GEE bölgesel haritalama, tarım alanları, doğal afetler, bitki türleri, ormanlar ve su kaynaklarının incelenmesinde başarıyla kullanılmaktadır (Xia ve ark., 2019). Veri tabanında bulunan uzaktan algılama görüntüleri ile arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişikliklerini inceleyebilecek analizler gerçekleştirilmektedir. Bu analizleri kodlar ile görselleştirmek mümkündür. GEE; görüntü işleme, sınıflandırma, değişimin tespiti, zaman serisi analizi dahil, görüntü istatistiklerinin çıkarılması gibi karmaşık analizlerin kolaylıkla yapılmasını sağlar. Ayrıca dışa aktarılabilen haritalar, çizelgeler, tablolar ve görüntüler

gibi sonuçları görselleştirmek için araçlar da içerir (Gonzalo ve ark., 2017).

Değişim analizi farklı zamanlara ait olan görüntülerde meydana gelen değişimin tespit edilmesidir. Literatürde uydu görüntüleri ile çeşitli yöntemler kullanılarak değişim tespiti yapılmaktadır. Değişim analizinde kullanılan başlıca yöntemleri, görüntü bantları üzerinden matematiksel işlemler sonucu yapılan karşılaştırma ve görüntü sınıflandırması sonrası yapılan karşılaştırma olarak ikiye ayırmak mümkündür. Görüntü bantları kullanılarak belirlenen değişim yönteminde piksellerin yansıma değerleri dikkate alınarak bir takım matematiksel işlemler uygulanır. Bu yöntemde görüntü oranlama, görüntü çıkarma, spektral indeksler, değişim vektör analizi ve temel bileşen analizi gibi teknikler örnek verilebilir. Görüntü oranlamada farklı zamanlara ait iki görüntünün bir veya birden fazla spektral bandında piksel yansıma değerleri oranlanır. Görüntü çıkarmada ise iki görüntüdeki piksellerin yansıma değerleri çıkartılarak değişim tespit edilir. İndeksler kullanılarak ise bant bazında bağımsız olarak veya iki ve daha fazla bandın kombinasyonları ile değişim tespiti yapılmaktadır (Singh, 1989). Sınıflandırma yöntemi ise farklı zamanlara ait görüntülerin sınıflandırılarak karşılaştırılması esasına dayanır. Sınıflandırma bir görüntüdeki belirli bir sınıfı oluşturan objelerin benzerliğinden yola çıkılarak gruplandırılmasıdır. Sınıflandırmada kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma olmak üzere iki metot kullanılmaktadır (Doğan, 2008).

Bu çalışmada su alanlarının değişim analizi, GEE platformunda spektral indeksler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Su alanlarının değişim tespitinde farklı birçok spektral indeks kullanılmaktadır (Nguyen ve ark., 2019). Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index, NDWI) ile su alanlarının belirlenmesinde son yıllarda başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Yang ve ark., 2017). Bu sebeple, bu çalışmada su alanlarının sınıflandırılmasında NDWI kullanılmıştır.

Uydu görüntüleri kullanılarak su yüzey alanı değişiminin izlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Nguyen ve ark. (2019), Yeni Zelanda'da bulunan su kütlelerinin 2013-2017 yılları arasındaki su yüzey alanlarını tespit etmek için Landsat 8 OLI uydu görüntülerine otomatik su çıkarma indeksi (Automated Water Extraction Index, AWEI) uygulamıştır. Landsat Surface Reflectance Tier 1 ürünleri bu çalışmada GEE'de analiz edilmiştir. Peker (2019), Türkiye'de Göller Yöresinde bulunan 16 göle ait su değişimini, alansal ve zamansal olarak incelemiştir. Çalışmada, 1984-2018 yılları arasındaki Landsat ve Sentinel-2 MSI uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uydu görüntülerinden su piksellerinin tespit edilmesi için ise NDWI kullanılmıştır. Göllerdeki su alanı değişimi ise yağış ve buharlaşma verileriyle birlikte analiz edilmiştir. Xia ve ark. (2019), Çin'in Huai Nehri Havzası su yüzey alanındaki mekânsal ve zamansal değişimleri bitki ve su indeksleri kullanarak analiz etmişlerdir. Su yüzey alanlarının mekânsal-zamansal dinamiği, 1989'dan 2017'ye kadar olan periyot için Landsat TM, ETM+ ve OLI uydu görüntüleri kullanılarak GEE bulut bilişim platformunda analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında, Huai Nehri'nin 1989-

2017 yılları arasındaki maksimum, yıllık, mevsimlik ve ortalama su yüzey alanları analiz edilmiştir.

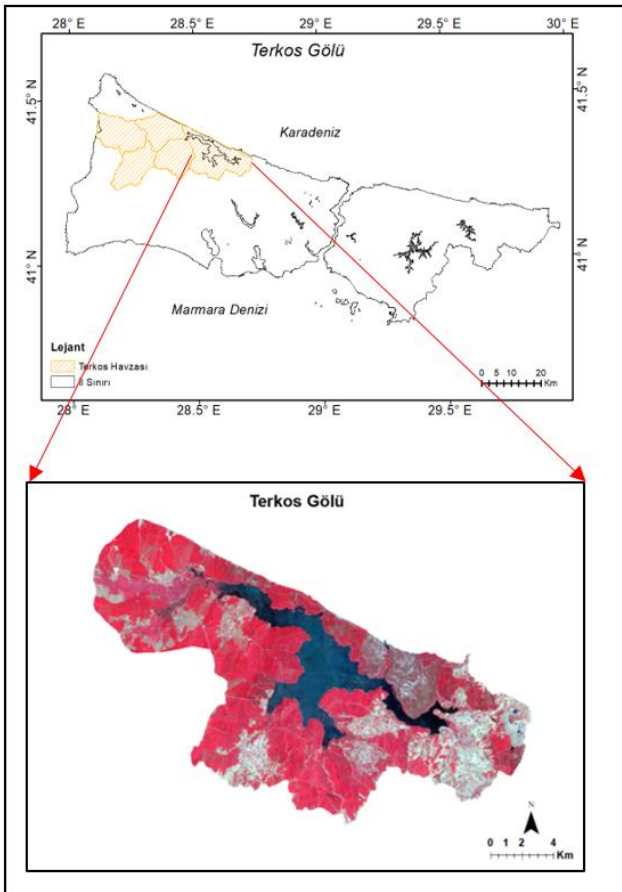
Yapılan bu çalışmanın amacı, İstanbul için önemli su kaynaklarından olan Terkos Gölü su yüzey alanının uzaktan algılama görüntüleri ile analiz edilmesi ve yıllara göre zamansal-mekansal su yüzey alanı değişiminin karşılaştırılmasından oluşmaktadır. Değişimin tespiti için Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 8 OLI uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, NDWI yöntemi kullanılarak 2000-2020 yılları arasındaki yıllık ve mevsimsel olarak Terkos Gölü su yüzey alanı GEE ile belirlenmiştir.

2. Yöntem

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı, İstanbul'un önemli su kaynaklarından biri olan, İstanbul'un kuzey batısında, kente yaklaşık 40–50 km uzaklıkta, 40°19'N ve 41°42'N enlem ve 28°29'E ve 28°32'E boylamları arasında bulunan Terkos Gölü'dür. Gölün su seviyesi +4,5 ile -2 metre arasındadır (Baki, 1997). Diğer adı Durusu olan Terkos Gölü, İstanbul'un su ihtiyacının yaklaşık %20'sini karşılamakta olan en önemli içme suyu kaynaklarından biridir. Daha önceleri Karadeniz'de bir koy olan Terkos Gölü dalga biriktirmesi ile kumsal ve alçak bir setle ayrılması sonucu göle dönüşmüştür. Terkos Gölü, İstanbul ili içinde 162 milyon m³'lük yıllık su verimiyle Avrupa yakasındaki en büyük su rezervi konumundadır. Göl 619 km²'lik su toplama alanına sahiptir (İSKİ, 2021).

İstanbul'un tatlı su ihtiyacını büyük oranda karşılamaktadır. Şekil 1'de çalışma alanı verilmiştir.



Şekil 1. Terkos Havzası ve Terkos Gölü Çalışma Alanı

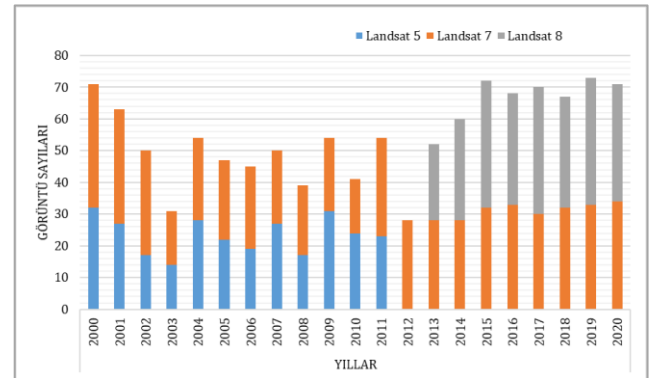
Genellikle gölün beslenme havzaları küçüktür, ancak Terkos Gölü'ne su taşımış olan dereler ise oldukça fazladır. Kanlı Dere, Fındık Dere, Çiftlikköy Deresi, Belgrad Deresi tarafından beslenen Terkos Gölü'nün insan faaliyetleri için kullanılması gölün su yüzeyinde değişime neden olabilmektedir.

İstanbul'un en eski su kaynaklarından biri olan Terkos sulak alanı, zengin bitki örtüsü ile de öne çıkmaktadır. Nesli tükenmekte olan pek çok hayvan türüne ev sahipliği yapan gölde Sibiryazı kazı, ak kuyruklu kartal, büyük orman kartalı az sayıda da olsa yaşamını sürdürüyor. Kış aylarında ise 10 binden fazla su kuşunu barındırmaktadır (Baylan ve Karadeniz, 2006).

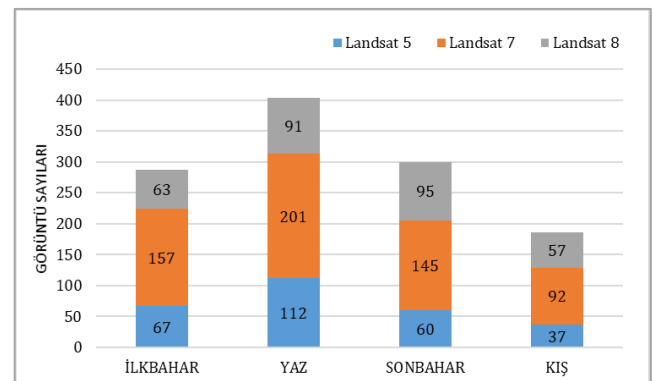
2.2. Veri

Bu çalışmada 2000 yılından 2020 yılına kadar olan Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 8 OLI uydu görüntüleri kullanılmıştır. Tablo 1'de Landsat uydularına ait spektral ve mekansal çözünürlük bilgileri verilmiştir. GEE platformunda görüntü koleksiyonları sorgulandığında, Landsat 5 TM uydu görüntüsünün 1984-2012 yıllarını kapsadığını ancak 2012 yılının Mayıs ayına kadar görüntü vermekte olduğunu ve çalışma bölgesinde 2012 yılına ait uydu görüntüsünün mevcut olmadığı görülmüştür. Landsat 7 ETM+ uydu görüntüleri 1999'dan 2021 yılına kadar olan dönemi kapsarken, Landsat 8 OLI uydu görüntüleri ise 2013'ten 2021 yılına kadar olan periyodu kapsamaktadır.

Şekil 2'de Terkos Gölü için kullanılan yıllık uydu görüntülerinin sayısı listelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan tüm Landsat (TM, ETM+ ve OLI) görüntü sayısı GEE platformunda yapılan sorgulamaya göre elde edilmiştir. 1 Ocak 2000 tarihinden 31 Aralık 2020 tarihine kadar toplam 1160 görüntüden oluşmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanı için yıllık kullanılan görüntü sayısı.



Şekil 3. Görüntü sayılarının mevsimsel olarak dağılımı.

Şekil 3'te ise çalışma alanı için kullanılan 1160 görüntünün farklı Landsat uyduları için mevsimsel olarak dağılımı verilmiştir. Yaz mevsimine ait görüntü

sayısının daha fazla olduğu görülmektedir. Yaz mevsimi için toplam 404 uydu görüntüsüne ulaşılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan Landsat TM, ETM+, OLI uydu görüntülerinin mekansal ve zamansal çözünürlükleri

LANDSAT 5 (TM)			LANDSAT 7 (ETM+)			LANDSAT 8 (OLI)		
Band	Spektral Çözünürlük (µm)	Mekansal Çözünürlük (m)	Band	Spektral Çözünürlük (µm)	Mekansal Çözünürlük (m)	Band	Spektral Çözünürlük (µm)	Mekansal Çözünürlük (m)
Mavi	0.45- 0.52	30	Mavi	0.45 - 0.52	30	Kıyı Aerosol	0.43 - 0.45	30
Yeşil	0.52- 0.60	30	Yeşil	0.52 - 0.60	30	Mavi	0.45 - 0.51	30
Kırmızı	0.63- 0.69	30	Kırmızı	0.63 - 0.69	30	Yeşil	0.53 - 0.59	30
Yakın Kızılötesi	0.76- 0.90	30	Yakın Kızılötesi	0.77 - 0.90	30	Kırmızı	0.64 - 0.67	30
Kısaldağ Kızılötesi 1	1.55- 1.75	30	Kısaldağ Kızılötesi 1	1.55 - 1.75	30	Yakın Kızılötesi	0.85 - 0.87	30
Termal Kızılötesi Kısaldağ Kızılötesi 2	10.40- 12.50	120(30)	Termal Kızılötesi Kısaldağ Kızılötesi 2	10.40 - 12.50	100(30)	Kısaldağ Kızılötesi 1	1.57 - 1.65	30
	2.08 - 2.35	30	Kızılötesi 2	2.08 - 2.35	30	Kısaldağ Kızılötesi 2	2.11 - 2.29	30
			Pankromatik	0.52 - 0.90	15	Pankromatik	0.52 - 0.90	15
						Sirrus	1.36 - 1.38	30
						Termal Kızılötesi 1	10.6 - 11.19	100
						Termal Kızılötesi 2	11.5 - 12.51	100

2.3 Metodoloji

Bu çalışma genel olarak; görüntü ön işleme, su yüzey alanlarının belirlenmesi, doğruluk değerlendirmesi ve değişim analizi olarak 3 adımda gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te tüm adımlar ve yapılan işlemler gösterilmektedir. 1. adımda Terkos Gölü çalışma alanı sınırlarına göre 2000 ve 2020 yıllarına ait tüm veriler GEE veri tabanından çağrılarak analizlere başlanmıştır. GEE'de yazılan kod Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ ve Landsat 8 OLI uydu verilerine ayrı ayrı uygulanmıştır.

En yüksek veri kalitesindeki Landsat görüntüleri Tier1 olup bu verilerin zaman serisi analizleri için kullanımı uygundur. Bundan dolayı çalışmada "Landsat Collection 1 Tier 1 Raw Scenes" verileri kullanılmıştır. Sorgulamalar 2000-2020 tarihine göre filtrelenmiş ve görüntü koleksiyonları bu tarihler arasında oluşturulmuştur. Tarih filtreleme işlemi gerçekleştirildikten sonra görüntüler üzerindeki su piksellerinin doğru olarak algılanabilmesi için görüntüde bulunan bulut, sis, kar gibi etkenler, yapılan çalışmalarda problem oluşturabilecek temel gürültü kaynakları olduğundan veri işlemede giderilmiştir. Bulutlar su piksellerinin belirlenmesini engellediği için analiz sonucunu etkilemektedir. Bundan dolayı bulutların giderilmesi için GEE'nin Landsat koleksiyonu için geliştirdiği "simpleComposite" fonksiyon kullanılmıştır. Bu fonksiyon ham Landsat görüntülerini birleştirir ve en düşük bulut puan aralığı seçerek her piksele bir bulut değeri atar ve bulutsuz birleşik görüntüler oluşturur (GEE, 2021). 2. adımda ise çalışma bölgesi için 1160 görüntü sahnesi kullanılarak su pikselleri NDWI ile tespit edilmiştir. Su kütleleri görünür ve yakın kızılötesi elektromanyetik spektrumdaki ışığı güçlü bir şekilde yuttuğu için

NDWI'da yeşil ve yakın kızılötesi bantlar kullanılır (Xu, 2006). NDWI formülü Eşitlik 1'de gösterildiği gibi kullanılmaktadır. NDWI değerleri -1 ve +1 arasında değişir ve sıfırdan büyük değerler su sınıfını, sıfırdan küçük değerler ise su sınıfında olmayan alanları belirtir (McFeeters, 1996).

$$NDWI = \frac{(Yeşil - Yakın Kızılötesi)}{(Yeşil + Yakın Kızılötesi)} \quad (1)$$

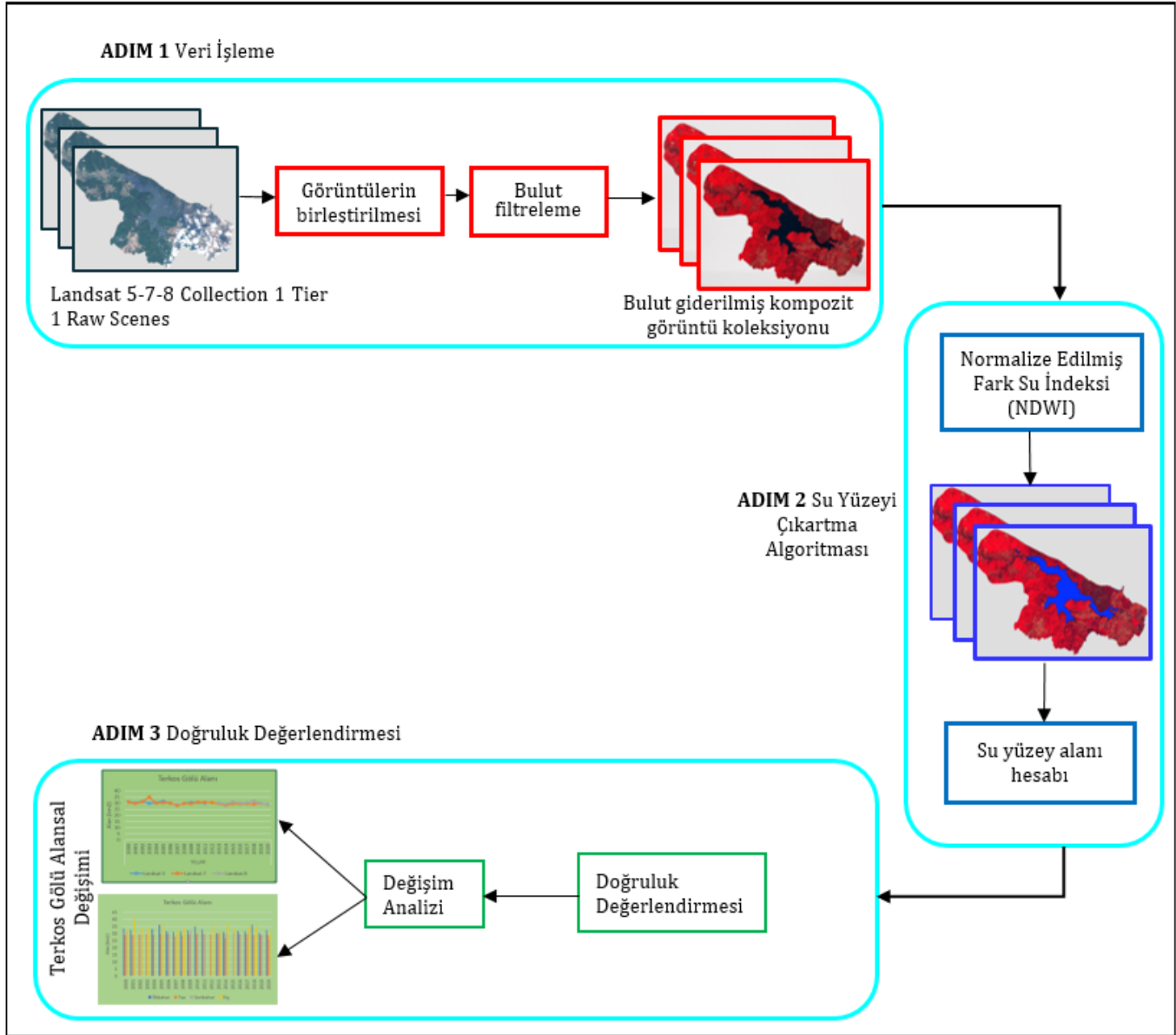
Daha sonra NDWI ile belirlenen su piksellerinin toplam alanı hesaplanmıştır. Alan hesabından sonra sınıflandırmanın performansını belirlemek için doğruluk analizi yapılmalıdır. 3. Adımda ise su alanının ne kadar doğrulukla hesaplandığı hata matrisi oluşturularak değerlendirilmiştir. Doğruluk analizi, su ve diğer alanlar olarak sınıflandırılmış görüntüden seçilen noktaların referans sınıfları ile karşılaştırılması esasına dayanır. Rastgele seçilen noktaların görüntünün mümkün olduğunca her bölümünden toplanmasına ve homojen dağılmasına dikkat edilmiştir. Hata matrisi ile sınıflandırmanın genel doğruluğu, kullanıcı doğruluğu, üretici doğruluğu ve kappa katsayısı belirlenmiştir (Foody, 2002).

Genel doğruluk, doğru olarak sınıflandırılmış piksellerin referans piksellerin toplam sayısına bölünmesi ile elde edilir. Üretici doğruluğu, bir sınıfı test etmek için toplanan noktaların kaç tanesinin doğru olarak sınıflandırıldığını ölçer. Her sınıf içinde doğru olarak sınıflandırılmış piksellerin sayısını, bu sınıf için kullanılan örnek piksel sayısına bölerek bulunur. Kullanıcı doğruluğu, her sınıf içinde doğru sınıflandırılmış piksel sayısını, bu kategori içinde

sınıflandırılan piksellerin toplam sayısına bölünmesiyle bulunur.

Kappa katsayısı, hata matrisinin satır ve sütun toplamları ile köşegeni üzerindeki elemanlar kullanılarak hesaplanmaktadır. Doğruluk

değerlendirmesi yapıldıktan sonra Terkos Gölü su yüzey alanının yıllık ve mevsimlik değişim analizi yapılmıştır. 2000-2020 yılları arasında Terkos Gölü alan değerleri için grafikler oluşturulup değişim incelenmiştir.



Şekil 4. Çalışmanın iş akış şeması

3. Bulgular

Bu çalışmada, Landsat 5 TM, 7 ETM+ ve 8 OLI görüntülerinden 2000-2020 yılları arasında Terkos Gölü'ne ait su yüzey alanları elde edilmiş ve yıllık-mevsimlik alan değişimi analiz edilmiştir. Bu aşamadan sonra yapılan çalışmanın doğruluğu kontrol edilmiştir. Yapılan çalışmanın doğruluğu ise oluşturulan haritalarla değerlendirilmiştir. Sonuçların doğruluğunu belirlemek için yıllık olarak su alanının en fazla çıktığı 2003 yılı alınmıştır.

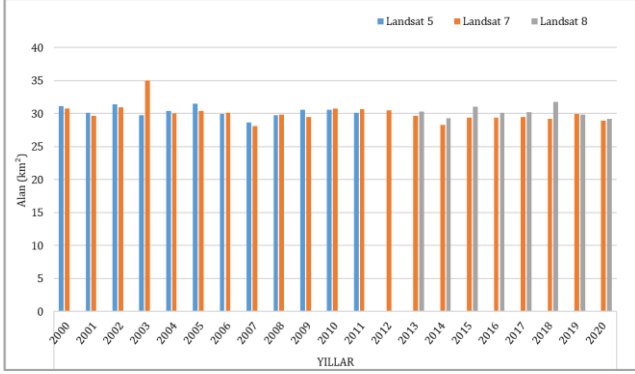
Landsat 5 TM 2003 uydu görüntüsüne göre hata matrisi oluşturulmuştur. Analiz sonucunda oluşturulan harita, su ve diğer alanlar olmak üzere iki sınıfa ayrılmış ve sınıf bazında 50 kontrol noktası ile doğruluk değerlendirme yapılmıştır. Hata matrisine göre genel

doğruluk %93, kappa katsayısı 0.86, üretici doğruluğu %95.74, kullanıcı doğruluğu ise %90 bulunmuştur. Sınıflandırma sonucu doğruluk değerlendirmesinde su alanının %90'nın üzerinde yüksek bir doğruluk ile yapıldığını göstermektedir.

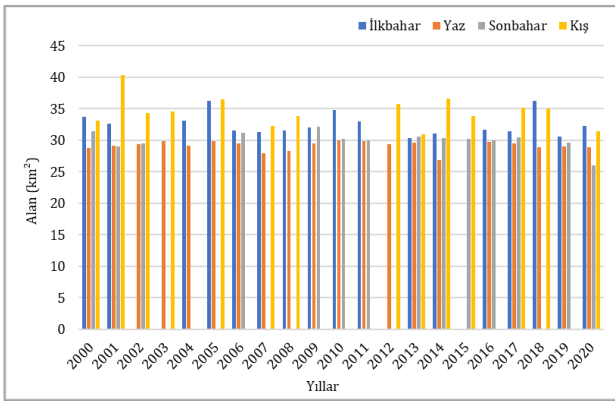
GEE'de bütün sorgulamalar ve yıllık-mevsimlik alan hesabı tamamlandıktan sonra sonuç verileri grafiklerle gösterilmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6'da yıllık-mevsimlik alan değişimleri verilmiştir. Yıllık analizler o yıla ait tüm Landsat uydu görüntüleri birleştirilerek su yüzey alanının hesaplanması ile belirlenmiştir. 2000 yılında Terkos Gölü'nün alanı 31.15 km² iken 2020 yılında alan 28.98 km²'ye gerilemiştir. 2000 yılından 2020 yılına kadar Terkos Gölü alanında %6.9'luk bir azalma yaşanmıştır. Göl alanının en düşük değere sahip olduğu 2007 yılında su alanı 28.63 km²'dir. Gölün en yüksek alana ulaştığı yıl ise 2003 yılı olup alan 34.95 km²'dir.

Tablo 2. Terkos Gölü 2003 yılı sonuç haritasına göre hata matrisi ve doğruluk değerlendirmesi

Çalışma Alanı (2003)	Su Alanı	Diğer Alanlar	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu (%)
Su Alanı	45	5	50	90
Diğer Alanlar	2	48	50	96
Toplam	47	53	100	Genel Doğ. = %93
Üretici Doğruluğu (%)	95.74	90.56		Kappa = 0.86

**Şekil 5.** Terkos Gölü yıllık alan değişimi

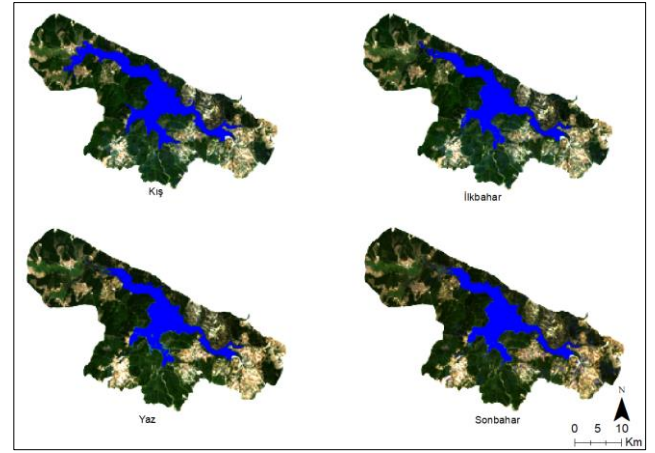
Mevsimsel analiz; yılın ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerindeki aylarda elde edilen görüntüler birleştirilerek su yüzey alanlarının hesaplanması ile belirlenmiştir. 2000 yılı ilkbahar mevsiminde alanın 33.67 km², yaz mevsiminde ise 28.82 km²'ye gerilediği belirlenmiştir. 2001 yılı kış mevsimi görüntülerinden alanın 40.3 km² ile en yüksek seviyeye ulaştığını bu yılın sonbahar mevsiminde ise alanın 28.98 km²'ye düştüğü belirlenmiştir. 2020 yılı sonbahar ayında 26.07 km² ile en düşük seviyeye gerilediği belirlenmiştir. Aynı yılın bütün mevsimleri karşılaştırıldığında ilkbahar ve kış aylarında alanın daha yüksek değerde olduğunu yaz aylarında ise en düşük değere ulaştığı gözlenmektedir.

**Şekil 6.** Terkos Gölü mevsimlik alan değişimi

Şekil 7'de alansal değişimin en çok yaşandığı 2001 yılına ait mevsimsel su alanı görüntüleri gösterilmektedir. 2001 yılı kış ayı görüntülerinden alanın 40.3 km² ile en yüksek seviyeye ulaştığı bu yılın sonbahar ayında ise alanın 28.98 km²'ye düştüğü belirlenmiştir. Bu yılın ilkbahar ayında alan 32.63 km² iken yaz ayında 29.16 km²'dir.

Analizler sonucunda uydu görüntülerinden Terkos Gölü su alanında azalma olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak gölün 2000-2020 yılları arasındaki yıllık ortalama alan değerleri Tablo 3'te özetlenmiştir. Göl yüzey alanının etkin bir şekilde karşılaştırılabilmesi için

gölün 2000 ve 2020 yıllarındaki alan değerleri seçilmiştir. Terkos Gölü için su alan değişimi incelenirse 2000 yılında Terkos Gölü alanının 31.15 km² iken 2020 yılında 28.98 km²'ye gerilediği tespit edilmiştir. 2000 yılından 2020 yılına kadar Terkos Gölü alanında %6.9'luk bir azalma yaşanmıştır. Ayrıca Tablo 3'te 2000 ve 2020 yılına ait değişimin yüzdelik karşılaştırılması yapılmıştır.

**Şekil 7.** 2001 yılının mevsimlik alan çıktıları**Tablo 3.** Terkos Gölü'nün 2000-2020 yılı alan değerleri

Yıl	2000	2020	2000-2020 Değişim (%)
Alan (km ²)	31.15	28.98	6.9

3. Sonuçlar

Bu çalışmada İstanbul ilinde bulunan Terkos Gölü su yüzey alanının değişimi izlenmiştir. GEE'de yapılan değişim analizine göre Terkos Gölü su alanı 2000-2020 yılları arasında Tablo 3'te görüldüğü gibi %6.9 azalmıştır. 2015 yılında yapılan bir çalışmada Terkos Gölü alanı ve kıyı çizgisinin 1987 yılından 2014 yılına kadar sadece Mayıs ayı için Landsat uydu görüntüleri ile arazi değişimi incelenmiştir (Kurt, 2015). 1987 yılında Terkos Gölü alanı 41.16 km² iken 2014 yılında alan 31.37 km²'ye gerilemiştir. Bu çalışmaya göre Terkos Gölü su alanında 27 yıllık sürede 9.79 km²'lik (%23.78) bir azalma olmuştur. Bu azalmanın temel sebebi ise kaynakların insan faaliyetleri tarafından aşırı kullanımı olarak gösterilmektedir.

Yapılan çalışmalar da incelendiğinde Terkos Gölü'nde meydana gelen bu değişime sebep olan önemli etkinin başında insan faktörü gelmektedir. Son yıllarda yapılaşma baskısı altında olan göl çevresinde yerleşim alanlarının artması o bölgede insan faaliyetlerinin arttığını göstermektedir. Yerleşim alanlarından gelen atıksular, Terkos Gölü'nü besleyen derelere karışmaktadır (TMOBB, 2014). Bu durum, Terkos

Gölü'nün kirlenmesine yol açarak göl için bir tehdit oluşturmaktadır. Yerleşim yerlerindeki artışların ve İstanbul kentine yeni yerleşim alanları kazandıracak büyük projelerin, kente var olan göçü daha da hızlandırarak su alanları için tehlikeli bir boyuta gelmesi kaçınılmaz olacaktır.

Göl alanı değişimindeki bir diğer önemli etki ise son yıllarda yaşanan kuraklıktır. Havzalar; gölü besleyen derelerin yanı sıra yağışlardan da beslendiğinden, İstanbul'un su kaynakları için önem kazanmaktadır. Son dönemlerde İstanbul'da yetersiz yağış olması nedeniyle kuraklık devam ederken, kentin barajlarındaki su seviyesinde azalma kaydedilmiştir. İSKİ verilerine göre, 2020 yılının son ayında şehrin barajlarındaki su seviyesi %20.29'a gerilemiştir. Yağışların azalmasının yanı sıra göl yüzeyinden suyun buharlaşması Terkos Gölü su alanının her geçen yıl daha da azalacağını göstermektedir.

'Yağış rejiminin değişmesi ve kuraklık ile temiz içme suyu temini daha da güçleşecektir.' 'Yağış rejiminin değişmesi ve kuraklık ile tarımsal ve içme amaçlı temiz su gereksinimi artacaktır' (İBB, 2009).

Özetle, göl çevresinde yerleşim alanlarının artması, tarımsal faaliyetler, gölü besleyen kaynakların bilinçsizce kullanımı, kuraklık ve buharlaşma gibi faktörler göl alanında değişime sebebiyet vermiştir. Bu durum, Terkos Gölü gibi İstanbul için önemli su kaynaklarının yok olmasını önlemek için tedbir alınmasını ve sürdürülebilir bir yönetim planının oluşturulmasını gerektirmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışmada verilerin işlenmesinde kullanılan Google Earth Engine platformuna ve uydu görüntülerini bizlere sağladığı için 'United States Geological Survey (USGS)' e teşekkür ederiz.

Araştırmacıların katkı oranı

Merve Karaca: Literatür taraması, Görüntü işleme, Makale yazımı; **Nur Yağmur:** Görüntü işleme, Makale Yazımı, Düzenleme; **Filiz Bektaş Balçık:** Makale yazımı, Düzenleme

Çatışma beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Baki T (1997). Terkos Gölü Su Kalitesi Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 118 s., İstanbul.

Baylan E & Karadeniz N (2006). Terkos Gölü İstanbul Örneğinde Doğal ve Kültürel Çevrenin Korunması ve Geliştirilmesi Üzerine Bir Araştırma. Journal of Agricultural Sciences, 12(02), 151-161. DOI: 10.1501/Tarimbil_0000000471

Foody G M (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote sensing of environment*, 80(1), 185-201.

GEE – Google Earth Engine. Erişim adresi: <https://developers.google.com/earth-engine/apidocs/ee-algorithms-landsat-simplecomposite>

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.

İBB – İstanbul Büyükşehir Belediyesi (2009). İstanbul Çevre Düzeni Planı Raporu

Doğan İ (2008). Uzaktan Algılama Verileri ile Kıyı Çizgisi Değişiminin Zamansal Olarak Belirlenmesi: ALAÇATI Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans Tezi, İstanbul.

İSKİ- İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (2021). Erişim adresi: <https://www.iski.istanbul/web/tr-TR/kurumsal/iski-hakkinda1/su-kaynaklari1>

Jiang H, Feng M, Zhu Y, Lu N, Huang J & Xiao T (2014). An automated method for extracting rivers and lakes from Landsat imagery. *Remote Sensing*, 6(6), 5067-5089.

Kalkınma Bakanlığı (2018). Su Kaynakları Yönetimi ve Güvenliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 11. Kalkınma Planı (2019-2023). Erişim adresi: https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/04/SuKaynaklariYonetimi_ve_GuvenligiOzellhtisasKomisyonuRaporu.pdf

Kurt S (2015). The geographical analysis of the changes occurring in Terkos Lake (Istanbul) and its surroundings. *Journal of Academic Social Science Studies*, (34), 333-344.

Li L, Xia H, Li Z & Zhang Z (2015). Temporal-Spatial Evolution Analysis of Lake Size-Distribution in the Middle and Lower Yangtze River Basin Using Landsat Imagery Data. *Remote Sensing*, 7, 10364-10384.

Mateo-Garcia G, Muñoz-Marí J & Gómez-Chova L (2017). Cloud detection on the Google Earth engine platform. 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 1942-1945.

McFeeters S K (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.

Midekisa A, Holl F, Savory D J, Andrade-Pacheco R, Gething P W, Bennett A & Sturrock H J (2017). Mapping land cover change over continental Africa using Landsat and Google Earth Engine cloud computing. *PLoS ONE* 12(9), e0184926.

Nguyen U N, Pham L T & Dang T D (2019). An automatic water detection approach using Landsat 8 OLI and Google Earth Engine cloud computing to map lakes and reservoirs in New Zealand. *Environmental monitoring and assessment*, 191(4), 1-12.

Peker E A (2019). Spatio-temporal changes of lake water extents in lakes region (Turkey) using remote sensing. Yüksek Lisans Tezi. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sabancı A (2020). Burdur Gölü Kıyı Şeridindeki Değişiminin Uzaktan Algılama ile Haritalanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), 623-633.

- Singh A (1989). Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International journal of remote sensing*, 10(6), 989-1003.
- TMOBB (2014). İstanbul Su Havzaları Teknik Değerlendirme Raporu-1.
- UNESCO (2021). United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. The United Nations world water development report 2021, VALUING WATER. Available online: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724>
- Xia H, Zhao J, Qin Y, Yang J, Cui Y, Song H, ... & Meng Q (2019). Changes in water surface area during 1989–2017 in the Huai River Basin using Landsat data and Google earth engine. *Remote Sensing*, 11(15), 1824.
- Xu H (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033.
- Yagmur N & Musaoglu N (2020). Temporal Analysis of Ramsar Sites via Remote Sensing Techniques – A Case Study of Meke Maar. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 737(1), 012248.
- Yang X, Zhao S, Qin X, Zhao N, Liang L (2017), Mapping of urban surface water bodies from Sentinel-2 MSI imagery at 10 m resolution via NDWI-based image sharpening, *Remote Sensing*, 9(6), 596, doi: 10.3390/rs9060596.
- Zurqani H A, Post C, Mikhailova E, Schlautman M & Sharp J (2018). Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 69, 175-18.



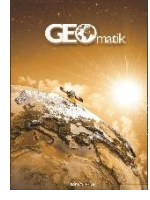
© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



GEOMATİK

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

e-ISSN 2564-6761



QZSS uyduları ve sinyal yapıları

Atınç Pırtı¹ , Zeynep Örs Gündoğan¹ , Merve Şimşek¹ 

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

QZSS
GNSS
Navigasyon sinyalleri
Birlikte çalışabilirlik

ÖZ

Hassas konumlama sistemleri, kullanım amacına göre küresel ya da bölgesel olarak tasarlanmaktadır. GPS (Global Positioning System), GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) ve Galileo gibi küresel sistemlerin yanı sıra yerel ihtiyaçlara çözüm üretebilmek amacıyla QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) ve NavIC (Navigation with Indian Constellation) gibi bölgesel sistemler de mevcuttur. Quasi-Zenith uydu sistemi, Asya Pasifik bölgesi için tasarlanmış bölgesel bir uydu navigasyon sistemidir. Asya-Pasifik bölgesinde GPS'in servis kabiliyetini geliştirmesi hedeflenmektedir. İlk uydu 2010 yılında fırlatılmış ve farklı zamanlarda üç uydu daha fırlatılmıştır. QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) mevcut durumda 4 uydu ile hizmet vermekte olup, 2024 yılına kadar 7 uydunun fırlatılmış olması planlanmaktadır. QZSS, GPS ile bütünleşmiş bir şekilde çalışması planlandığından GPS ile uyumlu olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmada, Quasi-Zenith uydu sisteminin genel özellikleri, sinyal yapısı, kullanım amacı ve benzeri diğer sistemler ile arasındaki farklılıklar hakkında bilgi verilmektedir.

QZSS satellites and signal structures

Keywords

QZSS
GNSS
Navigation signals
Interoperability

ABSTRACT

Precise positioning systems are designed globally or regionally according to the intended use. In addition to global systems such as GPS, GLONASS and Galileo, regional systems such as QZSS and NavIC are also available to provide solutions to local needs. The Quasi-Zenith satellite system is a regional satellite navigation system designed for the Asia Pacific region. It is aimed to improve the service capability of GPS in the Asia-Pacific region. The first satellite was launched in 2010 and three more were launched at different times. The QZS system is currently in service with 4 satellites, and it is planned to launch seven satellites by 2024. QZSS is designed to be compatible with GPS as it is planned to work in an integrated manner with GPS. In this study, information is given about the general characteristics of the Quasi-Zenith satellite system, its signal structure, purpose of use and the differences between it and other similar systems.

1. Giriş

Günümüzde hassas konum bilgisi üretilmesi amacıyla tüm dünyayı kapsayacak şekilde tasarlanmış 4 (dört) küresel ve yerel ihtiyaçları karşılamaya yönelik planlanmış 2 (iki) bölgesel konumlama sistemi bulunmaktadır. Küresel konumlama sistemleri GPS, GLONASS, GALİLEO, BeiDou ve yerel konumlama sistemleri ise Quasi-Zenith uydu sistemi ve NavIC olarak adlandırılmaktadır. Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS), konumlama ve zamanlama verilerini GNSS alıcılarına ileten ve uzaydan sinyaller sağlayan uydulardan oluşan sistemi ifade etmektedir. Sistemin temel bileşenleri konum bilgilerini yayınlayan Dünya yörüngesindeki uydu sistemleri, yer kontrol istasyon ağları ve yer konumlarını hesaplayan alıcılardır. Küresel bir kapsama alanı sağlayan GNSS, karada, denizde ve havada bulunan sabit veya hareketli nesnelerin konumlarını, hassas zaman bilgisi ve uzay geriden kestirme tekniğine dayalı olarak belirlemektedir (Gökalp & Boz, 2006). Bu sistemler başlangıçta askeri amaçlı olarak tasarlanmış ancak zaman içerisinde sivil ve ticari kullanıma evrilmiştir.

Uluslararası GNSS servisi (International GNSS Service- IGS) istasyon koordinat serileri, diğer uydu jeodezi tekniklerinin VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR/LLR (Satellite/Lunar Laser Ranging) ve DORIS (Doppler Orbitography and Radio positioning Integrated by Satellite) karşılık gelen sonuçlarıyla birlikte ITRF'yi (International Terrestrial Reference Frame), gerçekleştirmek için IERS (International Earth Rotation Service) tarafından kullanılmaktadır. Jeodezi ve haritacılıkta neredeyse tüm ulusal birinci dereceden ağlar ITRF'yi referans almaktadır ve bunu IGS ürünlerini kullanarak gerçekleştirmektedir. Yer, atmosfer ve okyanus bilimleri ile meteoroloji ve klimatoloji gibi sayısız alanda gerçekleştirilen uygulamalar için GNSS temel verileri sağlamaktadır (Plag & Pearlman, 2007). Küresel navigasyon uydu sistemi, konumlama, navigasyon ve zamanlama verilerini yayınlayan uydu sistemleri herhangi biri için kullanılan genel bir terimdir. Günümüz itibarıyla sistemde dört küresel ve iki bölgesel sistem bulunmaktadır. GNSS sistemlerine ilişkin temel bilgiler Tablo 1'de yer almaktadır.

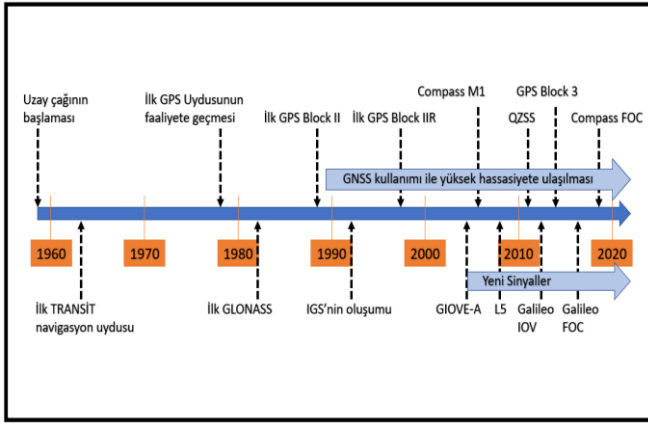
Tablo 1. Küresel Konumlama Sistemlerinin karşılaştırması

	Kurucu	Kapsam	Rakım (m)	Uydu Sayısı
GPS	ABD Uzay Kuvvetleri	Küresel	20.180	32
GLONASS	Roskosmos	Küresel	19.130	24
Galileo	GSA ve ESA	Küresel	23.222	30
BeiDou	CNSA	Küresel	21.528 35.786	35
QZSS	JAXA	Bölgesel	32.000 40.000	4
IRNSS/NavIC	ISRO	Bölgesel	36.000	8 (7 tanesi yörüngede)

Küresel konumlama sistemlerinin ilki olan GPS, ekvator düzlemi ile 60° açıyla ayrılan, altı yörünge düzlemine eşit olarak dağıtılmış 32 uydudan oluşmaktadır (Plag & Pearlman, 2007). GLONASS ise Rusya Uzay Savunma Güçleri Komutanlığı tarafından işletilen küresel ölçekli bir konumlama sistemidir. Gerçek zamanlı uydu verileri ile noktaların konumunu hızlı ve güvenilir bir şekilde belirlemek amacıyla tasarlanmıştır. 1982 yılında Cosmos adı verilen ilk GLONASS uydusu uzaya fırlatılmıştır. GLONASS 19100 km yükseklikte bulunan 24 adet uydudan oluşmaktadır. Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından sivil kullanım için tasarlanan GALİLEO sistemi adını ünlü İtalyan astronom Galileo Galilei'den almaktadır. GALİLEO sistemi 3 adet yörünge üzerinde yer alan 30 adet uydudan oluşmaktadır. Bu uydular 23.222 km yüksekte konumlandırılmıştır. Her bir yörüngede 8 işlevsel ve 2 adet yedek uydu bulunmaktadır. GALİLEO küresel uydu sistemi, GPS, GLONASS ve BeiDou sistemlerinin askeri odaklı özelliklerinin aksine, sivil

kullanım amacı düşünülerek tasarlanmıştır. 2015 yılında Çin, küresel kapsama için üçüncü nesil BeiDou sistemi olan BeiDou-3'ü piyasaya sürmüştür. BeiDou sisteminin ilk uydusu 30 Mart 2015'te uzaya fırlatılmıştır. 2018 yılında BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi küresel hizmetler sunmaya başlamıştır. Uydu konumlama sistemlerinin tarihsel gelişimi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Quasi-Zenith uydu sistemi, Japonya Havacılık ve Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) tarafından, Asya-Pasifik ve çevre bölgesindeki kullanıcılara hizmet verme amacıyla oluşturulmuş bölgesel bir sistemdir. Japonya'da, uydu konumlama için geçmişte ve günümüzde yaygın olarak Amerika Birleşik Devletleri'nin geliştirdiği küresel konumlama sistemi (GPS) kullanılmıştır. Bölgedeki GPS uydularının sayısının yetersiz olması nedeniyle istenilen doğruluk ve hassasiyetle konum bilgisinin üretilmemesi bölgesel bazda uydu konumlama sistemi tasarımını gerekli kılmıştır.

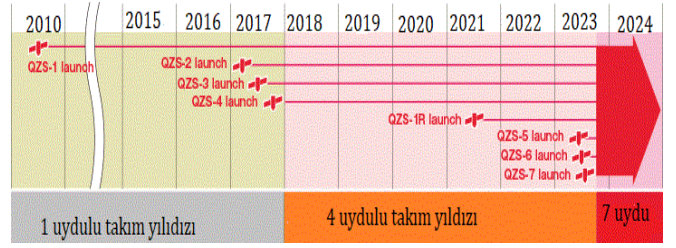


Şekil 1. Uydu Konumlama Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi (Yozgatlı, 2016)

Bu sebeple, Japonya ve çevre bölgesinde etkili bölgesel bir uydu konumlama sistemi olarak Quasi-Zenith Uydu Sistemi tasarlanmıştır (Karasawa et al., 2019). Japon hükümeti Quasi-Zenith Uydu Sistemini geliştirmenin ilk aşamasını üstlenmiştir. Yeni uydular, kentsel kanyonlarda ve dağlık arazilerde bile Japonya'daki kullanıcılara kesintisiz konumlama ve navigasyon hizmeti verecek şekilde eğimli, eliptik bir jeosenkron yörünge üzerinde konuşlandırılmıştır. İlk aşamada QZSS, yeni nesil uydu iletişimi ve navigasyon gibi çoklu misyonlara yönelik ortak bir sistem olarak tasarlanmıştır. 2006 yılındaki revizyon ile QZSS, navigasyon hizmetine özel bir sistem olarak yeniden tasarlanmıştır (Inaba et al., 2009).

QZSS, endüstriyel küresel rekabet gücünü güçlendirmek, günlük yaşamı ve kamu yönetimini daha verimli hale getirmek amacıyla gündeme alınmıştır. Japonya-ABD ortaklığının güçlendirilmesi ve doğal afetlere müdahale kapasitesinin geliştirilmesi de dâhil olmak üzere geniş bir alana katkıda bulunması hedeflenmektedir. Diğer ülkelerin hâlihazırda navigasyon uydu sistemleri geliştirdiği gerçeği göz önüne alındığında, Japon Hükümeti operasyonel QZSS'nin dağıtımını mümkün olduğunca hızlı bir şekilde tamamlamaya çalışmaktadır. Bu kapsamda; 2010'ların sonunda dört uydu sistemi ve gelecekte, sürdürülebilir konumlamayı sağlamak için, yedi uydu sistemi olacak şekilde tasarlanmıştır. Kabine Ofisi, bu projeyi geliştirme, dağıtım, işletme, kullanım ve küresel yayılımın her aşamasında teşvik etmek için ilgili bakanlıklar ve ajanslar ile koordineli olarak çalışmaktadır. Bakanlar Kurulu'nun görevi, sürecin planlanan zamanda yerine getirebilmesi için yasal değişikliklerin yapılmasıdır (URL-1, 2021).

Michibiki olarak isimlendirilen ilk uydu QZS-1, 2010 yılında fırlatılmıştır. Yol gösteren anlamına gelen Michibiki, hassas konum bilgisi üreterek, Japonya'da yeni nesil uydu konumlama teknolojisi ile fütürist bir topluma dönüşme misyonunu ifade etmektedir. 2017 yılında üç QZSS uydusu daha fırlatılmıştır. Quasi-Zenith Uydu Sistemi 2018 yılından itibaren dört uydu sistemi ile hizmet vermektedir. QZSS başlangıçta 4 uydunun olduğu bir sistem olarak tasarlanmıştır ve ikinci aşamada 2024 yılında 7 uydulu bir sisteme dönüştürülmesi planlanmıştır (Şekil 2)(Zhang ve diğerleri, 2018).



Şekil 2. QZSS uydu dağıtım planı (URL-2)

Uydu sinyalleri, yoğun kentleşme nedeniyle inşa edilen yüksek yapı binalar, ormanlık bölgelerde ağaçlar ve diğer nesnelere tarafından engellenmektedir. GPS uydularının yetersizliği bazı durumlarda Japonya ve çevre bölgesinde istikrarlı konumlama bilgisinin alınmasını zorlaştırmaktadır. QZSS, GPS'in Asya-Pasifik bölgesinde, özellikle de Japonya'daki dağlık arazi ve yüksek yapı binalar nedeniyle sinyal yetersizliği olan kentsel alanlar için servis kapasitesini geliştirmek amacıyla tasarlanmıştır (Hong ve diğerleri, 2020). QZSS sisteminin hızla genişlemesi ile gelecekteki Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) daha geniş bir alana hitap edecektir (Zhang ve diğerleri, 2018). QZSS'nin tasarım içeriği, GPS ve Galileo sistemlerinden büyük ölçüde farklıdır. Çünkü konumlama sistemlerinin gereksinimleri hizmet, hizmet alanı ve daha da önemlisi bunların altında yatan ulusal alan geliştirme politikası ile ilişkilidir (Inaba ve diğerleri, 2009). GPS ölçekli sistemlere kıyasla, QZSS ölçekli sistemler çok daha düşük maliyetler ile tesis edilmektedir. QZSS'nin temel amacı, modern yaşam alanındaki birçok uygulama için ülke çapında kullanılmak üzere hassas ve güvenli konum bilgisinin üretilmesinin sağlanmasıdır.

2. QZSS ana bölümleri

QZSS, uzay, kontrol ve kullanıcı bölümlerinden oluşmaktadır. Uzay bölümünde Quasi Zenith uyduları yer almaktadır. Sistemin yer kontrol bölümü ise bir ana kontrol istasyonu, bir izleme istasyonu, izleme kontrol istasyonları ve diğer ulusal araştırma enstitülerinin sistemlerinin entegrasyonundan oluşmaktadır (Inaba ve diğerleri, 2009).

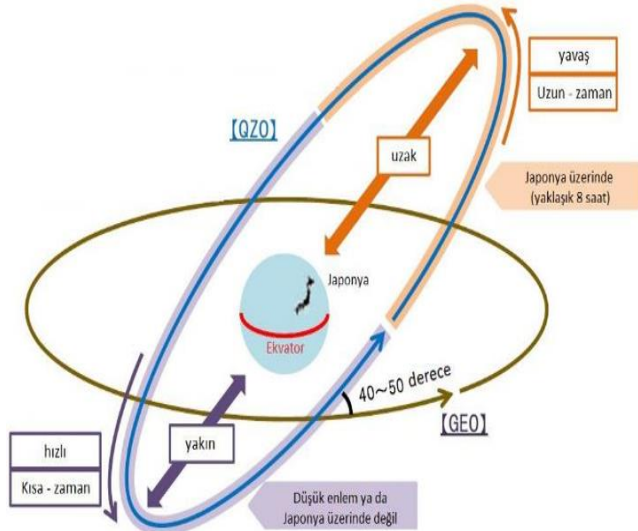
2.1. Uzay bölümü

Uzay bölümü, ekvator düzleminde yer yüzeyinden 36.000 kilometre yukarıda yörüngede dönen QZSS sistemlerini tanımlamaktadır. Sistemde yer alan bu uydular, hangi uydunun yayın yaptığını, zamanını, yörüngesini ve durumunu tanımlayan sinyaller yayınlamaktadır.

2.1.1. QZSS yörüngeleri

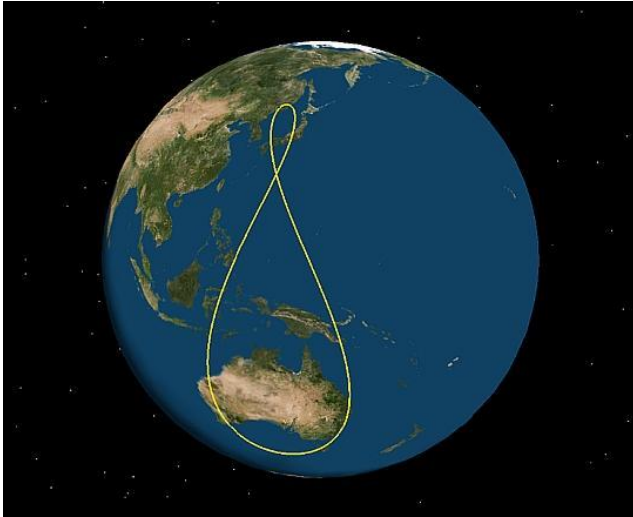
Japonya ve çevre bölgesinden geçen uyduların yörünge bilgilerine ait doğruluğun artırılması amacıyla tasarlanan sistemde uydu yörüngeleri eğimli bir elipstir. Sekiz şekline benzer yer izleri ile Quasi-Zenith uyduları, aynı bölgeden geçen 8 saatlik bir periyotla Japonya'nın üzerinde dolaşmaktadır (Teunissen ve Montenbruck, 2017). Quasi-Zenith uydu yörünge rotası Şekil 4'te yer almaktadır.

QZSS, 3 adet Quasi-Zenith yörüngeli uydu ve bir adet jeosenkron uydudan oluşmaktadır. Jeosenkron uydu ekvator düzleminde yer küre ile eş zamanlı dairesel bir yörünge izlemektedir. Quasi-Zenith yörüngeli uydular jeosenkron yörüngeye göre 40-50° arasında eğik ekliptik yörüngelerde konumlandırılmıştır (Shozaki 2018, İçen 2018). QZSS yörüngeleri Şekil 3, 4 ve 5'te gösterilmektedir.



Şekil 3. QZSS yörüngeleri (Shozaki 2018, İçen 2018)

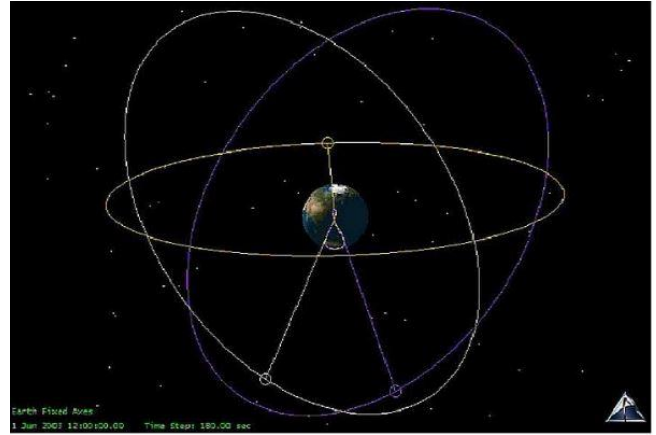
Quasi-Zenith Uydu Sistemi için benimsenen yörünge rotası, sistem uydu yayın hizmetleri için kullanıldığında, uydudan uyduya kolayca bağlantı değiştirebilme avantajına sahiptir. Bu yörünge rotası ile bir uydunun Japonya üzerinde daha uzun süre kalması hedeflenmiştir.



Şekil 4. Quasi-Zenith uydu yörünge rotası (JAXA)

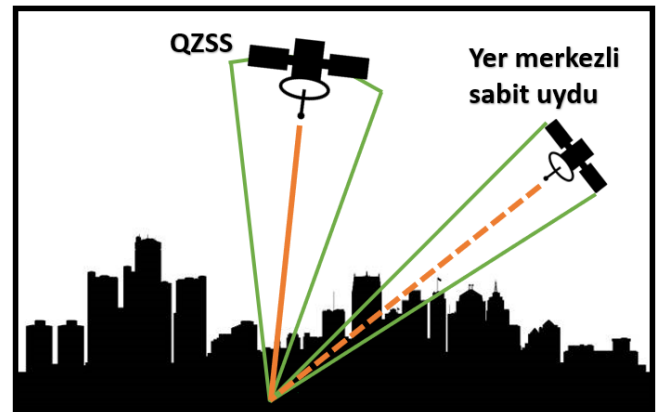
QZSS uyduları jeosenkron yörünge ile uçtuğundan, uydulara etki eden kuvvetler esas olarak Dünya'nın yerçekimi, ay-güneş çekimi ve güneş radyasyon basıncı ve diğer etkilere bağlıdır (Murata, 2004). Uydu yörünge tasarımı ile hedeflenen bölgede uydu aracılığıyla konum bilgisinin üretilebilmesi için dört veya daha fazla uydunun yer alması gerekmektedir. QZSS sistem düzlemleri birbirine göre 120° eğimli, eliptik jeosenkron

yörüngelerde yer alan üç adet uydudan oluşmaktadır (Şekil 5). Uyduların yer izleri Şekil 4'te gösterilmektedir. Yörünge konfigürasyonu, her bir uydunun diğerini şeklinin yer izinde 8 saat aralıkla takip edecek şekilde tasarlanmıştır (Inaba ve diğerleri, 2009).



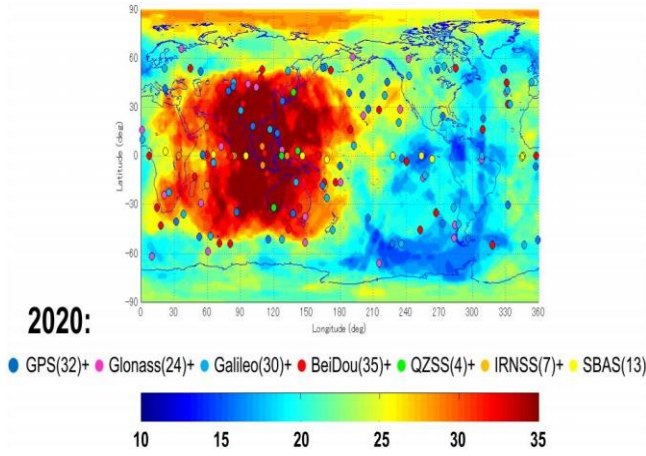
Şekil 5. Quasi-Zenith uydularının yörüngesi (JAXA)

Yüksek doğrulukta konum bilgisi, uydu sayısının yanı sıra uyduların yörünge bilgilerine de bağlıdır. Mevcut tüm uydular bir tarafa yoğunlaşırsa, PDOP değeri büyür ve konum doğruluğu azalır. Bu nedenle uyduların en iyi geometrik yerleşimi, zirvede bir uydu ve ufukta geniş bir şekilde dağılmış üç uydudan elde edilmektedir. Quasi-Zenith uydu sistemi tasarımı ile en üst noktaya en az bir uydu yerleşmekte ve ideal geometri dağılımının oluşması amaçlanmaktadır. Sonuç olarak, konum doğruluğunu iyileştirmek için uyduların geometrik yerleşimi de önemlidir. Quasi-Zenith uydu yörünge bilgileri, uydu geometrisi açısından da iyileştirilme imkânına katkıda bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Quasi-Zenith uydu konumu (JAXA)

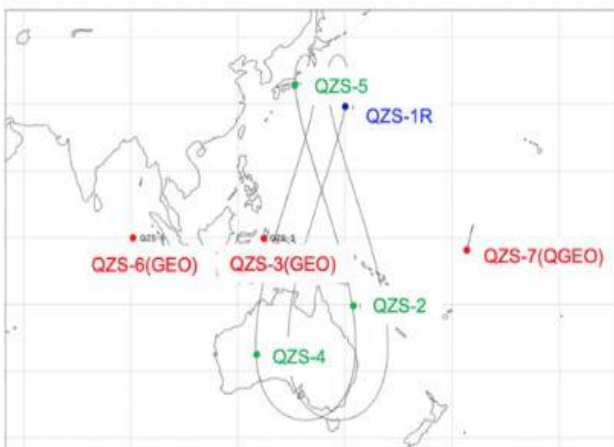
Quasi-Zenith uydu sisteminin ilk uydusu Michibiki'nin yörüngesi, merkezi Japonya ve Avustralya üzerindeki ekvatorda olan sekiz (8) şeklindedir. Bu nedenle uydu sinyalleri sadece Japonya'da değil, Güney Kore, Avustralya ve Güneydoğu Asya ülkelerinde de alınabilmektedir. Navigasyon uydularının dünya genelindeki ortalama sayısı Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Görülen uydu sayısının dağılımı (JAXA)

Bölgede yoğun şekilde yaşanan deprem ve tsunami gibi doğal afetlerin kriz yönetiminin sağlanmasına yönelik bilgilerin Quasi-Zenith Uyduları aracılığıyla temin edilmesi amaçlanmaktadır. Bölgedeki doğal tehlikeler hakkında zamanında bilgi sağlanması hedefiyle 2023 yılına kadar uzaya fırlatılacak olan üç uydu ile, Asya-Okyanusya bölgesinde hizmetin güvenilir olmasını sağlarken, kapsama alanı doğuya ve batıya doğru genişletilmektedir. Mevcut ve planlanan QZSS uydularının Asya Okyanusya bölgesindeki dağılımı Şekil 8'de gösterilmektedir. Deprem veya tsunami gibi bir felaket meydana geldiğinde oluşan bilgiler ve kuruluşlar tarafından afet önleme için yayınlanan kriz yönetimi bilgileri Quasi-Zenith uyduları aracılığıyla iletilmektedir.

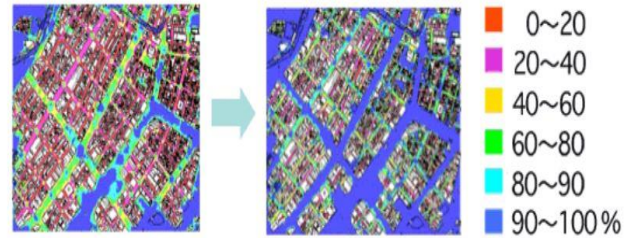
Afet anında alınan afetle ilgili bilgiler sesli ve görüntülü olarak dört saniyelik aralıklarla iletilmektedir. Telekomünikasyon ağlarının zayıf olduğu bölgeler (dağlık alanlar, kanyonlar gibi) ya da hasarlı zemin altyapısı nedeniyle telekomünikasyon ağının kesintiye uğraması durumunda afetle ilgili bilgilerin hızlı ve güvenilir şekilde iletilmesinin sağlanması hedeflenmektedir.



Şekil 8. QZSS uydularının Asya Okyanusya bölgesindeki dağılımı (JAXA)

Quasi-Zenith bölgesel navigasyon uydu sistemi sayesinde Asya-Pasifik ve çevre bölgesindeki yerlerden her zaman minimum üç uydu görülebilmektedir. QZSS'nin, kararlı ve yüksek hassasiyetli konumlama için yeterli sayıda uydu sağlayarak; GNSS ile bütünleşmiş bir

şekilde kullanılması hedeflenmektedir. Bu amaçla QZSS, GNSS ile uyumlu olarak tasarlanmıştır. Özellikle yoğun kentleşme alanlarında yetersiz GPS uydusu nedeniyle yaşanan sinyal gölgelemesi ve yansımından kaynaklı hataların azaltılması hedeflenmiştir. Uydu sayısının azlığı ve iyonosferik hatalar, uydu konumlama sisteminin temel iki hata kaynağı olarak sıralanmaktadır. Şekil 9'da yalnızca GPS uydularıyla elde edilen konumlama verisi ve GPS ile Quasi-Zenith uydu kombinasyonu ile elde edilen konumlama verisi gösterilmektedir.



Şekil 9. Yalnızca GPS uydularıyla (solda) ve QZSS eklendiğinde (sağda) konumlama (URL6)

Quasi-Zenith yörünge takımında yer alan uydulardan en az biri Japonya üzerinde bulunacağından yansıma ve atmosferik etki nedeniyle oluşan hata kaynakları elimine edilmekte ve konumlama hassasiyeti artırılmaktadır. Quasi-Zenith uyduları ile GPS performansının iyileştirilmesinin yanı sıra Asya Okyanusya bölgesinde GPS modernizasyonunun hızlandırılması sağlanmaktadır. Bölgedeki çoklu GNSS kullanımı ve uygulamalarına Quasi-Zenith uyduları katkı sunmaktadır.

Japonya Ulusal Uzay Politikası Sekreterliği ve Kabine Ofisi, Quasi-Zenith tarafından sağlanan Uydu Konumlama, Navigasyon ve Zamanlama Hizmeti (PNT), Metre Altı Seviye Artırma Hizmeti (SLAS) ve Santimetre Düzeyinde Artırma Hizmetinin (CLAS) aylık performans değerlendirme sonuçlarını altı aylık bir periyot dâhilinde yayınlamaktadır.

2.1.2. QZSS Uyduları

QZS uyduları, Mitsubishi Electric Corporation (MELCO) tarafından üretilmektedir. Uyduların tedarikçisi Japonya Hükümeti Kabine Ofisi, uydu tabanlı konumlama sisteminin oluşturulması ve işletilmesi amacıyla Quasi-Zenith Satellite Systems Services Inc. adında bir özel girişim şirketi kurmuştur (İçen, 2018).

Quasi-Zenith uydu takımı; yörüngede dönen 3 uydu ile 127° doğu boylamında bulunan bir adet yer-sabit yörüngeli uydudan oluşmaktadır. İlk QZS uydusu "Michibiki-1" 2010 yılında fırlatılmıştır, ikinci olarak QZS uydusu Haziran 2017'de, 3. Uydu Ağustos 2017'de ve 4. uydu ise Ekim 2017'de fırlatılmıştır (Takizawa, 2017).

QZSS, 3 Quasi-Zenith yörüngeli (QZO) uydu ve Yer-Sabit yörüngeli (GEO) uydudan oluşur. GEO yörüngeli uydu, ekvator üzerinde yaklaşık 36000 km yükseklikte dairesel bir yörünge üzerinde hareket etmektedir. Yaklaşık 3 km/s sabit bir hıza sahiptir ve yörünge periyodu yaklaşık olarak 24 saattir. Yerküre ile eşzamanlı döndüğünden, yerden bakıldığında sabitmiş gibi görünmektedir. Bu yörünge tipi genelde haberleşme

ve meteoroloji uyduları gibi uydular tarafından kullanılmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. QZS yörünge parametreleri (JAXA)

Yarı büyük eksen	42.164 km (ortalama)
Eksantriklik	<0.099
Yörünge eğimi	45 ± 5 °
Perigee argümanı	270 ± 1 °
Yer yolunun merkezi boylamı	135 ° Doğu

QZS uyduları, “QZS-uydu numarası” şeklinde adlandırılmaktadır. Uydu numaraları fırlatma önceliğine göre belirlenmektedir (QZS-1, QZS-2, QZS-3, QZS-4). Dört uydu sistemlerin 3 adet uydusu eğimli jeosenkron (IGSO) ve bir tanesi yer sabit (GEO) yörünge tasarımına sahiptir. QZS uydu takımının ilk uydusu olan QZS-1, Block IQ olarak adlandırılan ilk seri konfigürasyonuna sahiptir. QZS-1 uzay aracı konfigürasyonu Şekil 10’da gösterilmektedir. Birinci nesil Block IQ uydusu QZS-1 2010 yılında fırlatılırken, üç Block IIQ uydusu 2017 yılında sisteme katılmıştır. QZS Block IQ ve Block IIQ uyduları arasındaki en belirgin görsel fark, güneş enerji paneli sayılarıdır. Block IIQ serisinde daha küçük ve yüksek verimli güneş pilleri kullanılmıştır. QZS-1’in yeterli elektrik enerjisi üretimi için güneş paneli kanatçıklarını güneşe dik olarak yönlendirmesi gerekmektedir.

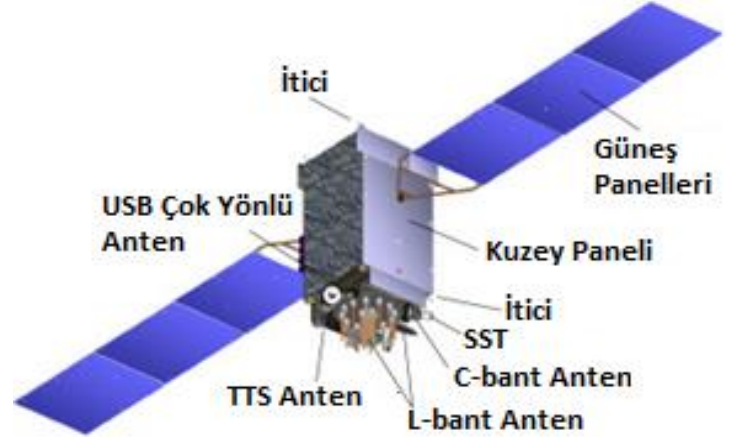
Tablo 3. QZS uyduları ve ek bilgiler (JAXA)

Uydu	QZS-1	QZS-2	QZS-3	QZS-4
Sponsor:	Kabine Ofisi, Japonya Hükümeti			
Beklenen Ömür:	12 yıl	15 yıl	15 yıl	15 yıl
Birincil Uygulama	Uydu seyir sistemi			
Birincil SLR Uygulamaları:	GPS yörüngelerinin kalibrasyonu			
SIC Kodu:	1581	1582	1583	1584
Lansman tarihi:	11.09.2010	01.06.2017	19.08.2017	10.10.2017
NP Kutu Boyutu:	300 saniye			
RRA Çapı:	1,6"			
RRA Şekli:	Düzlemsel			
Rakım:	32.000-40.000 km	32.000-40.000 km	36.000 km	32.000-40.000 km
Eğim:	45 derece	45 derece	0 derece	45 derece
Yörünge:	Eliptik	Eliptik	Jeosenkronize	Eliptik
Eksantriklik:	0.075	0.075	0	0.075

QZS-3, 127 derece doğu boylamında yer almaktadır ve sistemin, tek yer-sabit yörüngeli uydusudur. Quasi-Zenith yörüngeli uydulardan farkı, üzerinde acil durumlarda güvenlik durumunun raporlanması için iki yönlü haberleşmeye imkân sağlayan bir S-bant anteni bulunmasıdır. Bu uyduda bulunan L1b sinyali sayesinde SBAS hizmeti verilmesi düşünülmektedir (Takizawa, 2017).

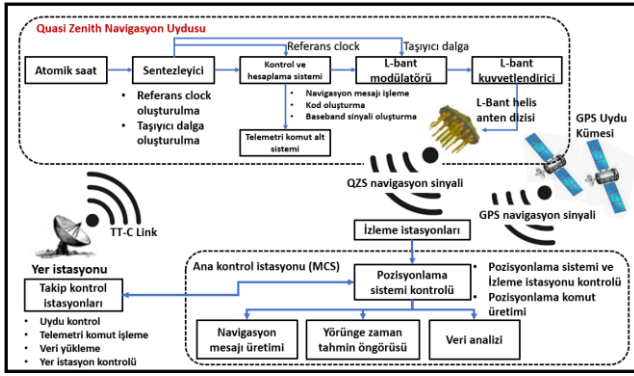
QZS uyduları, dört taşıyıcı frekansta, altı CDMA navigasyon sinyali yayınlamaktadır. Taşıyıcı frekansları

Tüm QZS uyduları, GPS ile uyumlu L1, L2 ve L5 bantlarında, L1 C/A, L1C, L2C ve L5 navigasyon sinyallerini iletmektedir. QZS’yi özgü sinyaller L1, L5 ve L6 bantlarında iletilmektedir. Bu uyduların uç kısmında L bant yayınlayan anten yer almaktadır. Ham ağırlığı 1,8 ton, fırlatma ağırlığı ise 4,1 ton olan Block IQ serisinin beklenen görev ömrü 10 yılın üzerindedir. Block IIQ serisi uyduların ise kuru ağırlığı 1,6 ton, fırlatma ağırlığı 4,0 tondur. Uydu ömürlerinin 15 yıldan fazla olması beklenmektedir (İçen, 2018).



Şekil 100. QZS-1 Uydu yapısı

1575.42 MHz (GPS L1 ve Galileo E1 ile ortak), 1278.75 MHz (Galileo E6 ile ortak), 1227.6 MHz (GPS L2 ile ortak) ve 1176.45 MHz (GPS L5 ile ortak) olarak sıralanmaktadır (Christopher & Hegarty, 2013). Tablo 3’te QZS uydu sinyallerinin yörünge yapıları ve sinyal bilgileri yer almaktadır. Quasi Zenith Uydu Sistemi bileşenlerine ilişkin tasarım şeması Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Quasi Zenith Uydu Sistemi (Inaba et al., 2009)

2.1.3. QZSS Sinyalleri

QZS, dört frekansta altı sinyal iletmektedir. Bu sinyaller GPS birlikte çalışabilir niteliktedir. L1-bandında L1C, L1-C/A ve L1-SAIF sinyalleri, L2-bandında L2C sinyali, L5-bandında L5 sinyali ve E6 bandındaki LEX sinyali iletilmektedir. QZS'nin GPS birlikte çalışabilir sinyallerini kullanan yatay konumlama doğruluğu özellikleri, GPS'inkilere eşdeğerdir. L1-SAIF'in hedef doğruluğu, kullanıcı yatay konumlama doğruluğu için yaklaşık 1 m'dir (rms). LEX için bir başvuru adayı, birkaç santimetre hassasiyete sahip bir ölçme uygulamasıdır. QZSS uydu takımında yer alan uyduların yeryüzüne aktardığı/aktaracağı sinyaller ve bu sinyaller sayesinde sunulan hizmetler Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. QZSS uydu sinyalleri (JAXA)

Uydu	Başlangıç Tarihi	Yörünge	Sinyal
QZS-1	2010/9/11	QZO	L1C/A, L1C, L2C, L5, L1S, L6
QZS-2	2017/6/1	QZO	L1C/A, L1C, L2C, L5, L1S, L5S, L6
QZS-3	2017/8/19	GEO	L1C/A, L1C, L2C, L5, L1S, L5S, L1Sb, L6, Sr/Sf
QZS-4	2017/10/9	QZO	L1C/A, L1C, L2C, L5, L1S, L5S, L6

QZS, dört frekansta altı sinyal iletmektedir. Bu sinyaller GPS birlikte çalışabilme ve GPS büyütme özelliklerine sahiptir. L1-bandında L1C, L1-C/A ve L1-SAIF sinyalleri, L2-bandında L2C sinyali, L5-bandında L5 sinyali ve E6 bandındaki LEX (L deneysel) sinyali ile hizmet vermektedir. L1C, L1-C/A, L2C ve L5 sinyalleri GPS ile birlikte çalışabilmektedir. L1-SAIF ve LEX sinyalleri ise GPS büyütme sinyalleridir. L1-SAIF sinyali, GPS-SBAS ile tam uyumluluğa sahiptir ve GPS (WDGPS) düzeltme verilerini iletmektedir. LEX, diğer SBAS sinyallerine göre daha yüksek hızda veri aktarımı sağlamaktadır. E6-CS sinyali Galileo ile uyumludur (URL-3).

QZSS uyduları, GPS sinyalleri gönderebildiği için QZSS ve GPS'i tek bir uydu sistemi gibi kullanabilme olanağı

mevcuttur. Farklı konumlama sistemlerinin bu entegrasyonu gökyüzünde aynı anda bulunan ve konumlama sinyali gönderen GPS uydusu sayısının artmasına neden olmakta ve böylece konum doğruluğu ve hassasiyeti artmaktadır.

Konumlama hizmeti verme amacıyla aktarılan L1C/A, L1C, L2C ve L5 sinyalleri; GPS sinyallerini destekler ve GPS'i tamamlar (Şekil 6). Tablo 4'de QZSS sinyallerine ilişkin temel bilgiler yer almaktadır.

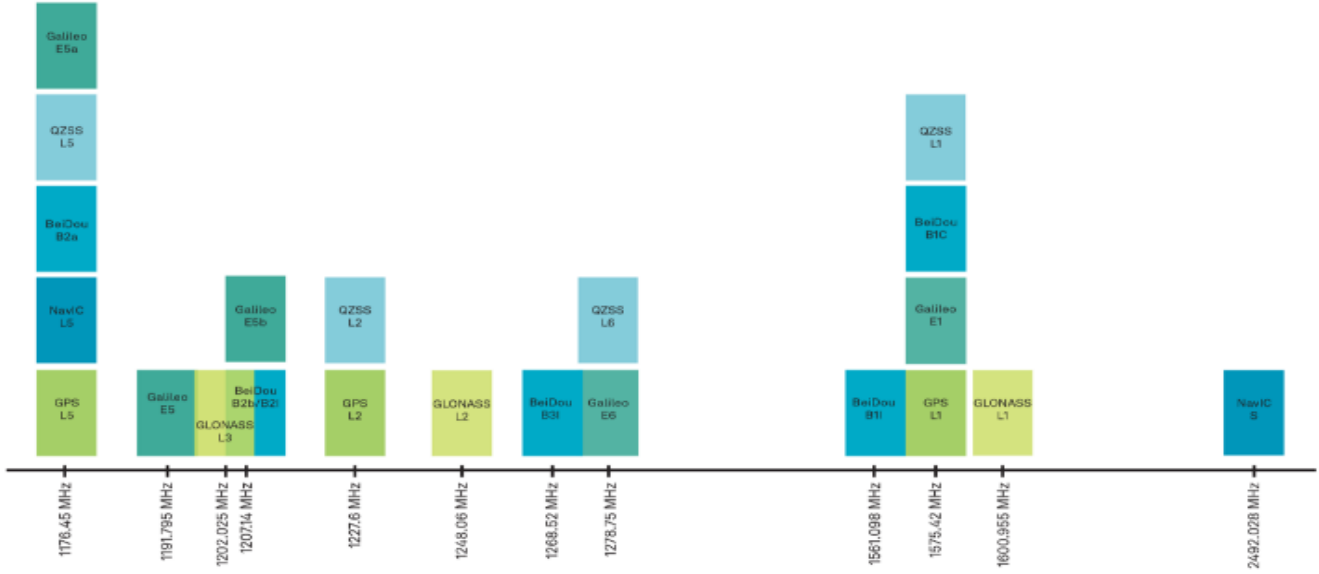
Tablo 5. QZSS sinyalleri (JAXA)

Sinyal adı	Merkez frekansı	Açıklamalar
L1-C / A	1575,42 MHz	•GPS birlikte çalışabilir sinyaller • Mevcut ve modernize edilmiş GPS sinyalleriyle uyumlu sinyaller
L1C	1227,6 MHz	
L2C	1176,45 MHz	
L5	1176,45 MHz	
L1-SAIF	1575.42MHz	• GPS-SBAS ile uyumlu • WDGPS
LEX	1278.75 MHz	• Daha yüksek veri hızı mesajlı deneysel sinyal • Galileo E6 sinyali ile uyumlu

GNSS uygulamalarının, etkin ve doğru bir şekilde veri üretmesi için farklı amaçlara uygun uydu sinyallerine gereksinim duyulmaktadır. Bu uygulamalar, tarımdan otomotive ve savunma sanayiye kadar birçok farklı endüstride çeşitlilik göstermektedir. Uygulama alanları beş ana kategoride sıralanabilir:

1. Konum – Yeryüzündeki konumun belirlenmesi,
2. Navigasyon – Bir konumdan diğerine en iyi rotanın belirlenmesi,
3. İzleme – Bir nesnenin yeryüzündeki hareketinin izlenmesi
4. Haritalama – Belirli bir alanın haritalarının oluşturulması,
5. Zamanlama- Saniyenin milyarda biri içinde kesin zamanlama bilgisinin hesaplanması

Uygulamanın hassasiyeti, sinyal esnekliği ve güvenilirliği ihtiyacına bağlı olarak, GNSS alıcılarının performansını artıran ek teknolojiler bulunmaktadır (URL-4).



Şekil 12. Konumlama Sistemlerindeki Uyduların Sinyalleri (URL-4)

2.2. QZSS kontrol bölümü

Uydu konumlama sistemlerindeki kontrol bölümü, dünya genelinde yerleşik bir ana kontrol, veri yükleme ve izleme istasyonları ağı bileşiminden oluşmaktadır. Bu istasyonlar uydudan gelen sinyali kullanarak, uydunun konumu ile olması gereken konumu gösteren yörünge modeliyle karşılaştırmaktadır. Uydu kontrol bölümündeki operatörler, bir uydunun sürüklenme ya da uyduya enkaz çarpışmasını önlemek için hareket ettirilmesi gerekmesi durumunda, yörünge yollarını düzeltmek veya değiştirmek için uyduların konumunu kontrol etmektedirler. Bu sayede, uyduların uydu konum doğruluğu bilgisi kontrol altına alınmaktadır.

QZS yer kontrol sistemi, ana kontrol istasyonu, uydu kontrol istasyonu ve gözleme istasyonu bileşenlerinden oluşmaktadır. Ana kontrol istasyonu, QZSS uydularının yörüngelerini düzenlemektedir. Sistemde 2 ana kontrol istasyonu yer almaktadır. Sisteme ilişkin temel işlemlerin yürütüldüğü istasyon Hitachi-Ota'da bulunmakta olup, bu ana istasyondur (Şekil 12), Kobe'de yer alan istasyon ise yedek istasyon vazifesi görmektedir (Şekil 13). Japonya ve Asya/Okyanusya bölgelerinde 10 adet uydu kontrol istasyonu bulunmaktadır. Uydu kontrol istasyonları, QZS yörünge ve saat parametrelerini diğer uydu kontrol istasyonlarına iletmektedir. Japonya'nın güney bölgesinde uyduların sürekli görülebilmesi için 2016 yılı sonundan itibaren faaliyet göstermeye başlayan 7 adet Telemetri, Takip ve Komut İstasyonu bulunmaktadır (Şekil 14), (Takizawa, 2017).

Dünyada GPS ve QZSS uyduları için 3'ü Japonya'da olan 25 Hassas yörünge belirleme istasyonu bulunmaktadır (Şekil 14). Japonya'da 10 tane Metre-altı Doğrulukla Konum Belirleme Destek Hizmeti (SLAS) istasyonu bulunur. QZSS'nin Santimetre Konum Belirleme Doğruluk Seviyesi için 98 Destek Hizmeti (CLAS), 1300'den fazla istasyona sahip Japonya'nın

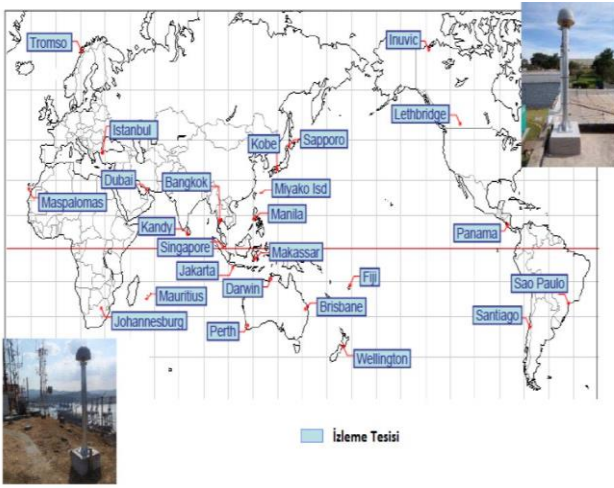
Sürekli Çalışan Referans İstasyonları (CORS) ağı GEONET (GNSS Yer Gözlem Ağı Sistemi) kullanılmaktadır.



Şekil 13. QZSS Ana Kontrol Merkezi Hitachi-Ota (Takizawa, 2017)



Şekil 14. QZSS Kontrol Merkezi, Kobe (Takizawa, 2017)



Şekil 15. QZSS ve GPS hassas yörünge belirleme istasyonları (Takizawa, 2017)

2.3. QZSS kullanıcı bölümü

Kullanıcı bölümü, hizmet kullanıcıları ve kullanıcı malzemelerinden oluşmaktadır. Uydu tabanlı konumlama sistemlerinde kullanıcı bölümü tamamlayıcıdır, uzaydan yeryüzüne gönderilen sinyallerini alıp, sinyal ile gönderilen verileri işleyerek konum ve zaman bilgisi gibi verilere dönüştürmektedir.

Sistemin operasyonel ve destek bilgileri ile yer sisteminde üretilen ve biriken veriler internet üzerinden kullanıcılara sunulmaktadır. Kullanıcılar, QZSS web sitesinde bu verilere erişim sağlamaktadır. QZSS kullanıcı web sitesinde Japonca ve İngilizce olmak üzere iki dil seçeneği bulunmaktadır (URL-4).

QZSS'nin birincil görevi Japonya'nın pek çok kent oluşumunda GPS uydularının daha kesin sonuçlar vermesini sağlamak ve GPS ile veri elde eden uygulamaların hassasiyetini, güvenilirliğini artırmak ve verimliliğini geliştirmektir. Quasi-Zenith Uyduları hem GPS'in L1C/A sinyalleri ile uyumlu hem de geliştirilmiş L1C, L2C ve L5 sinyalleri ile uyumlu iletimde bulunur. Var olan GPS alıcıları için bunu en aza indirir. Bağımsız GPS ile karşılaştırıldığında GPS artı QZSS birleştirilmiş sistemi, Quasi-Zenith uydularından gelen L1-SAIF ve LEX geliştirilmiş sinyalleri arasında değişen bağlantı iletim yoluyla sağlanan düzeltme verileri metre altı birimlerde daha gelişmiş konumlandırma ve verim sağlar.

Uzayda kullanılan atom saatleri sınıfında; bir hidrojen mazer ve Rb atom saati gibi iki tür; özgün planına göre, Quasi-Zenith uydularını yürütmek için kullanılmaktadır. Quasi-Zenith uyduları için bir pasif hidrojen mazeri geliştirilmesi 2006 yılında iptal edilmiştir. Konumlandırma sinyali Rb saati ile oluşturulur ve GPS süre tutma sistemine benzer bir mimari kullanılır. QZSS de, bir İki Yönlü Uydu Zaman ve Frekans Aktarımı (TWSTFT- Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer) düzeni kullanılacak ve bununla bazı köklü uydu atom standardı davranış bilgileri ve diğer araştırmalar amacıyla bilgiler elde etmek mümkün olacaktır.

QZSS, GNSS sisteminin uydu sayısını artırması ve GPS ile bütünleşmiş çalışabilmesi kullanıcılara gerek statik

gerekse RTK ve CORS işlemlerde kolaylıklar ve yüksek konum doğruluğu sağlamaktadır.

3. Sonuçlar

Bu çalışmada bölgesel konum belirleme sistemlerinden biri olan QZS sisteminin mevcut işleyişi, tasarımı ve gelecek vizyonuna ilişkin temel bilgiler yer almaktadır. QZSS, Japonya Uzay Araştırma Ajansı tarafından Japonya'ya kapsayacak şekilde geliştirilmiş, uydu tabanlı bölgesel konum belirleme sistemidir. Sistemin Michibiki adı verilen ilk uydusu 2010 yılında fırlatılmıştır. Kasım 2018'den beri dört uydudan oluşan bir sistem olarak işletilmektedir. Gelecek vizyonunda GPS ile entegre çalışabilen 7 uydulu bir sisteme dönüştürülmesi planlanmaktadır. QZS sisteminde yer alan uydular 32000-40000 km yükseklikte yer almaktadır. Uydu yörüngeleri Japonya ve çevre bölgesinde GPS'in servis kabiliyetini artırması amacıyla eğik jeosenkronize olarak tasarlanmıştır. Bu sayede QZSS, Japonya'da birçok bölgede GPS uydularına destek olmakta ve GNSS verilerinin hassasiyet ve doğruluğunu artırmaktadır. GPS ile kombine çalışabilen tek sistemdir. Özellikle sinyal sorunlarının yaşanması olası yoğun yapılaşmış kentleşme alanları ve ormanlık alanlar gibi bölgelerde uydu sayısını artırarak tamsayı belirsizliğinin daha hızlı çözülmesini sağlamaktadır. IGS'in yürüttüğü Multi-GNSS projesi için de Quasi-Zenith uydularının katkısı önemlidir.

Araştırmacıların katkı oranı

Zeynep Örs Gündoğan: Literatür taraması, Makale yazımı; **Merve Şimşek:** Literatür taraması, Makale yazımı; **Atınç PIRTI:** Kontrol ve Düzenleme

Çatışma beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

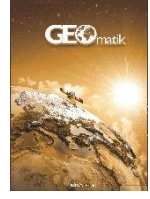
Kaynakça

- Christopher H & Hegarty C (2013). *Overview of the Global Navigation Satellite System (GNSS)*. 96(May).
- Gökalp E & Boz Y (n.d.). *Avrupa'nın Global Navigasyon Uydu Sistemi: GALILEO*. 2-7.
- Hong J, Tu R, Zhang R, Fan L, Zhang P & Han J (2020). Contribution analysis of QZSS to single-frequency PPP of GPS/BDS/GLONASS/Galileo. *Advances in Space Research*, 65(7), 1803-1817. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2020.01.003>
- İçen E (2018). Küresel Ve Bölgesel Konumlama Sistemleri, Teknolojileri Ve Uygulamaları. *Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Uzmanlığı Tezi*.
- Inaba N, Matsumoto A, Hase H, Kogure S, Sawabe M & Terada K (2009). Design concept of Quasi Zenith Satellite System. *Acta Astronautica*, 65(7-8), 1068-1075. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.03.068>
- Karasawa K, Tsukada H, Ashida K, Karakama T & Kaneko T (2019). Planar antennas for quasi-zenith satellite system nicknamed MICHIBIKI. *2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics, GCCE*



- 2019, 507–510.
<https://doi.org/10.1109/GCCE46687.2019.9015604>
- Koca B & Ceylan A (2018). Uydu Konum Belirleme Sistemlerindeki (GNSS) Güncel Durum ve Son Gelişmeler. *Geomatik*, 3(1), 63–73.
<https://doi.org/10.29128/geomatik.348331>
- Murata M (2004). Positioning performance of GNSS-based quasi-zenith satellite system. *Proceedings of the SICE Annual Conference*, 899–906.
- Plag H P & Pearlman M. (2007). The Global Geodetic Observing System: Meeting the Requirements of a Global Society on a Changing Planet in 2020 The Reference Document. Int. Assoc. Geod.
- Takizawa G (2017). Status update on the quasi-zenith satellite system. *International Committee on GNSS (ICG-12)*, Kyoto, Japan.
- Yozgatlı H (2016). *TEFTİŞ KURULU BAŞKANLIĞI Müfettiş Yardımcılığı Yetiştirme Programı Araştırma Çalışması*.
- Zhang Y, Kubo N, Chen J, Wang H & Wang J (2018). Assessment of the Contribution of QZSS Combined GPS/BeiDou Positioning in Asia-Pacific Areas. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 497, 467–478. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0005-9_37
- URL1: <https://www.cao.go.jp/index-e.html>
URL2: <https://qzss.go.jp/en/>
URL-3: <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/q/qzss>
URL-4: <https://novatel.com/tech-talk/an-introduction-to-gnss/what-are-global-navigation-satellite-systems-gnss>
URL-5: <https://sys.qzss.go.jp/dod/en/summary.html>
URL6: <https://spaceflight101.com/spacecraft/qzss/>



© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



Çok zamanlı muktispektral uydu verilerinin Marmara Gölü kıyı değişimi analizinde kullanılması

Abdurahman Yasin Yiğit¹, Halil İbrahim Şenol², Yunus Kaya²

¹Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

²Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

CBS
Uzaktan Algılama
Kıyı Değişiminin Saptanması
DSAS
Landsat

ÖZ

Küresel ısınmaya bağlı olarak meydana gelen iklim değişikliği yağışların ve sıcaklıkların düzensizleşmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle sosyoekonomik açıdan küresel ölçekte büyük öneme sahip kıyı alanlarında hızlı değişimler meydana gelmektedir. Kıyı alanlarındaki uzun süreli değişimlerin izlenmesi için kullanılan yöntemlerden birisi uzaktan algılama yöntemidir. NASA ve USGS tarafından sağlanan Landsat uydu misyonu sayesinde 1970 li yıllardan günümüze kadar düzenli multispektral veri temin edilebilmektedir. Yine NASA tarafından geliştirilen ve ArcGIS yazılımı üzerinden kullanılabilen DSAS aracı sayesinde kıyı çizgilerinin farklı tarihler arasındaki değişimleri izlenebilmekte ve değişim miktarları istatistiksel olarak analiz edilebilmektedir. Bu çalışmada Manisa ili sınırları içerisinde bulunan ve bir alüvyal set gölü olan Marmara Gölü'ne ait 1985-2020 arasındaki 5'er yıllık periyotlarda kıyı alanlarındaki değişimler incelenmiştir. 8 adet Landsat verisi üzerinden MNDWI ve nesne tabanlı sınıflandırma yöntemiyle kıyı çizgisi çıkarılmıştır. Çıkarılan kıyı çizgisi üzerinden DSAS ile erozyon ve dolgu miktarları belirlenerek istatistiksel yöntemlerle (EPR ve LRR) analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda R^2 ve Pearson's r yöntemine göre EPR ve LRR arasındaki korelasyon değerleri sırasıyla %94 ve %97 olarak hesaplanmıştır.

Using multi-temporal and multispectral satellite data for coastal change analysis in Marmara Lake

Keywords

GIS
Remote sensing
Shoreline Change Detection
DSAS
Landsat

ABSTRACT

Climate change due to global warming causes irregularity in precipitation and temperature. For this reason, rapid changes occur in coastal areas, which are of great socioeconomic importance on a global scale. One of the methods used to monitor long-term changes in coastal areas is the remote sensing method. Thanks to the Landsat satellite mission provided by NASA and USGS, regular multispectral data can be obtained from the 1970s to the present. Thanks to the DSAS tool, which is also developed by NASA and can be used via ArcGIS software, the changes of the coastlines between different dates can be monitored and the amount of change can be analyzed statistically. In this study, the changes in the coastal areas of Marmara Lake, which is an alluvial barrier lake within the borders of Manisa province, were examined in 5-year periods between 1985 and 2020. The shoreline was drawn from 8 Landsat data using MNDWI and object-based classification method. Erosion and accretion amounts were determined by DSAS on the extracted coastline and analyzed with statistical methods (EPR and LRR). Result of the study, correlation values between EPR and LRR according to R^2 and Pearson's r method were calculated as 94% and 97%, respectively.

*Sorumlu Yazar

(ayasinyigit@mersin.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-9407-8022
(halilisenola@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-0235-5764
(yunuskaya@harran.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-2319-4998

Kaynak Göster (APA)

Yiğit A Y, Şenol H İ & Kaya Y (2022). Çok zamanlı muktispektral uydu verilerinin Marmara Gölü kıyı değişimi analizinde kullanılması. Geomatik, 7(3), 253-260

1. Giriş

İklim değişikliği ve değişen iklimin doğal alanlara olan etkileri son yılların önemli araştırma konularından biridir. Kıyı alanlarındaki doğal değişimler; deniz seviyesinde meydana gelen değişimler, akarsuların getirdiği toprakların etkisi, tektonik etkenler, kıyı erozyonu, dalga ve kıyı akıntılarının etkisiyle oluşmaktadır. İnsan etkisiyle oluşan küresel ölçekteki değişimler ile ciddiyeti her geçen gün artan bir konudur. Özellikle ekolojik dengeye önemli katkılarda bulunan doğal yapılar bu etkiye maruz kalmaktadır. Bu doğal yapılar içerdikleri doğal zenginlikler ve yaşam kaynakları ile biyolojik çeşitliliğe imkân sağlamaktadır.

Kara ve deniz arasında bir arayüz olan kıyı şeridi önemli bir yeryüzü özelliğidir (Niya ve ark., 2013) ve gelgitler, rüzgarlar, dalga hareketleri vb. faktörlerden dolayı kısa ve uzun vadede değişime uğramaktadır (Boak ve Turner, 2005; Ali ve Narayana, 2015; Beşel ve Kayıkcı, 2020). Bunun yanında insanoğlunun tarih boyunca yerleşim, barınma, ekonomi ve ulaşım amaçlı olarak daima kıyı alanlarını kullanması, bu sahalarda yapay kökenli kıyı değişimlerinin de yaşanmasına neden olmuştur (Doygün, ve ark., 2011; Döker, 2012). Dünya nüfusunun %60'ı kıyı alanlarında yaşamaktadır (Kurt ve ark., 2010). Kıyı alanlarında yoğun nüfus ve yerleşmenin yanında, sanayi, tarım, ticaret, ekonomi ve ulaşım alanlarının olması, kıyılarda yoğun kullanım baskısının oluşmasına neden olmaktadır. Bu baskı sonucunda kıyı alanlarından yer kazanmak için dolgu çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar kıyı çizgisinin ve kıyı alanının değişmesine yol açarken, kıyı ekosisteminin değişmesine de neden olmaktadır.

Kıyılar su ile karanın buluştuğu doğa ve insan için öneme sahip yerlerdir (Rahman ve ark., 2022). Kıyılar, özellikle son yıllarda, tüm dünyada gelişmenin odağı haline gelmiş ve insan aktiviteleri ve doğal olaylar sonucunda sürekli değişime uğramıştır. Özellikle kumsal kıyılar, dinlenme ve eğlenme alanı olarak oldukça ilgi çekmiştir fakat bu kıyılarda meydana gelen erozyon önemli bir problem haline gelmiştir (Gormsen, 1998; Phillips ve Jones, 2006, Page ve ark., 2017). Kıyı bölgeleri; kendilerini etkileyen rüzgâr, dalga, akıntı gibi çeşitli dış etmenler ve kendilerini besleyen akarsular gibi kaynakların ve kendilerinden malzeme kaybına yol açan çeşitli faktörleri etkisi altında binlerce yıl ile ifade edilebilen bir süreçte kum, çakıl, silt ve kil gibi katı madde (sediment) taşınımı açısından dinamik bir dengeye ulaşır (Glover ve Robertson, 1998; Geyer ve ark., 2004; Mahmoodi ve ark., 2020). Böylece, kıyı dengesini bozacak bir faktör etkin olmadığı sürece kıyılarda önemli ölçüde erozyon (kıyı gerilemesi) veya yığılma (kıyı ilerlemesi) durumlarıyla karşılaşmaz. Kıyının dinamik dengesini bozan en önemli faktörler, ya mevsimlerdeki anormal değişimler sonucu büyük fırtınaların oluşması şeklindeki doğal faktörler, ya da çeşitli insan faaliyetleri sonucu meydana gelen yapay faktörlerdir. Doğal faktörlerin etkisi onlarca yıllarla ifade edilebilen uzun sürelerde kendini gösterirken, yapay faktörlerin sonuçları birkaç yıl hatta birkaç aylık kısa sürelerde görülebilmektedir (Xoplaki ve ark., 2001; Kireeva ve ark., 2020). Kıyılarda meydana gelen bu değişimin belirlenmesi ve eğer bu değişimler sorun oluşturuyorsa

önlemlerinin alınması gereklidir. Yıllık, mevsimsel ve hatta günlük olarak gerçekleşebilen bu değişimlerin, klasik optik ölçüm yöntemleriyle ölçülmesinin oldukça zaman alıcı ve zahmetli olması nedeniyle, uydu teknolojileri tercih edilmektedir (Ali ve ark., 2016; Carr ve ark., 2017; Bevacqua ve ark., 2018).

Uzaktan algılanan uydu görüntüleri, kıyı bölgelerinin ve kıyı şeridinin konumunu izlemek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Uzaktan algılama verileri kıyı şeridi belirlenmesinde ve zamansal değişimlerinin analizinde makul bir doğruluk sağlamaktadır (Jana ve ark., 2017). 1972 yılından bu yana LANDSAT uydu verileri ücretsiz bir şekilde araştırmacılar ve kullanıcılarla paylaşılmaktadır. Kıyı şeridinin zamansal değişiminin analizi pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Nassar ve ark., 2018; Ciritci ve Turk, 2020; Velsamy ve ark., 2020; Das ve Dhorde, 2022). Literatür incelendiğinde uzun süredir yayınlanıyor olması ve ücretsiz olmasından kaynaklı Landsat ile yapılan çalışmalar yoğunluk göstermiştir (Mitra ve Sandra, 2013). Uzun zaman aralıklarında meydana gelen kıyı değişimleri pek çok çalışmaya konu olmuştur. Hossain ve ark. (2016), 1990-2015 yılları arasında Bangladeş'in küçük bir kıyı adası olan Domar Char kıyı şeridinin dinamik modelini değerlendirmek için Landsat TM ve OLI sensorlerinin uydu görüntülerini kullanmışlardır. Ciritci ve Turk (2020), çok zamanlı uydu görüntüleri kullanılarak yapılan kıyı değişimi analizinin yanı sıra Kalman filtresi tabanlı gelecek kıyı tahmini yapmışlardır. Roy ve Mahmood (2016), 1974-2014 arasında Bangladeş'in Sandwip Adası'nda erozyon ve kıyıda oluşan birikim durumunu belirlemek için uydu verileriyle hidrolojik veriler arasında korelasyon kurmuşlardır. Usha ve ark. (2015), Tamil Nadu (India) sahili boyunca meydana gelen değişimleri uzaktan algılama ve mekânsal analiz tekniklerine dayanarak incelemişlerdir.

Kıyı alanlarının çok zamanlı takip edilmesi; değişikliklerin tutarlı olup olmadığına karar vermemize olanak sağlamanın yanında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama yöntemlerinin birleştirilmesiyle kıyı alanlarında zamana bağlı modifikasyonları incelemek mümkündür (Şentürk ve Erener, 2017). Kıyı hareketlerinin dinamiklerini değerlendirmede kullanılan ve United States Geological Survey (USGS) (Danforth ve Thieler, 1992) tarafından geliştirilen Digital Shoreline Analysis System (DSAS) oldukça başarılı bir CBS aracıdır (Nor ve ark., 2020). DSAS, kıyıya dik ölçüm kesitleri olarak kıyı şeridindeki değişimi ölçmeye dayanmaktadır (Armah, 2011; Ahmad ve Lakhan, 2012; Dewidar ve Frihy, 2010). DSAS, kıyı değişimini hesaplamak için çok zamanlı verileri karşılaştırarak End Point Rate (EPR) (Sebat ve Salloum, 2018), Linear Regression Rate (LRR), Average of Rates (AoR) gibi modeller kullanılmaktadır (Jonah ve ark., 2016). Kıyı şeridindeki zamansal-mekânsal değişimin nitel ve nicel olarak analiz edilmesinde DSAS'ın kullanıldığı pek çok örnek vardır (Kermani, 2016; Nassar ve ark., 2019; Gracy ve ark., 2020; Ghorai ve Bhunia, 2020; Dereli ve Tercan, 2020).

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde uzun zamanlı değişimlerin sıklıkla çalışıldığı gözükmektedir. Ancak son yıllarda kuraklık ve insani faktörlerden dolayı uzun

zamanlı kıyı değişimlerinin yanında yıl içinde de ciddi oranda değişimler olmaktadır.

Bu çalışmada kurumakta olan önemli alüvyal göllerimizden biri olan Marmara Gölü'ndeki kıyı değişimi incelenmiştir. Kıyı alanlarındaki değişimi tespit etmede 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip Landsat kullanılmıştır. Çalışmada MNDWI ve obje tabanlı sınıflandırma yöntemiyle kıyı alanları belirlenmiştir. Farklı yıllara ait uydu verilerinden elde edilen kıyı çizgilerinde meydana gelen değişimlerin tespiti ve analizi için DSAS aracı kullanılmıştır. Bunun için 1985-2020 yılları arasındaki Landsat uydu verileri kullanılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

2.1. Çalışma alanı

Marmara Gölü Manisa, Türkiye'de bulunan Akdeniz tipi sığ bir göldür. Göl alanı 12 km uzunluğunda ve 6 km genişliğindedir. Marmara gölü bir alüvyal set gölüdür ve Gediz vadisinin içinde yer almaktadır. Göl ve çevresi balıkçılık ve tarım aktiviteleri nedeniyle önemlidir. Marmara Gölü ayrıca 144 kuş çeşidini içeren önemli kuş yaşam alanlarından biridir (Gül, 2008). Bölgede genel olarak Akdeniz iklimi hâkim olsa da Gediz havzasının kendine has iklim özellikleri de hissedilir (Peel ve ark., 2007). Marmara gölü 20 farklı balık türünü içermektedir (İlhan ve Sarı, 2011).

2.2. Veri

Bu çalışmada 1985-2020 yılları arasındaki kıyı değişimini izlemek için Landsat uydu verileri

kullanılmıştır. Landsat uydu sistemi yeryüzündeki doğal kaynakların izlenmesi için 1972 yılında uzaya fırlatılmıştır. İkinci kuşak olarak bilinen Landsat uyduları 1982'de Landsat 4'ün fırlatılması ile başlamıştır. İkinci kuşak Landsat uydularında Thematic Mapper (TM) sensörü kullanılmıştır. Son Landsat uydusu ise (Landsat 8) 11 Şubat 2013 tarihinde fırlatılmıştır. Landsat 8 uydusunda ikinci kuşak uydularından farklı olarak Operational Land Imager (OLI) ve Thermal Infrared Sensör (TIRS) algılayıcıları kullanılmıştır. Çalışmada 1985-2020 yılları arasında 5'er yıl arayla alınan 8 adet Landsat uydu verisi kullanılmıştır. Kullanılan uydu verilerinin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma Alanı

Tablo 1. Çalışma için Kullanılan Uydu Verilerinin Özellikleri (Specifications of Satellite Data Used for Study)

LANDSAT				
Algılama Tarihi	Misyon	Yörünge	Dizi	Bulutluluk Oranı (%)
30 Mayıs 1985	Landsat 5	180	033	0
28 Mayıs 1990	Landsat 5	180	033	0
26 Mayıs 1995	Landsat 5	180	033	0
16 Haziran 2000	Landsat 7	180	033	0
06 Haz. 2005	Landsat 5	180	033	0
03 Mayıs 2010	Landsat 5	180	033	0
17 Mayıs 2015	Landsat 8	180	033	0
20 Ağustos 2020	Landsat 8	180	033	0

2.3. Yöntem

Bu çalışmada, Marmara Gölü'nün son 35 yıllık kıyı değişimi Landsat uydu görüntüleri kullanılarak incelenmiştir. Çalışmada DSAS kullanılarak kıyı değişimine ilişkin mekansal ve zamansal değişimler istatistiksel olarak analiz edilmiş ve yorumlanmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasından obje tabanlı sınıflandırma ile deniz ve kara alanları birbirinden ayrılmıştır. MNDWI; bitki örtüsü, toprak gürültüsü ve yerleşik alan gürültüsünü bastırıp, su alanlarını ayırt etmede başarılıdır. NDWI indeksi (Guha ve Govil, 2021) kullanıldığında genellikle su alanları ve yerleşik alanlar karıştırılır. Bu nedenle su alanları gerçekten daha fazla tahmin edilir. Bundan dolayı NDWI'nin üzerindeki yerleşik alan gürültüsünü azaltmak için yerleşik alanlarla su alanlarının birbirine karıştığı bölgelerde MNDWI önerilir. MNDWI (1) eşitliği ile hesaplanır.

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR} \quad (1)$$

2.4. Kıyı çıkarımı

Kıyı çizgisini deniz ve kara alanlarından daha iyi ayırabilmek adına MNDWI indeksi kullanılmış ve kara alanları su alanlarından çıkarılmıştır. Bu çalışmada, Landsat verileri ile 1985-2020 yılları arasındaki 35 yıllık değişim gözlemlenmiştir. Bu doğrultuda, MNDWI indeksi kullanılarak sınıflandırılan veri poligona dönüştürülmüş ve dönüştürülen poligondan kıyı çizgileri ArcGIS yazılımı aracılığıyla çıkarılmıştır. Değişimi izlenecek kıyı çizgisi olarak özellikle son yıllarda kıyı değişiminin olduğu bilinen Marmara Gölü kıyı çizgisi seçilmiştir. Landsat ile elde edilen veri incelendiğinde kıyı çizgisinde gözle görülen bir farklılık ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte,

uydu görüntülerinden elde edilen kıyı çizgileri analiz edilmiş ve hem kendi içlerindeki hem de aralarındaki uyuma da dikkat edilmiştir. Bu doğrultuda, kıyı çizgileri, ArcGIS yazılımında kullanılabilen bir araç olan ve NASA tarafından yayınlanan DSAS aracı ile analiz edilmiştir.

Kıyı çizgilerinin konum değişimlerini izlemek ve değerlendirmek için EPR ve LRR istatistiksel yaklaşımı kullanılmıştır. EPR yaklaşımı basitçe, kıyı şeritlerini ayıran mesafenin, kıyı şeritlerinin tarihleri arasındaki yıl farkına bölünmesiyle hesaplanır. EPR yaklaşımı için önerilen basit matematiksel model denklem (2) da verilmiştir (Nassar ve ark., 2019; Tercan ve Dereli, 2020).

$$EPR = \frac{L_1 - L_2}{t_1 - t_2} \quad (2)$$

Denklemden, L_1 ve L_2 kıyı çizgileri arasındaki mesafeyi ayırırken, t_1 ve t_2 ise kıyı çizgileri arasındaki zamansal farkı ortaya çıkarmaktadır.

Diğer bir matematiksel yaklaşım olan LRR yaklaşımı ise belirli bir geçiş için en küçük kareler regresyon çizgisini birden çok kıyı hattı üzerindeki çeşitli noktalara yerleştirerek oluşturulur. Tüm kıyı çizgileri bu hesaplama için kullanılmaktadır. Bu analizin doğru ve tutarlı sonuçlar verebilmesi için kıyı çizgisi çıkarımlarının doğruluğu önemlidir. Çünkü bu kıyı değişikliklerinin zamansal çözünürlüğü, kıyı şeridi değişiklik oranının doğruluğu gibi, istatistiksel yöntem için önemli olan kavramları doğrudan etkiler (Nassar ve ark., 2019; Tercan ve Dereli, 2020; Ciritci ve Turk, 2019). LRR yöntemi için denklem (3) kullanılmıştır (Nassar ve ark., 2019);

$$D = mt + a \quad (3)$$

Denklemden, D başlangıç çizgisinden olan mesafeyi ifade ederken (m), t kıyı çizgisi zaman değişimlerini (yıl), m yerleştirilen çizginin eğimini ($m/yıl$), ve a ise y ekseninin kesme noktasını ifade etmektedir. Lineer regresyon yönteminde örneklem veriler ortalama uzaklık değerleri ile hesaplanır ve bu değer en aza indirgenerek belirlenir.

Bu çalışmada, Marmara Gölü kıyı çizgisi Landsat uydu görüntüleri ile çıkarılmış ve DSAS yazılımı üzerinden kıyı çizgisi değişimleri EPR ve LRR istatistiksel yöntemlerine göre değerlendirilmiş ve aralarındaki ilişki incelenmiştir.

3. Bulgular

Marmara Gölü, Türkiye'nin önemli doğal yaşam ve temiz su kaynağı alanlarından biridir. Göl suyu genellikle temiz su ve tarımsal sulama amaçlı kullanılmaktadır. Bu nedenle, Marmara Gölü kıyı değişimini gözlemlemek ve oluşabilecek olumsuzluklara karşı önlem almak hayati önem taşımaktadır. Metodolojiye uygun bir biçimde DSAS ile analize sokulan kıyı çizgileri için EPR ve LRR yöntemleri ile analiz yapılmıştır. DSAS ile analiz edilmiş kıyıları için kesit değerleri üretilmiştir.

Çalışmanın amacı, bölgenin yakın zamanındaki kıyı değişimini tespit etmek ve kıyı değişimine neden olabilecek faktörleri ortaya koymaktır. Bu nedenle veri temini için, USGS tarafından yayınlanan 30m çözünürlüklü Landsat verisi kullanılmıştır. Landsat

verilerinden daha anlamlı sonuçlar çıkarmak için (orta çözünürlüklü veriler olduğundan) 5 yıl aralıklı veri kullanılmıştır. Bölgede insan katkısıyla oluşan etkilerin başında Marmara Gölü etrafında bulunan tarım alanları ve plansız sulama vardır. Son yıllarda, plansız tarımsal sulamanın artması ve küresel iklim değişiklikleri gölün kuruyacak bir şekilde erozyona uğramasındaki en büyük etkenlerdendir.

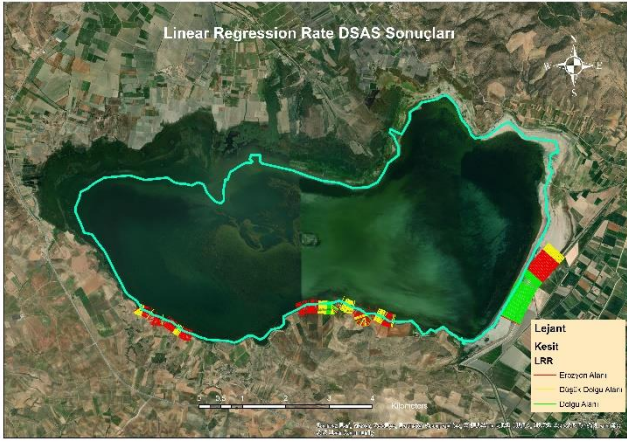
Kıyı çizgilerindeki değişiklikleri izlemek için referans hattı oluşturmak gereklidir. Referans hattı oluşturmak için üç farklı yöntem mevcuttur. Bunlar; kıyı şeridine belirli bir mesafede olan bir çizgi oluşturmak, eski bir kıyı çizgisinin temel alınıp kullanılması ve tampon (buffer) oluşturma yöntemidir. Üçüncü yöntem, en yakın kıyı şeridiyle aynı şekle sahip olduğu için en güvenilir ve doğru yöntemdir, bu nedenle mevcut çalışmada referans hattı oluşturmak için bu yöntem kullanılmıştır (Nassar ve ark., 2019). Uydu verilerinden çıkarılan çizgilerden için de DSAS parametrelerini sağlamak için tüm kıyı çizgileri baz alınarak 50 metrelik bir tampon oluşturulmuş ve referans hattı ile ilgili spesifik parametreler öznitelik tablosuna eklenmiştir. Bununla birlikte birleştirilmiş kıyı çizgileri kıyı hattı isimli başka bir veriye eklenmiş ve DSAS aracı için gerekli olan spesifik parametreler öznitelik tablosuna eklenmiştir.

Landsat uydu görüntülerinden çıkarılan kıyı çizgileri için, 20 metre aralıklı ve kıyı çizgisindeki ciddi değişimden ötürü 300 metrelik bir alanı tarayan kesitler üretilmiştir (Şekil 2 ve 3). Tüm kesitler için %90 güven aralığından EPR ve LRR değerleri üretilmiştir. Çalışma için bölgedeki 3 farklı ve değişimin en fazla olduğu alanlar seçilmiştir.

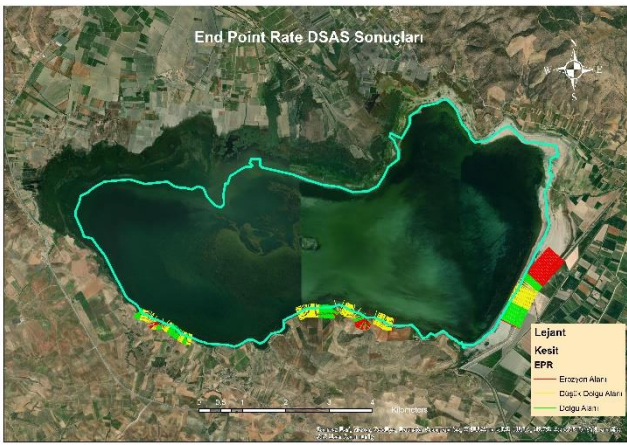
EPR ve LRR değerleri doğrusal olarak değerlendirilmiş ve R^2 değeri %94 olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte kıyıları arasındaki korelasyon Pearson's r yöntemiyle de araştırılmış ve korelasyon değeri %97 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4).

EPR/LRR arasında grafik çizerek oluşturulan Fark Gecikme Grafiği (Şekil 5), hata terimlerinin bağımlılığını incelemek için kullanılmaktadır. Bir gecikme grafiğindeki rastgele olmayan herhangi bir desen, varyansın rastgele olmadığını gösterir. Analiz edilen veriler zaman serisi verileriye (veriler sıralı olarak kaydedilir), Verilerin Farka Karşı grafiği, fark terimi ve zaman arasındaki korelasyonu yansıtabilir. Sıfır civarında dalgalanan desenler, fark teriminin bağımlı olduğunu gösterecektir. Deneysel işlem sırasında varyans (Şekil 5) sürüklenme kontrol etmek için kullanılabilir. Farklar sıfır civarında rastgele dağılmışsa, süreçte kayma olmadığı anlamına gelir.

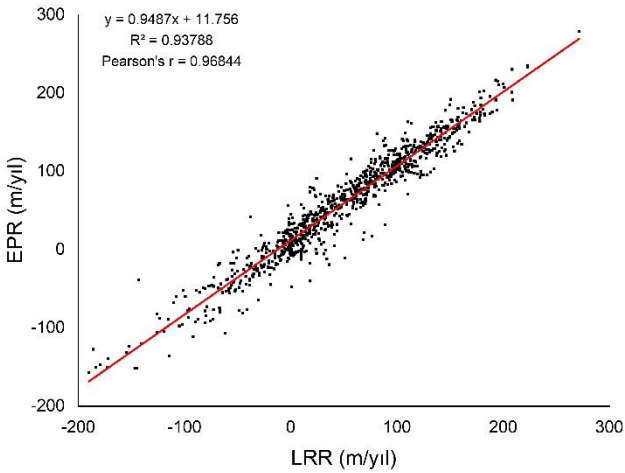
Sapma Histogramı, varyansın normal dağılıp dağılmadığını kontrol etmek için kullanılabilir (Şekil 6). Sıfır etrafında eşit olarak dağıtılan simetrik çan şeklindeki bir histogram, normallik varsayımının doğru olma olasılığının yüksek olduğunu gösterir. Histogram, rastgele hatanın normal dağılmadığını gösteriyorsa, modelin altında yatan varsayımların ihlal edilmiş olabileceğini gösterir.



Şekil 2. LRR İstatistikleri ile Landsat Verilerine Ait DSAS Sonuçları



Şekil 3. EPR İstatistikleri ile Landsat Verilerine Ait DSAS Sonuçları

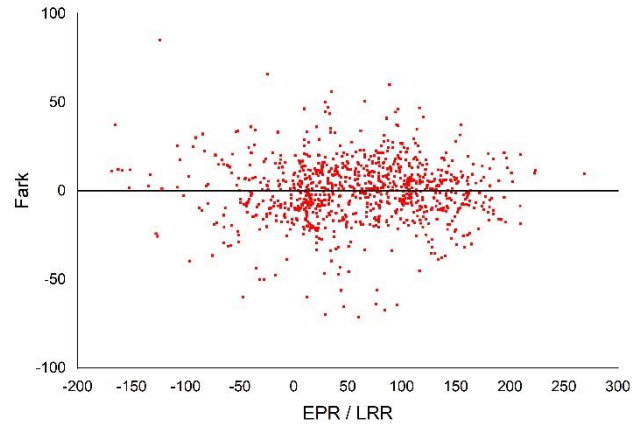


Şekil 4. R^2 ve Pearson's r yöntemine göre EPR ve LRR arasındaki korelasyon değerleri

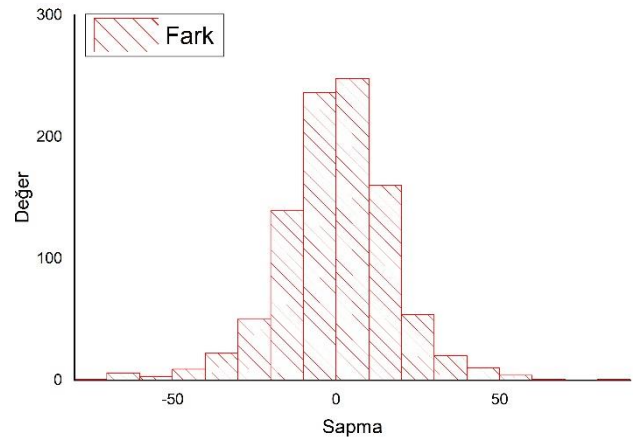
Varyansın normal dağılıp dağılmadığını kontrol etmek için farkların normal bir olasılık grafiği kullanılabilir. Sonuç grafiği yaklaşık olarak doğrusal ise, hata terimlerinin normal dağıldığını varsayarak ilerlenebilir. Yüzdelerle karşı sıralı farka dayalıdır, yüzdeler Eşitlik (4) ile hesaplanabilir:

$$\frac{(i - \frac{3}{8})}{(n + \frac{1}{4})} \quad (4)$$

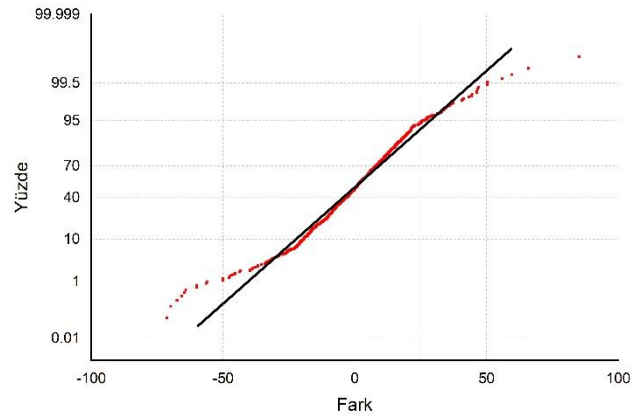
n , toplam veri kümesi sayısıdır ve i , fark verisidir. Artıkların normal olasılık grafiği Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 5. ERP/LRR fark teriminin bağımsızlığının kontrol edilmesi



Şekil 6. Sapmanın normal olarak dağıldığını gösteren fark histogramı



Şekil 7. Farkların Normal Olasılık Grafiği

4. Sonuçlar

İnsanlar tarih boyunca su ve sulama ihtiyacını karşılamak için göl ve nehir kenarlarına yerleşmişlerdir. Daha sonra gemilerin icadıyla birlikte denizler ve okyanuslar önemli hale gelmiştir. Günümüzde ise kıyılar zengin doğal kaynak potansiyeli barındıran, insanlar için ekonomik kazanç fırsatı sunan, gelişme potansiyeli yüksek alanlardandır. Tüm bunların yanında turizm faaliyetlerinin hızlanmasıyla birlikte kıyılar giderek daha önemli bir hale gelmiştir. Bundan dolayı kıyı alanları

tarih boyunca insanlık için önemli olmuştur. Tüm bu avantajlarının yanında küresel ısınma kaynaklı, kıyıların ve su kaynaklarının yanlış kullanımı, deniz ve okyanusların çekilmesine, kıyı çizgisinin kısılmasına ve kıyılardaki biyolojik çeşitliliğin zarar görmesine sebep olmaktadır. İnsan faktörünün devreye girmesinden dolayı kıyı alanlarında kısa süre içerisinde ciddi değişimler meydana gelmektedir.

Bu çalışmada Türkiye için önemli su kaynaklarından biri olan Marmara Gölünün kıyı değişimi analiz edilmiştir. Uzaktan algılanan uydu verileri kullanılarak 5 yıl aralıklı kıyı değişimi analiz edilmiştir. Çalışmada 1985-2020 yılları arasında 5'er yıl arayla elde edilen 8 adet Landsat uydu verisi kullanılarak bölgenin 35 yıllık değişimi incelenmiştir. Landsat verilerinin mekânsal çözünürlüğünden dolayı yıllık değişimleri yakalayamadığı, ancak 5 yıllık değişimlerde başarılı olduğu görülmektedir. Ancak şunu inkâr edemeyiz ki; uzun yıllardır veri temini sağlayan Landsat verileri özellikle zaman aralıklı değişimleri ortaya koymada hala önemli bir araçtır.

Analiz sonuçları incelendiğinde 35 yıllık değişimlerde 1.5 km'ye kadar erozyon görülmüştür. Özellikle zaman içerisinde önemli su kaynaklarından olan Marmara Gölünün kuruyor olması ülkemiz için önemli bir ekolojik problemdir. Bu duruma neden olabilecek pek çok sebep olabilir fakat sadece uydu görüntülerine bakılarak en net fark edilen şey göl civarındaki tarım alanlarının artması ve bölge de uygulanan yanlış tarımsal sulama uygulamalarıdır. Bu durumun önüne geçmek için tarımda doğru sulama yöntemleri kullanılmalıdır. Bunun daha detaylı olarak değerlendirilebilmesi için meteorolojiden alınacak kuraklık verileri, topografya verileri kullanılarak gölü besleyen suların önünü neyin kestiği gibi konular ilerleyen makalelerde araştırılacaktır. Ayrıca daha güncel uydu veri setleriyle çalışma güncellenecek ve daha detaylı sonuçlar elde edilebilecektir. Küresel ısınmayla birlikte Dünya genelinde tatlı su kayıpları sürmeye devam ederken ülkemize ait bu çok önemli su kaynağını korumak için acil eylem planları oluşturulması gereklidir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Yazarlar, ücretsiz uydu verileri ve DSAS yazılımı için NASA'ya teşekkür eder.

Araştırmacıların katkı oranı

Abdurahman Yasin Yiğit: Literatür taraması, Makale yazımı; **Halil İbrahim Şenol:** Analizler, Makale yazımı; **Yunus Kaya:** Literatür taraması, Makale yazımı

Çatışma beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Ahmad SR & Lakhan VC (2012). GIS-based analysis and modeling of coastline advance and retreat along the coast of Guyana. *Marine Geodesy*, 35(1), 1-15.

- Ali I, Cawkwell F, Dwyer E, Barrett B & Green S (2016). Satellite remote sensing of grasslands: from observation to management. *Journal of Plant Ecology*, 9(6), 649-671.
- Ali PY & Narayana AC (2015). Short-term morphological and shoreline changes at Trinkat Island, Andaman and Nicobar, India, after the 2004 Tsunami. *Marine Geodesy* 38(1), 26-39.
- Armah FA (2011). GIS-based assessment of short term Shoreline changes in the coastal erosion-sensitive zone of Accra, Ghana. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5(7), 643-54.
- Beşel C & Kayıkçı ET (2020). Investigation Of Black Sea Mean Sea Level Variability By Singular Spectrum Analysis. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(1), 33-41.
- Bevacqua A, Yu D & Zhang Y (2018). Coastal vulnerability: Evolving concepts in understanding vulnerable people and places. *Environmental Science & Policy*, 82, 19-29.
- Boak EH & Turner IL (2005). Shoreline definition and detection: A review. *Journal of Coastal Research* 21(4), 688-703.
- Carr MH, Robinson SP, Wahle C, Davis G, Kroll S, Murray S, Schumacker EJ & Williams M (2017). The central importance of ecological spatial connectivity to effective coastal marine protected areas and to meeting the challenges of climate change in the marine environment. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 27, 6-29.
- Ciritci D & Turk T (2020). Assessment of the Kalman filter-based future shoreline prediction method. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, 3801-3816.
- Danforth WW & Thieler ER (1992). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) user's guide; version 1.0 (No. 92-355). US Geological Survey.
- Das B & Dhorde A (2015). Assessment of shoreline change and its relation with Mangrove vegetation: A case study over North Konkan region of Raigad, Maharashtra, India. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(2), 101-111.
- Dereli MA & Tercan E (2020). Assessment of shoreline changes using historical satellite images and geospatial analysis along the Lake Salda in Turkey. *Earth Science Informatics*, 13(3), 709-718.
- Dewidar KM & Frihy OE (2010). Automated techniques for quantification of beach change rates using Landsat series along the North-eastern Nile Delta, Egypt. *Journal of Oceanography and Marine Science*, 1(2), 28-39.
- Doygun H, Oğuz H, Atak BK & Nurlu E (2011). Alan Kullanım Değişimlerinin Doğal Karakterli Kıyı Alanları Üzerindeki Etkilerinin Uzaktan Algılama ve CBS Yardımıyla İncelenmesi: Çiğli/İzmir Örneği, I. Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, Kahramanmaraş.
- Döker MF (2012). İstanbul İli Marmara Denizi Kıyı Çizgisinde Meydana Gelen Zamansal Değişimin Belirlenmesi. *International Journal of Human Sciences*, 9(2), 1250-1369.
- Geyer WR, Hill PS & Kineke GC (2004). The transport, transformation and dispersal of sediment by buoyant

- coastal flows. *Continental Shelf Research*, 24(7-8), 927-949.
- Ghorai D & Bhunia GS (2020). Automatic shoreline detection and its forecast: a case study on Dr. Abdul Kalam Island in the section of Bay of Bengal. *Geocarto International*, 1-20.
- Glover C & Robertson A (1998). Neotectonic intersection of the Aegean and Cyprus tectonic arcs: extensional and strike-slip faulting in the Isparta Angle, SW Turkey. *Tectonophysics*, 298(1-3), 103-132.
- Gormsen E (1997). The impact of tourism on coastal areas. *GeoJournal*, 42(1), 39-54.
- Gracy Margret Mary R, Sundar V & Sannasiraj SA (2020). Analysis of shoreline change between inlets along the coast of Chennai, India. *Marine Georesources & Geotechnology*, 1-10.
- Guha S & Govil H (2021). Relationship between land surface temperature and normalized difference water index on various land surfaces: A seasonal analysis. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(3), 165-173.
- Gül O (2008). Marmara Gölü (Manisa) kuş türleri popülasyonlarının tespiti ve alanı etkileyen çevresel faktörlerin belirlenmesi üzerine araştırmalar [Researches on the determination of ornithofauna of and environmental factors affecting Marmara lake (Manisa, Turkey)]. Ege University, Institute of Science: M.Sc. Thesis
- Hossain KT, Salaududin M & Tanim IA (2016). Assessment of the dynamics of coastal island in Bangladesh using geospatial techniques: Domar Char. *Journal of the Asiatic Society of Bangladesh, Science*, 42(2), 219-228.
- İlhan A & Sarı HM (2011): Marmara Gölü balık faunası ve balıkçılık faaliyetleri. *Ege Journal of Fisheries Aquatic Sciences*, 30, 187-191.
- Jana A, Maiti S & Biswas A (2017). Appraisal of long-term shoreline oscillations from a part of coastal zones of Sundarban delta, Eastern India: A study based on geospatial technology. *Spatial Information Research*, 25(5), 713-723.
- Kermani S, Boutiba M, Guendouz M, Guettouche MS & Khelfani D (2016). Detection and analysis of shoreline changes using geospatial tools and automatic computation: Case of jijelian sandy coast (East Algeria). *Ocean & coastal management*, 132, 46-58.
- Kireeva M, Frolova N, Rets E, Samsonov T, Entin A, Kharlamov M, Telegina E & Povalishnikova E (2020). Evaluating climate and water regime transformation in the European part of Russia using observation and reanalysis data for the 1945-2015 period. *International Journal of River Basin Management*, 18(4), 491-502.
- Kurt S, Karaburun A, Demirci A (2010). Coastline Changes in İstanbul Between 1987 and 2007. *Scientific Research and Essays* 5(19), 3009-3017.
- Mahmoodi A, Lashteh Neshaei MA, Mansouri A & Shafai Bejestan M (2020). Study of current-and wave-induced sediment transport in the Nowshahr Port entrance channel by using numerical modeling and field measurements. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(4), 284.
- Mitra SS, Santra A & Mitra D (2013). Change detection analysis of the shoreline using Toposheet and Satellite Image: A case study of the coastal stretch of Mandarmani-Shankarpur, West Bengal, India. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 3(3), 425.
- Nassar K, Fath H, Mahmod WE, Masria A, Nadaoka K & Negm A (2018). Automatic detection of shoreline change: case of North Sinai coast, Egypt. *Journal of Coastal Conservation*. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0613-1>.
- Nassar K, Mahmod WE, Fath H, Masria A, Nadaoka K & Negm A (2019). Shoreline change detection using DSAS technique: Case of North Sinai coast, Egypt. *Marine Georesources & Geotechnology*, 37(1), 81-95.
- Natesan U, Parthasarathy A, Vishnunath R, Kumar GEJ & Ferrer VA (2015). Monitoring longterm shoreline changes along Tamil Nadu, India using geospatial techniques. *Aquatic Procedia*, 4, 325-332.
- Niya AK, Alesheikh AA, Soltanpor M & Kheirkhahzarkesh MM (2013). Shoreline change mapping using remote sensing and GIS. *Int. J. Remote Sens. Appl.*, 3(3), 102-107.
- Nor NAM, Tahar KN, Suprijo T & Sulaiman SAH (2020). Shoreline Changes Analysis Along the Coast of Kuala Terengganu, Malaysia using DSAS. In 2020 11th IEEE Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC) (pp. 276-281).
- Page SJ, Hartwell H, Johns N, Fyall A, Ladkin A & Hemingway A. (2017). Case study: Wellness, tourism and small business development in a UK coastal resort: Public engagement in practice. *Tourism Management*, 60, 466-477.
- Peel MC, Finlayson BL & McMahon TA (2007): Updated world map of Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4, 1633-1644.
- Phillips MR & Jones AL (2006). Erosion and tourism infrastructure in the coastal zone: Problems, consequences and management. *Tourism Management*, 27(3), 517-524.
- Rahman SA, Islam MM, Salman MA & Rafiq MR (2022). Evaluating bank erosion and identifying possible anthropogenic causative factors of Kirtankhola River in Barishal, Bangladesh: an integrated GIS and Remote Sensing approaches. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(2), 179-190.
- Roy S & Mahmood R (2016). Monitoring shoreline dynamics using landsat and hydrological data: a case study of Sandwip Island of Bangladesh. *The Pennsylvania Geographer*, 54(2), 20-41.
- Sebat M & Salloum J (2018). Estimate the rate of shoreline change using the statistical analysis technique (Epr). *Business & It*, 8(1).
- Şentürk E & Erener A (2017). Determination of temporary shelter areas in natural disasters by gis: A case study, Gölcük/Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(3), 84-90.
- Velsamy S, Balasubramanian G, Swaminathan B & Kesavan D (2020). Multi-decadal shoreline change analysis in coast of Thiruchendur Taluk, Thoothukudi district, Tamil Nadu, India, using remote sensing and

DSAS techniques. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(17), 1-12.
Xoplaki E, Maheras P & Luterbacher J (2001). Variability of climate in meridional Balkans during the periods

1675–1715 and 1780–1830 and its impact on human life. *Climatic Change*, 48(4), 581-615.



© Author(s) 2022. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>