

GEOmatik

Geomatik Dergisi
Cilt 8 / Sayı 1 - Nisan 2023

ISSN:2564-6761

**Dergi Hakkında**

Geomatik Dergisi bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak harita mühendisliği alanında yeni gelişmelerle ilgili yapılan çalışmaları 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 yayınlanmasın iade edilmez. Dergimizde yayınlanan yazıların her türlü sorumluluğu (bilimsel, mesleki, hukuki, etik v.b.) yazarlara aittir. Yayımlanan yazıların telif hakkı dergiye aittir ve referans gösterilmeden aktarılamaz. Araştırmacılar arasındaki bilimsel iletişimi oluşturmak amacıyla aşağıda nitelikleri açıklanan, başka bir yerde yayımlanmamış makaleler Türkçe olarak kabul edilmekte ancak özetinin İngilizce de basılması zorunluluğu vardır.

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 8 / SAYI 1

ARAŞTIRMA MAKALELERİ

** IRNSS (NavIC) uyduları ve sinyal yapıları

Atınç Pırtı*, Büşra Özateş, Şefika Çakar

1

** Türkiye'nin uzun dönem ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin üç farklı enterpolasyon yöntemi ile tahmini

Cavit Berkay Yılmaz, Hilal Bodu, Ethem Sabri Yüce, Vahdettin Demir*, Mehmet Faik Sevimli

9

** Bolu Yeniçağa'da evapotranspirasyonun Landsat uydu görüntüleri ve trapezoid model ile izlenmesi

Ali Levent Yağcı

18

** Çok zamanlı Sentinel 2 uydu görüntüleri ve makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar ile arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi

Esmâ Efe, Ugur Alganci

27

** iPad Pro LiDAR sensörünün profesyonel bir yersel lazer tarayıcı ile karşılaştırmalı performans analizi

Ramazan Alper Kuçak*, Serdar Erol, Reha Metin Alkan

35

** Frekans oranı yöntemiyle coğrafi bilgi sistemi ortamında heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi: Manisa, Demirci, Tekeler Köyü örneği

Osman Salih Yılmaz

42

** Sıfır poligonu konusunun işleniş sorunları

Banihan Günay

55

** Enerji projelerinde arazi edinim faaliyetleri ve arazi değerlemesi

Çetin Önder İncekara*, Süleyman Lala

61

Etrafı faylarla çevrili arazilerde tektonik levha hareketleri

Turgut Uzel

72

Yeni nesil multispektral ve hiperspektral uydu görüntülerinin arazi örtüsü / arazi kullanımı sınıflandırma performanslarının karşılaştırılması: Sentinel-2 ve PRISMA Uydusu

Buse Tırmanoğlu, İrem İsmailoğlu, Aylin Tuzcu Kokal, Nebiye Musaoğlu

79



IRNSS (NavIC) uyduları ve sinyal yapıları

Atınc Pırtı¹, Büşra Özateş¹, Şefika Çakar¹

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

Anahtar Kelimeler

IRNSS Uyduları
Navigasyon
Sinyal Yapısı

Araştırma Makalesi

Geliş: 09.08.2021
Revize: 20.09.2021
Kabul: 25.09.2021
Yayınlanma: 10.08.2022



Öz

Uydu tabanlı navigasyon ve konum belirleme sistemlerinin günlük hayatta kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu sistemler askeri, sivil ve bilimsel amaçlı kullanımda temel bir araç haline gelmektedir. Bölgesel konum belirleme sistemleri gelişen standartları sayesinde bir cismin konumunun belirlenmesinde, araç navigasyonunda, ölçme uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, ulusal uygulamalar için kullanılacak yerli ve bağımsız bir bölgesel uzay navigasyon sistemi uygulamaktır. Bu çalışmada (IRNSS) Hindistan Bölgesel Navigasyon Uydu Sisteminin teknik özellikleri açıklanmış, uydu ve sinyal yapıları hakkında bilgi verilmiştir.

IRNSS (NavIC) satellites and signal structures

Keywords

IRNSS Satellites
Navigation
Signal Structure

Research Article

Received: 09.08.2021
Revised: 20.09.2021
Accepted: 25.09.2021
Published: 10.08.2022

Abstract

Satellite-based navigation and positioning system is increasing its impact on our daily life day by day. These systems are used in determining the position of an object, vehicle navigation, measurement applications. Thanks to the regional positioning systems standards, it becomes the main tool to be used for military, civil and scientific purposes. The aim of this project is to implement a domestic and independent regional space navigation system that will be used for national applications. In this project, the (IRNSS) India regional navigation satellite system, its satellites and signal structures are mentioned.

1. Giriş

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte, insanlığın bu teknoloji kullanımı için gerekli olan donanım ihtiyaçları artmıştır. Günlük yaşamın her alanında bu yeni teknolojilerin ve ilgili donanımların kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu artan teknoloji ile beraber konumlama sistemleri de hızlı bir gelişim göstermiştir. Askeri, sivil ve ticari hayattaki gelişmeler nedeniyle ülkeler, rekabet durumundan geri kalmamak diğer ülkelerin konumlandırma sistemlerine bağımlı olmamak ve teknolojik yeniliğe ayak uydurmak adına konumlama sistemlerinde bir adım daha önde olmak için kendi

navigasyon sistemi kurulması çalışmalarına başlanmıştır.

Konumlama sistemleri yerel, bölgesel ve küresel olarak planlanabilmektedir. Yerel ve bölgesel sistemin kapsamı dardır fakat küresel sistemin alanı geniş olduğundan konumlama hizmetinde fazla sayıda uyduya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüzden bu sistemlerin hepsine uydu tabanlı konumlama sistemi denilmektedir.

Hint Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemi (IRNSS ya da NavIC) Hindistan'a ait bölgesel konumlama sistemidir. Eski adı IRNSS olan sistem Hindistan Uzay Araştırma Organizasyonu (ISRO) tarafından geliştirilmiştir. Sistemin eski adı 2016 yılında yedinci ve son uydusu olan IRNSS-1G'nin fırlatılması ile birlikte, Hindistan eski

Cumhurbaşkanı Narendra Modi tarafından adını NavIC (Navigation with Indian Constellation) olarak değiştirilmiştir.

Bölgesel ve küresel uydu konumlandırma sistemleri afet yönetimi, Araç takibi, filo yönetimi, cep telefonları ile entegrasyon, hassas zamanlama, haritalama, jeodezik veri kayıt, kara, hava ve deniz navigasyonu, yürüyüşçüler ve gezginler için karasal navigasyon yardımı, sürücüler için görsel ve sesli navigasyon gibi hayatı kolaylaştıracak birçok alanda kullanılabilir. IRNSS

NavIC uydu takımının, üç adet yer-sabit yörüngede ve ayrıca dört adet eğik yer-senkronize yörüngede bulunan 7 uydudan oluşmaktadır. IRNSS tasarımı sırasında, sistemin birincil hizmet alanı içinde 20 metrelik bir konum doğruluğu sağlaması istenmiştir ve güncel olarak sistem bu doğruluğu sağlamaktadır. IRNSS Standart Konumlandırma Hizmeti (SPS) ve Kısıtlı Hizmet (RS) olarak adlandırılan iki tür hizmet vermektedir. Ayrıca sistemin tüm hava koşullarında 7 gün 24 saat kesintisiz olarak, bütün platformlarda (kara-hava-deniz, hareketli ve sabit) doğru ve gerçek zamanlı konum hız ve zaman servisi sağlaması hedeflenmiştir. Bu çalışmada (IRNSS) Hindistan Bölgesel Navigasyon Uydu Sisteminin teknik özellikleri açıklanmış, uydu ve sinyal yapıları hakkında bilgi verilmiştir.

2. IRNSS (NavIC) sistemi

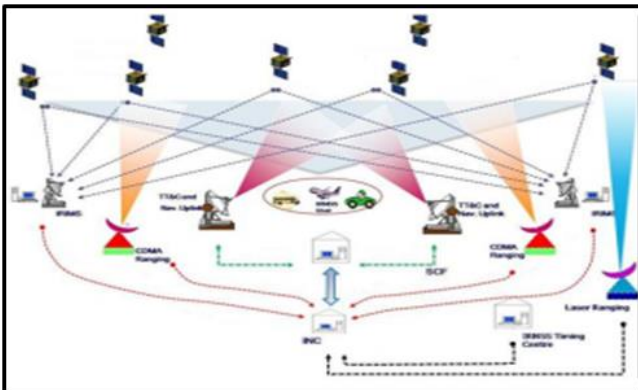
Hindistan Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemi (IRNSS), Hindistan Uzay Araştırma Organizasyonu (ISRO) tarafından geliştirilen kullanıcıya yeterli doğruluk ve güvenilir gerçek konum ve zamanlama hizmetleri sağlayan bağımsız bir bölgesel uydu navigasyon sistemidir. IRNSS temel olarak iki tür hizmet sağlamaktadır (URL-1).

- Standart Konumlandırma Hizmeti (SPS)
- Kısıtlı Hizmet (RS)

2.1. IRNSS yapısını oluşturan unsurlar

IRNSS yapısı, her uydu konumlandırma sisteminde olduğu gibi temel olarak aşağıdaki üç bölümden oluşur (Şekil 1):

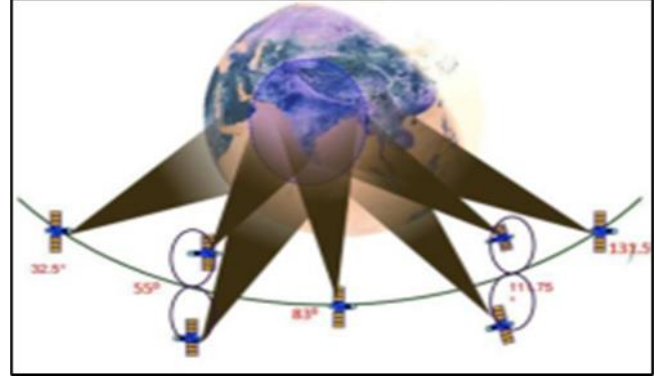
- Uzay Bölümü
- Yer (Kontrol) Bölümü
- Kullanıcı Bölümü



Şekil 1. IRNSS yapısı (URL-2)

2.2. Uzay bölümü

NavIC uzay bölümü yedi uydudan oluşmaktadır. Yer-sabit yörüngede (GEO) 3 uydu bulunur ve sabit yörüngeli uydular 32.5° , 83° ve 131.5° doğu boylamlarına yerleştirilmiştir. Eğik yer-senkronize yörüngede (IGSO) ise 4 uydu yer almaktadır. Bunlar ekvator düzlemini 55° ve $111,75^\circ$ doğu boylamlarında kesen 29° eğiklik açısına sahip yörüngelerde bulunmaktadır (Şekil 2). Uydular, navigasyon için özel olarak tasarlanmıştır. Uyduların tümü, Hindistan bölgesinden sürekli görünür durumdadır (Montenbruck ve Teunissen 2017).



Şekil 2. NavIC uydu sistemi (Spaceflight101, 2015)

Bu uyduların aynı anda ekvatorun geçmesi durumunda hassasiyet kaybı yaşanabileceği için uydular yörüngeye faz farkı oluşacak şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 3'de görüldüğü gibi sabit yörüngedeki uydular, aynı kuzey güney doğrultusunda hareket ederken, eşzamanlı yörüngedeki uydular ise hareketleri sonucu yer üzerinde "8" şekli çizmektedir (Şekil 2, Şekil 3). 55° doğu boylamını merkez alan IRNSS-1A ve IRNSS-1B uyduları ile $111,75^\circ$ doğu boylamını merkez alan IRNSS-1D ve IRNSS-1E uyduları arasında faz farkı mevcuttur (URL-7).



Şekil 3. NavIC uydu takımının yer küre üzerindeki izleri (URL-3)

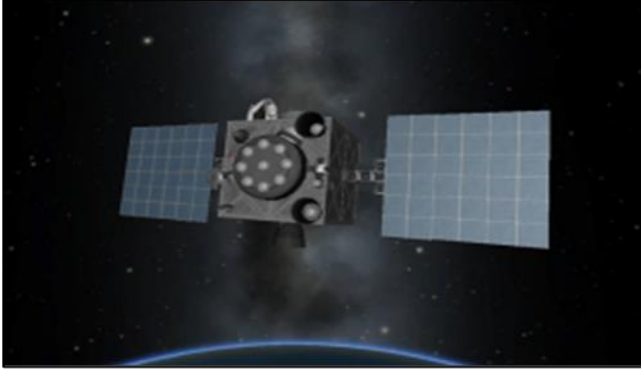
2.2.1. IRNSS uyduları

IRNSS uyduları, ISRO'nun meteorolojik uydusu Kalpana-1'e benzeyen, kuru kütlesi 600 kg ağırlığında ve fırlatma ağırlığı 1.425 kg olan uzay aracı, 1-1K etrafında tasarlanmıştır. Güneş panelleri 1600 Wattlık güç üreten uyduda, 90 Amper saat kapasiteye sahip bir adet lityum iyon batarya bulunmaktadır. Uyduda 440 Newtonluk yeröte motoru ile 12 tane 22 N'luk iticiden oluşan sıvı

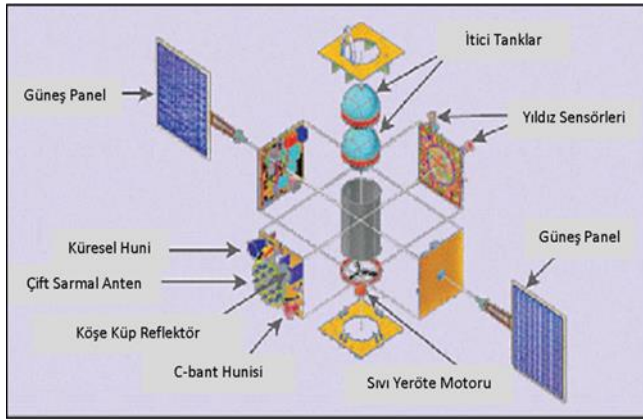
yakıtlı itki sistemi kullanılmaktadır (Tablo 1). Uydunun yönelimini belirlemek için uyduda güneş sensörleri, yıldız sensörleri ve jiroskoplar bulunmaktadır (Şekil 4 ve 5). Yönelim kontrolü ise sıvı yakıtlı iticiler, tepki tekerleri ve manyetik burucularla sağlanır. Uydunun görev süresi 10-12 yıldır (Montenbruck ve Teunissen 2017).

Tablo 1. IRNSS uzay aracının parametreleri

Fırlatma Ağırlığı	1425 kg dolu ağırlığı, 614 kg boş ağırlığı
Uzay Aracı Boyutu	1.58mx1.5mx1.5m
EPS (Elektrikli Güç Alt Sistemleri)	1600 W güç üreten 2 güneş enerji paneli, 90 Ah kapasiteye sahip bir adet lityum iyon bataryaya sahiptir.
Uydunun görev süresi	10-12 yıl
İtici Güç	12 tane 22 N'luk iticiden oluşan sıvı ile 440 N'luk yeröte motoru



Şekil 4. IRNSS-1 uydusunun görünümü (ISRO)



Şekil 5. IRNSS uzay aracının havadan görünümü (ISRO)

Tablo 2 de liste olarak verilen IRNSS-1 serisi uydular aşağıda özetlenmiştir.

IRNSS-1A: IRNSS-1A uydusu, Hindistan Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemini (IRNSS) oluşturacak olan yedi uydudan ilkidir. Bu uydunun yapımı, 1 Temmuz 2013 tarihinde başlatılmıştır. IRNSS-1A, yer-eşzamanlı uydulardan biridir ve 55° doğu boylamında konumlandırılmıştır. Yakıtlı kütlesi 1.425 kg ve yakıtsız kütlesi 614 kg'dır. 1.660 watt'a kadar güç üreten iki güneş paneli tarafından desteklenmektedir. IRNSS-1A mesajlaşma hizmetlerinde de kullanılmaktadır. Uydunun görev süresi 10 yıldır (Şekil 6), (URL-10).

IRNSS-1B: IRNSS-1B uydusu, Hindistan Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemini (IRNSS) oluşturacak olan yedi uydudan ikincisidir. Bu uydunun yapımı, 4 Nisan 2014 tarihinde başlatılmıştır. IRNSS-1B, yer-eşzamanlı uydulardan biridir ve 55° doğu boylamında konumlandırılmıştır. Yakıtlı kütlesi 1.425 kg'dır. 1.660 watt'a kadar güç üreten iki güneş paneli tarafından desteklenmektedir. Uydunun görev süresi 10 yıldır (Şekil 7), (URL-11).

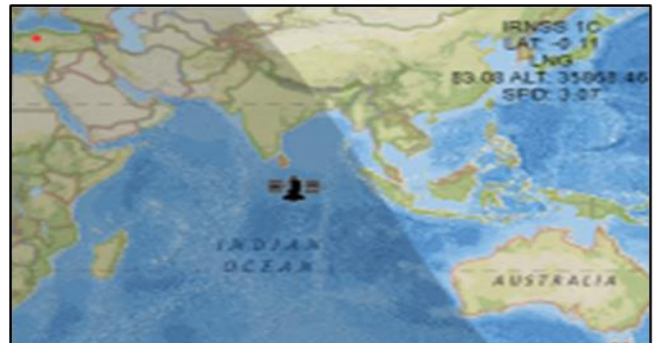


Şekil 6. IRNSS-1A uydusunun IGSO yörüngesi üzerinde herhangi bir andaki konumu (URL-9, URL-4)



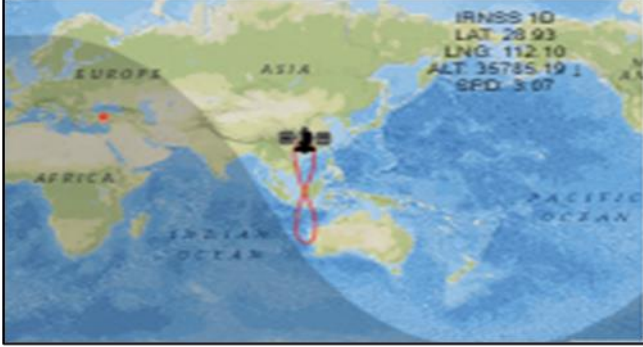
Şekil 7. IRNSS-1B uydusunun IGSO yörüngesi üzerinde herhangi bir andaki konumu (URL-12)

IRNSS-1C: IRNSS-1C uydusu, Hindistan Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemini (IRNSS) oluşturacak olan yedi uydudan üçüncüsüdür. Bu uydunun yapımı 15 Ekim 2014 tarihinde başlatılmıştır. IRNSS-1C, yer-sabit uydulardan biridir ve 83° doğu boylamında konumlandırılmıştır. Yakıtlı kütlesi 1.424,5 kg ve yakıtsız kütlesi 598 kg'dır. 1.660 Watt'a kadar güç üreten iki güneş paneli tarafından desteklenmektedir. Uydunun görev süresi 11 yıldır (Şekil 8), (URL-13).



Şekil 8. IRNSS-1C uydusunun yerküre üzerindeki konumu (URL-14)

IRNSS-1D: IRNSS-1D uydusu, Hindistan Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemini (IRNSS) oluşturacak olan yedi uydudan dördüncüsüdür. Bu uydunun yapımı, 28 Mart 2015 tarihinde başlatılmıştır. IRNSS-1D, yer-eşzamanlı uydulardan biridir ve 111.75° doğu boylamında konumlandırılmıştır. Uydunun görev süresi 12 yıldır (Şekil 9), (URL-16).



Şekil 9. IRNSS-1D uydusunun IGSO yörüngesi üzerinde herhangi bir andaki konumu (URL-15)

IRNSS-1E: IRNSS-1E uydusu, Hindistan Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemini (IRNSS) oluşturacak olan yedi uydudan beşincisidir. Bu uydunun yapımı, 20 Ocak 2016 tarihinde başlatılmıştır. IRNSS-1E, yer-eşzamanlı uydulardan biridir ve 111.75° doğu boylamında konumlandırılmıştır. Yakıtlı kütlesi 1.425kg ve yakıtsız kütlesi 598 kg'dir. 1.660 watt'a kadar güç üreten iki güneş paneli tarafından desteklenmektedir. Uydunun görev süresi 12 yıldır (Şekil 10), (URL-17).



Şekil 10. IRNSS-1E uydusunun IGSO yörüngesi üzerinde herhangi bir andaki konumu (URL-18)

IRNSS-1F: IRNSS-1F uydusu, Hindistan Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemini (IRNSS) oluşturacak olan yedi uydudan altıncısıdır. Bu uydunun yapımı, 10 Mart 2016 tarihinde başlatılmıştır. IRNSS-1F, yer-sabit uydulardan biridir ve 32.5° doğu boylamında konumlandırılmıştır. Yakıtlı kütlesi 1.425kg ve yakıtsız kütlesi 598 kg'dir. 1.660 watt'a kadar güç üreten iki

güneş paneli tarafından desteklenmektedir. Uydunun görev süresi 12 yıldır (Şekil 11), (URL-19).



Şekil 11. IRNSS-1F uydusunun IGSO yörüngesi üzerinde herhangi bir andaki konumu (URL-22)

IRNSS-1G: IRNSS-1G uydusu, Hindistan Bölgesel Navigasyon Uydu Sistemini (IRNSS) oluşturacak olan yedi uydudan sonuncusudur. Bu uydunun yapımı, 28 Nisan 2016 tarihinde başlatılmıştır. IRNSS-1G, yer-sabit uydulardan biridir ve doğu boylamında konumlandırılmıştır. Yakıtlı kütlesi 1.425kg ve yakıtsız kütlesi 598 kg'dir. 1.660 watt'a kadar güç üreten iki güneş paneli tarafından desteklenmektedir. Uydunun görev süresi 12 yıldır (Şekil 12), (Tablo 2), (URL-20).



Şekil 12. IRNSS-1G uydusunun yerküre üzerindeki konumu (URL-21)

2.3. Yer (Kontrol) Bölümü

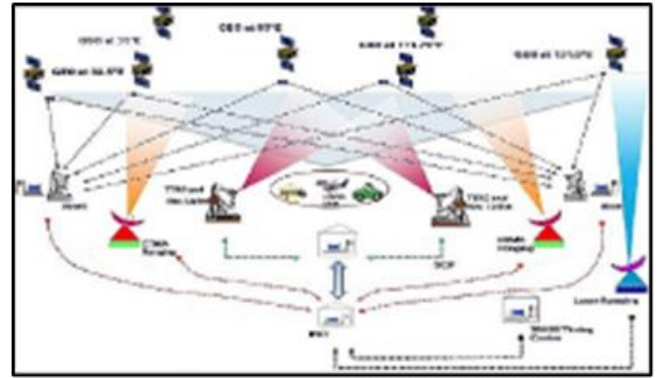
IRNSS uydu takımının bakımından ve çalışmasından sorumludur. Yer bölümü uydu takımını kontrol etmek için gerekli unsurların ve ana sistemlerin tamamını içerir (Şekil 13, 14 ve 15). IRNSS kontrol bölümü; IRNSS Uzay Aracı Kontrol Tesisi (IRSCF), IRNSS Uzaklık ve Bütünlük İzleme İstasyonu (IRIMS), IRNSS Navigasyon Merkezi (INC), IRNSS CDMA Menzil Ölçüm İstasyonu (IRCDR), IRNSS Ağ Zamanlama Tesisi (IRNWT), IRNSS Veri İletişim Ağı ve bağlantı istasyonlarından oluşmaktadır.

Tablo 2. IRNSS-1 Serisi Uyduları (URL-6)

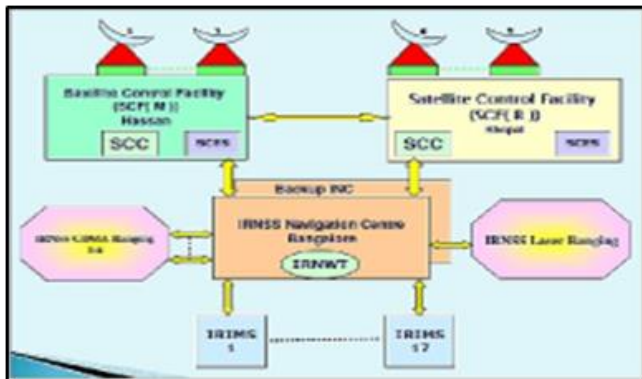
UYDU	SVN	PRN	Uydu kimliği	NORAD Kimliği	Lansman Tarihi	Araçlar	Yörünge	Durum
IRNSS-1A	I001	I01	2013-034A	39199	1 Temmuz 2013	PSLV-XL-C22	Geosynchronous (IGSO) / 55°E, 29° inclined orbit (Eğimli yörünge)	Kısmen Arızalı
IRNSS-1B	I002	I02	2014-017A	39635	4 Nisan 2014	PSLV-XL-C24	Geosynchronous (IGSO) / 55°E, 29° inclined orbit	Operasyonel
IRNSS-1C	I003	I03	2014-061A	40269	16 Ekim 2014	PSLV-XL-C26	Geostationary (GEO) / 83°E, 5° inclined orbit	Operasyonel
IRNSS-1D	I004	I04	2015-018A	40547	28 March 2015	PSLV-XL-C27	Geosynchronous (IGSO) / 111.75°E, 31° inclined orbit	Operasyonel
IRNSS-1E	I005	I05	2016-003A	41241	20 Ocak 2016	PSLV-XL-C31	Geosynchronous (IGSO) / 111.75°E, 29° inclined orbit	Operasyonel
IRNSS-1F	I006	I06	2016-015A	41384	10 Mart 2016	PSLV-XL-C32	Geostationary (GEO) / 32.5°E, 5° inclined orbit	Operasyonel
IRNSS-1G	I007	I07	2016-027A	41469	28 Nisan 2016	PSLV-XL-C33	Geostationary (GEO) / 129.5°E, 5.1° inclined orbit	Operasyonel
IRNSS-1H					31 Agustos 2017	PSLV-XL-C39		Başlatılmadı
IRNSS-1I	I009		2018-035A	43286	12 Nisan 2018	PSLV-XL-C41	Geosynchronous (IGSO) / 55°E, 29° inclined orbit	Operasyonel



Şekil 13. IRNSS kontrol bölümü (Montenbruck ve Teunissen 2017)



Şekil 15. Yer bölümü elemanlarının şematik görünümü (URL-8)



Şekil 14. IRNSS yer sistemi yapısı (ISRO)

2.4. Kullanıcı Bölümü

NavIC, belirlenen birincil hizmet alanındaki kullanıcılara tutarlı konum bilgisi hizmeti sağlamak için tasarlanan bağımsız bir sistemdir. Birincil hizmet alanı, Hindistan'ı ve Hindistan sınırlarından dışı doğru 1500 km kadar uzanan bölgeyi kapsar (Şekil 16, 17 ve 18). 30° güney ve 50° kuzey enlemleri ile 30° doğu ve 130° doğu boylamları arasında kalan dikdörtgen (Şekil 16 yeşil renkli dikdörtgen) ile birincil hizmet alanı (Şekil 16 beyaz renkli dikdörtgen) arasında kalan alan ise genişletilmiş hizmet alanını oluşturur (ISRO, 2017). Sistem, birincil hizmet alanında 20 metreden daha iyi bir konumlama hassasiyeti sağlamaktadır (ISRO, 2018a).



Şekil 16. NavIC birincil ve ikincil hizmet alanı (Montenbruck ve Teunissen, 2017)



Şekil 17. NavIC'nin genişletilmiş hizmet alanı (URL-5)



Şekil 18. Hindistan sınırlarından 1500 km kadar uzanan IRNSS kapsamının (birincil hizmet alanı) gösterimi (URL-3)

2.5. IRNSS Sinyal Yapıları

IRNSS uydusu takımı, Hindistan genelinde ve yaklaşık 1500 km dışarısına uzanan kapsama alanı içinde 20 m'lik bir konum doğruluğu sağlar. Kullanıcı bölümü aşağıdaki alanlarda faaliyet gösteren alıcılardan oluşur:

- Tek frekans (L5-bandı veya S-bandı)
- Çift frekans (L5-bandı ve S-bandı)

Tek frekanslı ve çift frekanslı alıcılar, hem tüm kullanıcılara sağlanan standart konumlama hizmeti

(SPS) hem de yalnızca yetkili kullanıcılara sağlanan kısıtlı bir hizmet olan (RS) sinyallerini alacaktır (Buba vd., 2012). Yani her iki grup alıcıda L5 (1176.45 MHz) ve S bandında (2492.028 MHz) ölçüm yapılabilecektir (Tablo 3).

Tablo 3. SPS hizmeti için L5 ve S taşıyıcı frekansları ve bant genişlikleri (URL-8)

Sinyal	Taşıyıcı Frekans	Bant genişliği
SPS-L5	1176.45 MHz	24 MHz (1164.45-1188.45)
SPS-S	2492.028 MHz	16.5 MHz (2348.50-2500.00)

SPS sinyali, BPSK (1) sinyali modülünü kullanacaktır. RS sinyali, ikili ofset taşıyıcı (BOC (5, 2)) modülünü kullanacaktır (Tablo 3). Daha iyi alım ve performans sağlamaya yardımcı olmak için RS Hizmeti için ek bir BOC pilot sinyali sağlanmaktadır. Navigasyon sinyallerinin kendisi S-bandı frekansında (2-4 GHz) iletilecek ve gerekli kapsama alanını ve sinyal gücünü korumak için faz dizili bir anten aracılığıyla yayınlanacaktır (Şekil 19 ve 20). L5 bandında diğer GNSS sinyallerinin de bulunması bu frekans aralığında birlikte çalışabilirliği desteklemektedir.

NavIC sistemine bir mesajlaşma arayüzü yerleştirilmiştir (Şekil 21). Bu özellik, komuta merkezinin belirli bir coğrafi alana uyarı göndermesine olanak tanımaktadır.

3. Bulgular

IRNSS uydularından IRNSS-1A, şimdilik sadece mesajlaşma hizmetlerinde kullanılmaktadır. Planlanan iki yedek uydudan biri olan IRNSS-1H, Ağustos 2017'de fırlatılmıştır fakat yörüngeye yerleştirilememiştir. Diğer yedek uydusu IRNSS-1I ise, Nisan 2018'de başarılı biçimde fırlatılmıştır (ISRO, 2017a; ISRO, 2018a; ISRO, 2013). Her iki uydusu da mevcut IRNSS uydusu yapısı ve navigasyon görev yükü ile benzer yapıdadırlar.

Ana görevi Hindistan ve çevresindeki kullanıcılara makul derecede tutarlı, güvenilir, doğru bir hizmet vermek olan NavIC, bağımsız bir uydusu tabanlı konumlama sistemidir. Sistem, Standart Konumlama Hizmeti (SPS) ve Kısıtlı Hizmet (RS) adı altında iki tür hizmet sağlayacaktır. SPS, tüm kullanıcılara açık bir hizmetken, RS sadece yetkilendirilmiş olan kullanıcılara sunulan şifreli bir hizmettir.

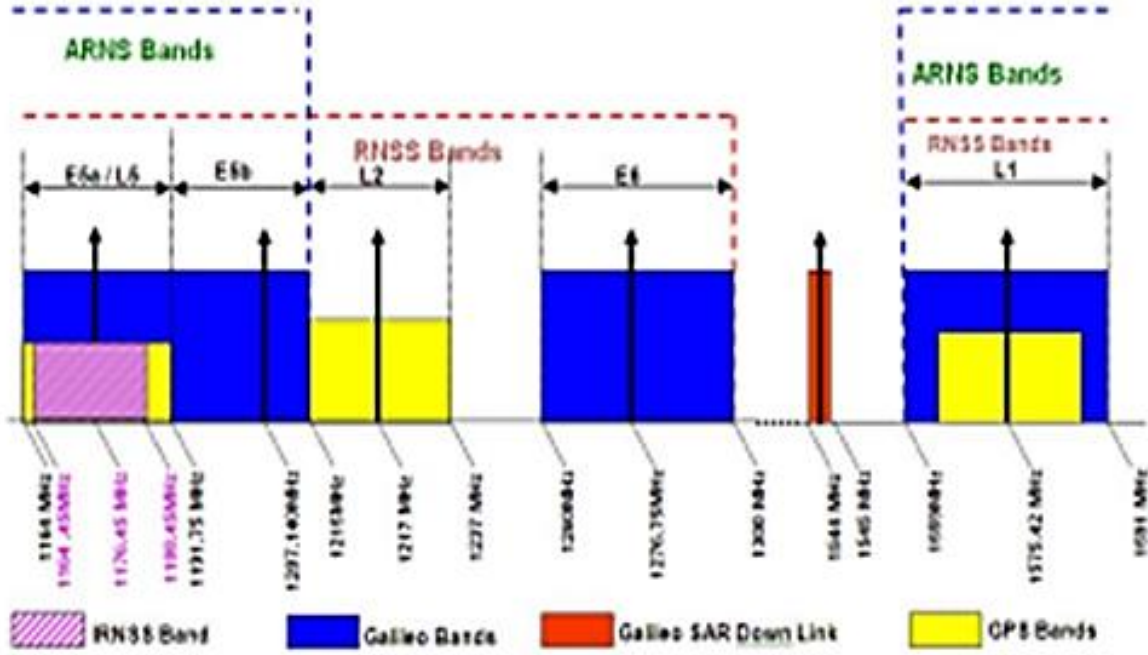
4. Sonuçlar

Yeryüzündeki bir nesnenin konumunun belirlenmesi için kullanılan konumlama günümüzde, yerküre etrafında dönen uydusu takımlarına, radyo navigasyon sinyallerine ve yeryüzündeki alıcılara dayanmaktadır. Bu konumlama sistemleri hizmet verdikleri kapsama alanına göre küresel ve bölgesel konumlama sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Konumlama sistemleri zaman içerisinde, bilişimden havacılığa kadar birçok alanda kullanılmıştır.

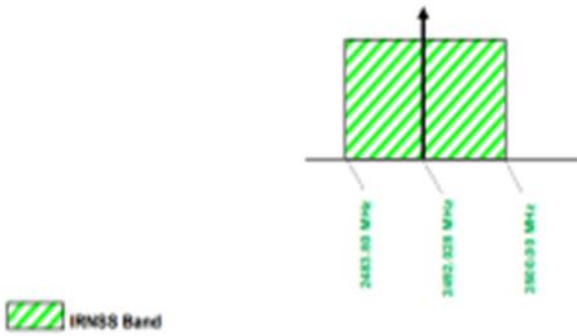
Uydusu tabanlı konumlama sistemlerinde kullanıcı uydudan yayınlanan sinyal ile etkileşime girerek konumunu belirleyebilmektedir. Kullanıcının konumunu elde edebilmesi için referans uydusunun konumunu ve alıcının uyduya olan uzaklığını bilmesi gerekmektedir.

Uzaklık, sinyalin uydudan yayınlanması ve alıcıya ulaşması arasında geçen yayılma zamanı kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu yüzden, yayınlama zamanının elde edildiği uydu saatinin son derece duyarlı ve doğru olmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla, uydu tabanlı konumlama sistemleri nesnenin konumunu, konumu bilinen uydulardan yeryüzüne doğru zaman bilgisi içeren düzenli konumlama sinyali yayarak belirlemektedir. Yani sistem bileşenleri ve kullandıkları sinyaller farklılık gösterse de aynı yöntemi kullanmaktadırlar.

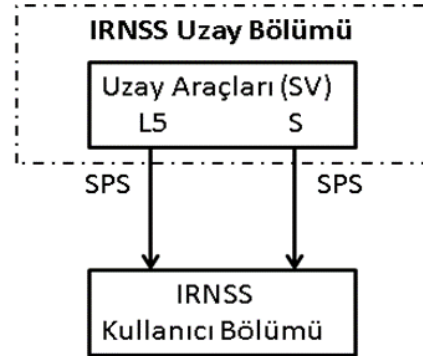
IRNSS, Hindistan çevresindeki 1500 kilometrelik bir alanda çalışmayı hedefleyen bağımsız ve özerk bir bölgesel uydu tabanlı navigasyon sistemidir. NAVIC sistemi tam olarak hizmete sokulduğuna GEO yörüngede 3 uydu ve GSO yörüngede 4 uydu ile yeryüzü üzerinden yaklaşık 36.000 km yüksekte hizmet verecektir. IRNSS sisteminden; Hint Okyanusu Bölgesi'nde (Hindistan'da 1500 km'lik) 20 m, Hindistan ve çevre ülkelerde ise 10 m'nin altında konum doğruluğu beklenilmektedir.



Şekil 19. L-bandında radyo navigasyon uydu servisleri spektrumu (ISRO)



Şekil 20. S-bandında IRNSS sinyali spektrumu (ISRO)



Şekil 21. Kullanıcı segmenti ile IRNSS uzay segmenti arayüzü (URL-8)

Araştırmacıların Katkı Oranı

Büşra Özateş, Şefika Çakar: Literatür taraması, Modelleme, Makale yazımı; **Atınc Pırtı:** Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Babu, R., Rethika, T., & Rathnakara, S. C. (2012). Onboard atomic clock frequency offset for Indian Regional Navigation Satellite system. *International Journal of Applied Physics and Mathematics*, 2(4), 270.
- ISRO, (2013) ISRO Basın Bülteni, 28 Mayıs 2013 (<https://stringfixer.com/tr/ISRO>).

- ISRO, (2017a). Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS): NavIC. Department of Space Indian Space Research Organization, 2017.
- ISRO, (2018a). Annual Report 2017-2018. Department of Space, Government of India, 2018.
- Montenbruck, O., & Teunissen, P. (2017). (Editörler). Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Cham: Springer International Publishing AG.
- Spaceflight101. (2015). Indian Regional Navigation Satellite System. Spaceflight101 Space News and Beyond: <http://www.spaceflight101.net/irnss-1.html>
- URL-1: <https://www.isro.gov.in/spacecraft/satellite-Navigation>
- URL-2: https://www.isro.gov.in/sites/default/files/irnss_sps_icd_version1.1-2017.pdf
- URL-3: <https://www.isro.gov.in/irnss-programme>
- URL-4: <http://www.ijapm.org/papers/109-P20007.pdf>
- URL-5: https://en.wikipedia.org/wiki/Indian_Regional_Navigation_Satellite_System#/media/File:IRNSS_Coverage_Polygon.png
- URL-6: https://en.wikipedia.org/wiki/Indian_Regional_Navigation_Satellite_System
- URL-7: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/irnss>
- URL-8: <http://www.isro.gov.in/update/28-may-2013/isro-navigation-centre-inaugurated>
- URL-9: <https://www.n2yo.com/satellite/?s=39199>
- URL-10: <https://tr.wikiqube.net/wiki/IRNSS-1A>
- URL-11: <https://tr.vvikipedla.com/wiki/IRNSS-1B>
- URL-12: <https://www.n2yo.com/satellite/?s=39635>
- URL-13: <https://tr.wikinew.wiki/wiki/IRNSS-1C>
- URL-14: <https://www.n2yo.com/satellite/?s=40269>
- URL-15: <https://www.n2yo.com/satellite/?s=40547>
- URL-16: <https://tr.vvikipedla.com/wiki/IRNSS-1D>
- URL-17: <https://tr.wikinew.wiki/wiki/IRNSS-1E>
- URL-18: <https://www.n2yo.com/satellite/?s=41241#results>
- URL-19: <https://tr.vvikipedla.com/wiki/irnss-1f>
- URL-20: <https://tr.vvikipedla.com/wiki/IRNSS-1G>
- URL-21: <https://www.n2yo.com/satellite/?s=41469>
- URL-22: <https://www.n2yo.com/satellite/?s=41384>



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



Türkiye'nin uzun dönem ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin üç farklı enterpolasyon yöntemi ile tahmini

Cavit Berkay Yılmaz¹, Hilal Bodu¹, Ethem Sabri Yüce¹, Vahdettin Demir¹, Mehmet Faik Sevimli¹

¹ KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

IDW
Kriging
Radyal Tabanlı Fonksiyon
Sıcaklık
Tahmin

Araştırma Makalesi

Geliş:18.08.2021
Revize:15.09.2021
Kabul:20.09.2021
Yayınlanma:10.08.2022



Öz

Bu çalışmada, Türkiye'nin uzun vadeli aylık ortalama sıcaklıkları üç farklı enterpolasyon yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Sıcaklıklar komşu ölçüm istasyonlarına ait enlem-boylam özellikleri ve Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon yöntemi (Inverse Distance Weighting, IDW), Kriging ve Radyal Tabanlı Fonksiyon (Radial Basis Function, RBF) yöntemleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Yöntemler ArcGIS yazılımı altında ArcMAP programı ile uygulanmıştır. Çalışmada 2 farklı enterpolasyon parametresi kullanılmıştır. Bunlar; Enlem (Derece) ve Boylam (Derece) şeklindedir. Veriler 1981-2020 yılları arasında olup, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Çalışmada Türkiye'yi temsilen 81 adet vilayet ölçüm istasyonu kullanılmıştır. Toplamda 972 adet (81 istasyon x 12 ay) verinin %75'i eğitim aşamasında kullanılmıştır. Verilerin %25'inde ise test edilmiştir. Kullanılan test istasyonları rastgele seçilmiştir. Test aşamasında elde edilen tahminler gözlemlenmiş verilerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH), Ortalama Mutlak Hata (OMH) ve Determinasyon katsayısı (R²) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en iyi sonuç Ardahan (Kriging, KOKH:30,22°C, OMH:5,29 °C, R²:0,988) istasyonunda, en kötü sonuç Aksaray (IDW, KOKH:121,94°C, OMH:3,48°C, R²:0,375) istasyonunda tahmin edilmiştir. Yöntemlere ait en iyi sonuçlar incelendiğinde IDW yöntemi için Şanlıurfa (KOKH:27,21°C, OMH:4,02°C, R²:0,851) istasyonunda, Kriging yöntemi için Ardahan (KOKH:30,22°C, OMH:5,29°C, R²:0,988) istasyonunda ve RBF yöntemi için ise Şırnak (KOKH: 0,47°C, OMH: 0,43°C, R²: 0,998) istasyonunda tespit edilmiştir. En kötü sonuçlar incelendiğine ise IDW yöntemi için Aksaray (KOKH:121,94°C, OMH:3,48°C, R²:0,375) istasyonunda, Kriging yöntemi için Tunceli (KOKH:48,44°C, OMH:6,5°C, R²:0,986) istasyonunda, RBF yöntemi için ise Tunceli (KOKH:7,85°C, OMH:7,86°C, R²:0,521) istasyonunda tespit edilmiştir.

Estimation of Turkey's long-term average temperature (°C) with three different interpolation methods

Keywords

IDW
Kriging
Radial Basis Function
Temperature
Forecast

Research Article

Received:18.08.2021
Revised:15.09.2021
Accepted:20.09.2021
Published:10.08.2022

Abstract

In this study, Turkey's long-term monthly average temperatures were estimated using three different interpolation methods. Temperatures were estimated using the latitude-longitude characteristics of neighboring measuring stations and Inverse Distances Weighted (IDW), Kriging and Radial Basis Function (RBF) methods. The methods were applied with ArcMAP program under ArcGIS software. Two different interpolation parameters were used in the study. These are Latitude (Degrees) and Longitude (Degrees). The data are between 1981-2020 and were obtained from the General Directorate of Meteorology. In the study, 81 province measurement stations were used to represent Turkey. In total, 75% of the data of 972 (81 stations x 12 months) was used in the training phase. And the 25% of the data of 972 (81 stations x 12 months) was used in the testing phase. The test stations used were randomly selected and the predictions obtained during the testing phase were compared with the observed data. In comparisons, Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE) and Coefficient of Determination (R²) were used. When the results obtained are examined, the best result is estimated at Ardahan (Kriging, RMSE:30,22 °C, MAE:5,29°C, R²:0,988) station, and the worst result is estimated at Aksaray (IDW, RMSE:121,94°C, MAE:3,48°C, R²:0,375) station. When the best results of the methods are examined, the best estimation for the IDW method was found at Şanlıurfa (RMSE:27,21°C, MAE:4,02°C, R²:0,851) station, for the Kriging method the best estimation was found at Ardahan (RMSE:30,22°C, MAE:5,29°C, R²:0,988) station, and for the RBF method the best estimation was found at Şırnak (RMSE: 0,47°C, MAE: 0,43°C, R²: 0,998) station. The worst results were found at Aksaray (RMSE:121,94°C, MAE:3,48°C, R²:0,375) station for IDW method, at Tunceli (RMSE:48,44°C, MAE:6,5°C, R²:0,986) station for Kriging method, and at Tunceli (RMSE:7,85°C, MAE:7,86°C, R²:0,521) station for RBF method.

Sorumlu Yazar

(cavitberkayilmaz@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-2734-2073
(hilalbodul@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-3350-5473
(ethemsabriyuce@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-1407-9106
(vahdettin.demir@karatay.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-6590-5658
(mehmet.faik.sevimli@karatay.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-4676-8782

Kaynak Göster (APA)

Yılmaz, C. B., Bodu, H., Yüce, E. S., Demir, V., & Sevimli, M. F. (2023). Türkiye'nin uzun dönem ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin üç farklı enterpolasyon yöntemi ile tahmini. *Geomatik, 8(1), 09-17*

1. Giriş

İklim canlıların yaşamsal faaliyetleri üzerinde çok önemli bir faktördür. İklim şartlarına göre insanlar yerleşim yerleri belirlemişlerdir. Bir bölgenin kuraklaşmaya başlaması insanları o bölgeden göç etmeye zorunlu kılmıştır (URL1, 2021). Kuraklık su kaynaklarını azaltan ve tüm canlıları yakından ilgilendiren bir problemdir (Şen, 2014). Küresel ısınmayla beraber kuraklığın engellenmesinin mümkün olmadığı bilinmekte ve bu sebeple iklim değişikliğinden dolayı oluşacak zararların etkisini en aza indirmenin yollarının arayışı bir zorunluluk haline gelmiştir.

Doğu Akdeniz Havzası'nda yer alan ülkemiz iklim değişikliğinden etkilenme konusunda yüksek riskler taşımakta ve iklim değişikliğinin oluşturduğu etki sadece çevresel faktörler ile sınırlı kalmayıp, endemik bitki ve hayvan türleri bakımından zengin olan ülkemizde doğal miraslarımızı, akarsu, dere, baraj vb. yapılar üzerindeki etkileri ile de insan hayatına dolaylı yollardan nüfuz etmektedir. Atmosferik olaylarda gerçekleşebilecek ani ekstremelerin tahmini ve öngörülebilmesi bu sebeple paha biçilemez bir rol oynamaktadır. Ülkemizde son zamanlarda çıkan orman yangınları ve sel felaketleri bunun reddedilemez örneklerini oluşturmaktadır (URL2, 2021; URL3, 2021). Bulunduğu bu jeopolitik konumdan dolayı insan yaşamını etkileyebilecek kuraklık, çölleşme, salgın hastalıkların artması ve zararlı mikro organizmaların çoğalması gibi sonuçlarla karşılaşılabilir (Baykan, 2013). 1980'li yıllardan itibaren küresel yüzey sıcaklıkları her yıl artarak en yüksek sıcaklık değerlerini görmüş ve 1990-2100 tarihleri arasında 1,4°C-5,8 °C arasında bir sıcaklık artışı olacağı tahmin edilmektedir (Türkeş ve Acar, 2010).

Atmosfer olaylarının rassal karakteristiklerinin minimuma indirilerek tahmin ve modellemelerinin yapılması uzun vadede gerçekleştirilecek yatırımlar ve alt yapı sistemleri için gereklilik arz etmektedir. Bu sebeple Türkiye'de uzun dönem sıcaklık değişikliklerini tespit etmek önemli bir konudur (İçel ve Ataoğlu, 2014). Sıcaklıkların tahmin edilmesinde birçok yöntem kullanılmakta ve enterpolasyon yöntemleri de bunlardan biridir. Veri grupları içerisinde bulunan eksiklerin tahmin edilmesi veya bilinen konumlardaki bilinmeyen değerlerin tahmin edilmesi ve doğruluğunun araştırılması önem taşımaktadır. Bu çalışmada literatürde kabul görmüş 3 adet enterpolasyon yöntemi kullanılarak tahmin işlemi ve kıyaslamaları gerçekleştirilmiştir.

Literatürdeki bazı önemli çalışmalar incelendiğinde, Demircan ve Alan (2011), sıcaklık verilerine IDW ve Kriging yöntemlerini uygulayarak yöntemlerden elde ettikleri sonuçları birbirleriyle kıyaslamasını gerçekleştirmişlerdir. Bu kıyaslama işlemi ülke çapında 3 gruba ayırarak 1. grupta 78, 2. grupta 103 ve 3. grupta 228 istasyona uygulamışlardır. Çalışma sonucunda başarı durumunun doğru ve sık veriye dayandığını belirtmişlerdir.

Bakiş ve ark. (2017), 1991-2011 yılları arasında kapsayan periyotta Porsuk Havzası'nda gerçekleştirmiş oldukları çalışmada sıcaklık, yağış ve buharlaşma verilerini kullanarak IDW ve Ordinary Kriging yöntemlerini uygulamış ve uygulama sonucunda elde

edilen sonuçların Ordinary Kriging yöntemide IDW'ye göre daha doğru olduğunu tespit etmiştir.

Demir ve ark. (2019), 1981 ve 2010 yılları arasında uzun dönem sıcaklık parametresinin IDW, Kriging ve Yapay Zekâ yöntemlerini kullanarak tahminini gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirdikleri çalışma sonucunda 3 yöntemde kabul edilebilir doğrulukta olduğunu fakat Yapay Zekâ yöntemlerinin daha doğru sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

Ayeong ark. (2018), Güney Kore'de 31 Mart, 21 Haziran ve 23 Eylül ve 24 Aralık tarihlerinde ölçülmüş olan anlık sıcaklık ve yağış verilerini kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada Co-Kriging, Kriging ve IDW yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışma sonucunda Kriging yöntemlerinin sıcaklık, IDW yönteminin ise yağış verilerinde gerçekleştirilen tahminlerde daha doğru sonuçlar verdiğini tespit etmiştir.

Mehdizadeh (2018), gerçekleştirdiği çalışmada İran'da bulunan 50 istasyona ait sıcaklık verileri kullanarak 4 adet veri güdümlü model (Artificial Neural Networks, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, Support Vector Machine ve Multi-Variate Adaptive Regression Splines) kullanarak incelemiş ve çalışma sonucunda en iyi tahmin sonuçları Artificial Neural Networks yönteminde en kötü tahmin sonuçlarını ise Multi-Variate Adaptive Regression Splines yönteminde tespit etmiştir.

Karimi ve ark. (2018), gerçekleştirmiş oldukları çalışmada İranda bulunan 30 istasyona ait periyodu 1986 ve 2000 yılları arası olan sıcaklık değerlerini ile Suppor Vector Machine, Random Forest ve Ordinary Kriging yöntemlerini kullanarak yapmış oldukları çalışmada Kriging yönteminin sıcaklık simülasyonu için elverişli bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiş olan ve periyodu 1981-2020 yılları arasında kapsayan uzun dönem aylık sıcaklık ortalamaları kullanılmıştır. Uygulama sırasında istasyonların %75'i eğitim %25'i ise test istasyonu olarak rastgele seçilerek IDW, Kriging ve RBF yöntemleri uygulanmıştır. Uygulama sonucunda seçilmiş olan test istasyonlarına ait gözlem verileri ile elde edilen tahmin değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

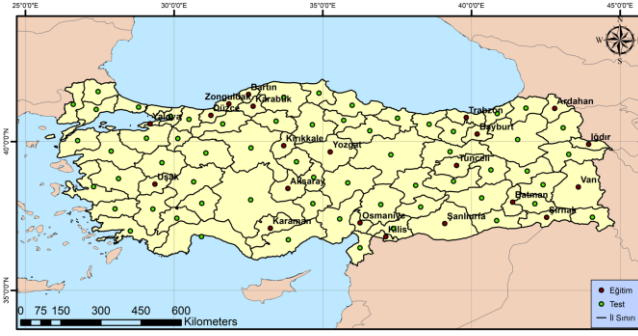
2.1. Çalışma Alanı

Türkiye, 36°-42° kuzey paralelleri ile 26°-45° doğu meridyenleri arasında yer almakta ve 3 tarafı denizlerle çevrilidir. Bu çalışmada kullanılan ortalama sıcaklık verileri MGM tarafından kaydedilmektedir. MGM'nin internet adresinden temin edilmiştir (URL4, 2021). Kullanılan istasyonların konumları Şekil 1'de yer almaktadır.

Coğrafi bilgi sistemleri yazılımı olan ArcGIS'de elimizdeki MGM'den temin edilen istasyonlara ait bilgiler kullanılarak ArcMap ortamında Spatial Analyst Tools toolbox'ı kullanılarak sıcaklık haritaları elde edilmiştir. Uygulama gerçekleştirilirken eğitimin gerçekleştirildiği istasyonlar ve test istasyonları Şekil 2'de yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı ve istasyonlar



Şekil 2. Eğitim ve test istasyonları

2.2. Ters Mesafe Ağırlıklı Enterpolasyon Yönteminin (IDW) Yöntemi

IDW, en çok tercih edilen jeostatistik olmayan yöntemlerden biridir. Bu yöntem, bilinen numune noktalarının değerlerini kullanarak bilinmeyen noktaların hücre değerlerini belirlemek için kullanılan bir enterpolasyon tekniğidir. Yalnızca komşu noktalardan tahminler ürettiği için, yerel bir ara değer tahmini yapar. Yöntem, yakındaki noktaların enterpolasyon yapılacak yüzey üzerinde, uzak noktalardan daha büyük bir ağırlığa sahip olmasına dayanmaktadır (Yılmaz ve Kuru, 2019). Hücre değeri, ilgili hücreden uzaklaşan ve mesafedeki artışına bağlı olarak çeşitli noktaların gözlenmesiyle hesaplanır. Öngörülen değerler, komşu hücredeki noktaların uzaklığının ve büyüklüğünün bir fonksiyonudur ve mesafe arttıkça, tahmin edilecek hücre üzerindeki önemi ve etkisi azalır (Demir ve ark., 2019). IDW Shepard's yöntemi adı verilen matematiksel ifadeyi kullanmaktadır (Shepard, 1968; Hastaoğlu ve ark., 2022).

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

$$w_i = h_i^{-p} / \sum_{i=1}^n h_i^{-p} \quad (2)$$

Eşitliklerde yer alan;
 p: kuvvet parametresi olarak bilinen üssü ifade etmektedir,
 h_i: örnek noktaları ve enterpolasyonlu noktalar arasındaki uzamsal mesafe,
 w_i: ağırlık değerlerinin toplamı 1 olmalıdır,

f_i: bilinen yükseklik değerlerini ifade etmektedir.

2.3. Kriging Yöntemi

Bu yöntem maden mühendisi Danie Gerhardus Krige tarafından geliştirilmiştir (Üstüntaş, 2006). Kriging, gözlemlenmemiş bir değerdeki değer bulduğu bir grup enterpolasyon yöntemini ifade eder. Konum, ağırlıklar kullanılarak çevre konumlardaki değerlerin doğrusal bir birleşimi ile tahmin edilir (Bostan, 2017). Kriging yöntemi diğer enterpolasyon yöntemlerinden farklı olarak tahminde bulunan her bir nokta için bir varyans değerinin hesaplanabiliyor olmasıdır. Buda hesaplanan değerlerin güvenilirliğini artıran bir faktördür (Yaprak ve Arslan, 2008).

Kriging yönteminde diğer yöntemlere nazaran daha doğru sonuçlar alınmasıyla birlikte, en düşük varyansı ve tahminin standart sapmasını da bulunmasına yardımcı olan bir yöntemdir (Taylan ve Damçayırı, 2016). Bu yöntemle bulunan varyans değerine Kriging varyansı denir (Krige, 1951). Bu çalışma Ordinary Kriging yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Yönteme ait Eşitlik (3) kullanılmıştır.

$$N_p = \sum_{t=1}^n P_t * N_t \quad (3)$$

Eşitlikte yer alan;

n: modeldeki nokta sayısı,

N_i: N_p, hesaplamasında kullanılan geoit dalgalanma değerleri,

N_p: gerekli dalgalanma değeri,

P_i: N_i'nin hesaplanmasında kullanılan her bir N_i değeri için ağırlık değerlerini ifade etmektedir (Krige, 1951; Colak & Memisoglu, 2021).

2.4. Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) Yöntemi

RBF enterpolasyon yöntemi bünyesinde düzenli, çoklu kuadratik ve tersine çoklu kuadratik gibi methodları barındıran bir enterpolasyon yöntemidir. Yöntem esasında değeri bilinen bir noktadan uzaklaştıkça daha büyük ya da daha küçük değerler üretilmesine yarayan fonksiyonlar grubundan oluşur. Temel doğa bilimleri içerisinde kullanılan güçlü enterpolasyon yöntemlerindedir (Smith ve ark., 2007; Uyan, 2019; URL-5, 2021).

$$Z_p = \sum_{i=1}^n w_i \varnothing(r_i) + m \quad (4)$$

Eşitlikte yer alan;

Z_p: Tahmin değerini,

∅(r_i): seçilen radyal tabanlı fonksiyonu,

r_i: i'inci noktanın noktaya olan uzaklığını,

w_i: ağırlık değerini,

m: veri noktalarından tahmin edilen yanlılık değerini ifade etmektedir (Smith ve ark., 2007).

3. Bulgular

Eğitim istasyonları kullanılarak elde edilmiş enterpolasyon haritaları üzerine test istasyonları eklenerek, test istasyonlarına ait sıcaklık değerleri elde

edilmiştir. Sonuçları karşılaştırmak amacıyla KOKH, OMH ve R² katsayısı kullanılmıştır. KOKH, OMH ve R² formülleri Eşitlik (5), (6) ve (7) de yer almaktadır. Karşılaştırma kriterlerine ait sonuçlar Tablo 1’de yer almaktadır.

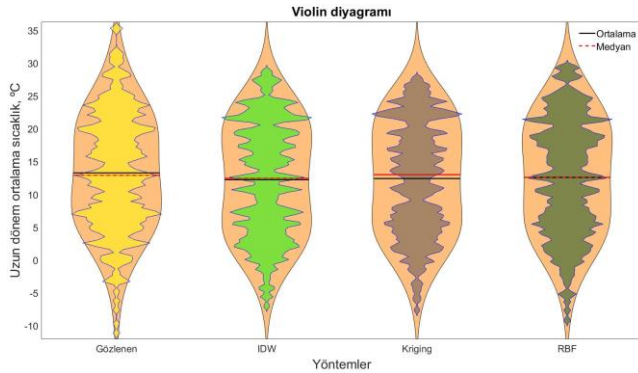
$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_g - T_t)^2} \quad (5)$$

$$OMH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |T_g - T_t| \quad (6)$$

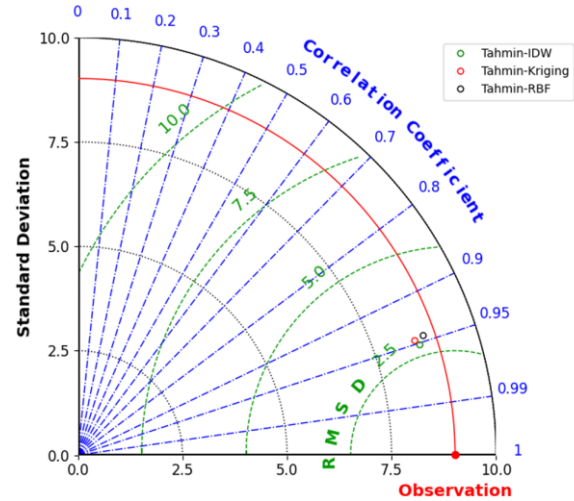
$$R^2 = \left(\frac{N * (\sum T_g * T_t) - (\sum T_g) * (\sum T_t)}{\sqrt{(N * \sum T_g^2) - (\sum T_g)^2 * (N * \sum T_t^2) - (\sum T_t)^2}} \right)^2 \quad (7)$$

Denklemlerde "T_g" ve "T_t" sırasıyla gözlenen ve tahmin edilen sıcaklık değerlerini, "N" ise veri sayısını göstermektedir. Ayrıca sonuçları karşılaştırmak amacıyla Violin ve Taylor grafiklerinden yararlanılmıştır (Hintze ve Nelson, 1998; Taylor, 2001; Legouhy, 2021). Tahmin edilen ve gözlenen değerlerin istatistiksel özelliklerine göre iki farklı teknikle çizilmiş Violin grafikleri Şekil 3 ve Şekil 4’te yer almaktadır. Korelasyon katsayısı, standart sapma ve karesel ortalama sapma (RMSD) kriterlerine göre çizilmiş olan Taylor grafiği ise Şekil 5’te yer almaktadır.

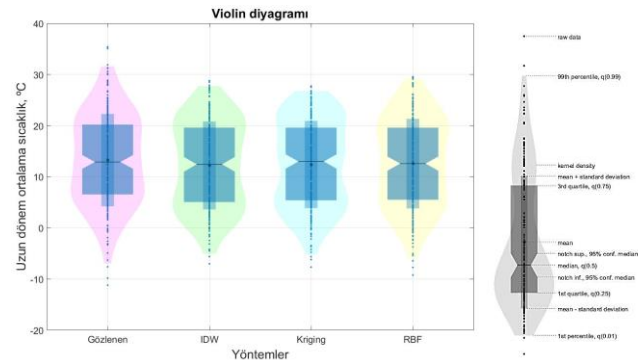
etmektedir. Bu açıdan Şekil 3 ve 4 incelendiğinde Kriging ve RBF yöntemlerinin IDW yöntemine göre gözlenen değerleri daha iyi ifade ettiği tespit edilmiştir. Başka bir ifade ile gözlenen değerlere daha fazla yakınsadığı tespit edilmiştir.



Şekil 3. Yöntemlere ait Violin grafiği



Şekil 5. Yöntemlere ait Taylor grafiği



Şekil 4. Yöntemlere ait Violin grafiği

Şekil 5’te gösterilen Taylor grafiği incelendiğinde IDW ve Kriging yöntemlerinin karesel ortalama sapma değerlerinin RBF yöntemine göre daha az olduğu ve RBF yönteminin korelasyon katsayısının diğer yöntemlere göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlar ortalama olarak incelendiğinde KOKH, OMH ve R² değerleri için en iyi sonucu Kriging yönteminin verdiği tespit edilmiştir. Ayrıca Kriging yönteminden elde edilen sonuçların, IDW yöntemine göre gözlenen değerlerine daha yakın tahminlerde bulunduğu görülmüştür (Şekil 6-11). Elde edilen sonuçlar incelenmek üzere yıllık ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak haritalandırıldığında ise IDW yöntemi için Şekil 6, Kriging yöntemi için Şekil 8 ve RBF yöntemi için ise Şekil 10 oluşturulmuştur. Şekil 7, 9 ve 11’de sıcaklıkların genel dağılımı gösterilmekte ve test istasyonlarına ait uzun dönem aylık ortalama sıcaklık değerleri yer almaktadır.

Şekil 3 ve Şekil 4’te yer alan Violin grafikleri, tahminlerin gözlenen değeri ifade etme gücünü istatistiksel parametrelerle çizilmiş şekillerle ifade

Tablo 1. IDW, Kriging ve RBF yöntemlerine ait test istasyonu sonuçları

İstasyon	IDW			Kriging			RBF		
	KOKH (°C)	OMH (°C)	R ²	KOKH (°C)	OMH (°C)	R ²	KOKH (°C)	OMH (°C)	R ²
Trabzon	57,01	4,99	0,576	9,59	2,52	0,978	3,58	3,18	0,620
Tunceli	83,65	8,40	0,754	48,44	6,50	0,986	7,85	7,66	0,521
Şanlıurfa	27,21	4,02	0,851	10,43	3,08	0,968	2,04	1,97	0,952
Uşak	32,88	2,52	0,760	4,75	1,66	0,982	1,18	1,13	0,975
Van	63,01	3,30	0,719	6,13	1,74	0,983	1,59	1,32	0,969
Yozgat	87,20	4,74	0,546	9,57	2,73	0,984	2,08	1,89	0,925
Zonguldak	22,17	2,76	0,756	5,78	1,79	0,980	2,75	2,18	0,768
Aksaray	121,94	3,48	0,375	2,35	0,89	0,986	0,58	0,45	0,995
Bayburt	110,35	6,10	0,569	19,62	4,18	0,986	3,92	3,83	0,803
Karaman	81,35	3,93	0,539	12,42	2,95	0,971	4,56	4,35	0,673
Kırıkkale	32,82	2,74	0,756	3,92	1,62	0,977	1,22	1,15	0,979
Batman	90,12	5,31	0,592	13,48	3,43	0,961	1,32	1,09	0,982
Şırnak	93,18	4,97	0,578	11,40	3,24	0,971	0,47	0,43	0,998
Bartın	34,90	2,73	0,668	2,23	1,18	0,987	2,03	1,65	0,898
Ardahan	109,51	6,45	0,634	30,22	5,29	0,988	4,26	4,14	0,806
İğdir	60,18	5,77	0,720	19,10	4,13	0,970	5,38	5,17	0,706
Yalova	38,68	2,32	0,627	2,79	1,22	0,974	0,69	0,62	0,988
Karabük	36,75	3,55	0,677	3,93	1,88	0,983	2,5	2,45	0,886
Kilis	45,15	3,13	0,679	2,66	1,16	0,981	1,49	1,36	0,966
Osmaniye	42,61	3,51	0,640	6,53	2,40	0,974	0,5	0,42	0,995
Düzce	31,82	2,95	0,670	2,22	1,31	0,986	1,25	1,21	0,964

Şekil 6, 7 ve 8’de gösterilen IDW, Kriging ve RBF haritaları incelendiğinde, sıcaklık değerlerinin genellikle gözlenen değerlerin altında tahmin edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca IDW yönteminden elde edilen tahminlerin gözlenen değerleri çevresinde yoğunlaştığı, Kriging ve RBF yöntemlerinde ise bu yoğunlaşmanın daha az olduğu tespit edilmiştir. Başka bir ifade ile tahminlerin gözlenen değerlere daha yakın olduğu tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Türkiye'nin uzun vadeli aylık ortalama sıcaklık değerleri üç farklı enterpolasyon yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Sıcaklıklar komşu ölçüm istasyonlarına ait konum bilgileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tahminler IDW, Kriging ve RBF yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde;

IDW yönteminde KOKH için minimum değer 22,17 °C, maksimum değer 121,94°C ve ortalama 62,02°C olarak tespit edilirken, Kriging yönteminde minimum KOKH değeri 2,22°C, maksimum değer 48,44°C ve ortalama KOKH değeri ise 10,84°C ve RBF yönteminde minimum KOKH değeri 0,47°C, maksimum değer 7,85°C ve ortalama 2,440°C olarak tespit edilmiştir.

OMH değerleri içerisinde ise IDW yöntemi için minimum değer 2,22°C, maksimum 8,40°C ve ortalama değer ise 4,17°C olarak tespit edilirken Kriging yönteminde minimum OMH değeri 0,89°C, maksimum OMH değeri 6,50°C ve ortalama OMH değeri 2,61°C olarak ve RBF yönteminde minimum OMH değeri 0,42°C, maksimum OMH değeri 7,66°C ve ortalama OMH değeri 2,27°C olarak tespit edilmiştir.

IDW yönteminde elde edilen minimum R² değeri 0,375, maksimum R² değeri 0,851 ve ortalama R² değeri ise 0,652 olarak tespit edilirken benzer inceleme Kriging ve RBF yöntemleri için tekrarlandığında Kriging yönteminde elde minimum R² değeri 0,961, maksimum

R² değeri 0,988 ve ortalama R² değeri ise 0,979 olarak tespit edilirken RBF yönteminde minimum R² değeri 0,521, maksimum R² değeri 0,998 ve ortalama R² değeri ise 0,875 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu minimum, maksimum ve ortalama değerler kullanılarak değerlendirme yapıldığında Kriging yönteminden elde edilen sonuçların RBF yöntemine göre ve RBF yönteminden elde edilen sonuçların ise IDW yöntemine oranla gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiş ve Kriging yöntemi kullanılarak yapılan modellemenin daha güçlü olduğu tespit edilmiştir.

Bilgilendirme/Teşekkür

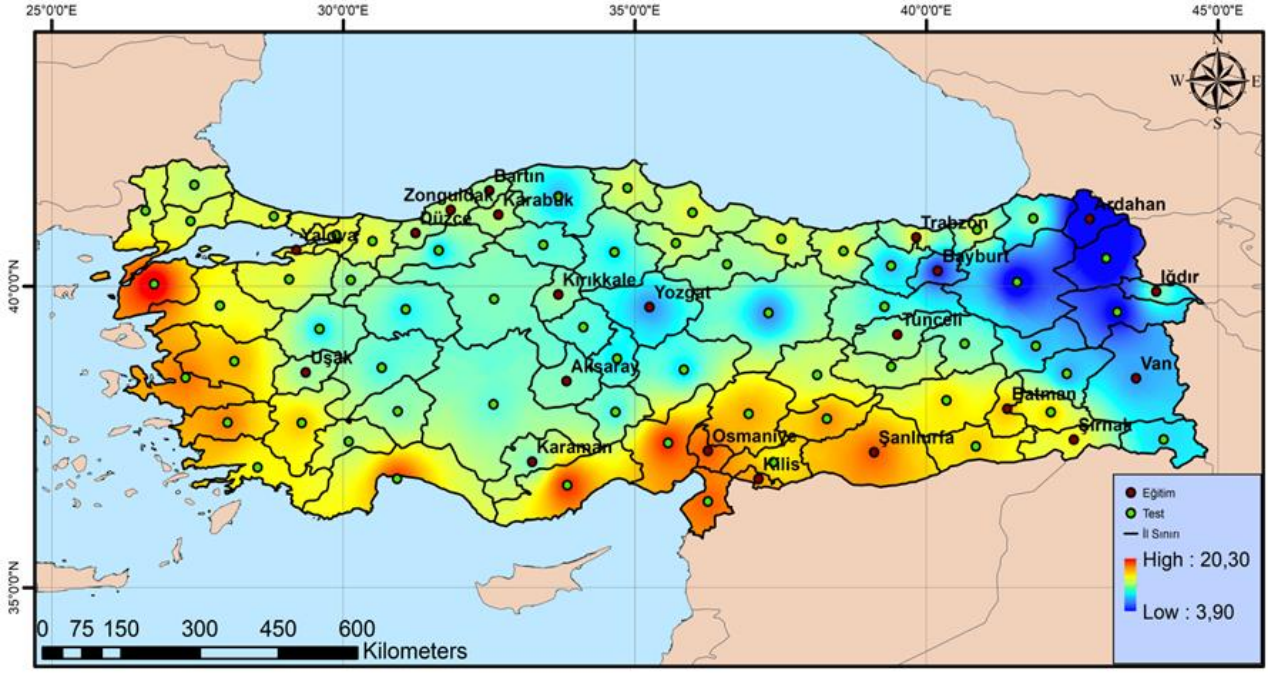
Yazarlar KTO Karatay Üniversitesine teşekkür etmektedir.

Araştırmacıların Katkı Oranı

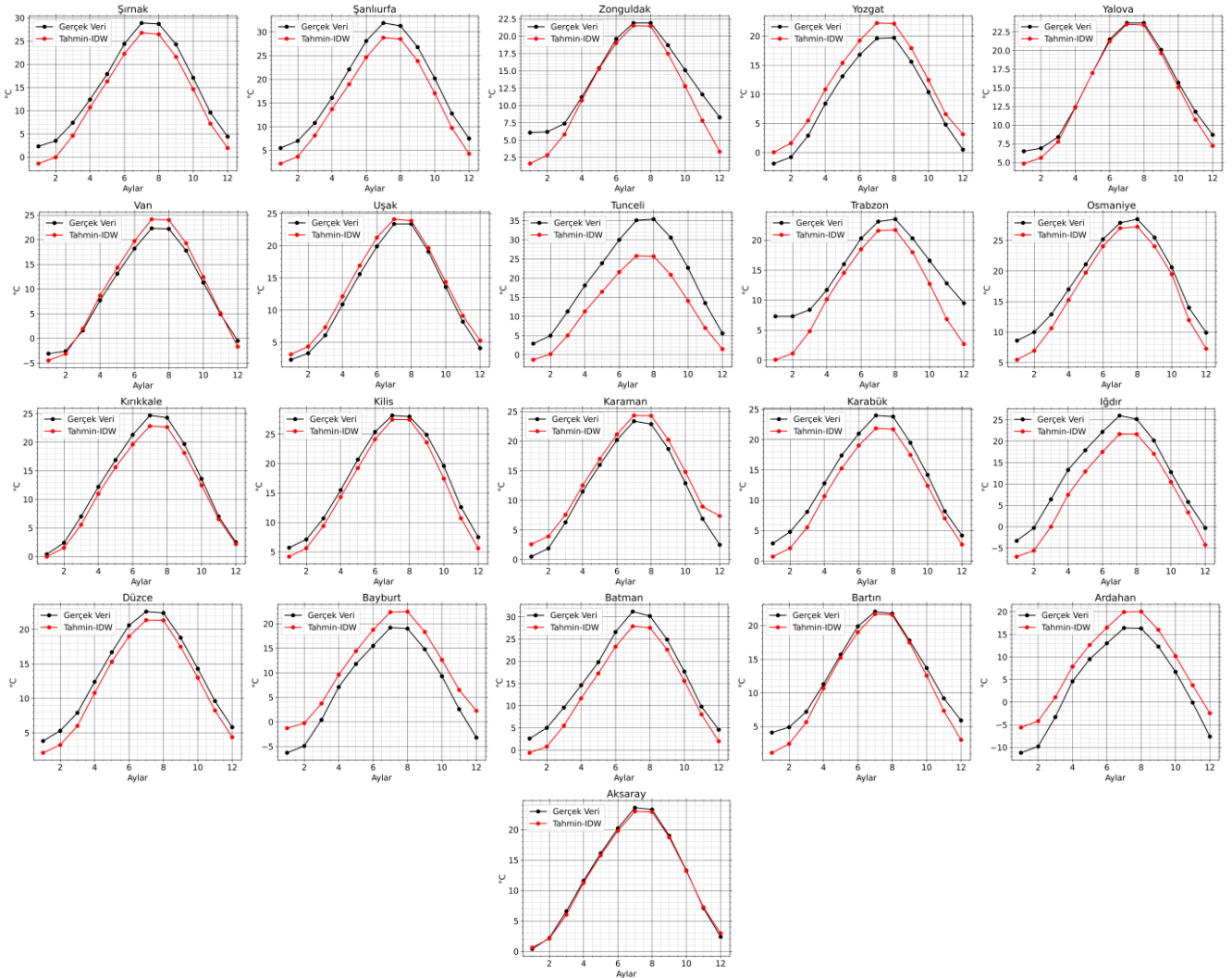
Cavit Berkay YILMAZ: Analiz, **Hilal BODU:** Sonuçların yorumlanması, **Ethem Sabri YÜCE:** Sonuçların yorumlanması, **Vahdettin DEMİR:** Kurgu, analiz, sonuçların yorumlanması, **Mehmet Faik SEVİMLİ:** Son değerlendirme

Çatışma Beyanı

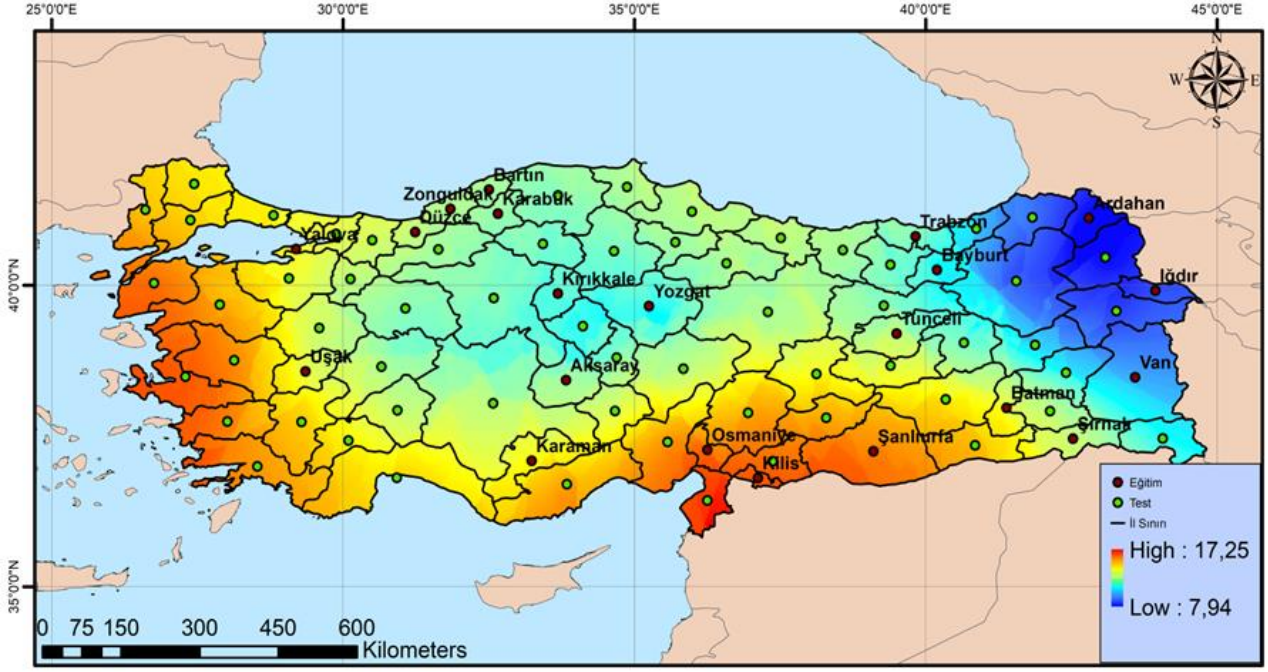
Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.



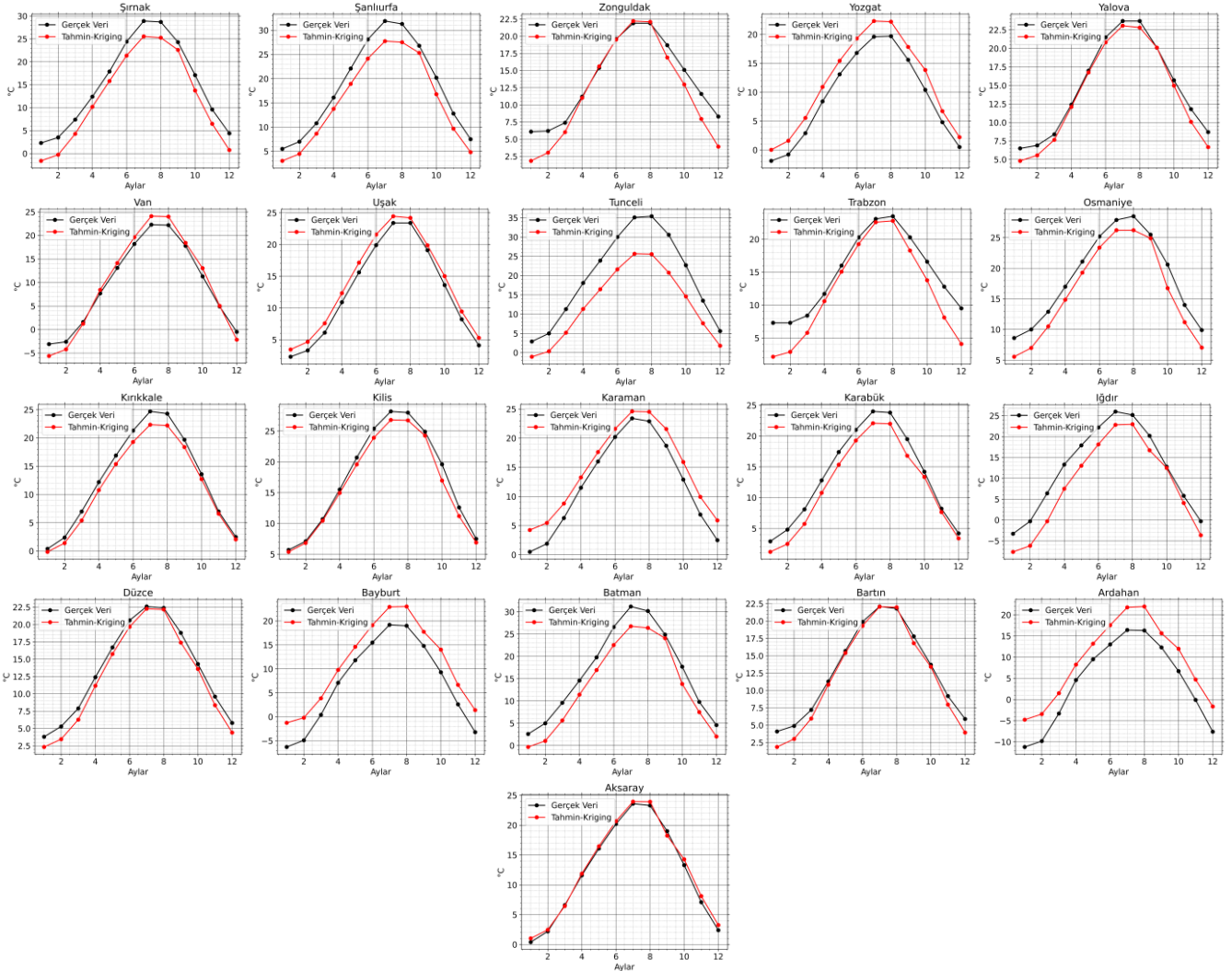
Şekil 6. IDW yöntemine ait aylık ortalama sıcaklıklar(°C)



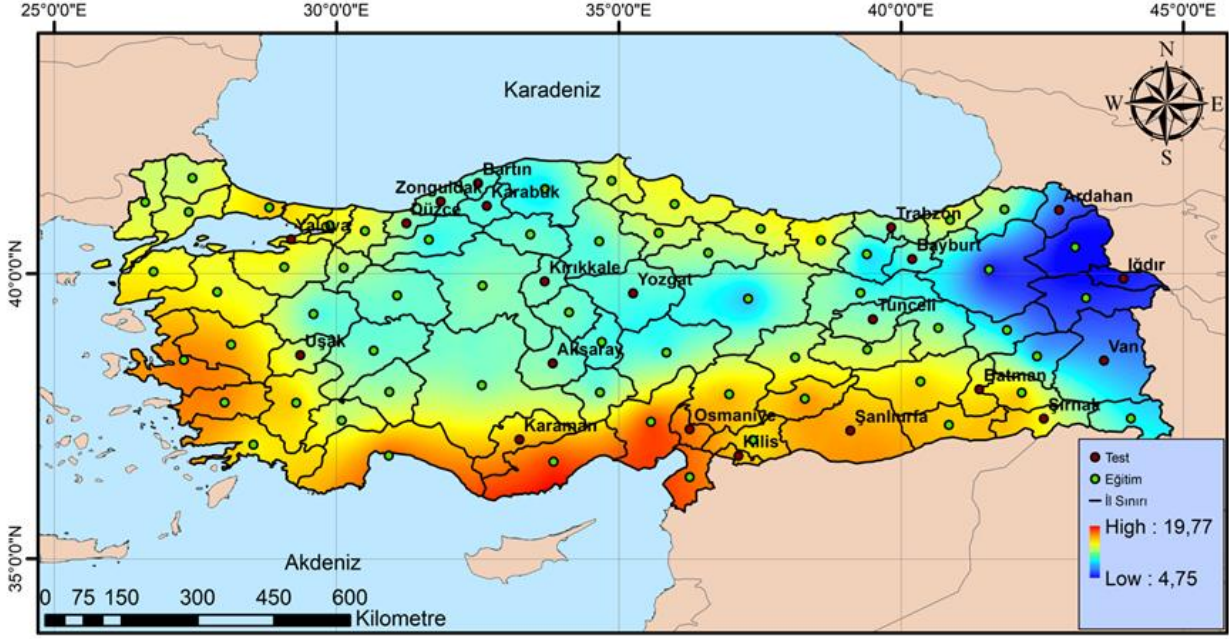
Şekil 7. IDW yöntemine ait tahmin ve gözlem grafikleri



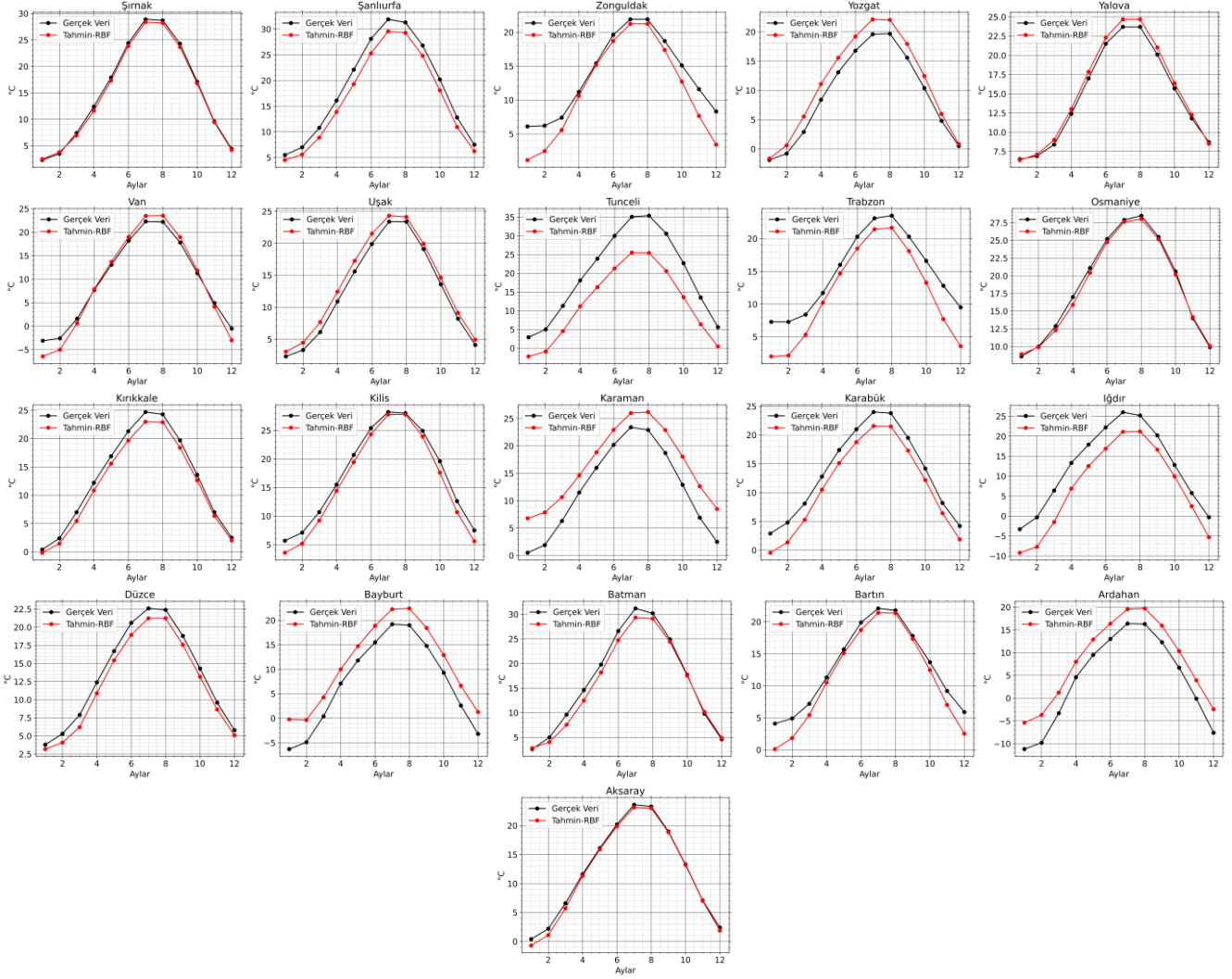
Şekil 8. Kriging yöntemine ait tahmin ve gözlem grafikleri



Şekil 9. Kriging yöntemine ait tahmin ve gözlem grafikleri



Şekil 10. RBF yöntemine ait aylık ortalama sıcaklıklar(°C)



Şekil 11. RBF yöntemine ait tahmin ve gözlem grafikleri

Kaynakça

- Ayeong, J., Jieun, R., Heyin, C., Youyoung, C., Seongwoo, J. (2018). Applicability of Various Interpolation Approaches For High Resolution Spatial Mapping of Climate Data In Korea, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-3, 703-710.
- Bakış, R., Bayazır, Y., Uyguçgil, H. & Koç, C. (2017). Mapping of Precipitation, Temperature and Evaporation Distributions in the Porsuk Basin Using Distant Forecasting Methods, Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, 6, 321-350.
- Baykan, B. G. (2013). Türkiye’de İklim Hareketinin Kısa Tarihi: Uluslararası Müzakerelerden Ulusal Politikaya. Bahçeşehir Üniversitesi Ekonomik ve Toplumsal Araştırmalar Merkezi, Araştırma Notu, 146 (13).
- Bostan, P. (2017). Basic kriging methods in geostatistics. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 27(1), 10-20.
- Colak, H. E., & Memisoglu, T. (2021) Thornthwaite iklim sınıflandırma yöntemine göre Karadeniz Bölgesi iklim sınır haritasının CBS ile üretilmesi. Geomatik, 6(1), 31-43.
- Demir, V., Çubukçu, E. A. & Sevimli, M. F. (2019). Long-Term Month Temperature Forecast With Inverse Distances Weighted, Kriging and Artificial Neural Networks. Ciset 2nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology, 2019, Mersin, Türkiye.
- Demircan, M. & Alan, İ. (2011). Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Sıcaklık Haritalarının Çözünürlüğünün Artırılması. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara.
- Hastaoğlu, K. Ö., Göğsu, S. & Gül, Y. (2022). Determining the relationship between the slope and directional distribution of the UAV point cloud and the accuracy of various IDW interpolation. International Journal of Engineering and Geosciences, 7 (2), 161-173.
- Hintze, L. J. & Nelson, R. D. (1998). Violin Plots: A Box Plot-Density Trace Synergism. The American Statistician, 52(2), 181-184.
- İçel, G. & Ataoğlu, M. (2014). Türkiye’de Yıllık Ortalama Sıcaklıklar ile Yağışlarda Eğilimler ve Nao Arasındaki İlişkileri (1975-2009). İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Coğrafya Dergisi, 28, 55-68.
- Karimi, S. M., Kisi, Ö., Porrajabali, M., Rouhani-Nia, F. & Shiri, j. (2018). Evaluation Of The Support Vector Machine, Random Forest And Geo-Statistical Methodologies For Predicting Long-Term Air Temperature. ISH Journal of Hydraulic Engineering.
- Krige, D. G. (1951) A Statistical Approach To Some Mine Valuations And Allied Problems At The Witwatersrand. Dissertation. University Of Witwatersrand.
- Legouhy, A. (2021). al_goodplot boxplot & violin plot (https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/91790-al_goodplot-boxplot-violin-plot), MATLAB Central File Exchange. Retrieved September 15, 2021.
- Mehdizadeh, S. (2018). Assessing The Potential Of Data-Driven Models For Estimation Of Long-Term Monthly Temperatures. Computers and Electronics in Agriculture, 144, 114-125.
- Shepard, D. (1968). A Two Dimensional Interpolation Function For Irregularly Spaced Data. Proceedings of the 1968 ACM National Conference, 517-524.
- Smith, M. J., Goodchild, M. F. & Longley, P. A. (2007). Geospatial Analysis. The Winchelsea Press. Leicester.
- Şen, O. (2014). Türkiye’de Yaşanan Kuraklık ve Etkileri. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası Dergisi, 9-13.
- Taylan, E. D. & Damçayırı, D. (2016). Isparta Bölgesi Yağış Değerlerinin IDW ve Kriging Entropolasyon Yöntemleri ile Tahmini, İMO Teknik Dergi, Yazı 459.
- Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. Journal of Geophysical Research, doi: 10.1029/2000JD900719, 106(D7): 7183-7192
- Türkeş, M. & Acar, D. Z. (2010). Klimatolojik/meteorolojik ve hidrolojik afetler ve sigortacılık sektörü. Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi, 7(2), ISSN:1303-5134.
- URL 1 (2021) <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim.aspx> Erişim Tarihi:13 Mayıs 2021
- URL 2 (2021) https://tr.wikipedia.org/wiki/2021_T%C3%BCrkiye_orman_yang%C4%B1nlar%C4%B1 Erişim Tarihi:15 Eylül 2021.
- URL 3 (2021) <https://tr.euronews.com/2021/08/11/sel-ve-task-nlar-karadeniz-i-teslim-ald-sinop-kastamonu-ve-bart-n-da-ag-r-hasar-olustu> Erişim Tarihi:15 Eylül 2021.
- URL 4 (2021) <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx> Erişim Tarihi: 15 Eylül 2021
- URL 5 (2021) An Introduction to Interpolation Methods. Retrieved from <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/geostatistic/al-analyst/an-introduction-to-interpolation-methods.htm>, Erişim Tarihi: 15 Eylül 2021
- Uyan, M. (2019). Comparison of different interpolation techniques in determining of agricultural soil index on land consolidation projects. International Journal of Engineering and Geosciences, 4(1), 28-35.
- Üstüntaş, T. (2006). Sayısal Arazi Modellerinde Bazı Entropolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi, 5(2).
- Yaprak, S. & Arslan, E. (2008). Kriging Yöntemi ve Geoit Yüksekliklerinin Entropolasyonu, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 1(98), 36- 42.
- Yılmaz, M. & Kuru, B. (2019). Makro ve Mikro Ölçekteki Lokal Jeoid Tespiti için Entropolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Geomatik, 4 (1), 41-48





Bolu Yeniçağa'da evapotranspirasyonun Landsat uydu görüntüleri ve trapezoid model ile izlenmesi

Ali Levent Yağcı *¹

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

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama
Buharlaşma
Terleme
Trapezoid model
Yer yüzeyi sıcaklığı
NDVI

Araştırma Makalesi

Geliş:24.02.2022
Revize:21.03.2022
Kabul: 25.03.2022
Yayınlanma:10.08.2022



Öz

Evapotranspirasyon (ET), hidrolojik su döngüsünün yağıştan sonra gelen en önemli bileşenlerinden biridir ve topraktan buharlaşan su ile bitkilerden terleme yoluyla kaybolan suyun toplamına eşittir. ET, havzalarda su ve enerji bütçelerinde, tarımsal kuraklığın belirlenmesi ve tarımsal su tüketimini izleme gibi çalışmalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ET'yi Landsat 5 ve Landsat 8 uydu görüntüleri ve trapezoid model kullanarak izlenmesi amaçlanmaktadır. Bu model ilk aşamada yeryüzündeki enerjinin buharlaşmaya dönüşme fraksiyonunu (EF) hesaplamaktadır. Daha sonra, güneş ışımasını (R_n) verisini kullanarak ET'yi hesaplamaktadır. Model çıktıları, Bolu Yeniçağa'da 2010-2014 yılları arasında eddy kovaryans yöntemi ile gözlem toplayan akı kulesindeki yersel veriler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, model ile yersel verilerden hesaplanan EF'lar arasında hem yüksek ilişki hem de düşük hata görülmüştür. Ancak, modellenen ET değerleri, yersel verilerden hesaplanan ET değerlerine göre daha düşüktür. Bu durum, R_n verisinden kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı trapezoid model EF'yi düşük bir hata ile hesaplayabildiği için başka bir R_n verisi kullanılarak, model ile uydu verilerinden yüksek doğrulukla ET haritaları üretilebilir.

Monitoring Evapotranspiration in Yenicaga Bolu from Landsat images in a trapezoidal framework

Keywords

Remote sensing
Evaporation
Transpiration
Trapezoid model
Land surface temperature
NDVI

Research Article

Received:24.02.2022
Revised: 21.03.2022
Accepted:25.03.2022
Published:10.08.2022

Abstract

Evapotranspiration (ET), defined as the sum of soil evaporation and plant transpiration, is the second important term in hydrological water cycle. ET can be employed to balance the water and energy budgets in basins, monitor droughts and agricultural water consumption. The objective of this study is to estimate ET from Landsat 5 and Landsat 8 satellite products in a trapezoidal framework. The model first calculates the evaporative fraction (EF) and then ET using the net radiation (R_n) products. The model outputs were validated against the ground observations collected at an eddy covariance flux tower in Yeniçağa, Bolu between 2010 and 2014. The results indicate that the model was able to estimate EF very accurately, and modeled EFs were highly correlated with the ground EFs. However, there was an underestimation of ET by the model because R_n products underestimated R_n values observed at the flux tower. In summary, since the model can produce EFs with small errors, it is possible to estimate ET accurately with different R_n datasets from space.

1. Giriş

Evapotranspirasyon (ET), topraktan buharlaşma ile bitkilerden terleme yoluyla kaybolan suyun toplamını ifade etmektedir. Su döngüsünün yağıştan sonra gelen en önemli parametrelerinde birisidir. ET miktarı, yüzeyde bulunan enerji miktarı, topraktaki su miktarı ve atmosfer ve bitkiler tarafından su buharı taşınmasına uygulanan direnç tarafından düzenlenmektedir (Monteith, 1965).

ET miktarının belirlenmesi birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bir havza için enerji ve su bütçelerinin oluşturulması, tarımsal kuraklığın belirlenmesi, yer yüzeyi ile atmosfer arasındaki nem değişiminin modellenmesi ve tarımsal su tüketiminin belirlenmesi gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır.

Yaygın kullanımından dolayı ET hesaplamaları için birçok model bulunmaktadır. Bunlar, kullanılan model fiziklerine göre yer yüzeyi modelleri ve diagnostik modeller olarak ikiye ayrılabilir (Mueller ve ark., 2013; Yılmaz ve ark., 2014). Yer yüzeyi modelleri bütün enerji ve su bütçesi terimlerini hesaplamaya yönelik geliştirilmiştir ve diagnostik modellere göre çok karmaşık bir yapısı vardır. Buna karşın, diagnostik modeller daha basit bir yapıdadır ve genellikle sadece bir tane enerji veya su bütçesi (örneğin, ET) teriminin hesaplanması için geliştirilmiştir (Jiménez ve ark., 2011).

Ülkemizde daha önce uydu verileri kullanılarak yapılan çalışmalarda basit olmasından dolayı daha çok diagnostik modeller kullanılmıştır. Gizil (diğer adı ET) ve hissedilir ısı akıları, Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) modeli kullanılarak Gediz Nehri aşağı havzasında hesaplanmış ve çalışma alanında kurulan ışınım ölçeri (scintillometer) ile toplanan yersel veriler ile karşılaştırılmıştır (Bastiaanssen, 2000). SEBAL modeli kullanılarak Kayseri’de ET’nin Landsat 8 uydu görüntülerinden haritalanması çalışmaları yapılmıştır ve sonuçlar yersel veriler yerine başka bir ET yöntemi olan bitki katsayısı yöntemi ile karşılaştırılmıştır (Atasever ve ark., 2016). Aynı şekilde, SEBAL modeli Çukurova bölgesindeki ET haritalanması için kullanılmıştır ve sonuçlar bitki katsayısı yöntemi ile kontrol edilmiştir (Atasever ve Ozkan, 2018). Diğer bir ET çalışması ise Büyük Menderes Havza’sında Mapping EvapoTranspiration at high Resolution with Internalized Calibration (METRIC) modeli ve Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) uydu görüntüleri kullanılarak yapılmıştır ve sonuçlar zeytin tarlasında bitki katsayısı yöntemi ile kontrol edilmiştir (Aksu ve Arıkan, 2017). METRIC modelinden elde edilen ET sonuçları, Çakıt havzasında kurulan akı kulesinde eddy kovaryans metodu ile toplanan yersel ET değerleri ile karşılaştırılmıştır (Yanmaz, 2019). Son olarak, SEBAL modeli ve Landsat 5 uydusu verileri kullanılarak Adana’da soya fasulyesi ekili tarlada ET hesapları yapılmıştır ve sonuçlar yersel lizimetre metodu ile toplanan ET verileri ile karşılaştırılmıştır (Sawadogo ve ark., 2020).

Yukarıda verilen diagnostik model çalışmalarının yanı sıra, Türkiye’de yer yüzeyi modelleri ile ET çalışmaları yapılmıştır. 2000-2014 yılları arasında tüm Türkiye üzerinde NOAH yer yüzeyi modelinden üretilen 0.25° çözünürlükteki ET verileri ile kuraklık analizi yapılmıştır (Yılmaz ve Bulut, 2016). Diagnostik model

çalışmalarının aksine bu çalışmada elde edilen ET değerleri yersel ET gözlemleri ile karşılaştırılmamıştır.

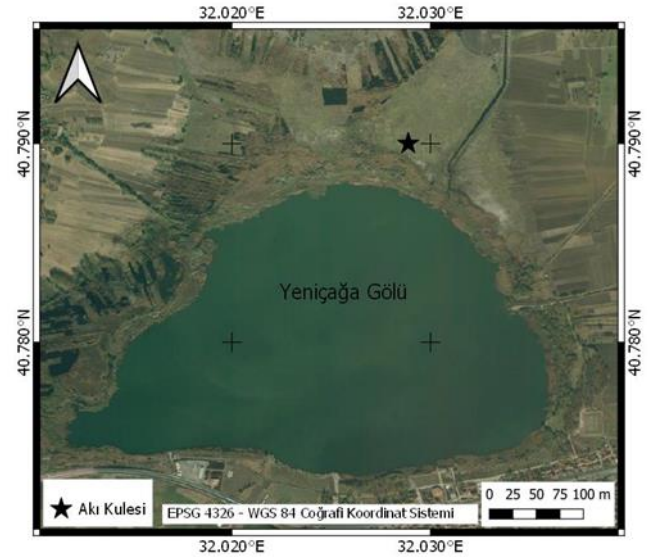
Bu çalışmada, Landsat 5 ve Landsat 8 uydu verileri ile uzaktan algılama-tabanlı trapezoid model ile ET hesapları yapılacaktır. Model çıktıları, Bolu Yeniçağa’da kurulan akı kulesinde toplanan yersel veriler ile karşılaştırılacaktır ve modelin doğruluğu test edilecektir.

2. Çalışma Alanı, Yöntem ve Materyal

Trapezoid model, Landsat 5 ve Landsat 8 uydu görüntüleri ve yardımcı veriler kullanılarak Bolu Yeniçağa çalışma alanında çalıştırılmıştır. Çalışma alanı, model ve kullanılan veri ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.1. Çalışma Alanı

Bolu Yeniçağa ilçesi, burada daha önce eddy kovaryans yöntemi ile gözlem toplayan bir akı kulesi kurulduğu için çalışma alanı seçilmiştir (Şekil 1). Yeniçağa havzası Bolu ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Havza, deniz yüzeyinden 995m yükseklikte bulunmaktadır. Çalışma alanında, kış ayları soğuk ve yağmurlu, yazları ise sıcak ve kuru bir iklim hakimdir. Köppen-Geiger sınıflandırmasına göre çalışma alanının iklim kodu Dsb’dir (Beck ve ark., 2018). Çalışma alanının arazi kullanımı ve bitki örtüsü yapısı tarlalar, hayvan otlatılan çayır ve meralar ve turbalık alanlardan oluşmaktadır.



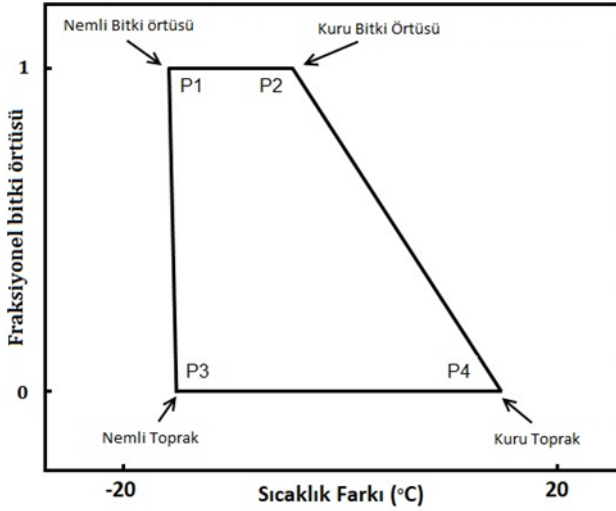
Şekil 1. Çalışma alanında kurulan akı kulesinin konumu

2.2. Trapezoid Model

Diagnostik modellerden biri olan trapezoid model ampirik teoriye dayanmaktadır. Daha karmaşık ve sofistike yeryüzü modellerine göre daha basit ve daha az veri setiyle çalışmasına rağmen, yeryüzü üzerinde mekânsal olarak devamlı ve yüksek doğrulukla ET haritaları üretebilme kabiliyetine sahiptir.

Bu yöntemde, Şekil 2’de gösterildiği gibi yer yüzeyi sıcaklığı (T_s) ile hava sıcaklığı (T_a) arasındaki sıcaklık farkı ($T_s - T_a$) ile fraksiyonel bitki örtüsünün (F_r) ilişkisinden, teorik bir trapezoid şekil oluştuğu

varsayımına dayanmaktadır (Moran ve ark., 1994). Bu trapezoid şekilde soldan sağa gidildiğinde toprak nemi koşulları ıslak durumdan kuru duruma geçmektedir. Bu şeklin sol ve sağ kenarı, hidrolojik olarak nemli ve kurak uç koşulları ifade etmektedir.



Şekil 2. Fraksiyonel bitki örtüsü ile sıcaklık farkı ($T_s - T_a$) arasındaki teorik ilişki ve trapezoid içindeki kuru ve nemli bitki örtüsü ve toprağı temsil eden kritik noktaların konumu

Günümüze kadar bu yöntemin uygulamaları birkaç yerel çalışma ile sınırlı kalmıştır (Moran ve ark., 1994; Yang ve ark., 2011; Yang ve ark., 1997). Bunun en önemli nedeni ise, Şekil 2'te gösterilen P1, P2, P3 ve P4 ile trapezoid köşe noktaları çalışma alanında toplanmış yersel veriler yardımıyla bulunmasıdır ve bu durum operasyonel olarak bu yöntemin yaygınlaşmasının önüne geçmiştir. Ancak, son yıllardaki çalışmalarda, bu köşe noktaları yersel veri kullanılmadan uydu görüntülerinden elde edilen T_s ve Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) ürünleri kullanılarak hesaplanabilmektedir (Yagci ve Santanello, 2018; Yagci ve ark., 2017). Bu çalışmalarda, Fr yerine aralarındaki kuvvetli lineer ilişkiden dolayı NDVI kullanılmıştır (Santanello ve Carlson, 2001).

Trapezoid şekliinden kritik köşe noktaları otomatik şekilde Python programlama dilinde yazılan açık kodlu program ile bulunmaktadır. Modelin kritik köşe noktalarının bulunmasından sonra, Priestley-Taylor yaklaşımı kullanılarak ET hesaplanır (Priestley & Taylor, 1972). Sırasıyla aşağıdaki (1), (2), (3), (4) ve (5) no'lu denklemler takip edilerek önce Priestley-Taylor katsayısı (α), sonra yüzeydeki bulunan toplam enerjinin ($R_n - G$) buharlaşmada kullanılan kısmının fraksiyonu (EF) ve en son aşamada gerçek ET miktarı bulunur.

İlk aşamada, ıslak ve kuru uçlardan geçen doğruların katsayıları aşağıdaki denklemler kullanılarak bulunur.

$$(T_s - T_a)_{wet} = \frac{NDVI_m - b_{wet}}{\alpha_{wet}} \quad (1)$$

$$(T_s - T_a)_{dry} = \frac{NDVI_m - b_{dry}}{\alpha_{dry}} \quad (2)$$

a ve b ıslak ve kuru uçlardaki lineer denklemlerin sırasıyla eğim ve kesme noktalarıdır. T_s , NDVI, T_a ve $T_s - T_a$ sırasıyla yeryüzü sıcaklığı, Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi, günlük ortalama sıcaklık ve yeryüzü ile hava sıcaklığı arasındaki farkı ifade etmektedir. Alt simgeler, m, dry ve wet, sırasıyla hesap yapılan pikseli, kuru ve ıslak uçları ifade etmektedir. $(T_s - T_a)_{wet}$ ve $(T_s - T_a)_{dry}$ sırasıyla ıslak ve kuru uçta hesaplanan $T_s - T_a$ değerlerini göstermektedir.

Doğruların eğim ve kesme noktaları belirlendikten sonra her piksel için α değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\alpha_m = \frac{(T_s - T_a)_{dry} - (T_s - T_a)_m}{(T_s - T_a)_{dry} - (T_s - T_a)_{wet}} \quad (3)$$

α_m birimsiz Priestley-Taylor katsayısını ifade etmektedir ve $(T_s - T_a)_m$ hesaplanan piksel için gözlemlenen $T_s - T_a$ değerini ifade etmektedir. Genellikle, α , 0 ile 1.26 arasında bir değer alır (Priestley ve Taylor, 1972). Bu aşamalardan sonra, Priestley-Taylor denklemi (6) kullanılarak önce EF (birimsiz) sonra LE ve ET hesaplanır.

$$EF_m = \alpha_m \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (4)$$

Δ ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$) ve γ ($kPa \text{ } ^\circ C^{-1}$) sırasıyla gözlemlenen hava sıcaklığında doymuş buhar basıncı eğrisinin eğimi ve psikometrik sabittir. Bu iki parametrenin T_a ve deniz yüzeyinden yükseklik (z) kullanılarak hesaplanmaktadır (Allen ve ark., 1998).

En aşamada, ET aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir.

$$ET_m = LE_m = EF_m \cdot (R_n - G) \quad (5)$$

R_n ve G sırasıyla yeryüzündeki gözlemlenen net güneş ışınımı ve toprak ısı akısını W/m^2 biriminden ifade etmektedir. İstenildiği takdirde W/m^2 biriminden hesaplanan LE kolaylıkla mm cinsinden ET'ye dönüştürülebilir ($1 W/m^2 = 0.03525 mm/gün$). Python dilinde yazılan bir programla vasıtasıyla çalışma kapsamında yapılan tüm işlem adımlarının otomasyonu sağlanmıştır.

2.3. Materyal

Modelde kullanılan uydu görüntüleri, yardımcı model verileri ile modeli doğrulamak için kullanılan yersel istasyon verileri bu bölümde detaylı olarak açıklanacaktır.

2.3.1. Yersel doğrulama verileri

Akı kulesi Yeniçağa gölünün kuzey tarafında (Şekil 1) 13 Temmuz 2010 tarihinde kurulmuştur ve 19 Şubat 2014 tarihine kadar eddy kovaryans tekniği (Baldochi, 2003) ile yersel gözlem toplamıştır (Evrendilek, 2015). Yüzeydeki enerji dengesi eşitliği aşağıdaki gibi kurulabilir.

$$R_n - G \approx LE + H \quad (6)$$

R_n , G , LE ve H sırasıyla net güneş ışınlamı, toprak ısı akısı, gizil ısı akısı ve hissedilir ısı akısını ifade etmektedir. Akı istasyonu tün bu enerji dengesi terimlerini birbirinden bağımsız bir şekilde direk ölçebilmektedir.

Gaz analizör vasıtasıyla Denklem 6'daki LE ve H terimleri, 1 saatlik aralıklarla toplamıştır. Aynı şekilde istasyona takılı net radyometre vasıtasıyla eş zamanlı olarak 1 saat aralıklarla Denklem 7'deki R_n hesabında kullanılan tüm enerji terimleri toplanmıştır. Yüzeydeki net güneş ışınlamı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$R_n = SW \downarrow - SW \uparrow + LW \downarrow - LW \uparrow \quad (7)$$

$SW \downarrow$, $LW \downarrow$, $SW \uparrow$ ve $LW \uparrow$ sırasıyla yüzeye gelen kısa ve uzun dalga ışınlamı ile yüzeyden giden kısa ve uzun dalga ışınlamı ifade etmektedir.

Bu akı istasyonun kurulma amacı turbalık alanda karbon akısı gözlemleri toplamak olduğu için denklem 6'da verilen G toplanmamıştır. G gözlemleri için toprağın içerisine toprak ısı akı plakası kurulmalıdır. Akı kulesinde toprak ısı akıları olmadığı için ET hesabı denklem 5 yerine Denklem 8 kullanılarak yapılmıştır.

$$ET_m = LE_m = EF_m \cdot R_n \quad (8)$$

Yersel doğrulama verisi ile paralellik göstermesi açısından trapezoid modelinden ET hesabında da Denklem 8 kullanılarak yapılacaktır.

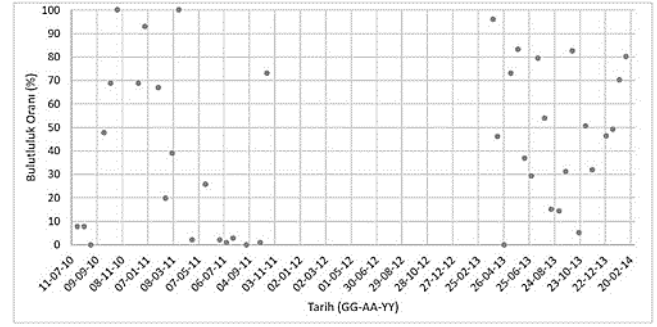
2.3.2. Landsat uydu verileri

Diagnostik ET modellerinde kullanılacak olan uydu misyonu, elektromanyetik spektrumun termal (TIR) ve görünür-kısa dalga (VSWIR) bölgelerinde eş zamanlı olarak gözlem toplamış olması gerekmektedir (Anderson ve ark., 2021). Bahsedilen her iki bölgede de veri toplayan Landsat serisi uydu misyonları bulunmaktadır. Bu misyonlar, spektrumun aynı bölgelerinde farklı bant genişlikleri ile görüntü toplamaktadır. Örneğin, Landsat 8 uydusunun üzerindeki sensörler Landsat 5'e göre daha dar bant genişliklerinde gözlem toplamaktadır.

Çalışma alanında 13 Temmuz 2010 ile 19 Şubat 2014 tarihleri arasındaki toplanmış 178 yol ve 32 sıra numaralı tüm Landsat 5 ve 8 uydu görüntüleri indirilmiştir. Landsat 7 uydu verilerinde tarama çizgisi hatasından kaynaklanan sistematik boşluklar olduğu için bu görüntülerde model çalıştırılmamıştır. Özet olarak, çalışma alanının üzerinde toplamda 20 tane Landsat 5 TM ve 20 tane Landsat 8 OLI/TIRS verisi bulunmaktadır. Toplanan her bir uydu görüntüsünün metaverisinden alınan yer yüzeyi üzerindeki bulutluluk oranları Şekil 3'deki gibi verilmiştir. Tablo 1'de ise tüm görüntülerin bulutluluk oranının özeti verilmiştir.

Araştırma kapsamında indirilen Koleksiyon 2'ye ait Level-2 seviyesindeki Landsat görüntüleri, atmosferin etkilerinden arındırılmıştır. Proje kapsamında, bu veriseti içerisindeki bulunan yüzey yansımaya katmanı, yüzey sıcaklık katmanı ve bu iki katmanlar hakkında piksel-bazlı bulut ve kalite bilgileri içeren katmanlar (QA_RADSAT, QA_PIXEL) kullanılmıştır. Yüzey yansımaya değerleri kullanılarak NDVI hesabı yapılmıştır. İş

akışındaki tüm hesaplamalar Python dilinde yazılan bir program vasıtasıyla tam otomasyonu sağlanmıştır.



Şekil 3. Çalışma alanı üzerindeki Landsat uydu görüntülerinin tarihleri ve bulutluluk oranları

Tablo 1. Çalışma alanı üzerinde toplanan Landsat 5 ve Landsat 8 görüntülerinin bulutluluk oranları

Bulut Oranı (%)	Landsat 5	Landsat 8	Toplam
0 -25	10	5	15
25 -50	3	7	10
50 -75	4	4	8
75 -100	3	4	7
Toplam	20	20	40

İş akışının başında Landsat görüntüleri okunduktan sonra filtreleme işlemi yapılmıştır. Bu filtreleme işleminde, "QA_PIXEL" katmanında bulut, bulut gölgesi, kar ve cirrus olarak işaretlenen pikseller çıkarılmıştır. Ayrıca, "QA_RADSAT" katmanının NDVI hesabında kullanılan bantlarda bulunan piksellerin doygunluğa ulaşmış olanları da çıkarılmıştır. Uydu görüntülerinin filtrelenmemesi trapezoid köşe noktalarının bulunmasında hatalar oluşturduğu için iş akışının en önemli adımlarından biridir (Yagci ve ark., 2017). Bu kısımda Python'da yazılan bir kod sayesinde yapılmaktadır.

2.3.3. Yardımcı veriler

Modeldeki T_s ve NDVI değişkenleri Landsat uydu görüntülerinde elde edilmektedir. Geriye kalan T_a , z ve R_n değişkenleri için veri gerekmektedir. Yersel veride G gözlemi bulunmadığı için EF hesabı için Denklem 5 yerine Denklem 8 kullanılacaktır. Bundan dolayı G verisi indirilmemiştir.

T_a değişkeni için veri European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) tarafından tarım meteorolojisi göstergeleri (AgERA5) verisetinde bulunan 2m yüksekliğindeki günlük ortalama hava sıcaklığı verisi kullanılmıştır. Bu verisetinin mekânsal çözünürlüğü 0.1° olduğu için 30m çözünürlüğe yeniden örneklendirilmiştir.

Δ ile γ hesaplarında kullanılmak üzere gerekli olan z verisi ALOS uydusu üzerinde bulunan PRISM sensörü tarafından toplanmıştır ve AW3D30 adlandırılmaktadır. Bu veriseti 30m mekânsal çözünürlüğündedir ve versiyon 3.1 olan ürün ücretsiz olarak sitesinde indirilmiştir.

R_n verisi için Global Land Data Assimilation System (GLDAS) projesi kapsamında NOAA yer yüzeyi modelinin çıktılarını kullanılmıştır. Bu proje kapsamında, her 3 saatte bir 0.25° mekânsal çözünürlüğünde R_n ve G ürünleri

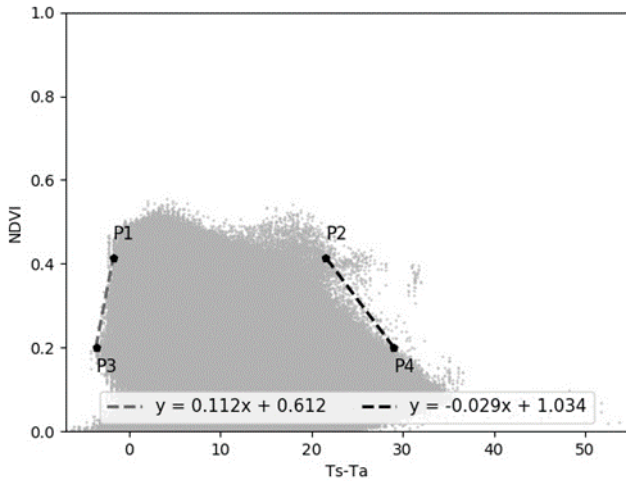
üretilmektedir. Her gün için 8'er tane ürün indirilmiştir ve gün ortalaması bu 8 ürünün aritmetik ortalamasından hesaplanmıştır. En sonra olarak, ürünler ET hesaplarında kullanılabilmesi için 30m çözünürlüğe yeniden örneklendirilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Bulut etkisinin model üzerine etkisinin incelenmesi

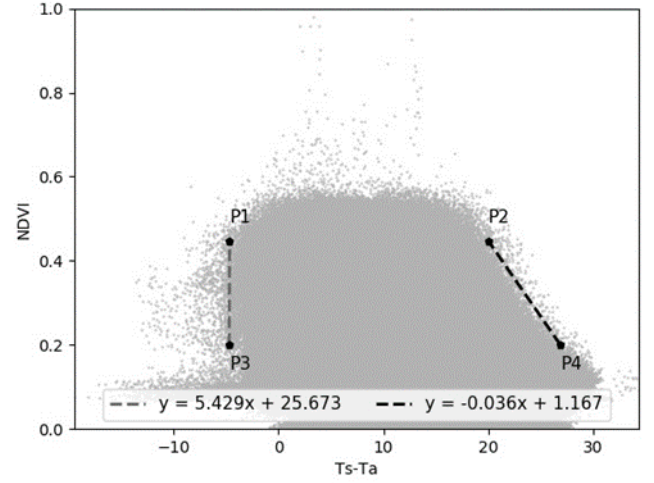
Üçgen, trapezoid, SEBAL ve METRIC gibi tüm diagnostik modeller esas olarak bulutsuz günler için geliştirilmiştir ve genelde bulutsuz olan günlerde çalıştırılmaktadır (Allen ve ark., 2007). Bulutlu kısımlar model hesaplarına girmeden maskelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında trapezoid model tüm görüntülerde çalıştırılmıştır. Bulutluluk oranı %90'ın üzerinde olan görüntülerde, maskelemeden sonra trapezoid şekli oluşturacak yeterli sayıda piksel kalmadığı için model hiç çıktı vermemiştir. Şekil 3'te de görüldüğü gibi %90 bulutluluk oranı olan 4 gün olduğu için model sadece 40 günün 36'sında çıktı vermiştir.



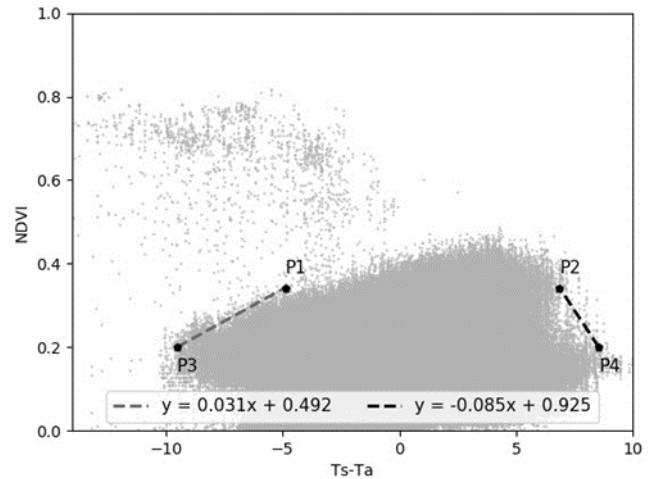
Şekil 4. 09 Ağustos 2010 tarihinde NDVI ile sıcaklık farkı (T_s-T_a) arasında gözlemlenen ilişki. Bu tarihteki Landsat 5 görüntüsünü %8,0 bulutluluk oranına sahiptir.

Modelin çalıştığı diğer günlerde trapezoid şekiller görsel olarak incelenmiştir. 09 Ağustos 2010 tarihinde %8,0 bulutlu olan Landsat 5 görüntüsünden elde edilen NDVI ile T_s-T_a arasındaki ilişki Şekil 4'te görülmektedir. Benzer şekilde, 18 Eylül 2013 tarihindeki %31,4 bulutluluk oranına sahip Landsat 8 görüntüsünde gözlemlenen NDVI ile T_s-T_a arasındaki ilişki Şekil 5'te verilmiştir. Her iki tarihte de çalışma alanında trapezoid şekil başarılı bir şekilde görülmüştür. Bundan dolayı modelin hesap ettiği ile yersel veriden hesaplanan EF değerleri arasında çok küçük farklar vardır. Örneğin, model ve yersel EF değerleri arasında 09 Ağustos 2010 ve 18 Eylül 2013 tarihlerinde sırasıyla -0,02 ve 0,05 farklar görülmüştür. 09 Ağustos 2010 ve 18 Eylül 2013 tarihlerinde, modelin hesap ettiği EF değerleri sırasıyla 0,61 ile 0,36 iken, yersel veriden EF için sırasıyla 0,63 ve 0,31 değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 5. 18 Eylül 2013 tarihinde NDVI ile sıcaklık farkı (T_s-T_a) arasında gözlemlenen ilişki. Landsat 8 görüntüsünü %31,4 bulutluluk oranına sahiptir.

%69 bulutluluk oranına sahip 15 Aralık 2010 tarihindeki Landsat 5 görüntüsünden elde edilen NDVI ile T_s-T_a ilişkisi Şekil 6'da verilmiştir. Gözlemlenen ilişki Şekil 2'de verilen teorik ilişkiye benzemediği gibi çalışma alanı üzerinde Şekil 4 ve Şekil 5'te görülen trapezoid şekillere de benzememektedir. Bu tarihteki trapezoid köşe noktaları hesaplanmış olmasına rağmen yersel akı istasyonu buluttan görünmediği için model ile yersel EF değerleri karşılaştırılamamıştır. Ancak, çalışma alanında trapezoid şekil görülmediği için bu tarihte elde edilen model çıktıları doğru sonuçlar vermesi beklenmemektedir. Böylelikle, yoğun bulutlu (>%50 bulutluluk oranı) günlerde çalışma alanında trapezoid şekil oluşmama durumu olduğu EF ve ET haritalarına şüphe ile yaklaşmak gereklidir. Bundan dolayı, SEBAL ve METRIC gibi diğer diagnostik modeller sadece bulutsuz günlerde çalıştırılmaktadır (Bhattarai ve ark., 2016).

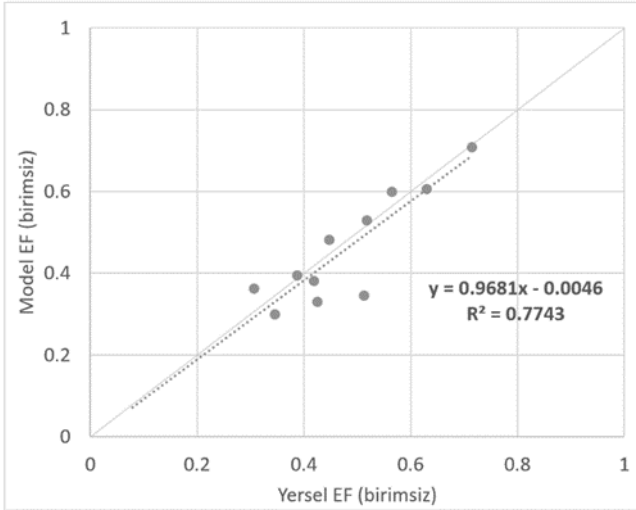


Şekil 6. 15 Aralık 2010 tarihinde NDVI ile sıcaklık farkı (T_s-T_a) arasında gözlemlenen ilişki. Bu tarihteki Landsat 5 görüntüsünü %69,0 bulutluluk oranına sahiptir.

3.2. Modelin yersel veriler ile karşılaştırılması

Model, çalışma alanı üzerinde 36 kez çalıştırılmıştır ve çalışma alanı için 36 tane EF ve ET haritası

üretimiştir. Bu 36 görüntüden akı istasyonu üzerinde sadece 19 kez EF ve ET değerleri elde edilmiştir. Geriye kalan 17 günde akı istasyonun olduğu bölge bulutla kaplı olduğu için bu kısımda model hesap yapmamıştır ve haritalarda bu kısımlar boş kalmıştır. Diğer taraftan, akı istasyonunda hava yağışlı olduğu veya çeşitli nedenlerden dolayı 8 günde eksik veri toplamıştır. Bilhassa yağmurlu olan günlerde akı istasyonunda toplanan veri yüzey enerji eşitliği karmaşıklaştırdığı bu günler maskelenmektedir (Nichols ve Cuenca, 1993). Böylelikle model, geriye kalan 11 gün için yersel veriler ile kontrol edilecektir. Bu günler toplanan Landsat görüntülerinin ürün belirleyicileri ile tarihleri Tablo 2’de verilmiştir. Yalnızca, GLDAS verilerinde boşluk olmadığı için NOAH modelinden elde edilen R_n gözlemleri yersel veriler ile 32 gün için karşılaştırılacaktır. Karşılaştırmada biyas (B), mutlak ortalama hata (MAE), karesel ortalama hata (RMSE) ve belirleme katsayısı (R^2) gibi istatistiksel hata ölçütleri kullanılacaktır.



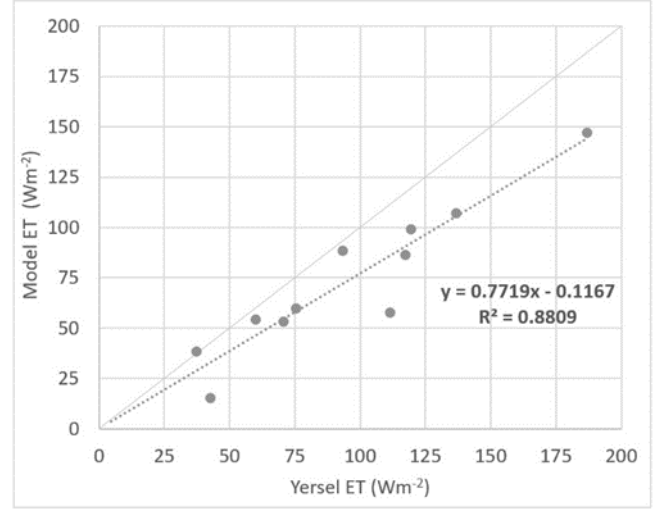
Şekil 7. Modelden elde edilen ile yersel verilerden hesaplanan EF (birimsiz) değerlerinin karşılaştırılması.

Tablo 2. Modellenin yersel veriler ile kontrol edildiği tarihler ve bu tarihlerde toplanan Landsat uydu görüntülerinin belirleyicileri ve tarihleri. Belirleyicinin başındaki LT05 ve LC08 ifadeleri sırasıyla Landsat 5 ve 8 misyonları ifade etmektedir.

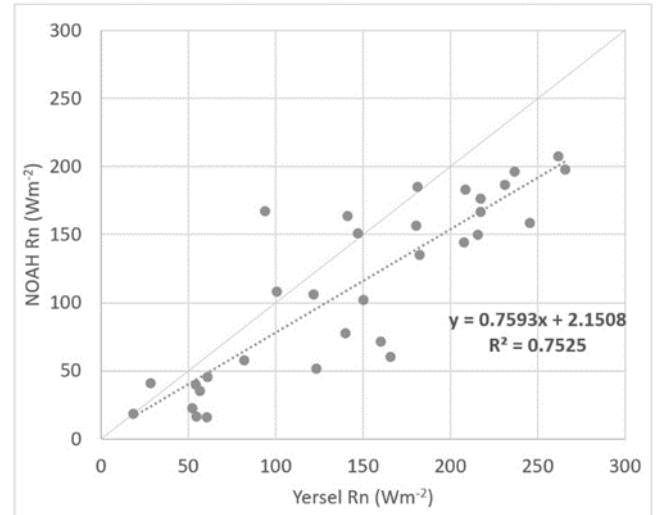
Landsat Level-2 Ürün Belirleyicisi	Tarih
LT05_L2SP_178032_20100724_20200824_02_T1	24-07-10
LT05_L2SP_178032_20100809_20200823_02_T1	09-08-10
LT05_L2SP_178032_20100825_20200823_02_T1	25-08-10
LT05_L2SP_178032_20110625_20200822_02_T1	25-06-11
LC08_L1TP_178032_20130427_20200912_02_T1	27-04-13
LC08_L1TP_178032_20130630_20200912_02_T1	30-06-13
LC08_L1TP_178032_20130801_20200912_02_T1	01-08-13
LC08_L1TP_178032_20130817_20200913_02_T1	17-08-13
LC08_L1TP_178032_20130902_20200913_02_T1	02-09-13
LC08_L1TP_178032_20130918_20200912_02_T1	18-09-13
LC08_L1TP_178032_20131020_20200912_02_T1	20-10-13

Modelden hesaplanan EF ile yersel verilerden elde edilen günlük ortalama EF değerlerinin karşılaştırılması Şekil 7’de ve günlük ortalama ET değerlerinin karşılaştırılması Şekil 8’de gösterilmiştir. Denklem 8’deki ET hesabında kullanılan R_n değerlerinin yersel verilerden hesaplanan günlük ortalama R_n ile

kiyaslaması ise Şekil 9’da verilmiştir. Son olarak, EF, ET ve R_n değişkenlerinin yersel verilere göre hata ölçütleri de Tablo 3’de verilmiştir.



Şekil 8. Modelden elde edilen ile yersel verilerden hesaplanan ET (Wm^{-2}) değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 9. GLDAS projesi kapsamında NOAH modelinden elde edilen ile yersel verilerden hesaplanan R_n değerlerinin karşılaştırılması

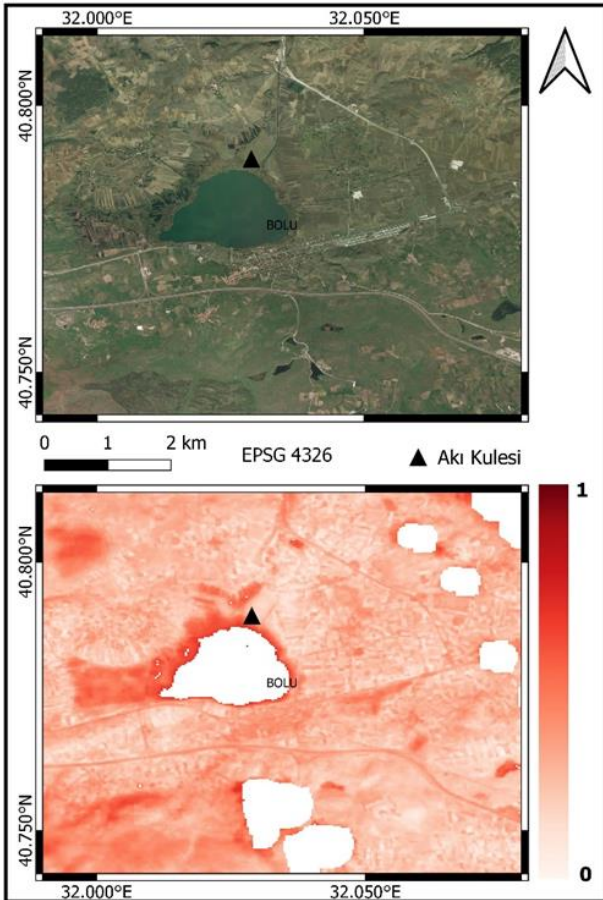
Tablo 3. Modellenmiş ile yersel gözlemlerden hesaplanmış günlük ortalama EF, ET ve R_n değişkenlerinin birbirleri ile karşılaştırılmasından elde edilen biyas (B), mutlak ortalama hata (MAE) ve karesel ortalama hata (RMSE) değerleri

	EF	ET	R_n
	Birimsiz	Wm^{-2}	Wm^{-2}
n	11	11	32
B	-0,02	-21,88	-32,88
MAE	0,05	22,13	40,85
RMSE	0,06	26,79	48,83

Doğrulama sonuçlarına göre modellenen EF’ler ile yersel verilerden hesap edilen EF’ler arasında kuvvetli bir ilişki görülmektedir ($R^2 = 0,77$) ve model EF’yi çok düşük bir hata ile hesaplayabilmektedir (Tablo 3). Model ve yersel ET’ler arasında EF’ye göre daha yüksek bir ilişki olmasına rağmen ($R^2 = 0,88$), ET’de hata oranı EF’ye göre daha yüksektir. Modellenen ET, yersel ET’ye göre daha

azdır, diğer bir değişle B neredeyse MAE kadar negatif değer almaktadır. ET’de görülen bütün hata ET’nin düşük modellenmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak, bu durum kullanılan R_n verisinde kaynaklanmaktadır (Şekil 9). GLDAS projesinde yüzeydeki enerji miktarı sistematik olarak yersel veriye göre daha az hesaplanmaktadır (Tablo 3). Eğer B’si düşük bir R_n verisi kullanılırsa ET’de de EF gibi hem yüksek ilişki hem de düşük hata görülecektir.

13 Nisan 2013 tarihli Landsat 8 görüntüsünden hesaplanan bir EF haritası (alt harita) akı kulesi ve çevresine yakınlaştırılarak Şekil 10’da verilmiştir. Ayrıca, Şekil 10’a kolaylık olması bakımından çalışma alanının doğal renkli görüntüsü de eklenmiştir (üst harita). Bu haritada EF’nin mekânsal değişimi görülmektedir. Yeniçağa gölünün etrafında EF değerleri diğer arazi örtüsüne göre daha yüksek değerleri almaktadır. Bu alanlar göl suyuna yakın olduğu için buharlaşmanın burada yüksek olması beklenmektedir. Daha sonra orman alanlarının etrafındaki arazi örtüsüne göre daha yüksek EF değerleri aldığı da görülmektedir. Bulut etkisinin gösterilmesi açısından bu tarih özenle seçilmiştir. Akı kulesinin etrafındaki bulutlu kısımlarda hesap yapılmadığı için o bölgelerde EF değerleri üretilmemiştir. Ayrıca, Landsat 8’in bulut algoritması gölü yanlışlıkla bulut olarak işaretlediği için gölün üzeri EF haritasında maskelenmiştir.



Şekil 10. Akı istasyonu ve çevresini gösteren doğal renkli görüntü (üst harita) 13 Nisan 2013 tarihinde Landsat 8 görüntülerinden elde edilen EF haritası (alt harita)

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Landsat uydu görüntüleri ve trapezoid model kullanılarak EF ve ET haritaları üretilmiştir. Bu üretilen haritalar, Bolu Yeniçağa çalışma alanında kurulan yersel akı istasyonda toplanan gözlemler ile doğrulanmıştır.

Doğrulama sonuçlarına göre uydudan hesap edilen EF değerleri ile yersel EF değerleri arasında hem düşük hata hem de yüksek bir ilişki bulunmuştur. Modelden hesap edilen EF değerleri daha sonra GLDAS projesinden indirilen R_n değerleri ile çarpılarak ET değerleri üretilmiştir. Model ET değerleri ile yersel ET değerleri arasında yüksek ilişki olmasına rağmen model ET’yi düşük tahmin etmiştir. Bu durum GLDAS projesinden indirilen R_n gözlemlerinden kaynaklandığı için doğruluğu daha yüksek R_n verisi kullanılarak veya mevcut R_n verisi düzeltilerek modelin ET’yi gerçeğe yakın şekilde tahmin etmesi sağlanabilir.

Uydu verilerinden ET haritaları üretme çalışmalarını olumsuz etkileyen iki faktör vardır. Birincisi T_s parametresi toplayan uydu misyonu azlığı diğeri ise buluttur. Örneğin, çalışma alanı üzerinde yaklaşık 2 sene boyunca toplam 40 adet Landsat 5 ve Landsat 8 görüntüsü bulunmuştur ve bu görüntülerden 4’ü %90’dan yüksek olduğu için model hiç çalıştırılmamıştır. Geriye kalan 36 görüntüden akı istasyonu üzerinde sadece 19 kez EF ve ET değerleri elde edilebilmiştir.

Termal kanalda veri toplayan sensörlerin sayıca azlığı, senelik veya dönemlik ET hesaplamalarını büyük sekteye uğratmaktadır. Yeni uzaya fırlatılan Landsat 9 uydusunun veri toplaması başlamasıyla beraber yeryüzü üzerinde aynı anda 3 Landsat uydusu gözlem toplayacaktır. Böylelikle ilk olumsuz faktör kısmen çözülecektir, ancak bulut etkisi gelecekteki çalışmaları etki etmeye devam edecektir. Bundan dolayı, EF ve ET haritalarında bulutlardan dolayı oluşan irili ufaklı boşlukların doldurulması ile Landsat 7 görüntülerindeki boşlukların doldurulması çalışmaları önem arz etmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 3501 - Kariyer Geliştirme Programı (Proje No: 120Y050) tarafından desteklenmiştir. Modelin doğrulanmasında kullanılan Bolu Yeniçağa’da kurulan akı kulesinde toplanan yersel gözlemleri paylaştığı için Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Çevre Mühendisliği Öğretim Üyesi Prof. Dr. Fatih Evrendilek çok teşekkür ederim.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Aksu, H., & Arikan, A. (2017). Satellite-based estimation of actual evapotranspiration in the Buyuk Menderes Basin, Turkey. *Hydrology Research*, 48(2), 559-570. <https://doi.org/10.2166/nh.2016.226>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. Rome, Italy: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Geliş tarihi gönderen <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>
- Allen, R. G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Wright, J. L., Bastiaanssen, W., Kramber, W., Lorite, I., & Robison, C. W. (2007). Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4), 395-406. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2007\)133:4\(395\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:4(395))
- Anderson, M. C., Yang, Y., Xue, J., Knipper, K. R., Yang, Y., Gao, F., Hain, C. R., Kustas, W. P., Cawse-Nicholson, K., Hulley, G., Fisher, J. B., Alfieri, J. G., Meyers, T. P., Prueger, J., Baldocchi, D. D., & Rey-Sanchez, C. (2021). Interoperability of ECOSTRESS and Landsat for mapping evapotranspiration time series at sub-field scales. *Remote Sensing of Environment*, 252, 112189. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112189>
- Atasever, U. H., & Ozkan, C. (2018). A New SEBAL Approach Modified with Backtracking Search Algorithm for Actual Evapotranspiration Mapping and On-Site Application. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(8), 1213-1222. <https://doi.org/10.1007/s12524-018-0816-9>
- Atasever, Ü. H., Çobaner, M., Çetin, M., Özkan, C., & İnan, H. İ. (2016). SEBAL tekniği ve Landsat 8 uydu görüntüsü kullanılarak gerçek evapotranspirasyonun haritalanması: Kayseri örneği. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(2), 237-245.
- Baldocchi, D. (2003). Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: Past, present and future. *Global Change Biology*, 9(4), 479-492. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00629.x>
- Bastiaanssen, W. G. M. (2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 229(1-2), 87-100. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(99\)00202-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00202-4)
- Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5(1), 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
- Bhattarai, N., Shaw, S. B., Quackenbush, L. J., Im, J., & Niraula, R. (2016). Evaluating five remote sensing based single-source surface energy balance models for estimating daily evapotranspiration in a humid subtropical climate. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 49, 75-86. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.01.010>
- Evrendilek, F. (2015). Assessing CO2 sink/source strength of a degraded temperate peatland: Atmospheric and hydrological drivers and responses to extreme events. *Ecohydrology*, 8(8), 1429-1445. <https://doi.org/10.1002/eco.1592>
- Jiménez, C., Prigent, C., Mueller, B., Seneviratne, S. I., McCabe, M. F., Wood, E. F., Rossow, W. B., Balsamo, G., Betts, A. K., Dirmeyer, P. A., Fisher, J. B., Jung, M., Kanamitsu, M., Reichle, R. H., Reichstein, M., Rodell, M., Sheffield, J., Tu, K., & Wang, K. (2011). Global intercomparison of 12 land surface heat flux estimates. *Journal of Geophysical Research*, 116(D2), D02102. <https://doi.org/10.1029/2010JD014545>
- Monteith, J. L. (1965). *Evaporation and environment*. Symposia of the Society for Experimental Biology, 19, 205-234. Geliş tarihi gönderen <https://repository.rothamsted.ac.uk/item/8v5v7/evaporation-and-environment>
- Moran, M. S., Clarke, T. R., Inoue, Y., & Vidal, A. (1994). Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, 49(3), 246-263. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90020-5)
- Mueller, B., Hirschi, M., Jimenez, C., Ciais, P., Dirmeyer, P. A., Dolman, A. J., Fisher, J. B., Jung, M., Ludwig, F., Maignan, F., Miralles, D. G., McCabe, M. F., Reichstein, M., Sheffield, J., Wang, K., Wood, E. F., Zhang, Y., & Seneviratne, S. I. (2013). Benchmark products for land evapotranspiration: LandFlux-EVAL multi-data set synthesis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(10), 3707-3720. <https://doi.org/10.5194/hess-17-3707-2013>
- Nichols, W. E., & Cuenca, R. H. (1993). Evaluation of the evaporative fraction for parameterization of the surface energy balance. *Water Resources Research*, 29(11), 3681-3690. <https://doi.org/10.1029/93WR01958>
- Priestley, C. H. B., & Taylor, R. J. (1972). On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2), 81-92. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2)
- Santanello, J. A. & Carlson, T. N. (2001). Mesoscale Simulation of Rapid Soil Drying and Its Implications for Predicting Daytime Temperature. *Journal of Hydrometeorology*, 2(1), 71-88. [https://doi.org/10.1175/1525-7541\(2001\)002<0071:MSORSD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1525-7541(2001)002<0071:MSORSD>2.0.CO;2)
- Sawadogo, A., Tim, H., Gündoğdu, K. S., Demir, A. O., Ünlü, M., & Zwart, S. J. (2020). Comparative Analysis of The PySEBAL Model And Lysimeter For Estimating Actual Evapotranspiration Of Soybean Crop In Adana, Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 5(2), 60-65. <https://doi.org/10.26833/ijeg.573503>
- Yagci, A. L., & Santanello, J. A. (2018). Estimating Evapotranspiration From Satellite Using Easily Obtainable Variables: A Case Study Over the Southern Great Plains, USA. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*,

- 11(1), 12-23.
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2753723>
- Yagci, A. L., Santanello, J. A., Jones, J. W., & Barr, J. (2017). Estimating evaporative fraction from readily obtainable variables in mangrove forests of the Everglades, U.S.A. *International Journal of Remote Sensing*, 38(14), 3981-4007.
<https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1312033>
- Yang, X., Smith, P. L., Yu, T., & Gao, H. (2011). Estimating evapotranspiration from terrestrial groundwater-dependent ecosystems using Landsat images. *International Journal of Digital Earth*, 4(2), 154-170.
<https://doi.org/10.1080/17538947.2010.491561>
- Yang, X., Zhou, Q., & Melville, M. (1997). Estimating local sugarcane evapotranspiration using Landsat TM image and a VITT concept. *International Journal of Remote Sensing*, 18(2), 453-459.
<https://doi.org/10.1080/014311697219196>
- Yanmaz, D. D. (2019). Estimating evapotranspiration by METRIC model over Çakıt basin. Yüksek Lisans Tezi. Middle East Technical University.
<https://hdl.handle.net/11511/44788>
- Yılmaz, M. T., & Bulut, B. (2016). Türkiye'deki 2000-2015 yılları arasındaki buharlaşma ve terlemenin NOAA hidrolojik modeli ile incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 7(2), 225-235.
- Yılmaz, M. T., Anderson, M. C., Zaitchik, B., Hain, C. R., Crow, W. T., Ozdogan, M., Chun, J. A., & Evans, J. (2014). Comparison of prognostic and diagnostic surface flux modeling approaches over the Nile River basin. *Water Resources Research*, 50(1), 386-408.
<https://doi.org/10.1002/2013WR014194>



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



Çok zamanlı Sentinel 2 uydu görüntüleri ve makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar ile arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi

Esmâ Efe¹ , Ugur Algancı^{1*} 

¹*İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

Anahtar Kelimeler

Uzaktan Algılama
Sentinel 2
LandCover 2.0
Makine Öğrenmesi
Boyut İndirgeme

Araştırma Makalesi

Geliş:24.03.2022
Revize:20.05.2022
Kabul:24.05.2022
Yayınlanma:10.08.2022



Öz

Yeryüzündeki değişimin saptanması ve izlenmesi her zaman dikkate değer bir konu olmuştur. Zaman içinde insan faaliyetleri genişlemiş ve arazi örtüsünde bu faaliyetlerin etkisi açıkça görülmüştür. Sanayi faaliyetlerinin artması, yerleşimin fazlaşması gibi konular nedeniyle arazi örtüsündeki değişimi izlenmesi ve takip edilmesi karar vericiler açısından kritik bir konu haline gelmiştir. Uzaktan algılama alanında bu konu ile ilgili çokça çalışma yapılmış ve yeryüzündeki değişimin en doğru sonuçla belirlenmesi için yöntemler ve araçlar sürekli gelişim göstermiştir. Çalışma kapsamında, Kocaeli ilinde şehirleşme ve tarımsal faaliyete bağlı olarak gelişen arazi örtüsü değişimini LandCover 2.0 standartlarına göre dinamik değişim belirleme çerçevesinde saptamak için çok zamanlı Sentinel 2 uydu görüntüleri kullanılarak Yerleşim İndisi-Rastgele Orman, Temel Bileşen Analizi-Rastgele Orman, Yerleşim İndisi-Regresyon Ağacı ve Temel Bileşen Analizi-Regresyon Ağacı olmak üzere dört farklı veri indirgeme – sınıflandırma yöntem kombinasyonlarının başarımı karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Google Earth Engine platformu üzerinde gerçekleştirilen sınıflandırma analizlerinin sonuçları tematik harita haline getirilmiş ve doğruluk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda yüzde 83,88 doğruluk oranı ile Temel Bileşen Analizi-Regresyon Ağacı yöntem ikilisinin en yüksek doğruluk sağlayan yaklaşım olduğu ortaya konmuştur.

Determination of land cover change with multi-temporal Sentinel 2 satellite images and machine learning-based algorithms

Keywords

Remote sensing
Sentinel 2
LandCover 2.0
Machine Learning
Dimension Reduction

Research Article

Received:24.03.2022
Revised: 20.05.2022
Accepted:24.05.2022
Published:10.08.2022

Abstract

Detecting and monitoring change on Earth has always been a subject of considerable interest. Over time, human activities have expanded and the impact of these activities on the land cover has been clearly seen. Detecting and monitoring the change in land cover has become a critical issue for decision-makers due to issues such as the increase in industrial activities and the increase in settlement. Several works have been performed on this subject in the field of remote sensing, and methods and tools have continuously improved to determine the change in the earth to achieve the most accurate result. Within the scope of the study, multi-temporal Sentinel 2 satellite images were used in order to determine the land cover change due to urbanization and agricultural activity in Kocaeli province within the framework of dynamic change determination according to LandCover 2.0 standards. Four different data reduction – classification method combinations were applied, which are Built-up Index-Random Forest, Principal Component Analysis-Random Forest, Built-up Index-Regression Tree and Principal Component Analysis-Regression Tree and their performances were evaluated comparatively. The results of the classification analyses performed on the Google Earth Engine platform were turned into thematic maps and an accuracy assessment was carried out. As a result of the study, it has been revealed that Principal Component Analysis-Regression Tree method pair is the approach that provides the highest accuracy, with an accuracy rate of 83.88 percent.

*Sorumlu Yazar

(efee16@itu.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 2500 – 365X
(alganci@itu.edu.tr) ORCID ID 0000 – 0002 – 5693 – 3614

Kaynak Göster (APA)

Efe, E., & Algancı, U. (2023). Çok zamanlı Sentinel 2 uydu görüntüleri ve makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar ile arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi. *Geomatik, 8(1), 27-34*

1. Giriş

Bir bölgenin arazi örtüsü ve arazi kullanımı (AÖAK) senaryosu, zaman ve uzayda insanlar tarafından kullanılan ve değiştirilen dünya yüzeyinin fiziksel ve doğal özelliklerinin sonucudur (Rawat ve Kumar 2015). Bu senaryoyu saptamak; sağlık, ekoloji, politika yönetimi, tarım ve afet yönetimi (Bégué ve ark., 2018) gibi çeşitli alanlardaki çalışmalara önemli katkılar sağlar. AÖAK sınıflandırması, insan faaliyetleri ve fiziksel çevre ile yakın bir ilişki gösteren yeryüzünü izlemek için kilit bir değer oluşturur. Toplumların hızlı gelişimi, çeşitli türlerdeki faaliyetlere bağlı olarak arazi örtüsü-arazi kullanımı üzerinde fark edilir bir etkiyle sonuçlanır (Petropoulos ve ark., 2013). Bu etkiyi ortaya koymak ve izlemek için çeşitli araçların kullanımı gelişen teknolojiye bağlı olarak değişerek süregelmiştir. AÖAK değişimini saptamak karar vericilere altlık oluşturmak açısından da önemli bir araştırma konusudur (Morsy ve Hadi 2022; Ahady ve Kaplan 2022).

AÖAK modellerini ve dinamiklerini haritalamak için, geleneksel yersel haritalama ve uydu tabanlı haritalama dahil olmak üzere çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Saha ölçmesi olarak bilinen harita üretim yaklaşımı, haritanın farklı düzeylerde hassasiyetle bilgileri birleştiren çeşitli ölçeklerde üretilebildiği doğrudan bir harita üretme yoludur. Ancak büyük alanlar için insan gücü temelli yaklaşım, zaman ve maliyet yoğun bir seçenektir (Langat ve ark., 2019). Öte yandan uzaktan algılama uygulamalarının bu hedef için doğru araçlara sahip olduğu yıllardır yapılan araştırma ve projelerle ortaya konmuştur. Arazi örtüsü - arazi kullanımı değişimini ortaya koyarken yeterli doğruluğa sahip çalışmalar yapmak amacıyla çeşitli yaklaşımlar ve yöntemler denenmiştir. Bu kapsamda yapılan sınıflandırma işlemleri öne çıkmış, sınıflandırma için kullanılan algoritmalar süreç içinde çeşitlenmiş ve teknolojinin gelişmesi uygun yöntemlerin sayıca artmasına yardımcı olmuştur (Apaydın ve Abdikan 2021).

Özellikle yüksek mekansal çözünürlüklü sensörlerde görülen son gelişmelerle birlikte, yer gözlem teknolojisi, şehirlerin kırsal kesimlerinde AÖAK tanımlama ve yönetimi için uygun bir çözüm sunmaktadır. Bununla birlikte, yüksek doğrulukta AÖAK sınıflandırması ortaya koymak zor bir süreçtir. Özellikle kırsal ve kenti bir arada barındıran heterojen alanların sınıflandırılmasında halen zorluklar ve sorunlar yaşanmaktadır (Ruiz-Luna ve Berlanga-Robles, 2003).

Uzaktan algılanan görüntülerden doğru AÖAK bilgisinin üretilmesi, optimum görüntü sınıflandırma teknikleri gerektirir. Genel olarak bu sınıflandırıcılar, kontrollü ve kontrolsüz veya parametrik ve parametrik olmayan veya katı ve bulanık sınıflandırma veya piksel tabanlı ve alt piksel tabanlı sınıflandırıcılar olarak gruplanabilir. Sınıflandırıcıların performansı eğitim örneklerinin seçimi, çalışma alanının heterojenliği, sensörler, tanımlanacak sınıf sayısı vb. gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Lu ve Weng, 2007). Yeni nesil sınıflandırıcılardaki gelişmeyi tanımlamak için farklı algoritmaların sistematik bir karşılaştırmalı analizi önemlidir.

Landsat-8 ve Sentinel-2 gibi ücretsiz erişimli uydu verileri, görüntü sınıflandırma algoritmalarının uzaktan

algılama alanına yönelik kullanımını artırmıştır (Belward ve Skøien 2015; Harris ve Baumann 2015). Öte yandan, kişisel bilgisayarların bilgi işlem gücü artarken, maliyeti hızla düşmektedir (Waldrop, 2016). Bu kapsamda, sınıflandırma çalışmalarında makine öğrenmesi algoritmalarının kullanılması zamanla gündeme gelmiştir. Gelişmiş makine öğrenme algoritmalarının kullanımı, AÖAK sınıflandırması ve haritalandırılması çalışmalarında daha yaygın hale gelmektedir (Jamali, 2019). Yu ve ark. (2014) karşılaştırmalı literatür değerlendirmeleri sonucunda son yıllarda makine öğrenmesi tabanlı sınıflandırıcıların klasik sınıflandırıcılara göre daha iyi performans gösterdiğini bildirmiştir. Makine öğrenmesi kökenli sınıflandırıcılar arasında karar ağacı tabanlı yaklaşımlar hızlı hesaplama kabiliyetleri, parametrik olmayan yapıları, sınıf tanımlarının gerçekleştirilmesinde basit ve anlaşılır bir yaklaşım sunmaları nedeniyle ön plana çıkmaktadır (Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010).

Ulusal ölçekte makine tabanlı yaklaşımlar ile uydu görüntülerinden AÖAK haritası üretimi kapsamında birçok çalışma olup bunların bir kısmı karar ağacı tabanlı algoritmaları da çalışmalarına konu etmişlerdir. Genel hatları ile bu çalışmalarda sınıf tanımlarının statik olarak yapıldığı, tek ya da iki tarihli görüntü üzerinde çalışıldığı, değerlendirmelerin farklı sensör verisi ya da farklı sınıflandırıcıların başarımı üzerine yoğunlaştıkları söylenebilir (Akar ve Güngör, 2012; Akar ve Tunç Görmüş, 2019; Kavzoğlu ve Çölkesen, 2010)

Değişim belirlemeye yönelik geçmiş çalışmalar incelendiğinde ise uydu görüntüleri ile AÖAK değişim belirleme süreçlerinin farklı tarihte algılanmış olan görüntülerin statik sınıf tanımlarına göre sınıflandırılması ve sonuç haritalar üzerinde değişimin belirlenmesi şeklinde sürdürüldüğü, son yıllarda ise tüm görüntülerin bir arada değerlendirildiği ve değişimlerin de sınıf tanımlamalarına dahil edildiği dinamik yaklaşımların ön plana çıktığı görülmektedir (Alganci, 2019; Wulder ve ark., 2018).

Bu çalışma kapsamında özellikle şehirleşme ve tarımsal faaliyete bağlı olarak arazi örtüsünde meydana gelen değişimlerin belirlenmesi amacı ile LandCover 2.0 standartlarına göre Google Earth Engine tabanlı dinamik değişim belirleme çerçevesi tasarlanmıştır. Bu kapsamda ücretsiz elde edilebilen Sentinel 2 uydu görüntüleri kullanılmış, açık kaynak kodlu görüntü işleme yazılımlarından faydalanılmıştır. Çok zamanlı uydu görüntülerinden boyut indirgeme yaklaşımı ile zaman serisi oluşturma, rastgele orman (RO), ve regresyon ağaçları (RA) gibi makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar ile görüntü sınıflandırma, sonuçların haritalandırılması ve değişime ilişkin sınıf bazında istatistiksel bilgilerin üretilmesi gibi temel analiz süreçleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel hedefi kapsamında, bu farklı boyut indirgeme ve sınıflandırma yöntemi kombinasyonlarının başarımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. Yöntem

2.1. Çalışma Alanı ve Veriler

Türkiye'nin en kalabalık onuncu şehri olan Kocaeli, ülkenin en büyük sanayi kentlerinden biridir. 2021 yılı

itibariyle nüfusu 2.033.411 kişi olarak belirlenmiştir. Kocaeli’de yıllık nüfus artış oranı %18’dir, tüm ilçelerinde nüfus artışı olmuştur. 1965 yılından itibaren nüfusun arttığı bölgede, şehirdeki nüfus sürekli artarken kırsaldaki nüfus azalmıştır (URL-1). İstanbul, Bursa, Sakarya ve Yalova illeriyle komşu olan Kocaeli, metropol kentine yakınlığıyla komşu illerin etkilerini taşımaktadır.

İlde Kocaeli Sanayi Odası’na bağlı yaklaşık 3500 sanayi kuruluşu vardır ve bu sanayi kuruluşları genelde Gebze, İzmit ve Körfez ilçelerinde toplanmıştır. Önemli markaların fabrikalarının yer aldığı il, önemli bir sanayi ve ticaret merkezidir (URL-2). Kocaeli’nin göç alan bir bölge olması, kurulan fabrikalar, yapılması tasarlanan/yapılan kentleşme çalışmaları vb. gibi etkilerle arazi örtüsü/arazi kullanımı açısından incelenmeye uygun olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma alanına ait görsel Şekil 1’de verilmektedir.

Çalışma kapsamında; Kocaeli ilinin idari sınırlarını kapsayan ve 2017-2020 yılları arasında elde edilen Sentinel 2A uydu görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan görüntüler, zamansal aralığın düzenliliğini sağlamak ve mevsimsel etkileri en aza indirmek için aynı yaz mevsiminde olacak şekilde seçilmiştir. Bu kapsamda, 29 Haziran 2017, 4 Temmuz 2018, 29 Temmuz 2019 ve 23 Temmuz 2020 tarihli görüntüler kullanılmıştır.

Sentinel-2 ikiz uyduları, Avrupa Komisyonu ve Avrupa Uzay Ajansı tarafından ortaklaşa uygulanan Çevre ve Güvenlik için Küresel İzleme programına veri sağlamak amacı ile fırlatılmış olup algılanan görüntüler son kullanıcılar tarafından ücretsiz elde edilebilir. Uyduların yörünge yüksekliği ortalama 785 km olup, iki eşlenik uydu takımı sayesinde, ekvator da 5 günde bir ve orta enlemlerde 2-3 günde bir tekrarlanan çekimler mümkün olmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının Türkiye üzerindeki coğrafi konumu (Google Earth©) ve 2020 tarihli Sentinel 2A uydu görüntüsü ile yakın görünümü

2.2. Ön işleme ve boyut indirgeme

Çalışma kapsamında elde edilen Sentinel 2A uydu görüntülerinin ön işleme adımları kapsamında 20 m mekânsal çözünürlüklü bantların 10 m mekânsal çözünürlüklü bantlarla eşlenmesi amacı ile yeniden örneklenmesi ilk aşamayı oluşturmaktadır. Bu işlem kapsamında ilgili bantlara kübik enterpolasyon işlemi uygulanmıştır. Sonraki aşamada uydu görüntüleri il sınıırı vektör verisine göre kesilmiştir. Temin edilen görüntüler

2A işleme seviyesinde olduklarından geometrik ve atmosferik düzeltmeleri hâlihazırda gerçekleştirilmiş olup bantlar yüzey yansıtım değerlerini içermektedir.

Çalışmada kullanılan boyut indirgeme metodlarından biri spektral indeks tabanlı yöntemdir. Araştırmada şehirleşmeye bağlı olarak arazi örtüsünde meydana gelen değişimler saptanacağından, yerleşim indeksine dayalı yaklaşım benimsenmiştir. Bu kapsamda Normalleştirilmiş Yerleşim İndeksi (NDBI) ve Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)’nin entegrasyonu ile Yerleşim İndeksi (Yİ) (Builtup İndice-BUI) Erdas Imagine yazılımı kullanılarak türetilmiştir. Denklem (1) yerleşim indeksinin hesaplanmasını ilişkin formülü içermektedir.

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

SWIR, kısa dalga kızılötesi bandına karşılık gelirken, NIR yakın kızılötesi bandına ve RED kırmızı görüntü bandına karşılık gelir (Alganci, 2019). Yİ verileri uydu görüntülerinden hesaplanmış ve tek bir bant olarak saklanmıştır (Şekil 2a).

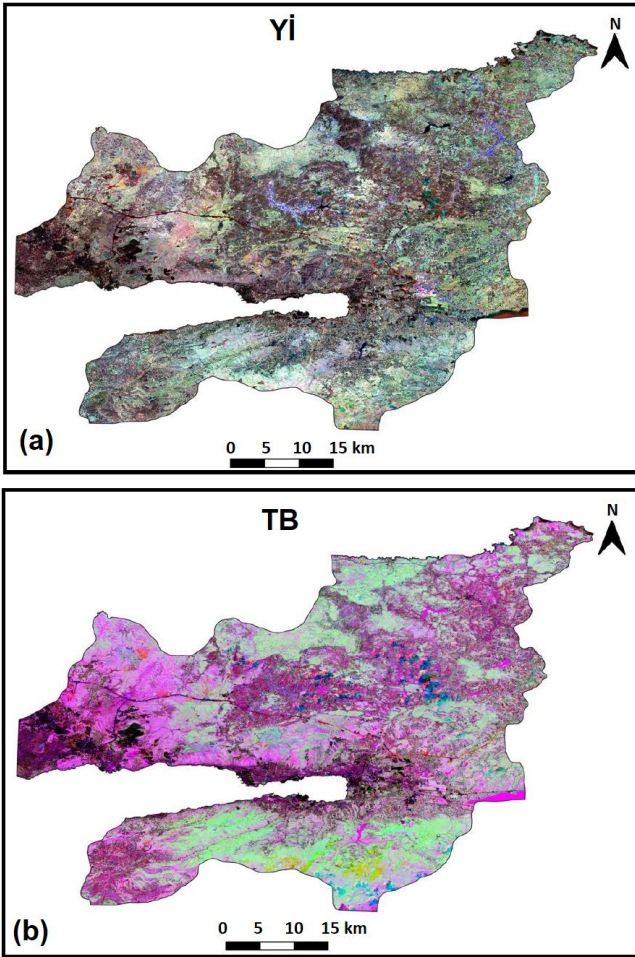
Çalışmada kullanılan diğer boyut indirgeme metodu Temel Bileşen (TB) analizidir. TB, orijinal görüntü bantlarının oluşturduğu n boyutlu öznelik uzayından varyansı maksimize edecek şekilde birbirine dik yeni eksenler tanımlanması ile yeni bir öznelik uzayı oluşturmayı hedefleyen istatistiksel bir prosedürdür. Analiz sonucunda verilerin dönüşümü ve veri boyutunun azaltılması gürültüyü, fazlalığı ve ilgisiz bilgileri ortadan kaldırarak verileri sıkıştırır. Yeni çok değişkenli öznelik uzayındaki korelasyonu minimuma indirgenmiş değişkenlere temel bileşenler denir. İlk temel bileşen (ilk öz vektörden türetilen TB1), projeksiyonların en büyük varyansa sahip olduğu uzaydaki yöndür. Sonraki ana bileşen (TB2), önceki ana bileşene ortogonal olan tüm yönler arasındaki varyansı en üst düzeye çıkararak yöndür. Geri kalan ana bileşen görüntülerinin varyansları, karşılık gelen öz değerlerin büyüklükleriyle orantılı olarak azalır (Deng ve ark., 2008).

Temel Bileşen Analizi, multispektral görüntüler için anlamlı parametre çıkarımı, verilerdeki gürültünün azaltılması ve AÖAK değişikliklerinin sınıflandırmasında doğruluğun artırılması gibi çeşitli konularda kullanılmıştır (Rana ve Suryanarayana, 2019). Bu çalışmada TB verileri Erdas Imagine yazılımı ile uydu görüntülerinden hesaplanmış ve birinci bileşen tek bir bant olarak saklanmıştır (Şekil 2b).

2.3. Arazi örtüsü sınıf tanımları

Çalışmada kullanılan arazi örtüsü sınıfları Anderson (1976) Arazi Örtüsü lejantı ve Sentinel görüntülerinin çözümlenme kapasitesi göz önüne alınarak tanımlanmıştır (Anderson ve ark, 1976). Ayrıca Wulder ve diğerleri tarafından tanımlanan “Land Cover 2.0” kavramından esinlenilerek dinamik değişim sınıfı olarak bir adet değişiklik sınıfı dâhil edilmiştir (Wulder ve ark., 2018)

Bu kapsamda belirlenen sınıflar ve tanımları Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Boyut indirgenmiş veri setinin RGB görünümü, a) YI, b) TB (2017:R 2018:G 2020:B)

Tablo 1. Çalışmada haritaları oluşturulan arazi örtüsü sınıflarının tanımları.

AÖ Sınıfı	Tanım
Yapay Alanlar	Yerleşim alanları, sanayi ve ticaret alanları, ulaşım ağları, limanlar, havalimanları, şantiyeler, harfiyat sahaları
Ormanlar	İğne yapraklı ormanlar, geniş yapraklı ormanlar, karışık ormanlar
Su Kütleleri	Nehirler, göller, rezervuarlar
Çıplak ve Yarıdoğal Alanlar	Çıplak kaya, çıplak toprak, seyrek bitkili alanlar
Tarım Alanları	Ekilebilir araziler, yıllık bitkiler, daimi bitkiler, meralar
Kentsel Genişleme	2017-2020 yılları arasında yapılaşmaya dönüşen alanlar

2.4. Sınıflandırma

Bu çalışmada mevcut AÖAK durumunu ve üç yıllık bir süre içindeki değişiklikleri ortaya koymak amacıyla iki makine öğrenmesi tabanlı algoritma test edilmiştir.

Bunlardan ilki olan RA algoritması (Breiman ve diğ., 1984) uzaktan algılama uygulamalarında yaygın olarak kullanılan karar ağacı tabanlı bir yaklaşım sunar (Friedl ve ark., 2002). Bir karar ağacının yapısını belirlemenin

anahtarı her bölmede bir tanımlayıcı öznelik ve bu özneliğe bağlı olarak alt küme bölünmesini sağlayacak eşik değeri seçmektir. Bu yaklaşımda ağacın her bir düğümünde ilgili katmandaki verinin alt kümelere bölünmesi için tanımlayıcı özneliğin seçilmesi önem taşır. Bu kapsamda öznelik kümesi kendi içinde karşılaştırılarak en yüksek normalleştirilmiş bilgi kazancı değerine sahip öznelik seçimi gerçekleştirilir (Bishop, 2006). RA algoritması, eğitim verilerine uyacak şekilde büyümesine izin verilirse, aşırı uyumla sonuçlanabilir (Shao ve Lunetta, 2011). Bahsi geçen aşırı uyum riskine rağmen, sınıflandırma doğruluğu ve hız performansı sebebiyle Regresyon Ağacı algoritması yaygın olarak kullanılan bir AÖAK sınıflandırma algoritması olarak karşımıza çıkmaktadır (Lawrence ve Wright, 2001).

Bahsi geçen dezavantaj RO sınıflandırıcı algoritmalar ile başarıyla ele alınabilir (Shetty ve ark., 2021). RO sınıflandırıcı, rastgele seçilen örneklem (eğitim) kümesi ve bu örneklemelerden elde edilen değişkenler alt kümesini kullanarak birden çok karar ağacı üreten bir sınıflandırıcıdır. Bu sınıflandırıcı, sınıflandırmalarının doğruluğu nedeniyle uzaktan algılama topluluğu içinde popüler hale gelmiştir (Belgiu ve Drăgu, 2016). RO, farklı karar ağaçları ile elde edilen sınıflandırıcıların birleşiminin tek bir değişken kümesi ile çalıştırılan sınıflandırıcıdan daha iyi performans gösterebileceği ön görüşüne dayanan bir toplu öğrenme algoritmasıdır (Breiman, 2001). Bu kapsamda her bir karar ağacı için örneklem verilerinin arasından rastgele seçilerek oluşturulan alt eğitim seti kullanılarak ağaçlar arasındaki parametrik bağımlılık (korelasyon) en alt seviyeye indirgenir. Bu kapsamda eğitim seti olarak kullanılmayan örneklemelerin oranı değerlendirmeye dahil edilir ve "torba dışı" örnekler olarak adlandırılır. Farklı değişken grupları ile oluşturulan çok sayıda karar ağacı ile elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması, her sınıfın çoğunluk oyu olarak tanımlanmaktadır.

RO algoritmasının çalışma prensibine göre kullanıcının tanımladığı iki parametre sınıflandırmayı gerçekleştirmek için gereklidir. Bu parametreler her bir düğümde alt bölünmeyi hesaplamak için kullanılan değişkenlerin sayısı (m) ve toplamda üretilecek olan ağaçların sayısı (N)'dir (Breiman ve Cutler, 2005).

Çalışmada, eğitim örnekleri veri setleri üzerinden manuel olarak seçilmiştir. Seçim yapılırken Google Earth üzerinden kontrol yapılarak ilerlenilmiştir. Eğitim örneklerinin sınıf dağılımı şu şekilde özetlenebilir: Yapay alanlar (153 adet poligon), ormanlar (160 adet poligon), su kütleleri (134 adet poligon), çıplak ve yarıdoğal alanlar (106 adet poligon), tarım alanları (159 adet poligon), kentsel genişlemenin görüldüğü alanlar (32 adet poligon). Eğitim örneklerinin farklı sınıflar arasında spektral ayrılabilirliği, seçilen örneklerin istatistiksel olarak ne kadar iyi eşleştiğini gösteren önemli bir ölçüdür (Alganci, 2019).

Google Earth Engine ile sınıflandırma algoritmalarının veri setleri üzerinde uygulanması esnasında Tablo 2'de verilen parametre seti uygulanmıştır.

Tablo 2. Farklı sınıflandırıcılar için Google Earth Engine'de kullanılan girdi parametre değerleri

Sınıflandırıcı	Parametre	Değer	Referans
Regresyon Ağacı	Budama için çapraz doğrulama faktörü	5 ve 10	Kohavi, 1995
	Ağaç sayısı	50, 100, 150, 200	Belgiu ve Dragut 2016
Rastgele Orman	Bölme başına değişken sayısı	Girdi değişkenlerin karekökü	

2.5. Doğruluk analizi

Doğruluk değerlendirmesi, çeşitli sınıflandırıcıların performansının ve eğitim örnekleme tasarımlarının etkisinin değerlendirilmesine yardımcı olur. Sınıflandırıcıların performansını değerlendirmek için genel doğruluk, kullanıcı doğruluğu ve üretici doğruluğu metrikleri kullanılır. Genel doğruluk, doğru sınıflandırılan birimlerin sayısı ile bunların toplam sayısı arasındaki oran tarafından verilen toplam sınıflandırma yüzdesidir (Congalton ve Green, 2019). Kullanıcı ve üretici doğruluğu ise sınıf bazında sınıflandırma doğruluğuna atıfta bulunur (Story ve Congalton, 1986). Kullanıcı doğruluğu belirli bir sınıftaki doğru sınıflandırılmış ve tüm sınıflandırılmış birimler arasındaki oran iken, üretici doğruluğu doğru sınıflandırılmış birimler sayısı ile belirli bir sınıftaki doğrulama birimlerinin sayısı arasındaki orandır (Pratico ve ark., 2021).

Çalışmada her sınıf için 30 adet olacak şekilde rastgele kontrol noktası ile bahsedilen metrikler hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında bu metriklere ek olarak her sınıflandırıcı-boyut indirgeme kombinasyonu için kappa metriği hesaplanmıştır (Congalton, 1991). Ayrıca her sınıflandırma metodu sonucu ortaya çıkan alanlar, sınıf bazında performans değerlendirilmesi ve karşılaştırması yapabilmek adına ortaya konmuştur.

Bu analizlere ek olarak sınıflandırma doğruluk analizi kapsamında elde edilen dört adet hata matrisi kullanılarak bu matrisler arasında anlamlı bir fark olup olmadığını test etmek için McNemar testi gerçekleştirilmiştir.

McNemar testi, hata matrislerinden hesaplanan standartlaştırılmış normal test istatistiğine dayanan parametrik olmayan bir testtir (Eşitlik 2).

$$Z = \frac{f_{12} - f_{21}}{\sqrt{f_{12} + f_{21}}} \quad (2)$$

Burada f_{12} , birinci hata matrisinde yanlış sınıflandırılan ancak ikinci hata matrisinde doğru şekilde sınıflandırılan örneklerin sayısını gösterir. f_{21} , ikinci hata matrisinde yanlış sınıflandırılan ancak birinci hata matrisinde doğru sınıflandırılan örneklerin sayısını gösterir. Z değeri 1,96'dan büyükse, hata matrisleri arasındaki doğruluk farkı istatistiksel olarak anlamlıdır ($p \leq 0.05$) (Foody, 2004; Leeuw ve ark. 2006).

3. Bulgular

Yİ ve TB veri setlerinden RO ve RA sınıflandırıcıları kullanılarak üretilen arazi örtüsü haritaları Şekil 3'te sunulmuştur. Ayrıca nokta bazlı doğruluk sonuçları da Tablo 3'te verilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde RO sınıflandırmasının RA yöntemine göre daha homojen dağılımlı haritalar ürettiği sonucu çıkarılmaktadır. Çıplak ve yarıdoğal alanların sınıflandırılmasında yaşanan zorluk tüm sınıflandırıcılar için geçerli olmuştur.

Boyut indirgeme yöntemleri değerlendirildiğinde ise TB veri setlerinden elde edilen sınıflandırma sonuçlarının Yİ veri setlerine kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığı görülmüştür. Bu kısımda da çıplak ve yarıdoğal alanların sınıflandırılmasının zorluğu ve kentsel genişlemenin saptanmasının getirdiği sorunlar sonuçları etkilemiş ve her yöntem için bu doğruluk değerleri diğer sınıflara kıyasla daha düşük çıkmıştır. Yİ tabanlı yöntemde farklı arazi örtüsü sınıflarını ayırt etme verimliliğinin, TB tabanlı yöntemde göre daha az olduğu sonucunun ortaya konduğu bu çalışmada TB tabanlı sistemin verimli, hızlı ve karmaşıklığı az bir yöntem olması deneyimlenmiştir.

Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde aynı eğitim veri seti ile uygulanan analizlerde her iki boyut indirgeme yaklaşımı ayrı ayrı ele alındığında tek bir veri seti için sınıflandırıcı başarımlarında ortaya çıkan doğruluk farkı oldukça düşük olup, doğruluğa etki eden temel faktörün boyut indirgeme yaklaşımı olduğu ortaya çıkmaktadır. TB veri seti üzerinde her iki sınıflandırıcı ile %83 civarı doğruluğa ulaşılırken, aynı örneklem seti ve aynı sınıflandırıcılar ile Yİ veri seti üzerinde yaklaşık %10'luk bir düşüş yaşanmıştır. Her iki sınıflandırıcı kapsamında kappa istatistiği karşılaştırması sonucunda TB veri seti için 0,80 civarında gözlemlenen değerlerde Yİ veri seti için yaklaşık 0,11 ile 0,16 arasında düşüş yaşanmıştır. Özellikle TB - RA veri seti - sınıflandırıcı ikilisi ile özellikle diğer kombinasyonlarda başarımın düşük olduğu yapay alanlar, çıplak ve yarı doğal alanlar be kentsel genişleme sınıfları için başarım daha yüksek olup, üretici doğruluğu ve kullanıcı doğruluğu arasındaki yüzdesel fark daha düşük çıkmıştır. Yİ veri seti için yapay alanlarda kullanıcı doğruluğu, çıplak ve yarı doğal alanlarda ise üretici doğruluğu oldukça düşük çıkmaktadır.

Sınıflandırma sonuçlarından elde edilen farkların istatistiksel anlamlılığının değerlendirilmesi amacı ile iki farklı sınıflandırıcı ve iki farklı veri seti için toplamda üretilmiş olan dört adet hata matrisi üzerinde tüm olası ikili kombinasyonlar için McNemar karşılaştırmalı istatistik testi gerçekleştirilmiştir. Burada veri setleri sabit seçilerek sınıflandırıcı kıyaslamaları (Yİ için RO - RA, TB için RO - RA) ve ek olarak sınıflandırıcı sabit seçilerek veri seti kıyaslamaları (RO için Yİ - TB ve RA için Yİ - TB) söz konusudur. İlgili karşılaştırma sonucunda elde edilen değerler Tablo 4'te verilmektedir. Bu tablo değerlendirildiğinde tüm ikili kıyaslamalar kritik Z değeri olan 1,96'dan büyük çıkmakla birlikte her iki sınıflandırıcı için veri setleri arasında hesaplanan Z değerleri her iki veri seti için sınıflandırıcılar arasında hesaplanan Z değerlerinden yüksek çıkmış olup, veri seti nedeniyle ortaya çıkan farkın anlamlılık seviyesinin daha yüksek olduğu söylenebilir. Bu sonuç sınıflandırma

doğruluğu ve kappa istatistik değerlerini destekler niteliktedir.

Sınıflandırma sonucu elde edilen alansal bilgilerin karşılaştırılması adına **Tablo 5**'te sınıflandırma sonucu oluşan alanlar verilmiştir. Bu kapsamda tanımlanan ilk beş sınıf, kendi nesne tanımlamaları kapsamında ilgili dönem aralığında değişim göstermeyen statik sınıflar olup, kentsel genişleme sınıfı ilgili dönemde yapay alan dışı bir sınıfa ait iken yapay alana dönüşen konumları temsil etmektedir. Alanlar incelendiğinde kentsel genişleme ve çıplak-yarıdoğal alanların her kombinasyon için diğer sınıflara nispeten daha farklı sonuçlar verdiği saptanmıştır. Bu iki sınıfın manuel olarak oluşturulan eğitim alanlarındaki hata payı, zamana göre değişen yansıtım farklılıkları, diğer sınıflarla benzerlik (yapay alanlar ve tarım alanları) bu sonucun ortaya çıkmasına yol açmıştır. Su kütlesi sınıfının alan bazında gösterdiği farklılık, sınıf tanımına homojenlik parametresi eklenmemesine bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu noktada yine TB tabanlı boyut indirgeme verisi ile elde edilen sınıflandırma sonuçları kentsel genişleme sınıfını daha doğru bir şekilde ortaya koyarak yüksek başarımlar göstermektedir.

4. Sonuçlar

Bu araştırmanın sonuçları son zamanlarda uzaktan algılama uygulamalarında popüler hale gelen makine öğrenmesi algoritmalarının boyut indirgeme metotlarıyla kombinasyonunun kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Literatürde rastgele orman

sınıflandırması daha sık kullanılan algoritma olmakla beraber bu çalışma özelinde regresyon ağacı algoritmasının da benzer doğrulukta sonuç ürettiği görülmektedir. Çalışmanın sonuçlarına göre doğruluğu asıl etkileyen faktörün boyut indirgeme metodu ile ilişkili olduğu ve burada temel bileşen dönüşümü temelli yaklaşımın özellikle kentsel genişlemeyi daha doğru tespit ettiği ve sınıflandırma doğruluğunda yüksek başarımlar verdiği görülmüştür. Bu kapsamda temel bileşen dönüşümü ile elde edilen veri seti üzerinde her iki sınıflandırıcı da %83 sınıflandırma doğruluğu ve 0,8 üzerinde kappa değerlerine ulaşmıştır. Bu iki sınıflandırma sonucu için tüm sınıflarda %70 ve üzeri kullanıcı ve üretici doğruluğu elde edilebilmiştir.

Çalışma sonucunda Kocaeli ili arazi örtüsünde dört yıllık zaman süresince kentsel alanlarda genişleme olduğu görülmüştür. Özellikle ilin kuzeybatı ve güneyinde gözlemlenen genişleme dikkat çekicidir. Zaman içerisinde çıplak alanlarda bina yapımının olduğu ve Kuzey Marmara otoyolunun yapımına bağlı olarak yapay alanların arttığı da çalışma sonucuyla bağdaşmaktadır.

Çalışmanın yukardaki sonuçların yanı sıra, bu tip makine öğrenmesi algoritmaları ile farklı veri indirgeme yöntemlerin kombinasyonlarının kullanımında olumlu sonuçlar ortaya koyduğunu göstermiştir. Farklı uydulardan elde edilen görüntüler kullanılarak veya farklı sınıflandırıcılar değerlendirilerek çalışma kapsamı genişletilebilir, daha kapsamlı ve etkin uygulamalarla karar vericilere doğru ve güvenilir sonuçlar sunulabilir.

Tablo 3. Nokta tabanlı doğruluk analizi sonuçları

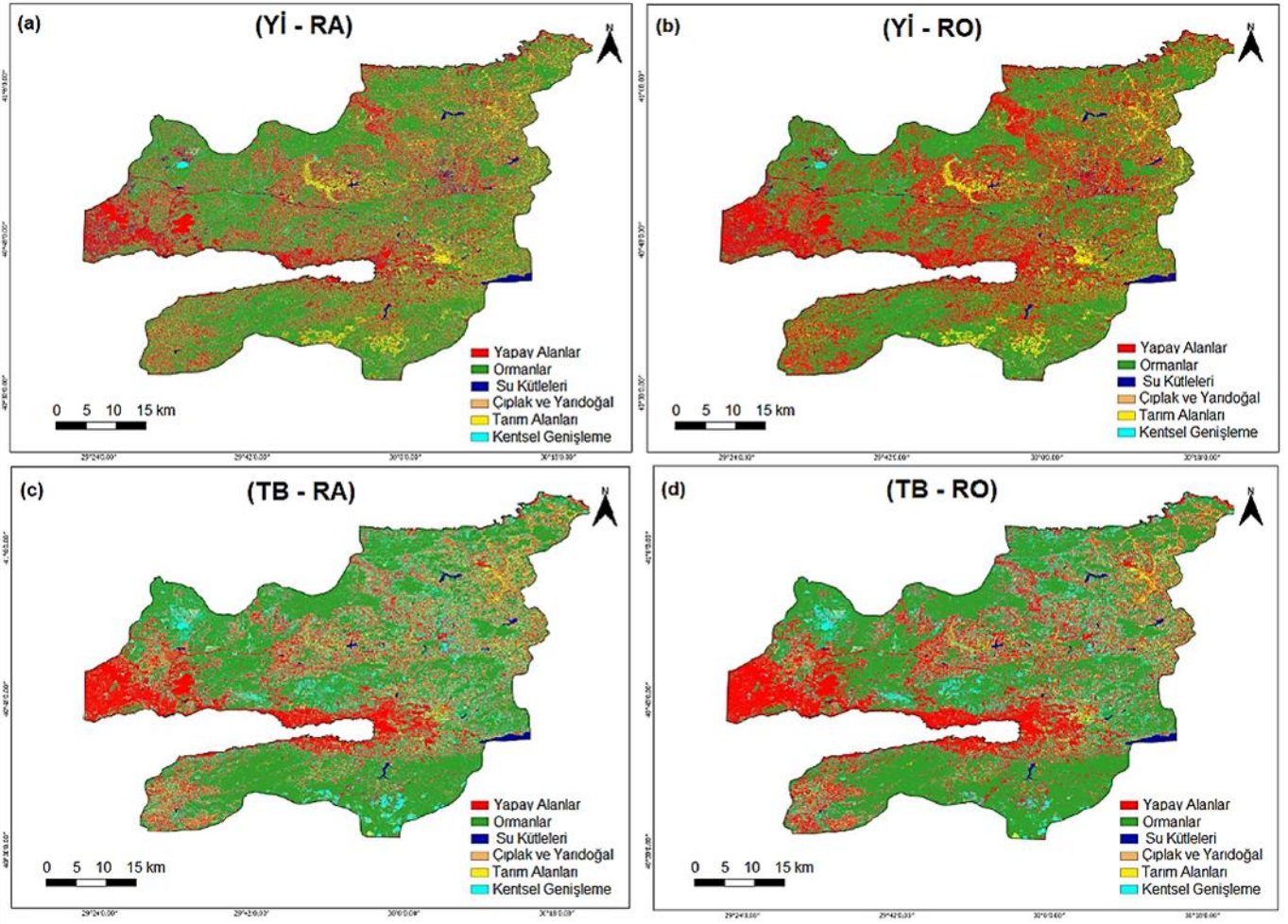
Veri/Yöntem	Yİ-RO		TB-RO		Yİ-RA		TB-RA	
Sınıf	ÜD	KD	ÜD	KD	ÜD	KD	ÜD	KD
Yapay Alanlar	86,66	60,01	96,66	72,50	80,00	55,81	100	78,94
Ormanlar	99,05	76,92	96,65	82,85	86,60	81,25	96,60	82,85
Su Kütleleri	99,06	85,71	100	100	96,66	96,66	100	100
Çıplak ve Yarıdoğal	50,27	82,35	56,66	85,00	50,01	86,66	70,00	84,00
Tarım Alanları	76,66	74,19	80,00	92,30	73,33	61,10	70,00	87,50
Kentsel Genişleme	50,21	69,23	70,00	72,41	50,00	60,00	66,66	71,42
Kappa	0,69		0,80		0,65		0,81	
Sınıflandırma Doğruluğu	73,74		83,33		71,27		83,88	

Tablo 4. Hata matrisleri üzerinden hesaplanan McNemar istatistikleri

Veri ve Yöntem	Algoritma ve Veri Çiftleri	
	RO - RA	Yİ - TB
RO	\	10,24
RA	\	11,78
Yİ	3.64	\
TB	2.48	\

Tablo 5. Sınıflandırma sonucu oluşan alanlar (km²)

Veri/Yöntem	Yİ-RO	TB-RO	Yİ-RA	TB-RA
Sınıf	Alan	Alan	Alan	Alan
Yapay Alanlar	1136,65	1032,72	919,48	977,16
Ormanlar	1609,28	1457,26	1406,17	1392,01
Su Kütleleri	72,60	21,81	119,18	21,70
Çıplak ve Yarıdoğal	58,27	100,83	137,70	131,96
Tarım Alanları	318,02	228,76	419,62	302,98
Kentsel Genişleme	184,06	537,50	376,72	553,07



Şekil 3. Sınıflandırma sonucunda elde edilen tematik haritalar, a) Yİ-RA, b) Yİ-RO, c) TB-RA, d) TB-RO

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma kapsamında kullanılan Sentinel 2 (ESA) uydu görüntüleri U.S. Geological Survey tarafından sağlanmıştır.

Araştırmacıların Katkı Oranı

Esmâ Efe: Literatür taraması, Analiz, Modelleme, Makale yazımı; **Uğur Algancı:** Doğruluk analizi, Düzenleme, Makale yazımı

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Ahady, A. B., & Kaplan, G. (2022). Classification comparison of Landsat-8 and Sentinel-2 data in Google Earth Engine, study case of the city of Kabul. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(1), 24-31.
- Akar Ö & Güngör O (2012). Rastgele orman algoritması kullanılarak çok bantlı görüntülerin sınıflandırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 1(2), 139-146.
- Akar, Ö., & Tunç Görmüş, E. (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.

- Alganci, U. (2019). Dynamic Land Cover Mapping of Urbanized Cities with Landsat 8 Multi-temporal Images: Comparative Evaluation of Classification Algorithms and Dimension Reduction Methods. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(3), 139.
- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., & Witmer, R. E. (1976). *A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data*; Professional Paper 964; US Geological Survey Government Printing Office: Washington, DC, USA.
- Apaydın, C., & Abdikan, S. (2021). Fındık bahçelerinin Sentinel-2 verileri kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleriyle belirlenmesi. *Geomatik*, 6(2), 107-114.
- Bégué A, Arvor D, Bellon B, Betbeder J, De Abelleira D P D, Ferraz R, Lebourgeois V, Lelong C, Simões M R & Verón S (2018). Remote Sensing and Cropping Practices: A Review. *Remote Sensing*, 10(1), 99.
- Belgiu, M., & Dragut, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31
- Belward AS & Skoien JO (2015). Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103, 115-128.
- Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*, Springer.

- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1984). *Classification and regression trees*. Routledge.
- Breiman, L. (2001). Random Forests. *Machine Learning*, 45, 5-32.
- Breiman, L., & Cutler, A. (2005), Random forest, http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm, erişim tarihi:16.01.2021.
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35-46.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press.
- Deng, J. S., Wang, K., Deng, Y. H., & Qi, G. J. (2008). PCA-based land-use change detection and analysis using multitemporal and multisensor satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 29(16), 4823- 4838.
- Foody, G. M. (2004). Thematic Map Comparison. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(5), 627-633.
- Friedl, A. F., McIver, D. K., Hodges, J. C. F., Zhang, X.Y., Muchoney, D., Strahler, A. H., Woodcock, C. E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F., & Schaaf, C. (2002). Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 287-302.
- Harris, R. & Baumann, I. (2015). Open data policies and satellite Earth Observations. *Space Policy*, 32, 44-53.
- Jamali, A. (2019). A Fit-for-Purpose Algorithm for environmental monitoring based on maximum likelihood, support vector machine and random forest. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-3/W7, 25-32.
- Kavzoğlu, T., & Çölkesen, İ. (2010). Karar Ağaçları ile Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılması: Kocaeli Örneği, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(1), 36-45.
- Langat, P. K., Kumar, L., & Koech, R. (2019). Monitoring river channel dynamics using remote sensing and GIS techniques. *Geomorphology*, 325, 92-102.
- Lawrence, R. L., & Wright, A. (2001). Rule-based classification systems using classification and regression tree (CART) analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(10), 1137-1142.
- Leeuw, J. D., Jia, H., Yang, L., Liu, X., Schmidt, K., & Skidmore, A. (2006). Comparing accuracy assessments to infer superiority of image classification methods. *International Journal of Remote Sensing*, 27(1), 223-232.
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823-870.
- Morsy, S., & Hadi, M. (2022). Impact of land use/land cover on land surface temperature and its relationship with spectral indices in Dakahlia Governorate, Egypt. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 272-282.
- Petropoulos, G. P., Vadrevu, K. P., & Kalaitzidis, C. (2013). Spectral angle mapper and object-based classification combined with hyperspectral remote sensing imagery for obtaining land use/cover mapping in a Mediterranean region. *Geocarto international*, 28(2), 114-129.
- Praticò, S., Solano, F., Di Fazio, S., & Modica, G. (2021). Machine Learning Classification of Mediterranean Forest Habitats in Google Earth Engine Based on Seasonal Sentinel-2 Time- Series and Input Image Composition Optimisation. *Remote Sensing*, 13(4), 586.
- Rana, V. K., & Suryanarayana, T. M. V. (2020). Performance evaluation of MLE, RF and SVM classification algorithms for watershed scale land use/land cover mapping using sentinel 2 bands. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19, 100351.
- Rawat, J. S., & Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 77-84.
- Ruiz-Luna, A., & Berlanga-Robles, C. A. (2003). Land use, land cover changes and coastal lagoon surface reduction associated with urban growth in northwest Mexico. *Landscape Ecology*, 18, 159-171.
- Shao, Y., & Lunetta, R. S. (2012). Comparison of support vector machine, neural network, and CART algorithms for the land-cover classification using limited training data points. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 70, 78-87.
- Shetty, S., Gupta, P. K., Belgium, M., & Srivastava, S. K. (2021). Assessing the Effect of Training Sampling Design on the Performance of Machine Learning Classifiers for Land Cover Mapping Using Multi-Temporal Remote Sensing Data and Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 13(8), 1433.
- Story, M., & Congalton, R. G. (1986). Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(3), 397-399.
- URL -1: www.turkstat.gov.tr, erişim tarihi: 15.01.2021
- URL -2: <https://kosano.org.tr/rakamlarla-kocaeli/>, erişim tarihi 27.04.2021
- Yu, L., Liang, L., Wang, J., Zhao, Y., Cheng, Q., Hu, L., Liu, S., Yu, L., Wang, X., Zhu, P., Li, X., Xu, Y., Li, C., Fu, W., Li, X., Li, W., Liu, C., Cong, N., Zhang, H. ... Gong, P. (2014). Meta-Discoveries from a Synthesis of Satellite-Based Land Cover Mapping Research. *International Journal of Remote Sensing* 35 (13), 4573-4588.
- Waldrop, M. M. (2016). The chips are down for Moore's law. *Nature*, 530(7589), 144-147.
- Wulder, M. A., Coops, N. C., Roy, D. P., White, J. C., & Hermosilla, T. (2018). Land cover 2.0. *International Journal of Remote Sensing*, 39(12), 4254-4284.





Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



iPad Pro LiDAR sensörünün profesyonel bir yersel lazer tarayıcı ile karşılaştırmalı performans analizi

Ramazan Alper Kuçak^{*1}, Serdar Erol², Reha Metin Alkan²

¹ Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

iPad Pro
LiDAR
Lazer tarayıcı
Nokta bulutu
Doğruluk

Araştırma Makalesi

Geliş:18.04.2022
Revize:03.06.2022
Kabul:04.06.2022
Yayınlanma:10.08.2022



Öz

Bu çalışmada, Apple iPad Pro LiDAR sensörünün tarama ve doğruluk performansı, profesyonel bir Yersel Lazer Tarayıcının (YLT) performansı ile birlikte karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, profesyonel bir tarayıcı olan Leica ScanStation C10 ve iki farklı yazılım ile birlikte kullanılan Apple firmasına ait iPad Pro LiDAR sensörü ile, içinde farklı büyüklüklere sahip pek çok objenin yer aldığı bir çalışma ofisi taranmıştır. Yapılan ölçmeler sonrası çalışma ofisinin üç farklı 3-Boyutlu (3B) nokta bulutu üretilmiştir. Ofiste bulunan ve boyutları birkaç cm ile 2 metre arasında değişen bazı objelerin ayırıt uzunlukları bir çelik şerit metre ile mm inceliğinde ölçülmüş ve bu büyüklükler, iki farklı tarayıcıdan üretilen nokta bulutlarından elde edilen değerleri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları profesyonel bir tarayıcı ile, kapalı küçük bir ortamda, ± 0.5 cm karesel ortalama hata ile 3B nokta bulutu üretilebileceğini göstermiştir. iPad Pro LiDAR sensörü kullanılarak üretilen nokta bulutlarının ise, veri toplamada kullanılan yazılıma bağlı olarak, $\pm 1-1.5$ cm karesel ortalama hataya sahip olduğu görülmüştür. Yapılan bu çalışmadan elde edilen ilk sonuçlar, Apple iPad Pro LiDAR sensörünün, kapalı mekanlarda yapılan uygulamalar için ümit verici bir performans sergilediğini, düşük maliyeti, taşınabilirliği, hızı ve kolay kullanılabilirliği gibi unsurlarıyla da yüksek maliyete sahip profesyonel tarayıcılara önemli bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

Comparative performance analysis of the iPad Pro LiDAR sensor with a professional terrestrial laser scanner

Keywords

iPad Pro
LiDAR
Laser scanner
Point cloud
Accuracy

Research Article

Received:18.04.2022
Revised: 03.06.2022
Accepted:04.06.2022
Published:10.08.2022

Abstract

In this study, the scanning and accuracy performance of the Apple iPad Pro LiDAR sensor is investigated comparatively with the performance of a professional Terrestrial Laser Scanner (TLS). In this context, an indoor office containing many objects of different sizes was scanned with the Leica ScanStation C10, a professional scanner, and the Apple iPad Pro LiDAR sensor using together with two different software. After the performed measurements by the scanners, three different 3-Dimensional (3D) point clouds of the work office were produced. The edge lengths of some objects in the office ranging in size from a few cm to 2 meters were measured with a steel tape measure in mm accuracy and these lengths were compared with the values obtained from the point clouds produced from two different scanners. The results of the study showed that a 3D point cloud can be produced with a root mean square error (RMSE) of ± 0.5 cm in a small indoor environment with a professional scanner. On the other hand, it was observed that the accuracy of the point clouds produced using the iPad Pro LiDAR sensor has $\pm 1-1.5$ cm RMSE, depending on the software used with it. The first results obtained from this study showed that the Apple iPad Pro LiDAR sensor exhibits promising performance for indoor applications and can be an important alternative to high-cost, geodetic-type professional scanners with its low cost, portability, speed and easy usability.

*Sorumlu Yazar

*kucak15@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-1128-1552
(erol@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-7100-8267
(alkanr@itu.edu.tr) ORCID ID 0000-0002-1981-9783

Kaynak Göster (APA)

Kuçak, R. A., Erol, S., & Alkan, R. M. (2023). iPad Pro LiDAR sensörünün profesyonel bir yersel lazer tarayıcı ile karşılaştırmalı performans analizi. *Geomatik*, 8(1), 35-41

1. Giriş

LiDAR (Light Detection and Ranging) hızlı bir şekilde, büyük miktarda 3-Boyutlu (3B) nokta bulutu verisi üreten bir ölçme sistemidir (Sanchez Diaz ve ark., 2022; Yakar ve ark., 2021). LiDAR teknolojisi 1960'larda ortaya çıkmış ve ilk olarak havacılık uygulamalarında kullanılmaya başlanmıştır (Yılmaz ve Yakar, 2006; Zeybek, 2019). 1970'lerde, LiDAR bir uzaktan algılama sensörü olarak, ormanların, denizlerin, atmosferin ve topoğrafyanın haritalanmasında kullanılmıştır (Özdemir ve ark., 2021). 1980'lerin sonlarına doğru Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS) ve Atalet Ölçüm Birimlerinin (IMU) beraberce kullanılmaya başlanmasıyla, LiDAR teknolojisinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Ölçme platformu olarak yapılan sınıflandırmaya göre, havadan ve karadan olmak üzere iki tür LiDAR bulunmaktadır (Mehendale ve Neoge, 2020). Hava LiDAR doğası gereği kinematik olarak ölçme yapmaktadır. Yersel LiDAR ise kendi içinde statik ve mobil olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Vatandaşlar ve ark., 2022). Günümüzde, hava ve yersel mobil LiDAR sistemleri kamera, Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) ve INS sistemlerini içermektedir. LiDAR sistemleri iki yönlü ölçme sistemleridir. Bu sistemler, herhangi bir objeye gönderilen ve objeden yansıyıp geri dönen sinyalin gücüne (yüzeyden yansıyan lazerin enerjisi, yoğunluğu-intensity) göre RGB olarak renklendirilmiş bir nokta bulutu oluşturmaktadır. Kamera bulunduran LiDAR sistemlerinde ise renkli nokta bulutu, ölçme sırasında çekilen resimler kullanılarak oluşturulmaktadır (Kuçak ve ark., 2020; Özendi, 2022).

Temelde sesli-yazılı iletişim, video görüşme, internet erişimi vb. uygulamalar için kullanılan akıllı cihazlarda (telefon/tablet) ve algılayıcı (sensör) teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler, akıllı mobil cihazların temel işlevlerinin çok ötesinde farklı alanlarda kullanılabilmelerinin yolunu açmıştır. Örneğin LiDAR sistemlerinin boyutları küçülmüş ve bu sensörler akıllı iletişim platformlarına entegre edilmeye başlanmıştır. İletişim ve mobil teknoloji sektöründe önemli bir ağırlığa sahip olan Apple firması, üzerinde LiDAR sensörleri bulunan iPad Pro 2020 tablet ve iPhone 12 Pro/Max akıllı telefonlarını 2020 yılında piyasaya sürmüştür (Luetzenburg ve ark., 2021). Profesyonel Yersel Lazer Tarayıcılara göre görece daha düşük maliyete sahip olan bu tür akıllı cihazlar kullanılarak yapılan ölçmelerden üretilen nokta bulutları ve 3-Boyutlu (3B) modeller, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), ormancılık, yer bilimleri, jeoloji, kaza yeri inceleme, kültürel varlıkların belgelenmesi, büyük ölçekli 3B hızlı harita üretilmesi gibi çalışmalarda pek çok meslek disiplininde kullanılmaktadır (Çakir ve ark., 2021; Desai ve ark., 2021; Gollob ve ark., 2021; Luetzenburg ve ark., 2021; Mokroš ve ark., 2021; Murtiyoso ve ark., 2021; Plaß ve ark., 2021; Spreafico ve ark., 2021; Vogt ve ark., 2021; Wang ve ark., 2021; Bobrowski ve ark., 2022; McGlade ve ark., 2022; Tavani ve ark., 2022). Bu tür donanımların kullanıcılarına sağladığı kolay kullanım, hız, doğruluk gibi pek çok avantajları nedeniyle kullanımının artacağı, yeni uygulama alanlarında daha yaygın olarak kullanılacağı değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, profesyonel bir lazer tarayıcı olan Leica ScanStation C10 ve Apple 12.9 inç iPad Pro tablete entegre olan LiDAR sensörü kullanılarak kapalı bir mekânda yapılan ölçmelerden üretilen 3B nokta bulutlarının doğruluğu araştırılmıştır. Yapılan uygulama ve elde edilen ilk sonuçlar, izleyen bölümlerde verilmiştir.

2. Yöntem

iPad Pro LiDAR sensörünün doğruluk performansını, profesyonel bir Yersel Lazer Tarayıcı (YLT) ile karşılaştırmalı olarak inceleyebilmek için, İTÜ İnşaat Fakültesinde bulunan bir çalışma ofisinde, tablet kullanımına uygun olarak, yapay hedefler yerine oda içerisindeki doğal hedefler kullanılarak ölçmeler gerçekleştirilmiş ve 3B nokta bulutları üretilmiştir. Ölçmelerde profesyonel Yersel Lazer Tarayıcı olarak Leica ScanStation C10 (bundan sonra kısaca C10 olarak kullanılacaktır) kullanılmıştır (Şekil 1). C10, 'hepsi bir arada (all-in-one)' özellikli uzun-mesafe bir lazer tarayıcısı olup, 50 m mesafeye kadar 4 mm uzunluk ve 6 mm konum doğruluğu ile saniyede 50000 nokta tarayabilmektedir. Dalga boyu 532 nanometre (görünür bölge) olan yeşil renk kullanan sistem, %90 yansıtma gücünde (albedo) 300 m; %18 yansıtma gücünde 134 m menzile sahiptir. Donanım yatayda 360°, düşeyde ise 270° alanda tarama yapabilmektedir. Diğer yandan çalışmada kullanılan Apple iPad Pro, düşük maliyetli (<1000-1500 USD) bir LiDAR tarayıcı sistemine sahip 12.9 inç ekranlı bir tablettir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan donanımlar; (üstte) Leica ScanStation C10, (altta) 12.9 inç Apple iPad Pro

214.9 mm × 280.6 mm × 6.4 mm (en × boy × kalınlık) boyutunda ve 682 gram ağırlığında olan iPad Pro tablete bulunan LiDAR sensörü, impuls (TOF) tekniğini kullanarak uzunluk ölçmektedir. iPad Pro LiDAR sensörünün maksimum ölçme mesafesi donanımın

teknik özelliklerinde 5 m olarak verilmektedir. Cihazla ilgili temel bilgiler üretici firmanın ilgili web sayfasında yer almaktadır (<https://www.apple.com/tr/ipad-pro/specs/>). Ancak tablet için verilen teknik özelliklerin yanında, içinde kullanılan LiDAR sensörüne ilişkin kısıtlı teknik bilgi paylaşılmıştır.

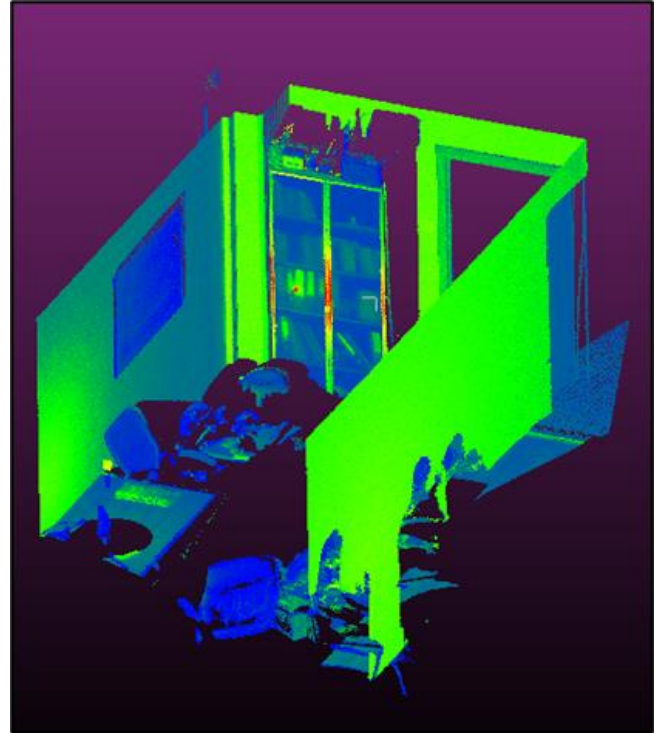
Uygulama alanı olarak seçilen $2.5\text{ m} \times 4.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ ($en \times boy \times yükseklik$) boyutlarına sahip çalışma ofisinin 3B modelinin elde edilmesi amacıyla, anılan her iki donanımla gün ışığında taramalar yapılmıştır. C10 ile yapılacak ölçme öncesinde tüm çalışma alanını kapsayacak şekilde bir istasyon noktası belirlenmiş ve tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tarama için seçilen çalışma ofisi küçük bir hacme sahip olduğu için C10 ile tek bir tarama ile gerekli detaylar elde edilebilmiştir. iPad Pro LiDAR sensörü ile tarama gerçekleştirilirken, zemin ve belirli bir yükseklikteki objelerin de detaylı bir şekilde taranabilmesi için oda içinde hareket edilerek ve objelere yaklaşık 1-1.5 metre yaklaşmak sureti ile bütün oda taranabilmiştir. iPad Pro LiDAR sensörü ile 3B tarama yapabilmek için, ölçme sırasında sensör verilerini işleyen bir yazılım kullanmak gerekmektedir. Bu amaç için, Apple uygulama mağazasında kullanıma sunulan birçok yazılım bulunmaktadır. Polycam, PIX4Dcatch, Scaniverse, SiteScape ve 3D Scanner App bu yazılımlara örnek olarak verilebilir. Burada sunulan çalışmada, yukarıda ismi verilen yazılımlardan, uluslararası literatürde en fazla tercih edilen ve kullanılan ikisi test edilmiştir. Bunlar, "SiteScape Inc." firmasına ait "SiteScape-LiDAR&3D Scanner" yazılımı ve "Laan Consulting Corp." firmasına ait "3D Scanner App" yazılımlarıdır. Çalışmada kullanılan bu iki yazılıma ait temel bazı bilgiler ve ölçmelerde kullanılan seçenekler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. iPad Pro LiDAR ile nokta bulutu oluşturmak için kullanılan yazılımlar ve ayarları

Yazılım	SiteScape 1.2.1	3D Scanner App 1.1.2
Firma	SiteScape Inc., ABD	Laan Labs, ABD
İnternet adresi	www.sitescape.ai	www.3dscannerapp.com
Tarama modu	maksimum detay	-
Nokta yoğunluğu	yüksek	5 mm
Nokta boyutu	düşük	-
Maks. derinlik	-	5 m
Nokta Bulutu Formatları	*.RCP, *.e57, *.PLY	*.XYZ, *.PLY, *.LAS, *.e57, *.PTS, *.PCD

İki farklı tarayıcıdan elde edilen üç farklı nokta bulutu verisinin değerlendirilmesinde açık kaynak kodlu CloudCompare yazılımı kullanılmıştır. Yazılımda, nokta bulutu içindeki objeler ayrı ayrı seçilmiş, istenilen yüzey ve ayrıtları detaylı bir şekilde ortaya çıkarılmış ve ayrıtlara ait mesafe ölçme işlemleri manuel olarak gerçekleştirilmiştir. CloudCompare yazılımında üretilen 3B nokta bulutları görselleri, C10 için Şekil 2'de, iPad Pro LiDAR için ise Şekil 3'de verilmiştir.

C10 profesyonel, iPad Pro LiDAR ise düşük maliyetli bir lazer tarayıcı olduğu için farklı yoğunlukta nokta bulutu üretmektedirler. Hatta iPad Pro LiDAR sensörünün ürettiği nokta bulutu tarama sırasında kullanılan yazılımın ayarlarına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, her iki donanım ile üretilen üç farklı nokta bulutunun koordinat sistemleri de birbirinden farklıdır. Nokta bulutlarının yoğunlukları ve koordinat sistemleri birbirinden farklı olduğu için, bu çalışmada, nokta bulutlarının birbirleri ile olan mutlak karşılaştırması yerine nokta bulutları içerisinde bulunan objelerin ayrıt uzunluklarının karşılaştırılması yapılmıştır. Böylelikle, iPad Pro LiDAR ve C10 tarayıcı performansları birbirleri ile karşılaştırılabilir. Çalışma alanı için elde edilen üç farklı nokta bulutunun doğruluğunu belirleyebilmek için, çalışma alanında yer alan keskin hatlara sahip, düzgün geometrik şekilli cisimlerin belirli ayrıtlarının uzunlukları bir çelik şerit metre (ÇŞM) ile milimetre inceliğinde ölçülmüş ve nokta bulutlarından manuel olarak ölçülerek elde edilen ayrıt uzunlukları ile karşılaştırılmıştır. Donanımların doğruluk analizinde kullanılacak referans mesafeler, farklı yüzeylerde, yatay ve düşey doğrultularda olacak şekilde seçilmiş olup, Şekil 4'de gösterilmiştir. ÇŞM ile ölçülüp referans değer olarak kabul edilen uzunluklar, C10 ve iPad Pro LiDAR tarayıcılarından elde edilen nokta bulutlarından türetilen uzunluklar ile birlikte Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Leica ScanStation C10 ile yapılan taramadan elde edilen 3B nokta bulutu



(a)



(b)

Şekil 3. iPad Pro LiDAR sensörü ile yapılan taramalardan elde edilen nokta bulutları (a) "SiteScape" yazılımı (b) "3D Scanner App" yazılımı



Şekil 4. Nokta bulutlarının doğruluk analizi için çelik şerit metre (ÇŞM) ile ölçülen ayrıtlar

Tablo 2. ÇŞM ile ölçülen referans ayrıtlar uzunlukları ve her bir nokta bulutundan elde edilen karşılıkları

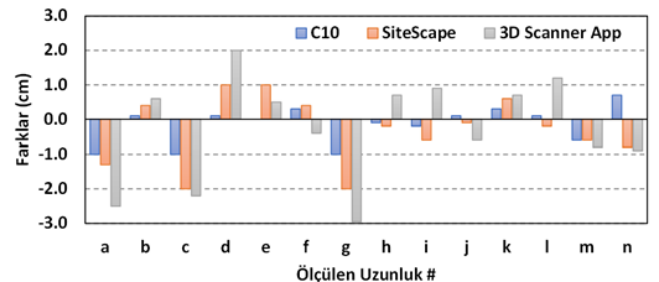
Ölçülen Uzunluk	Referans Uzunluk (ÇŞM) (m)	Leica C10 (m)	iPad Pro LiDAR (m)	
			SiteScape	3D Scanner App
a	1.068	1.078	1.081	1.093
b	0.745	0.744	0.741	0.739
c	0.600	0.610	0.620	0.622
d	0.100	0.099	0.090	0.080
e	0.800	0.800	0.790	0.795
f	0.796	0.793	0.792	0.800
g	1.830	1.840	1.850	1.860
h	0.081	0.082	0.083	0.074
i	0.081	0.083	0.087	0.072
j	0.112	0.111	0.113	0.118
k	0.225	0.222	0.219	0.218
l	2.000	1.999	2.002	1.988
m	2.075	2.081	2.081	2.083
n	0.910	0.903	0.918	0.919

Her bir nokta bulutundan elde edilen ayrıtlar ölçüleri ile referans ölçülerin karşılaştırılması sonucu elde edilen

farklar ve istatistikleri Tablo 3'de verilmiştir. Her bir ayrıtlar için elde edilen farklar aynı zamanda Şekil 5'te grafik olarak verilmiştir.

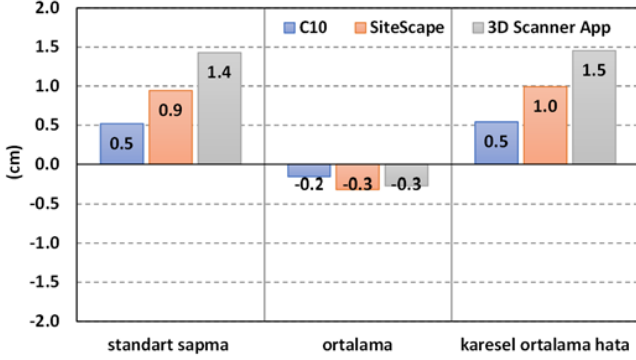
Tablo 3. Referans uzunluklara göre ayrıtlar uzunluk farkları ve farklara ait istatistik bilgiler

Ölçülen Uzunluk	Leica C10 (cm)	iPad Pro LiDAR (cm)	
		SiteScape	3D Scanner App
a	-1.0	-1.3	-2.5
b	0.1	0.4	0.6
c	-1.0	-2.0	-2.2
d	0.1	1.0	2.0
e	0.0	1.0	0.5
f	0.3	0.4	-0.4
g	-1.0	-2.0	-2.9
h	-0.1	-0.2	0.7
i	-0.2	-0.6	0.9
j	0.1	-0.1	-0.6
k	0.3	0.6	0.7
l	0.1	-0.2	1.2
m	-0.6	-0.6	-0.8
n	0.7	-0.8	-0.9
ort	-0.2	-0.3	-0.3
ss	0.5	0.9	1.4
koh	0.5	1.0	1.5



Şekil 5. Nokta bulutlarından elde edilen ayrıtlar uzunlukları ile referans uzunlukları (ÇŞM) arasındaki farklar

Her bir nokta bulutu için elde edilen farkların Tablo 3'te verilen ortalamaları (*ort*), standart sapma (*ss*) ve karesel ortalama hata (*koh*) değerleri grafik olarak ayrıca Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. 3B nokta bulutundan ölçülen ayrırt uzunluklarının bilinen uzunluklardan olan farklarına ilişkin istatistiksel değerler.

Üç farklı nokta bulutu için elde edilen *karesel ortalama hata (koh)* değerleri kullanılarak, ikili gruplar şeklinde *F* dağılımına göre varyans testi gerçekleştirilmiştir. Varyans testi için öncelikle *F*-test değerleri aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$F - test = \frac{koh_i^2}{koh_j^2}, (koh_i > koh_j) \quad (1)$$

Bağıntıda yer alan koh_i ve koh_j değerleri sırasıyla i ve j kümelerine ait *koh* değerleri olup, pay kısmına büyük *koh* değerinin konulması ile *F*-test değeri elde edilmektedir. *F* dağılımına göre gerçekleştirilecek varyans testi için, sıfır hipotezi (H_0) ve alternatif hipotez (H_a) aşağıdaki şekilde oluşturulmaktadır.

$$H_0 : koh_i^2 = koh_j^2 \quad (2)$$

$$H_a : koh_i^2 \neq koh_j^2 \quad (3)$$

Bu aşamadan sonra, kümelerin *koh* değerlerine ait *f* serbestlik dereceleri ve %5 anlamlılık düzeyi için *F* olasılık dağılım tablosundan bir "kritik değer" alınır. Eğer "test değeri", "kritik değeri" aşarsa, sıfır hipotezi reddedilir ve alternatif hipotez kabul edilir. Bu durumda her iki kümenin doğruluklarının birbirinden farklı olduğu ve j kümesinin i kümesine göre daha doğru olduğu kararına varılır. Aksine, yani "test değeri", "kritik değeri" aşmaz ise sıfır hipotezi kabul edilir ve bu durumda her iki kümenin de aynı doğrulukta olduğuna karar verilir.

Bu çalışmada, üç farklı nokta bulutu için ikili gruplar şeklinde gerçekleştirilen varyans testine göre, iPad Pro LiDAR sensöründen iki farklı yazılım ile üretilen nokta bulutlarının, istatistiksel olarak %95 olasılıkla aynı doğruluğa sahip olduğu, C10 ile üretilen nokta bulutunun ise %95 olasılıkla diğer iki nokta bulutundan farklı olarak daha yüksek doğruluğa sahip bir küme olduğu anlaşılmıştır.

3. Bulgular

Tablo 3 ve Şekil 5'de verilen farklar incelendiğinde, profesyonel bir tarayıcı olan Leica ScanStation C10 YLT ile yapılan ölçmelerden elde edilen ayrırt uzunlukları ile, mekânda çelik şerit metre ile milimetre inceliğinde ölçülen değerler arasında 0.2 cm ortalama ile en fazla 1 cm'lik fark elde edilmiştir. iPad Pro LiDAR ile yapılan ölçmelerden elde edilen sonuçlara bakıldığında ise, kullanılan SiteScape yazılımından 0.3 cm ortalama ile en fazla 2 cm'lik fark bulunmuştur. SiteScape yazılımı ile kısa mesafeden yapılan iPad Pro tarama sonucunda profesyonel tarayıcıyla oldukça yakın sonuçlar elde etmek mümkün olmuştur. Diğer yandan, 3D Scanner App yazılımı ile oluşturulan nokta bulutundan, SiteScape yazılımına göre daha büyük farklar elde edildiği görülmüştür. Bu yazılımdan elde edilen en büyük fark 2.9 cm'dir.

Genel olarak çalışmadan elde edilen ilk sonuçlar, taşınabilir mobil cihazlara entegre edilmiş LiDAR sensörlerin kapalı mekânlarda ümit verici bir performans sergilediğini göstermiştir. Bu çalışma ile, bu tip sensörlerin pek çok uygulamada düşük maliyeti, taşınabilirliği, hızı ve kolay kullanılabilirliği gibi özellikleriyle pahalı profesyonel tip tarayıcılara önemli bir alternatif olabileceği değerlendirilmiştir. Ancak sistemin pek çok avantajına karşın bazı eksiklikleri de bulunmaktadır. Bunlardan en öne çıkanı, tablette/telefonda bütünsel olarak bulunan LiDAR sensörlerinin genellikle kısıtlı bir tarama menziline sahip olmasıdır. Örneğin çalışmada kullanılan iPad Pro için maksimum ölçme uzaklığı 5 m olarak verilmektedir (Wang ve ark., 2021). Bir başka husus da tarama sonucu elde edilen nokta bulutlarının doğruluğunun tarama sırasında kullanılan yazılım ve yazılımda tercih edilen seçeneklere bağlı olmasıdır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, yüksek doğruluklu profesyonel seviyede tarama kabiliyetine sahip olan bir yersel lazer tarayıcı olan Leica ScanStation C10 ile oldukça yeni bir tarayıcı alternatifi olan iPad Pro LiDAR donanımının kapalı mekân ölçme performansları karşılaştırılmıştır.

Tablo 3 ve Şekil 5'de paylaşılan ölçü farkları ve Şekil 6'da verilen doğruluk ölçütleri incelendiğinde, C10 tarayıcısının gerçek değer olarak kabul edilen çelik şerit metre ölçmelerine en yakın sonuçları ürettiği ve milimetre-düzeyinde farklar elde edildiği gözlemlenmiştir. iPad Pro LiDAR sensörü ve SiteScape yazılımı ile elde edilen sonuçlar irdelendiğinde ise, birkaç istisna hariç 1 cm ve altında farklara ulaşmak mümkün olmuştur. Buna karşın kullanılan diğer yazılım olan 3D Scanner App'dan daha düşük bir doğruluk performansı elde edilmiştir. Zira bu yazılımdan 3 cm'ye varan farklara ulaşılmıştır. Genel olarak ifade edilecek olursa, iPad Pro LiDAR donanımı kullanılarak iki farklı yazılım ile cm doğrulukla nokta bulutlarının üretilebileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda, genel olarak iç mekânlarda 5 metreye kadar taramanın mümkün olabileceği, ancak 3 metre ve daha yakın mesafelerde iPad Pro LiDAR sensörünün daha iyi sonuçlar üretebilecek şekilde tarama yapabildiği gözlemlenmiştir. Bununla

birlikte, Apple iPad Pro LiDAR kullanımı sırasında ölçme mesafesinin artmasıyla daha çok gürültü içeren nokta bulutu verisi elde edildiği tecrübe edilmiştir. Çok fazla detaya sahip olan objelerin taranması sırasında ise, kullanılan yazılımın uygun tarama seçenekleriyle birlikte yaklaşık olarak 1 metre mesafeden ölçmelerin yapılması durumunda ancak daha kaliteli nokta bulutları elde edilebilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, hangi donanımla yapılırsa yapılsın lazer tarama yönteminin diğer klasik yersel ölçme teknikleriyle kıyaslanamayacak kadar hızlı ve detaylı bir şekilde muhtelif büyüklükteki objelerin üç boyutlu modellerinin üretilmesine imkân sağlayacağını göstermiştir. Buna ek olarak obje yoğunluğu fazla olan kapalı mekanlarda, klasik yersel ölçmelerle ölçülmesi oldukça güç, hatta imkânsız olan küçük ve karmaşık yüzeyli objelerin ister profesyonel, isterse taşınabilir iPad LiDAR türü donanımlarla yapılacak ölçmelerle yüksek çözünürlüklü 3 Boyutlu nokta bulutlarının kolaylıkla elde edilebileceği de görülmüştür. Hiç şüphesiz çalışmada kullanılan jeodezik yersel tarayıcı en yüksek doğruluğu sağlamakla birlikte, bu tür donanımların yüksek maliyeti ve uygulamadaki bazı kısıtları göze çarpmaktadır. Buna mukabil iPad Pro türü görece düşük maliyetli donanımların (<1000-1500 USD) pek çok yakın mesafe gerektiren küçük alan içindeki çalışmalarda gereksinim duyulan doğrulukları sağlayabileceği ve yersel sistemlere pek çok alanda önemli bir alternatif olabileceği değerlendirilmiştir. Hiç şüphesiz iPad Pro LiDAR donanımı ve uygun yazılımının hassas jeodezik uygulamaların tüm gereksinimlerini karşılamasa bile, başta yakın mesafe rölöve çalışmaları olmak üzere, küçük kapalı mekanlarda yapılacak pek çok uygulamada rahatlıkla tamamlayıcı ölçme sistemi olarak kullanılabilirliği görülmüştür. Örneğin, bu tür bir donanım ile küçük ve orta ölçekli yapı projelerinde yersel lazer nokta bulutu verisinin eksik olduğu durumlarda boşlukları doldurmak veya birden fazla gün boyunca daha yoğun taramaları yapmak yerine, işin birçok alt parçaya ayrılarak hızlandırılması sağlanabilecektir. Genel olarak ifade edilecek olursa, bu tür donanımların -şimdiki haliyle- profesyonel YLT donanım kullanımının yerini alması söz konusu olmasa da, Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), ormancılık, yer bilimleri, jeoloji, kültürel varlıkların belgelenmesi, büyük ölçekli 3B hızlı harita üretme gibi ölçme uygulamalarında ciddi bir alternatif haline gelmesi beklenmektedir. Gelecekte, sensör teknolojisinde gerçekleşecek yeniliklere bağlı olarak, akıllı telefon ve tabletlerde kullanılan LiDAR sensörlerin teknik özelliklerinin gelişeceği ve bu donanımlarla daha uzak mesafelerde ölçme yapılabilirliği beklenmektedir.

Çalışmanın sonraki aşamasında, elde edilecek doğruluğun, tarama mesafesine, dış mekân kullanımına, ışık durumuna, tarama hızına (yürüme hızına) ve yazılım tarama seçeneklerine bağlı olarak ne ölçüde etkileneceğinin araştırılması planlanmaktadır.

Bilgilendirme

Bu çalışma, ilk sonuçları 11. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Teknik Sempozyumunda (12-14 Mayıs 2022-Mersin) aynı

yazarlar tarafından sunulan özet bildirinin genişletilmiş halidir (Kuçak ve ark., 2022).

Teşekkür

Çalışmanın veri toplama aşamasında kullanılan donanım desteğinden dolayı İTÜ Geomatik Mühendisliği Bölümü Alet Laboratuvarına ve Z. Sude Alkan'a teşekkür ederiz.

Yazarların katkı oranı

Ramazan Alper Kuçak: Literatür taraması, Veri toplama, Veri işleme, Araştırma, Makale yazma, Analiz ve yorum. **Serdar Erol:** Fikir, Tasarım ve dizayn, Denetim ve danışmanlık, Veri işleme, Makale yazma ve düzenleme, Analiz ve yorum, Eleştirel inceleme. **Reha Metin Alkan:** Fikir, Tasarım ve dizayn, Veri toplama, Denetim ve danışmanlık, Makale yazma ve düzenleme, Analiz ve yorum, Eleştirel inceleme

Çatışma beyanı

Çalışma ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Bobrowski, R., Winczek, M., Zięba-Kulawik, K., & Weżyk, P. (2022). Best Practices to Use the iPad Pro LiDAR for Some Procedures of Data Acquisition in the Urban Forest. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4030573>
- Çakir, G. Y., Post, C. J., Mikhailova, E. A., & Schlautman, M. A. (2021). 3D LiDAR Scanning of Urban Forest Structure Using a Consumer Tablet. *Urban Science*, 5(4):88. <https://doi.org/10.3390/urbansci5040088>.
- Desai, J., Liu, J., Hainje, R., Oleksy, R., Habib, A., & Bullock, D. (2021). Assessing Vehicle Profiling Accuracy of Handheld LiDAR Compared to Terrestrial Laser Scanning for Crash Scene Reconstruction. *Sensors*, 21(23):8076. <https://doi.org/10.3390/s21238076>
- Gollob, C., Ritter, T., Kraßnitzer, R., Tockner, A., & Nothdurft, A. (2021). Measurement of Forest Inventory Parameters with Apple iPad Pro and Integrated LiDAR Technology. *Remote Sensing*, 13(16):3129. <https://doi.org/10.3390/rs13163129>.
- Kuçak, R. A., Erol, S., & İşiler, M. (2020). Comparative Accuracy Analysis of LiDAR Systems. *Turkish Journal of LIDAR*, 2(2), 34-40.
- Kuçak, R. A., Erol, S., & Alkan, R. M. (2022). iPad Pro LiDAR Sensörünün Kapalı Mekân Ölçmelerindeki Performans Analizi. 11. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Teknik Sempozyumu, 12-14 Mayıs 2022, Mersin, Türkiye.
- Luetzenburg, G., Kroon, A., & Bjørk, A. A. (2021). Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an Application in Geosciences. *Scientific Reports*, 11(1):22221. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01763-9>.
- McGlade, J., Wallace, L., Reinke, K., & Jones, S. (2022). The Potential of Low-Cost 3D Imaging Technologies for

- Forestry Applications: Setting a Research Agenda for Low-Cost Remote Sensing Inventory Tasks. *Forests*, 13(2):204. <https://doi.org/10.3390/f13020204>
- Mehendale, N., & Neoge, S. (2020). Review on LiDAR Technology. <http://doi.org/10.2139/ssrn.3604309>.
- Mokroš, M., Mikita, T., Singh, A., Tomaščík, J., Chudá, J., Weżyk, P., Kuželka, K., Surový, P., Klimánek, M., Zięba-Kulawik, K., Bobrowski, R., & Liang, X. (2021). Novel Low-cost Mobile Mapping Systems for Forest Inventories as Terrestrial Laser Scanning Alternatives. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 104:102512. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102512>
- Murtiyoso, A., Grussenmeyer, P., Landes, T., & Macher, H. (2021). First Assessments into the Use of Commercial-Grade Solid State LiDAR for Low Cost Heritage Documentation. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLIII-B2-2021 XXIV ISPRS Congress, 599-604. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-599-2021>
- Özdemir, S., Akbulut, Z., Karslı, F., & Acar, H. (2021). Automatic extraction of trees by using multiple return properties of the lidar point cloud. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(1), 20-26. <https://doi.org/10.26833/ijeg.668352>.
- Özendi, M. (2022). Kültür varlıklarının yersel lazer tarama yöntemi ile dijital dokümantasyonu: Zonguldak Uzun Mehmet Anıtı örneği. *Geomatik*, 7(2), 139-148. <https://doi.org/10.29128/geomatik.917528>.
- Plaß, B., Emrich, J., Götz, S., Kernstock, D., Luther, C., & Klauer, T. (2021). Evaluation of Point Cloud Data Acquisition Techniques for Scan-to-BIM Workflows in Healthcare. *FIG e-Working Week 2021*, Netherlands, 21-25 June 2021.
- Sanchez Diaz, B., Mata-zayas, E. E., Gama-campillo, L. M., Rincon-ramirez, J. A., Vidal-garcia, F., Rullan-silva, C. D., & Sanchez-gutierrez, F. (2022). LiDAR modeling to determine the height of shade canopy tree in cocoa agrosystems as available habitat for wildlife. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 283-293. <https://doi.org/10.26833/ijeg.978990>.
- Spreafico, A., Chiabrando, F., Teppati Losè, L., & Giulio Tonolo, F. (2021). The iPad Pro Built-in LiDAR Sensor: 3D Rapid Mapping Tests and Quality Assessment. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B1-2021, 63-69. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2021-63-2021>
- Tavani, S., Billi, A., Corradetti, A., Mercuri, M., Bosman, A., Cuffaro, M., Seers, T., & Carminati, E. (2022). Smartphone Assisted Fieldwork: Towards the Digital Transition of Geoscience Fieldwork Using LiDAR-equipped iPhones. *Earth-Science Reviews*, 227:103969. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.103969>
- Vogt, M., Rips, A., & Emmelmann, C. (2021). Comparison of iPad Pro's LiDAR and TrueDepth Capabilities with an Industrial 3D Scanning Solution. *Technologies*, 9(2):25.
- Vatandaşlar, C., Zeybek, M., Çankaya, E. Ç., Demiraslan, T., Şahin, C., Gündüz, Y., Korkmaz, Ü., & Avcı, M. L. (2022). El tipi mobil LiDAR teknolojisinin orman envanterlerinde kullanımı: Artvin-Şavşat örneği. *Ormançılık Araştırma Dergisi*, 9 (1), 81-96.
- Wang, X., Singh, A., Pervysheva, Y., Lamatungga, K. E., Murtinová, V., Mukarram, M., Zhu, Q., Song, K., Surový, P., & Mokroš, M. (2021). Evaluation of iPad Pro 2020 LiDAR for Estimating Tree Diameters in Urban Forest. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, VIII-4/W1-2021, 105-110. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VIII-4-W1-2021-105-2021>
- Yakar, İ., Çelik, M. Ö., Hamal, S. N. G., & Bilgi, S. (2021). Kültürel Mirasın Dokümantasyonu Çalışmalarında Farklı Yazılımların Karşılaştırılması: Dikilitaş (Theodosius Obeliski) Örneği. *Geomatik*, 6(3), 217-226. <https://doi.org/10.29128/geomatik.761475>.
- Yılmaz, H. M., & Yakar, M. (2006). LiDAR (Light Detection And Ranging) Tarama Sistemi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 23-33.
- Zeybek, M. (2019). El-tipi LiDAR ölçme sistemleri ve 3B veri işleme. *Türkiye LiDAR Dergisi*, 1(1), 10-15.



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



Frekans oranı yöntemiyle coğrafi bilgi sistemi ortamında heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi: Manisa, Demirci, Tekeler Köyü örneği

Osman Salih Yılmaz*¹ 

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Demirci Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama, Manisa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Coğrafi Bilgi Sistemi
Google Earth Engine
Frekans Oranı
Heyelan
Tekeler köyü

Araştırma Makalesi

Geliş:25.04.2022
Revize: 22.05.2022
Kabul:02.06.2022
Yayınlanma:10.08.2022



Öz

Bu çalışmada 2009 yılında meydana gelen ve afet bölgesi olarak ilan edilen Manisa ili, Demirci ilçesi sınırlarında bulunan Tekeler köyünün heyelan duyarlılık haritası coğrafi bilgi sistemi tabanlı frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Heyelan duyarlılık analizinde yağış, eğim, baki, yükseklik, akarsuya uzaklık, yola uzaklık, arazi kullanımı, litoloji, eğrisellik, topografik nemlilik indeksi, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi koşullandırma faktörleri olarak seçilmiştir. Heyelan olan bölgeden Google Earth görüntüleri kullanılarak örnek rastgele noktalar belirlenmiş, belirlenen noktalar %70'i eğitim %30'u test için iki sınıfa bölünmüştür. Üretilen heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar içerisinde kalan alanlar sırasıyla tüm alanın %11,36, %39,61, %34,32, %12,89 ve %1,81'ini kapladığı görülmüştür. Heyelan duyarlılık haritasının doğruluğu alıcı işletim karakteristiği eğrisi altında kalan alan dikkate alınarak hesaplanmıştır. AUC değeri başarı oranı %95,14 ve tahmin oranı %94,11 olarak bulunmuştur. Bu çalışma ile frekans oranı yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının başarılı bir şekilde üretilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca bulunan sonuç haritanın olası muhtemel heyelanlar için bir öngörü niteliğinde olduğu, afet yönetim ve planlama çalışmalarına entegre edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Production of landslide susceptibility maps in geographic information system by frequency ratio method: Example of Demirci Tekeler Village, Demirci, Manisa

Keywords

Geographic Information System
Google Earth Engine
Frequency Ratio
Landslide
Tekeler village

Research Article

Received:25.04.2022
Revised:22.05.2022
Accepted:02.06.2022
Published:10.08.2022

Abstract

In this study, the landslide susceptibility map of Tekeler village, located in the borders of Demirci district of Manisa province, which occurred in 2009 and was declared as a disaster area, was produced using geographic information systems-based frequency ratio method. In landslide susceptibility analysis, precipitation, slope, aspect, height, distance to stream, distance to road, land use, lithology, curvature, topographic wetness index, normalized difference vegetation index conditioning was selected as factors. Sample random points were determined using Google Earth images from the landslide area, and the determined points were divided into two classes, 70% for training and 30% for testing. As a result, the landslide susceptibility map is divided into five classes: very low, low, medium, high, and very high. It was observed that the areas within these classes covered 11.36%, 39.61%, 34.32%, 12.89%, and 1.81% of the entire area, respectively. The accuracy of the landslide susceptibility map is calculated by considering the area under the receiver operating characteristic curve. AUC value success rate was calculated as 95.14% and prediction rate as 94.11%. With this study, it has been shown that landslide susceptibility maps can be produced successfully with the frequency ratio method. In addition, it was concluded that the resulting map is a prediction for possible landslides and can be integrated into disaster management and planning studies.

1. Giriş

Afetler toplumun yaşadığı çevrede maddi ve manevi kayıplara yol açan ani gelişen bir takım doğa ve insan faktörlü olaylardır (Berna ve ark., 2021). Özellikle iklim değişikliğine bağlı olarak son yıllarda oldukça artan taşkın ve heyelan olayları insanların mal ve can güvenliğini tehlikeye atmaktadır (Tacconi Stefanelli ve ark., 2020; Al Kalbani & Rahman 2022; Oğuz ve ark. 2022). Heyelanlar hem doğal hem de yapay çevreye önemli zararlar veren, ekonomik ve can kayıplarına neden olan en büyük yıkıcı doğal afetler arasındadır (Abeyisiriwardana ve Gomes, 2022; Alptekin ve Yakar, 2020). Heyelan doğal ya da insan faktörlü zaman içerisinde meydana gelen toprak, dolgu ve moloz gibi unsurların yamaçlardan aşağı yönlü hareketi olarak tanımlanır (Koç ve Küçükönder, 2021). İnsan kaynaklı olabildiği gibi arazi kullanımı, yağış, vejetasyon ve sismik etkinin de bir arada değerlendirildiği aşağı yönlü kütle hareketidir (Thao ve ark., 2021; Gao ve Ding, 2022). Buldukları çevreye zarar vermesi nedeniyle, oluşabilecek zararların azaltılması ve arazi üzerindeki yapılacak her türlü aktivitenin planlanması açısından heyelan bölgelerinin belirlenmesi önemlidir (Aydınoglu ve Altürk, 2021). Bir alanda heyelan meydana gelme riskinin belirlenmesi heyelan duyarlılığı olarak ifade edilir (Günini Üzel ve Ötürk, 2021). Heyelan duyarlılık haritaları alt yapı ve üst yapı yatırım planlamalarının daha sağlıklı yapılması için karar vericiler ve kamu kuruluşlarına kritik bilgiler sağlayan, heyelan olmaya duyarlı alanların mekânsal dağılımını göstermesi açısından önemlidir (Kim ve ark., 2018). Ayrıca üretilen haritalar acil durum yönetimi prosedürlerinde temel bir unsur olarak kabul edilir (Kavzoglu ve Teke, 2022).

Heyelan oluşumu, litoloji, vejetasyon, sismik hareketler, eğim, yağış gibi birden fazla kriterle bağlıdır (Hepdeniz ve Soyaslan, 2018). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi bu kriterlerin bir arada değerlendirmesini gerektirir. Bu açıdan coğrafi bilgi sistemi (CBS) araçları güçlü mekânsal karar verme yetenekleri sayesinde heyelan duyarlılık analizlerinde oldukça fazla tercih edilmektedir (Kılıçoğlu, 2020). Aynı zamanda doğal afetlerde uzaktan algılama (UA) tekniklerinin kullanımı karar verme süreçlerinde CBS'ye girdi sağlamada oldukça etkili bir araçtır (Jeyaseelan, 2003; Yılmaz ve ark., 2018). Bu kapsamda Google Earth Engine (GEE) gibi bulut platformlarının gelişimi UA tekniklerinde petabayt ölçeğinde büyük verileri işlemede kullanıcıları depolama alanları ve pahalı yazılım zorluklarından kurtarmıştır (Ghasempour ve ark., 2021; Huang ve ark., 2018; Liang ve ark., 2020; Patel ve ark., 2015; Zhou ve ark., 2020). GEE akademik amaçla kullanılan, kâr amacı gütmeyen, kullanıcılar için coğrafi veri kümelerinin bilimsel analizi ve görselleştirilmesi için geliştirilmiş bir platformdur. GEE Landsat, Sentinel ve MODIS gibi birçok ücretsiz uydu platformuna eş zamanlı erişebilmenin yanında kendisi ile bütünsel çalışarak destek vektör makineleri (DVM), rastgele orman (RO), karar ağaçları gibi birçok algoritma ve kendine özgü kod kütüphanesi bulunmaktadır.

Heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için CBS tabanlı hem görsel hem de istatistiksel yaklaşımlarla birleştiren çeşitli modeller geliştirilmiştir (Sahana ve

Patel, 2019). Heyelan ve diğer birçok karar verme sürecinde frekans oranı (FO) (Melese ve ark., 2022; Thanh ve ark., 2020; Thapa ve Bhandari, 2019), lojistik regresyon (LR) (Abeyisiriwardana ve Gomes, 2022; Aditian ve ark., 2018; Mandal ve Mandal, 2018) ve çoklu kriterli karar verme tekniklerinden biri olan analitik hiyerarşi prosesi (AHP) (Aghlmand ve ark., 2020; Melese ve ark., 2022; Özşahin, 2015; Semlali ve ark., 2019; Sarı & Koyuncu 2021) literatürde en çok tercih edilen ve kabul gören yöntemler arasındadır. FO modeli, iki değişkenli istatistiksel analiz gerçekleştirebilen ve her koşullandırma faktörü için heyelan alanları ve kriterler arasındaki korelasyonu değerlendirebilen bir yöntemdir (Shafapour Tehrani ve ark., 2019; Siahkamari ve ark., 2018; Ullah ve Zhang, 2020). FO modelinde girdi verilerinin yönetimi, hesaplama ve çıktı süreçleri diğer yöntemlere göre daha kolaydır (Hang ve ark., 2021; Mersha ve Meten, 2020). Bu özelliklerinden dolayı FO yöntemi heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde oldukça fazla tercih edilmektedir (Trinh ve ark., 2022) ve uzman değerlendirmesinden bağımsız bir yöntem olduğundan sonuçları daha güvenilirdir (Thanh ve ark., 2020).

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. Avcı (2016) yaptığı çalışmada Bingöl Havzası'nın güneybatısında Murat Nehri'nin yan kollarından olan Gökdere Havzası ve çevresinin heyelan duyarlılık haritalarını FO metodu kullanarak üretmiştir. Oluşturulan heyelan duyarlılık haritasında yerleşim yerlerinin tamamı, tarım alanları ve kara yolları orta ve yüksek riskli alanlar olarak belirlenmiştir. Şahin (2018) yaptığı çalışmada heyelan için etkili faktörler içerisinde optimum faktör modelinin tespiti için farklı yöntemler kullanarak heyelan duyarlılık haritasını üretmiştir. Heyelan duyarlılık haritasını üretmek için adimsal regresyon (AR) yöntemi önermiştir. Ayrıca LR ve RO makine öğrenme yöntemlerini de heyelan duyarlılık haritalandırmasında kullanmıştır. Nohani ve ark. (2019) İran'ın kuzey kesiminde heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için FO, Shannon entropi (SE), kanıt ağırlıkları (weights of evidence, WoE), kanıtsal güven fonksiyonu (evidential belief function, EBF) yöntemlerini kullanmıştır. Yöntemlerin alıcı işletim karakteristiği (receiver operating characteristic, ROC) eğri altında kalan alan (curve and the area under the curve, AUC) değerleri WoE, FO, SE ve EBF için sırasıyla 0,84, 0,83, 0,82 ve 0,79 hesaplanmıştır. Pal ve Chowdhuri (2019) Himalaya'da Teesta Nehri'nin ana kolu olan Lachung Nehrinde heyelan duyarlılık haritasını üretmek için FO metodu kullanmıştır. Yapılan çalışmada koşullandırma faktörü olarak eğim, yükseklik, bakı, profil eğriliği, arazi kullanımı, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (normalized difference vegetation index, NDVI), drenaj yoğunluğu, yol yoğunluğu, jeoloji ve yağış verileri kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık haritası çok yüksek (%0,591), yüksek (%1,867), orta (%5,172), düşük (%25,685) ve çok düşük (%29,816) olarak sınıflandırılmış ve alan oranları hesaplanmıştır. Sonuç haritanın AUC tahmin oranı %88,9 ve başarı oranı %92,3 hesaplanmıştır. Thapa ve Bhandari (2019) Nepal'de heyelan duyarlılık haritasını üretmek için UA ve CBS yöntemlerini bir arada kullanmıştır. Çalışmada FO

metodu kullanılmış ve AUC başarı oranını %72,6 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre FO metodunun heyelan duyarlılık haritalarını belirlemede başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. [Dang ve ark. \(2020\)](#) bir rastgele orman makine (random forest machine, RFM) modeli önermiştir. Bu model RO ve DVM hibrit kullanımından oluşmaktadır. RFM yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritalarının başarısı F1 testinde 0,96 olarak hesaplanmıştır. [Mersha ve Meten \(2020\)](#) Etiyopya’da heyelana neden olan faktörleri değerlendirmek ve heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için FO ve WoE metodlarını kullanmışlardır. 576 adet aktif ve pasif heyelanlar, saha çalışması ve Google Earth görüntüleri ile hazırlanmış ve elde edilen veri seti %80 eğitim %20 test amaçlı kullanılmıştır. Bakı, eğim, eğrisellik, litoloji, arazi kullanımı, yağış ve akarsuya uzaklık dahil olmak üzere yedi koşullandırma faktörü dikkate alınmıştır. Elde edilen harita çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş heyelan duyarlılık bölgesine ayrılmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının doğruluğu AUC metoduna göre hesaplanmış FO ve WoE modellerinin tahmin oranı sırasıyla %88,2 ve %84,8 olarak hesaplanmıştır. [Koç ve Küçükönder \(2021\)](#) Kahramanmaraş’ta heyelan duyarlılığını CBS matris modeli kullanarak üretmişlerdir. Yapılan analiz sonucu 265 km²’lik havzanın %4,5’inin heyelan açısından riskli olduğu belirlenmiştir. [Hang ve ark. \(2021\)](#) heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için CBS tabanlı FO metodunu kullanmıştır. Üretilen harita çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek sınıflara ayrılmıştır. Modelin doğruluğu sonucu AUC değeri 0,738 olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, Manisa ili Demirci ilçesi sınırları içerisinde bulunan ve bakanlar kurulu kararı ile afet bölgesi olarak ilan edilen Tekeler köyünde 2009 yılında gerçekleşen heyelan incelenmiştir. Bu bölgede daha önce mekânsal analiz yöntemleri kullanılarak bir heyelan analiz çalışması yapılmamıştır. Bu kapsamda CBS ve UA tekniklerine dayalı FO metodu kullanarak Tekeler köyü

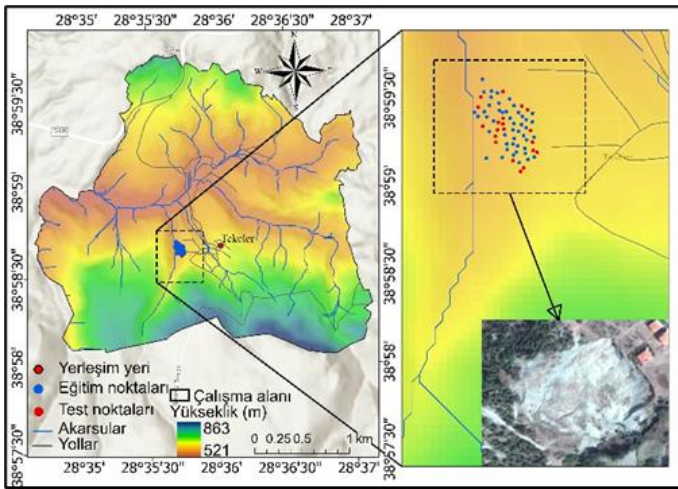
sınırları içerisindeki heyelan açısından riskli alanların tümü belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan sayısal yükseklik modeli (SYM) 12,5 m yersel çözünürlüklü ALOS PALSAR verisidir. Uydu görüntülerinin sınıflandırılması GEE platformunda geliştirilen kodlar ile yapılmıştır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde yağış, eğim, bakı, yükseklik, akarsuya uzaklık, yola uzaklık, arazi kullanımı, litoloji, eğrisellik, topografik nemlilik indeksi (topographic wetness index, TWI), NDVI koşullandırma faktörleri göz önünde bulundurulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde çalışma alanı tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde yöntem başlığı altında kullanılan koşullandırma faktörleri, bu faktörleri oluşturmak için kullanılan veri kaynakları ve kullanılan metod açıklanmıştır. Dördüncü bölümde bulgular açıklanarak tartışılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar verilmiştir.

2. Çalışma Bölgesi

Tekeler köyü Manisa ili Demirci ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Köyün yüzölçümü yaklaşık olarak 7,75 km² olup Demirci İlçesine yaklaşık 12 km Manisa merkeze ise 170 km mesafededir ([Şekil 1](#)). Köyün yaklaşık olarak deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 580 m dir. Bölgede yıllık ortalama sıcaklık 12°C civarında olup Akdeniz ve karasal iklim hakimdir. Bölgenin belirli bir kesimi çam ormanları, tarım arazileri ve boş arazilerden oluşmaktadır.

Tekeler köyünde 2009 yılında gerçekleşen heyelanda yaklaşık 100 m uzunluğunda, 30 m genişliğinde ve 20 m yüksekliğinde bir kütlelerin dereye doğru kaydığı 12.10.2009 afet jeolojik etüt raporunda belirtilmiştir ([Şekil 2](#)). Heyelan bölgesinin yaklaşık 5 m-10 m mesafedeki konutlara kadar yaklaştığı belirlenmiştir. Teknik incelemeler sonucu aynada oluşan çatlakların, heyelanın geriye doğru ilerlemesine neden olacağı yönündedir.



Şekil 1. Çalışma alanını gösteren harita



Şekil 2. Heyelan bölgesindeki kayma

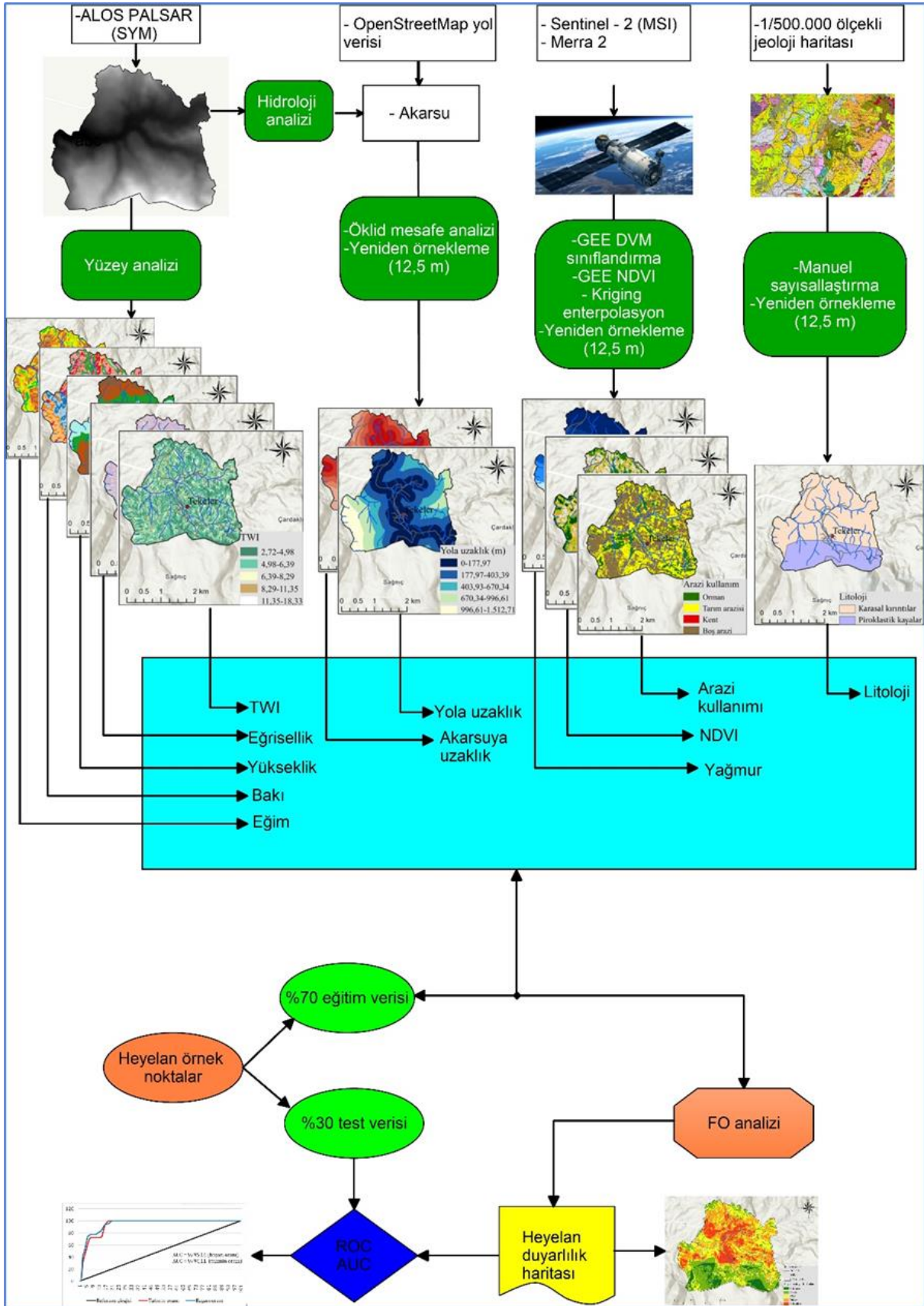
3. Yöntem

Bu çalışmada ilk olarak heyelan olan bölge Google Earth görüntüleri üzerinden belirlenerek rastgele 67 adet nokta belirlenmiştir. Belirlenen bu noktaların %70

eğitim, %30'u ise test verisi olarak ikiye ayrılmıştır. İkinci adımda ise Tekeler köyünde heyelan duyarlılık haritası için FO metodunda kullanılacak koşullandırma faktörleri belirlenmiştir. Koşullandırma faktörleri raster haritaların sayısallaştırılması, OpenStreetMap

verilerinin kullanılması, optik uydu görüntülerinden sınıflandırma, meteorolojik uydu verilerinden enterpolasyon ve ALOS PALSAR 12,5 m SYM verilerinden çeşitli hidrolojik ve yüzey analizleri ile üretilmiştir. Bu

çalışmada sırasıyla yağış, eğim, baki, yükseklik, nehre uzaklık, yola uzaklık, arazi kullanım, litoloji, TWI, NDVI koşullandırma faktörleri olarak seçilmiştir. Çalışma ya ait iş akışı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil.3 İş akı diyagramı

3.1. Koşullandırma Faktörleri

3.1.1. Yağış

Heyelan oluşumunu tetikleyen en önemli faktörlerden birisi yağıştır. Özellikle sık ve kısa süreli yağışlar heyelan oluşumunda artırıcı bir etkiye sahiptir (Mallick ve ark., 2021). Sızan yağmur suları boşlukları doldurarak pozitif bir basınç geliştirip şevin direncini kırarak yenilmesini sağlar ve heyelan olayı gerçekleşir (Rana ve Babu, 2022). Bu çalışmada bölgeyle ilişkin yağmur verileri Araştırma ve Uygulamalar için Modern Çağ Retrospektif Analizi (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, MERRA-2) uydusunun sağladığı meteorolojik veriler kullanılmıştır. Bölgenin tamamına kapsayacak şekilde toplam 21 sanal istasyon belirlenmiş ve bu istasyona düşen son 15 yılın günlük yağış verileri elde edilmiştir. Elde edilen günlük yağış verilerinden 15 yılın yıllık yağış miktarları hesaplanmış ve daha sonra ortalama alınarak belirlenen her istasyon için ortalama yağış verisi elde edilmiştir. ArcGIS yazılımı kullanılarak kriging enterpolsayon metoduyla yağış haritası üretilmiş ve 12,5 m olarak yeniden örneklenmiştir. Üretilen yağış haritası doğal kırılma (natural breaks (Jenks), NB) algoritması kullanılarak beş farklı kategoride sınıflandırılmıştır (Şekil 4a). NB optimizasyon yöntemi, veri değerlerinde doğal kırılmaları kullanarak koşullandırma faktörlerini sınıflandırır (Gong ve ark., 2021).

3.1.2. Eğim

Arazi eğimindeki değişimler heyelan oluşumunda dikkate alınması gereken önemli bir diğer kriterdir. Genel olarak eğim açısı zemindeki şev stabilitesi ve gerilme dağılımları ile ilişkilidir (Chen ve Zhang, 2021). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında eğimin derecesi her zaman etkileyici bir faktör olarak kullanılmaktadır (Maqsoom ve ark., 2021). Bu çalışmada eğim haritası ALOS PALSAR SYM verisi üzerinden ArcGIS yüzey analizleri ile üretilmiştir (ALOS PALSAR SYM verisi yüzey analizlerinin tümünde kullanılmıştır). Üretilen harita beş farklı eğim sınıfına ayrılmıştır (Şekil 4b).

3.1.3. Bakı

Oluşan heyelanların çoğunu belli bir yönelime sahip yamaçlarda meydana gelmektedir. Farklı yönlerde güneş ışığına ve çeşitli iklimsel etkilere maruz kalan alanlar yüzeydeki morfolojik yapıyı etkilemekte ve heyelan oluşumunu tetiklemektedir. Özellikle yoğun yağış alan yamaçlar zeminin bitki örtüsü, eğim, geçirimsizlik gibi zemin türlerinde hâkim bakıdaki yamaçlarda diğer bakılara göre boşluk suyu basıncı artmasına sebep olur (Akıncı ve ark., 2015). Bu çalışmada yönler sekiz farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4c).

3.1.4. Yükseklik

Arazi yüksekliği arazinin yerçekimi potansiyel enerjisini, jeolojik ve jeomorfolojik süreçleri belirleyen kilit bir faktör olarak ilgili çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Yi ve ark., 2019). Arazinin SYM

verisinden elde edilen yükseklik haritası NB algoritması kullanılarak beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4d).

3.1.5. Akarsuya ve yola uzaklık

Akarsuların vadilerden geçtikleri şevleri zamanla aşındırma etkisi heyelan oluşumunda önemli bir faktör olarak değerlendirilir. Bu çalışmada akarsu kolları CBS hidrolojik analiz ile SYM verisi kullanılarak üretilmiş ve 12,5 m yeniden örneklenmiştir. Üretilen akarsu kolları öklid mesafe analizi ile tüm çalışma sahasını kapsayacak şekilde beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4e). Benzer şekilde heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde bölgede bulunan hâkim yollar arazinin stabilitesi açısından önemli bir antropojenik özelliktedir (Senouci ve ark., 2021). Çalışma alanına ait yollar OpenStreetMap'ten vektör veri formatında indirilerek çalışmaya dahil edilmiştir. Yol ağındaki mesafe analizinde akarsuya uzaklıkta olduğu gibi öklid mesafe analizi kullanılarak raster formatında harita üretilmiş ve 12,5 m yeniden örneklenmiştir. Üretilen harita beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4f).

3.1.6. Arazi kullanımı

Arazi kullanımındaki değişiklikler özellikle tarım ve orman arazilerinin kent alanlarına dönüştürülmesi veya orman arazilerinin tarım arazilerine dönüştürülmesi, arazi üzerinde yapılan çeşitli mühendislik ve altyapı uygulamaları gibi aktiviteler zamanla toprak stabilitesini değiştirmektedir (El Jazouli ve ark., 2019). Çalışma bölgesine ait arazi kullanım haritası Sentinel-2 görüntüleri üzerinden piksel tabanlı sınıflandırma yapılarak üretilmiştir. Sınıflandırma çalışması GEE platformunda JavaScript kodlama dili kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla arazi kullanım formu ormanlar, köy yerleşim alanları, tarım arazileri ve boş alanlar olmak üzere dört farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4g). Sınıflandırma amaçlı son yıllarda oldukça fazla tercih edilen güçlü bir makine öğrenme algoritması olan DVM kullanılmıştır. DVM temel olarak, sınıfların en yakın noktalar arasındaki boşlukları (margin) maksimize etmeyi amaçlayan bir öğrenme algoritmasıdır (Cortes ve Vapnik, 1995). Sentinel-2 görüntüleri 10m mekânsal çözünürlüğe sahip görüntülerdir. Sınıflandırma sonucu elde edilen 10mx10m görüntüler diğer yüzey analizleri ile uyum sağlaması için 12,5x12,5 m yeniden örneklenmiştir.

3.1.7. Litoloji

Her malzeme sınıfı farklı kayma mukavemeti ve geçirgenlik özelliklerine sahip olması nedeniyle şev stabilitesinde en kontrol edici parametrelerden birisidir (Yalcin ve Bulut, 2007). Farklı kayaçlar şev malzemesinin mukavemetine olumlu ya da olumsuz bir şekilde katkıda bulunan çeşitli bileşimlere ve yapılarla sahiptir (Mersha ve Meten, 2020). 1/500.000 ölçeğinde jeoloji haritaları Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü'nün sitesinden ücretsiz olarak kullanıcılara servis edilmektedir. Çalışma alanına ait Jeoloji haritası 1/500.000 ölçeğinde indirilip manuel olarak vektör veri formatına (sayısallaştırma) dönüştürülmüştür. Çalışma alanı karasal kırıntılar ve

piroklastik kayaç birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 4h). 1/500.000 ölçekli harita daha genel kayaç türlerini göstermektedir. Bu çalışmada genel ayrıntıyı göstermekte olup çalışmanın amacına uygundur.

3.1.8. Eğrisellik

Eğim açısı veya bakı değişim oranı olarak tanımlanan eğrilik düzlemi içbükey, düz ve dışbükey olarak üç farklı sınıfta kategorize edilir. Piksellerin aldığı pozitif değerler arazinin dışbükey, sıfır değerleri düz ve negatif değerler ise arazinin içbükey olduğu anlamına gelir. Bu arazi formlarının suyun akışı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Dışbükey alanlar su akışı eşit olarak dağıtıp sonucu etkilemez fakat bunun aksine içbükey alanlar suyun en alt kısımda birikmesine neden olur ve heyelan oluşumunu tetikler (Senouci ve ark., 2021). Bu çalışmada SYM verisi üzerinden CBS ortamında yüzey analiz uygulanarak eğrisellik haritası üretilmiştir. Üretilen harita içbükey, düz ve dışbükey olmak üzere üç farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4i).

3.1.9. Topografik nemlilik indeksi

Moore ve ark. (1991) yer altı suyu potansiyelini belirlemek için TWI önermişlerdir. TWI aynı zamanda toprağın nemlilik durumunu da temsil eder. Toprak nemi boşluk suyu basıncına neden olur ve özellikle şev kırılmasını kontrol eden toprak direncini düşürür (Alqadhi ve ark., 2022). Bu nedenden dolayı heyelan çalışmalarında önemli bir kriter olarak kullanılır. TWI aşağıdaki Eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$TWI = \ln\left(\frac{\alpha}{\tan\beta}\right) \quad (1)$$

Burada, α bir münhani boyunca birim noktadan geçen yukarı eğim alanıdır. $\tan\beta$ ise noktadaki eğim açısını ifade eder. Bu çalışmada SYM verisi kullanılarak CBS ortamında üretilen TWI haritası, NB algoritması ile, beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4j).

3.1.10. Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi

NDVI, bitki indeksi Rouse ve ark. (1974) tarafından geliştirilmiştir. Sağlıklı bitki örtüsü, yakın kızıl ötesi ışığın büyük bölümünü yansıtırken, sağlıklı veya seyrek bitki örtüsü yakın kızıl ötesi ışığın çok azını yansıtır. Bu bilinen özellik sayesinde kırmızı ve infrared bantlarının normalleştirilmiş farkı bitki örtüsünü tespit etmede iyi bir yöntemdir (Acar ve ark., 2021). Belirli bir piksel için NDVI hesaplamaları her zaman (-1) ile (+1) arasında değişen bir sayı ile sonuçlanır (Rouse ve ark., 1974). Çalışmada NDVI bitki indeksi Eşitlik 2 ile hesaplanır.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (2)$$

Burada, Sentinel-2 görüntüleri için sırasıyla NIR bandı B8 ve RED bandı ise B4 ifade eder. NDVI GEE platformunda hazırlanmıştır. Elde edilen harita 12,5 m yeniden örneklenerek analize dahil edilmiştir.

3.2. Frekans oranı

FO bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki öngörücü ilişkiyi ölçmek için iki değişkenli popüler bir yöntemdir (Khosravi ve ark., 2016). Özellikle doğal felaketler taşkın (Cao ve ark., 2016), heyelan (Li ve ark., 2022) ve yer altı suyu tespiti (Elvis ve ark., 2022) gibi çalışmalarda sıklıkla tercih edilir. FO yöntemi, her bir kriterin tahmini heyelan üzerindeki etkisini değerlendiren temel bir istatistiksel analiz yöntemidir. FO Eşitlik 3, heyelan duyarlılık indeksi (HDI) ise Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanır.

$$FO = \frac{\left(\frac{N_{pix}(SX_i)}{\sum_{i=1}^m SX_i}\right)}{\left(\frac{N_{pix}(X_j)}{\sum_{j=1}^n N_{pix}(X_j)}\right)} \quad (3)$$

$$HDI = \sum_{j=1}^n FO \quad (4)$$

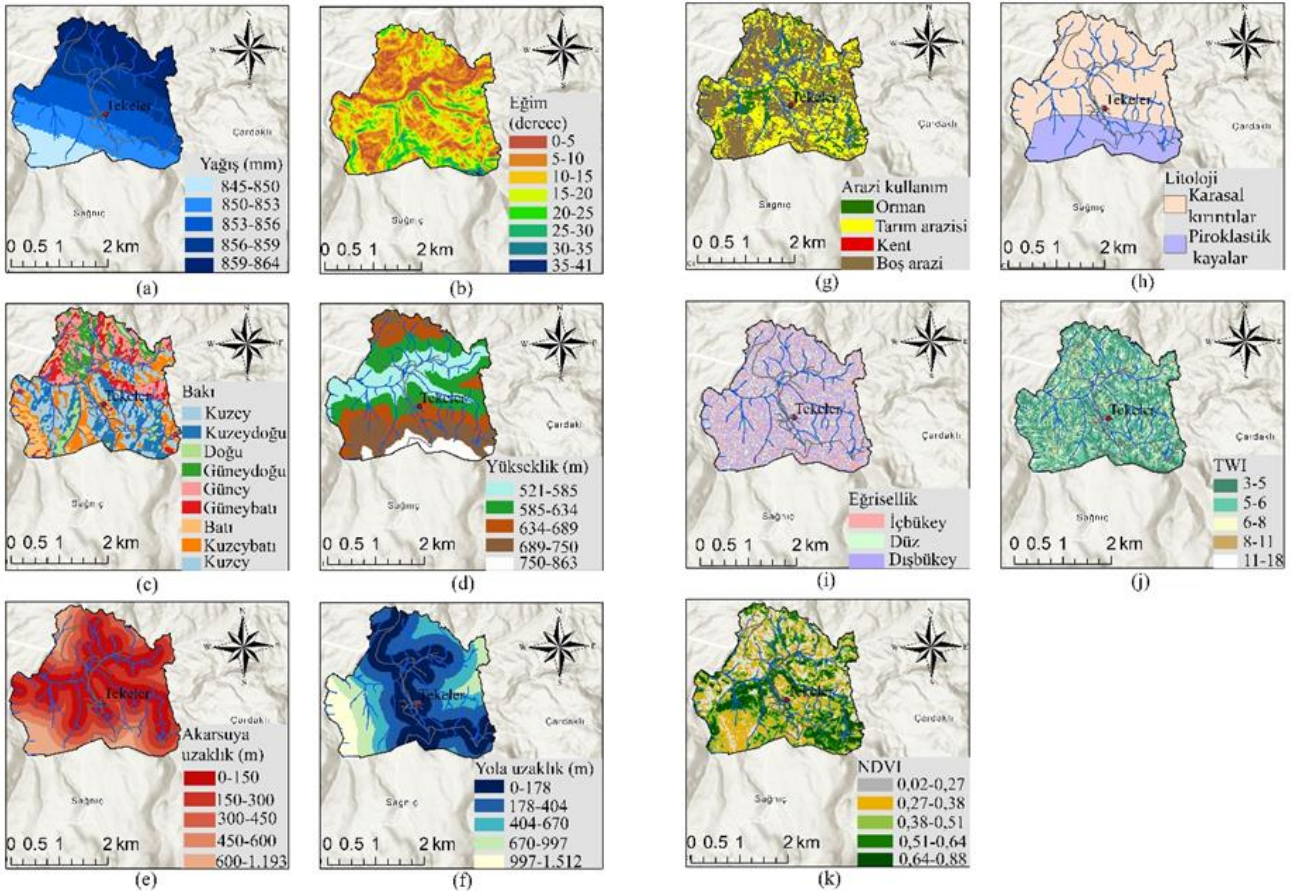
$$TO = \frac{(max_{BF} - min_{BF})}{\min (max_{BF} - min_{BF})} \quad (5)$$

Burada X kriterinin i sınıfındaki heyelan alanındaki piksel sayısı $N_{pix}(SX_i)$ ile temsil edilir. X_j faktörü içindeki toplam piksel sayısı ise $N_{pix}(X_j)$ ile temsil edilir. m , X_i faktöründeki sınıfların sayısı, n ise kriter sayısıdır (Shafapour Tehrany ve ark., 2019). FO tabloları Microsoft Excel yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Diğer mekansal analizler için ise ArcGIS yazılımı kullanılmıştır.

Eşitlik 5' de TO tahmin oranı, BF ise bağıl frekanstır. max_{BF} RO' nun aldığı en yüksek değeri ifade ederken, min_{BF} ise en düşük değeri ifade eder. $\min (max_{BF} - min_{BF})$ ise tümü için minimum değerdir (Sarkar ve ark., 2021).

3.3. Doğruluk değerlendirmesi

FO metodun sonuçlarının performansını değerlendirmek için ROC ve AUC kullanılmıştır. ROC ve AUC teknikleri doğal afetlerin araştırılmasında sıklıkla kullanılır (Suppawimut, 2021). Yöntemde elde edilen heyelan duyarlılık haritası hem test verileriyle hem de eğitim verileriyle karşılaştırılmıştır. AUC 0 ile 1 arasında değer alır. Bu iki değer arasındaki diğer aralıklar şu şekilde sıralanabilir: zayıf (0,5-0,6), orta (0,6-0,7), iyi (0,7-0,8), çok iyi (0,8-0,9) ve mükemmel (0,9-1,0) (Shafapour Tehrany ve ark., 2019). Bu çalışmada toplam heyelan bölgesi içerisinde olacak şekilde 67 adet nokta belirlenmiş bu noktaların 47 tanesi eğitim verisi 20 tanesi ise test verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 4. Koşullandırma faktörleri: a) yağış, b) eğim, c) bakı, d)yükseklik, e) akarsuya uzaklık, f) yola uzaklık, g) arazi kullanım, h) litoloji, i) eğrisellik, j) TWI, k) NDVI

4. Bulgular ve Tartışma

GEE platformunda yapılan sınıflandırmanın doğruluğu sınıflandırma amaçlı kullanılan Sentinel-2 görüntüleri üzerinden yapılmıştır. Bu amaçla sınıflandırmak için seçilen eğitim verilerinin %70'i algoritmayı eğitmek için kullanırken geriye kalan %30'u sınıflandırmanın doğruluğunu kontrol için kullanılmıştır. Sınıflandırmanın doğruluğu kullanıcı doğruluğu (KD), üretici doğruluğu (ÜD), genel doğruluk (GD) ve Kappa (κ) istatistik testi ile değerlendirilerek elde edilen sonuçlar **Tablo 1**'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde köy yerleşim yerlerinin bölgede az olması KD değerinin diğerlerine göre daha düşük olmasına sebep olmuştur. Fakat sınıflandırmanın GD %86,80 ve κ 0.786 olması bu sınıflandırmanın başarılı olduğunu gösterir.

Tablo 1. Sınıflandırma doğrulukları

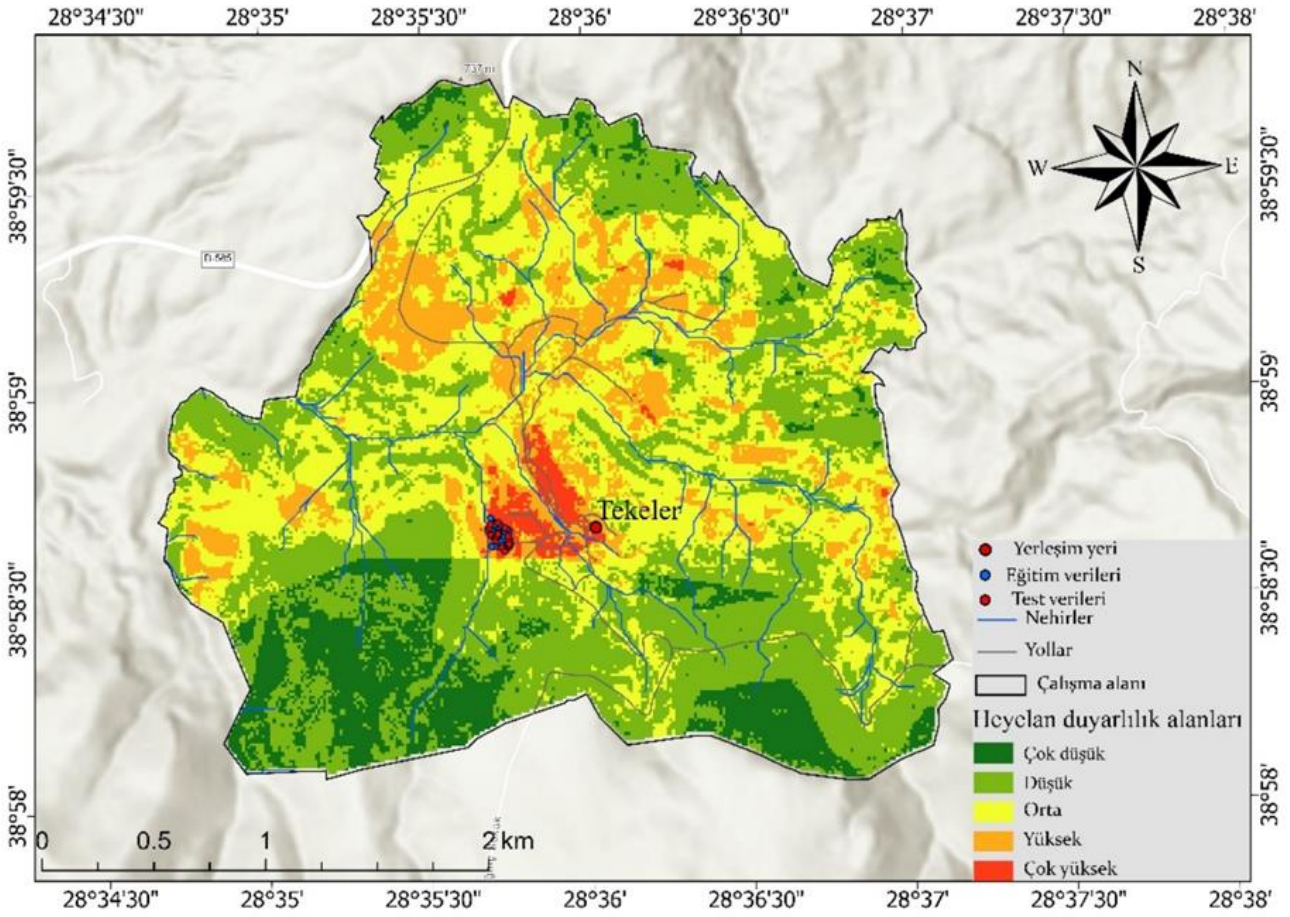
Sınıflar	KD (%)	ÜD (%)	GD (%)	κ
Orman	99,96	78,46		
Köy yerleşim	54,29	93,87	86,80	0.786
Tarım arazileri	65,71	82,14		
Boş araziler	88,45	97,38		

FO yönteminde heyelan oluşma riskini eğitim verilerini dikkate alarak her kriter için ayrı ayrı belirlemiştir. Elde edilen FO sonuçları **Tablo 2**'de gösterilmiştir. FO ağırlığının yüksek olması o sınıf ile heyelan oluşumu arasında güçlü bir korelasyon olduğunu gösterir. Bu korelasyona dayanarak o piksellere karşılık bölgede heyelan olma olasılığı da artacaktır.

FO istatistiksel yöntem gerçek olgularla çalıştığı için araziden elde edilen eğitim verilerinin yoğunluğu ve araziye dağılımı çalışma alanından elde edilecek sonuçları da etkilemektedir. Bunun sebebi araziden elde edilen eğitim verileri tüm ana koşullandırma faktörlerini temsil etse de alt sınıflardaki dağılımı değişken olacaktır. Bu çalışma da **Tablo 2** incelendiğinde de sırasıyla yağış kriterinde heyelan olan bölgede 850-856 mm arasında yağışa sahip bölgede heyelan olduğu görülmüştür. Eğim sınıfında ise 5 derece ile 25 derece sınıfı içerisinde heyelan gerçekleşmiştir. Heyelan özellikle batı, kuzeybatı ve kuzey yönlerinin hâkim olduğu bakıda gerçekleştiği görülmüştür. Arazinin topografyası dalgalı formda olup heyelan 585-634 m aralığında değişen yükseklikte gerçekleşmiştir. Çalışma alanında sürekli bir akarsu olmasa da mevsimsel etkilerle geçici akarsular oluşabilmektedir. SYM verisi üzerinden elde edilen akarsu kollarına ve aynı şekilde OpenStreetMap den elde edilen yol verisi kullanılarak yapılan yakınlık analizinde heyelan olan bölge sırasıyla akarsuya 0-150 m, yola ise 0-178 m mesafeleri arasında olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı arazi kullanımını açısından ise ormanlık alanlar tarım arazileri ve boş arazilerden oluşmaktadır. Heyelan oluşan bölge tarım arazilerinin ve boş alanların olduğu alanda gerçekleştiği görülmüştür. Çalışma alanı litolojik olarak iki kayaç türünün hâkim olduğu bir bölgedir. Heyelan olan alanda ise karasal kırıntılı kayalar mevcuttur. Diğer belirlenen kriterler ise çalışma alanına neredeyse homojen dağılım sergilemektedir. **Tablo 2**'de hesaplanan veriler kullanılarak CBS ortamında üretilen heyelan duyarlılık haritası **Şekil 5**'te verilmiştir.

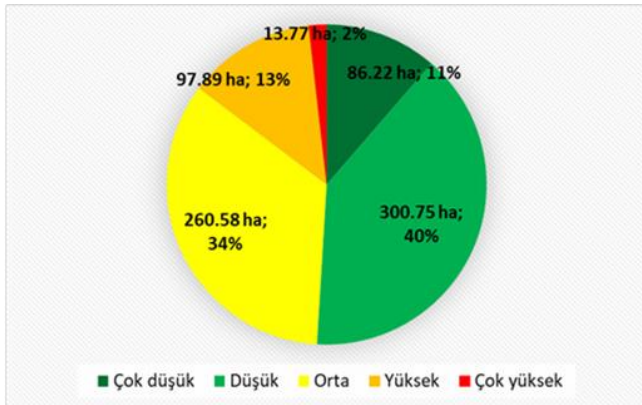
Tablo 2. FO parametre değerleri

Faktör	Faktör alt sınıfları	Piksel sayısı	% oranı	Faktör alanları	% oran	FO	TO	BF
Yağış	845-850	0,00	0,00	5.397	10,89	0,00	0,00	2,01
	850-853	2.968,75	47,50	11.574	23,34	2,03	0,48	
	853-856	3.281,25	52,50	11.719	23,64	2,22	0,52	
	856-859	0,00	0,00	10.204	20,58	0,00	0,00	
	859-864	0,00	0,00	10.685	21,55	0,00	0,00	
Eğim	0-5	0,00	0,00	5.363	11,04	0,00	0,00	2,36
	5-10	156,00	2,44	13.803	28,41	0,09	0,02	
	10-15	2.500,00	39,02	13.316	27,40	1,42	0,31	
	15-20	3.594,00	56,10	9.752	20,07	2,80	0,61	
	20-25	156,00	2,44	4.356	8,96	0,27	0,06	
	25-30	0,00	0,00	1.632	3,36	0,00	0,00	
	30-35	0,00	0,00	320	0,66	0,00	0,00	
	35-41	0,00	0,00	50	0,10	0,00	0,00	
Bakı	Kuzey (0-22,5)	0,00	0,00	6.542	13,46	0,00	0,00	3,33
	Kuzeydoğu (22,5-67,5)	0,00	0,00	6.640	13,66	0,00	0,00	
	Doğu (67,5-112,5)	0,00	0,00	2.484	5,11	0,00	0,00	
	Güneydoğu (112,5-157,5)	0,00	0,00	3.834	7,89	0,00	0,00	
	Güney (157,5-202,5)	0,00	0,00	6.730	13,85	0,00	0,00	
	Güneybatı (202,5-247,5)	0,00	0,00	5.025	10,34	0,00	0,00	
	Batı (247,5-292,5)	5.312,50	82,93	5.237	10,78	7,69	0,86	
	Kuzeybatı (292,5-337,5)	937,50	14,63	7.251	14,92	0,98	0,11	
	Kuzey (337,5-360)	156,25	2,44	4.849	9,98	0,24	0,03	
Yükseklik	521-585	0,00	0,00	12.586	25,38	0,00	0,00	3,86
	585-634	6.406,00	100,00	13.215	26,65	3,75	1,00	
	634-689	0,00	0,00	10.794	21,76	0,00	0,00	
	689-750	0,00	0,00	9.341	18,83	0,00	0,00	
	750-863	0,00	0,00	3.659	7,38	0,00	0,00	
Akarsuya uzaklık	150	6.250,00	100,00	18.338	36,98	2,70	1,00	3,86
	300	0,00	0,00	14.281	28,80	0,00	0,00	
	450	0,00	0,00	8.256	16,65	0,00	0,00	
	600	0,00	0,00	4.635	9,35	0,00	0,00	
	600+	0,00	0,00	4.082	8,23	0,00	0,00	
Yola uzaklık	0-178	6.250,00	100,00	18.093	36,48	2,74	1,00	3,86
	178-404	0,00	0,00	13.282	26,78	0,00	0,00	
	404-670	0,00	0,00	8.587	17,31	0,00	0,00	
	670-997	0,00	0,00	5.700	11,49	0,00	0,00	
	997-1.512	0,00	0,00	3.932	7,93	0,00	0,00	
Arazi kullanım	Orman	0,00	0,00	6.560	13,22	0,00	0,00	3,75
	Tarım arazileri	156,00	2,63	20.307	40,94	0,06	0,03	
	Köy yerleşim	0,00	0,00	12	0,02	0,00	0,00	
	Boş araziler	5.781,00	97,37	22.725	45,81	2,13	0,97	
Litoloji	Karasal kırıntılar	6.250,00	100,00	34.395	69,37	1,44	1,00	3,86
	Piroklastik kayalar	0,00	0,00	15.187	30,63	0,00	0,00	
Eğrisellik	İç bükey	3.125,00	48,78	18.475	37,25	1,31	0,46	1,00
	Düz	938,00	14,63	12.804	25,82	0,57	0,20	
	Dış bükey	2.344,00	36,59	18.316	36,93	0,99	0,35	
TWI	3-5	2.343,75	36,59	14.533	29,91	1,22	0,34	1,30
	5-6	2.343,75	36,59	19.186	39,48	0,93	0,26	
	6-8	1.562,5	24,39	10.411	21,43	1,14	0,31	
	8-11	156,25	2,44	3.549	7,30	0,33	0,09	
	11-18	0,00	0,00	913	1,88	0,00	0,00	
NDVI	0,021-0,267	2.187,50	36,84	10.012	20,18	1,83	0,43	1,65
	0,267-0,381	2.812,50	47,37	14.009	28,24	1,68	0,39	
	0,381-0,508	937,50	15,79	10.289	20,74	0,76	0,18	
	0,508-0,646	0,00	0,00	8.641	17,42	0,00	0,00	
	0,646-0,877	0,00	0,00	6.653	13,41	0,00	0,00	



Şekil 5. Heyelan duyarlılık haritası

Üretilen heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek riskli alanlar olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılmıştır. Harita incelendiğinde köy yerleşiminin neredeyse tamamı çok yüksek risk altında olduğu görülmüştür. Özellikle yüksek risk sınıfındaki alanlar haritada kuzey ve kuzeybatıya doğru artma eğilimindedir. Haritanın güney kısmında risk neredeyse yok denilecek kadar azdır. Güney kesimde keskin bir ayırım söz konusudur bu ayırım litoloji sınıfından kaynakladığı düşünülmektedir. Her bir sınıfın alan dağılımı Şekil 6'da verilmiştir.

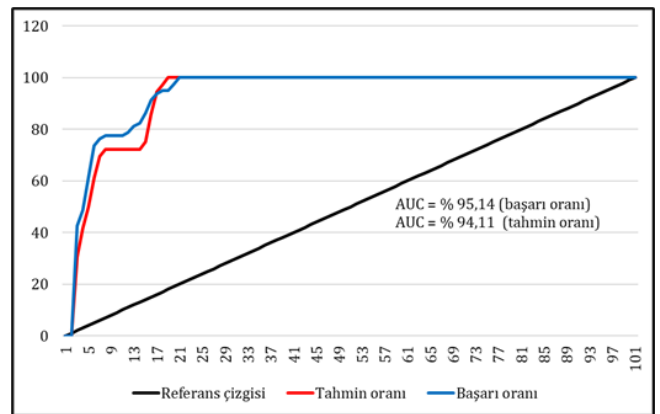


Şekil 6. FO metoduna göre elde edilen heyelan duyarlılık alanları

Heyelan duyarlılık haritasından elde ettiğimiz alanlar incelendiğinde heyelan açısından riskli diyebileceğimiz yüksek ve çok yüksek risk grubundaki alanlar sırasıyla

97,89 ha ve 13,77 ha olarak hesaplanmıştır. Bu iki alan sınıfının toplamı tüm alanın %15'ini oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın başarı değerlendirme eğri altındaki alanlara göre belirlendi. Heyelan olan bölgeden seçilen örnek noktalar eğitim ve test amaçlı kullanılma için ikiye bölünmüştür. AUC değeri her iki veri seti için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç grafiği Şekil 7'de verilmiştir. AUC değeri başarı oranı %95,14 iken tahmin oranı %94,11 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. AUC doğruluk değerlendirmesi

FO kullanılarak yapılmış daha önceki çalışmalar incelendiğinde, Melese ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için AHP, FO ve SE yöntemlerinin performansını karşılaştırmışlardır. Bu amaç için bakı, jeoloji, yükseklik,

eğim, toprak, yağış, arazi kullanımı, NDVI, TWI, eğrilik, nehre ve yola uzaklık olmak üzere on iki adet koşullandırma kriteri kullanmışlardır. AUC değeri AHP, SE ve FO için sırasıyla %86,5, %85,6 ve %82,5 olarak bulunmuşlardır. Bu sonuçlara göre AHP'nin diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. Li ve ark. (2021) Çin'in Huangyuan ilçesinde heyelan duyarlılık haritasını üretmek için yükseklik, eğim, baki, düzlem ve profil eğriliği, yola ve akarsuya ve faya olan uzaklık, litoloji, NDVI koşullandırma faktörleri seçilmiştir. Çalışmada bilgi metodu (information method, IM), FO ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler doğruluk değerlendirmesinde AUC değeri YSA, IM ve FO için sırasıyla 0,907, 0,900 ve 0,867 olarak hesaplanmıştır. Chandra ve Indrajit (2019) Himalaya bölgesinde heyelan duyarlılık haritaları için UA ve CBS teknikleri kullanışlar. Koşullandırma faktörleri için eğim, baki, yükseklik, profil eğriliği, NDVI, arazi kullanımı, drenaj yoğunluğu, yol yoğunluğu, jeoloji ve yağış kullanılmıştır. Arazi kullanım ve NDVI Sentinel-2 görüntüleri diğer veriler için ASTER (advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer) SYM kullanılmıştır. Çalışma FO yöntemi kullanılmış elde edilen harita çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek sınıflarına ayrılmıştır. Elde edilen heyelan doğruluk haritanın doğruluğu AUC tahmin oranı %89,90, başarı oranı ise %92,3 olarak hesaplandı. Günini Üzel ve Ötürk (2021) yaptıkları çalışmada Van ilinde heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için FO yöntemini kullanmışlardır. Koşullandırma faktörleri için litoloji, fay hatlarına uzaklık, arazi kullanımı, yükseklik, eğim, baki eğrilik kriterleri kullanılmıştır. Heyelan envanterinin %70'i eğitim %30'u ise test verisi için bölünmüştür. Elde edilen heyelan duyarlılık haritası %7,6'sı çok düşük, %20,0'i düşük, %27,7'si orta, %27,5'i yüksek ve %17,2'si çok yüksek olarak sınıflandırılmıştır. AUC değerini eşit aralıklı, doğal aralıklı, geometrik aralıklı ve kuantil sınıflandırma için ayrı ayrı hesaplamışlar ve tümünde sonucun 0,700'ün üzerinde çıktığını tespit etmişlerdir.

Yukarıda yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde bu çalışmada seçilen koşullandırma faktörlerinin hemen hemen hepsi diğer çalışmalarla benzerlik gösterdiği rahatlıkla söylenebilir. Bazı çalışmalarda faya uzaklıkta bir kriter olarak değerlendirilmiştir. Çalışılan bölgenin yaklaşık 25 km kuzeyinden Simav fay hattı geçmektedir. Fayın bölgeye olan mesafesi ve çalışılan alanının küçük olması fayın etkisinin çalışma alanı üzerindeki katkısını tam yansıtamayacağından bu çalışmada göz ardı edilmiştir. Diğer birçok çalışmada SYM verileri 30 m çözünürlüklü olması bu çalışmada ise 12,5 m ALOS PALSAR seçilmesi bu çalışmanın pozitif yönde hassasiyetini diğerlerine göre ön plana çıkarmaktadır. AUC değerleri yapılan diğer çalışmalarda hesaplanan değerlere göre oldukça başarılıdır.

Heyelan oluşumunda her ne kadar birçok kriter etkili olsa da arazinin jeolojik yapısı önemli bir kriterdir. Jeoloji haritaları yeryüzündeki çeşitli kayaç türleri, toprak yapısı ve yerin derinlikleri hakkında bilgi sağlarlar. Küçük ölçekli jeoloji haritaları kayaç türlerini daha genel gösterirken büyük ölçekli haritalar bölge jeolojisi hakkında daha detaylı bilgi sağlarlar. Bu çalışmada bölgenin jeoloji haritasının 1/25.000 gibi daha büyük

ölçek seçilmesi çalışmanın sonuçlarını daha pozitif yönde etkileyeceği söylenebilir.

5. Sonuçlar

Türkiye'nin Ege Bölgesinde oldukça fazla heyelanlar meydana gelmektedir. Bu heyelanlar kentsel gelişim, tarımsal faaliyetler, altyapı ve üst yapı gibi birçok uygulamada adeta bir fren niteliğindedir. Yaygın görülen heyelan modelleri kayma, akma, düşme ve devrilme olarak meydana gelmektedir. Arazideki bu kitlesel hareketleri tetikleyen birçok faktör mevcuttur. Bu çalışmayla birden fazla kriter dikkate alınarak Manisa ili Demirci İlçesi sınırları içerisinde bulunana Tekeler köyünde meydana gelen heyelan üzerinde bir çalışma yapılarak köyün heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan ve bir istatistik yöntemi olan FO kullanılmıştır. Koşullandırma faktörleri için veriler CBS ortamında çeşitli analizler yapılarak üretilmiştir. Özellikle arazi kullanım GEE platformunda Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak kontrollü sınıflandırma teknikleri ile üretilirken NDVI ise aynı platformda hesaplatılarak analize dahil edilmiştir. Diğer yüzey analizlerini için 12,5 m çözünürlüklü ALOS PALSAR SYM verisi kullanılmıştır. Elde edilen heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılarak riskli alanlar belirlenmiştir. Bu çalışma daha önce bölgede teknik incelemelerin ötesine geçmeyen herhangi bir çalışma yapılmaması, kullanılan teknikler ve yöntemler dizisi ile çalışmaya özgünlük katmaktadır. Aynı zamanda elde edilen heyelan duyarlılık haritası mühendisler ve karar vericiler açısından oldukça fazla önem arz etmekte olup planlama ve önlem alma açısından rehber niteliği taşımaktadır.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

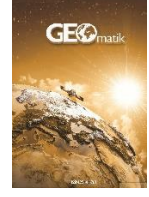
- Abeyisiriwardana, H. D., & Gomes, P. I. A. (2022). Integrating vegetation indices and geo-environmental factors in GIS-based landslide-susceptibility mapping: using logistic regression. *Journal of Mountain Science*, 19(2), 477-492. <https://doi.org/10.1007/s11629-021-6988-8>
- Adition, A., Kubota, T., & Shinohara, Y. (2018). Geomorphology Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and arti fi cial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia. *Geomorphology*, 318, 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.06.006>
- Acar, U., Yilmaz, O. S., Çelen, M., Ateş, A. M., Gülgen, F. & Şanlı, F. B. (2021). Determination of Mucilage in The Sea of Marmara Using Remote Sensing Techniques with Google Earth Engine Determination of Mucilage in The Sea of Marmara Using Remote Sensing Techniques with Google Earth Engine. *International*

- Journal of Environment and Geoinformatics, 8(4), 423–434. doi:10.30897/ijegeo.
- Aghlmand, M., Onur, M. İ., & Talaei, R. (2020). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı. *European Journal of Science and Technology*, 224–230. <https://doi.org/10.31590/ejosat.araconf28>
- Akıncı, H., Özalp, A. Y., & Kılıçer, S. T. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve AHP Yöntemi Kullanılarak Planlı Alanlarda Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi: Artvin Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1–2), 40–53.
- Al Kalbani, K., & Rahman, A. A. (2022). 3D city model for monitoring flash flood risks in Salalah, Oman. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(1), 17-23.
- Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi Heyelan Bölgesinin İHA Kullanarak Modellenmesi Modelling of a Landslide Site Using a UAV. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 17–21.
- Alqadhi, S., Mallick, J., Talukdar, S., Bindajam, A. A., Van Hong, N., & Saha, T. K. (2022). Selecting optimal conditioning parameters for landslide susceptibility: experimental research on Aqabat Al-Sulbat, Saudi Arabia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 3743–3762. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15886-z>
- Avcı, V. (2016). Gökdere Havzası ve Çevresinin (Bingöl Güneybatısı) Frekans Oranı Metoduna Göre Heyelan Duyarlılık Analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 34, 160–177.
- Aydinoğlu, A., & Altürk, G. (2021). Heyelan Duyarlılık Haritalarının İstatistik ve Makine Öğrenmesi Teknikleri Kullanılarak Üretilmesi: Taşlıdere Havzası Örneği (Rize). *Coğrafya Dergisi / Journal of Geography*, 43, 159–176. <https://doi.org/10.26650/jgeog2021-814561>
- Berna, T., Orhan, O., & Tekin, S. (2021). Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Adıyaman Gölbaşı-Adıyaman Merkez Arasının Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(3), 701–708.
- Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L., & Niu, C. (2016). Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas. *Sustainability (Switzerland)*, 8(9), 948. <https://doi.org/10.3390/su8090948>
- Chandra, S., & Indrajit, P. (2019). GIS - based spatial prediction of landslide susceptibility using frequency ratio model of Lachung River basin, North Sikkim, India. *SN Applied Sciences*, 1(5), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0422-7>
- Chen, W., & Zhang, S. (2021). GIS-based comparative study of Bayes network, Hoeffding tree and logistic model tree for landslide susceptibility modeling. *Catena*, 203, 105344. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105344>
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273–297.
- Dang, V. H., Hoang, N. D., Nguyen, L. M. D., Bui, D. T., & Samui, P. (2020). A novel GIS-Based random forest machine algorithm for the spatial prediction of shallow landslide susceptibility. *Forests*, 11(1), 118. <https://doi.org/10.3390/f11010118>
- El Jazouli, A., Barakat, A., & Khellouk, R. (2019). GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). *Geoenvironmental Disasters*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40677-019-0119-7>
- Elvis, B. W. W., Arsène, M., Théophile, N. M., Bruno, K. M. E., & Olivier, O. A. (2022). Integration of shannon entropy (SE), frequency ratio (FR) and analytical hierarchy process (AHP) in GIS for suitable groundwater potential zones targeting in the Yoyo River basin, Méiganga area, Adamawa Cameroon. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 39, 100997. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.100997>
- Gao, Z. & Ding, M. (2022). Application of convolutional neural network fused with machine learning modeling framework for geospatial comparative analysis of landslide susceptibility. *Natural Hazards*, 1-26. doi:10.1007/s11069-022-05326-7
- Ghasempour, F., Sekertekin, A., & Kutoglu, S. H. (2021). Google Earth Engine based spatio-temporal analysis of air pollutants before and during the first wave COVID-19 outbreak over Turkey via remote sensing. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128599. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128599>
- Gong, W., Hu, M., Zhang, Y., Tang, H., Liu, D. & Song, Q. (2021). GIS-based landslide susceptibility mapping using ensemble methods for Fengjie County in the Three Gorges Reservoir Region, China. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03572-z>
- Günini Üzel, N., & Ötürk, D. (2021). Van İli Heyelan Duyarlılığının Frekans Oranı Yöntemiyle Analizi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(3), 865–884. <https://doi.org/10.17482/uumfd.969246>
- Hang, H. T., Hoa, P. D., Tru, V. N., & Phuong, N. V. (2021). Landslide Susceptibility Mapping Along National Highway-6, Hoa Binh Province, Vietnam Using Frequency Ratio Model and Gis. *International Journal of GEOMATE*, 21(85), 84–90. <https://doi.org/10.21660/2021.85.j2222>
- Hepdeniz, K., & Soyaslan, İ. İ. (2018). CBS ve Frekans Oranı Yöntemi Kullanılarak Isparta-Burdur Dağ Yolu Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 179–186. <https://doi.org/10.29048/makufebd.414392>
- Huang, W., DeVries, B., Huang, C., Lang, M. W., Jones, J. W., Creed, I. F., & Carroll, M. L. (2018). Automated extraction of surface water extent from Sentinel-1 data. *Remote Sensing*, 10(5), 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs10050797>
- Jeyaseelan, A. T. (2003). Droughts & floods assessment and monitoring using remote sensing and GIS. *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*, 291.
- Kavzoglu, T., & Teke, A. (2022). Predictive Performances of Ensemble Machine Learning Algorithms in

- Landslide Susceptibility Mapping Using Random Forest, Extreme Gradient Boosting (XGBoost) and Natural Gradient Boosting (NGBoost). *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-06560-8>
- Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., & Pourghasemi, H. R. (2016). A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. *Natural Hazards*, 83(2), 947–987. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2>
- Kılıçoğlu, C. (2020). Frekans Oranı Metodu ve Bayesyen Olasılık Modeli Kullanılarak Samsun İli Vezirköprü İlçesinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 20(1), 138–154. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.658662>
- Kim, H. G., Lee, D. K., Park, C., Ahn, Y., Kil, S. H., Sung, S. & Biging, G. S. (2018). Estimating landslide susceptibility areas considering the uncertainty inherent in modeling methods. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(11), 2987–3019. <https://doi.org/10.1007/s00477-018-1609-y>
- Koç, E., & Küçükönder, M. (2021). Erkenez Havzası CBS Matris Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(1), 141–154.
- Li, B., Wang, N., & Chen, J. (2021). GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Information, Frequency Ratio, and Artificial Neural Network Methods in Qinghai Province, Northwestern China. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2021/4758062>
- Li, L., Nahayo, L., Habiyaremye, G., & Christophe, M. (2022). Applicability and performance of statistical index, certain factor and frequency ratio models in mapping landslides susceptibility in Rwanda. *Geocarto International*, 37(2), 638–656. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1730451>
- Liang, J., Xie, Y., Sha, Z., & Zhou, A. (2020). Modeling urban growth sustainability in the cloud by augmenting Google Earth Engine (GEE). *Computers, Environment and Urban Systems*, 84, 101542. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101542>
- Mallick, J., Alqadhi, S., Talukdar, S., Alsubih, M., Ahmed, M., Khan, R. A., Kahla, N. Ben, & Abutayeh, S. M. (2021). Risk assessment of resources exposed to rainfall induced landslide with the development of gis and rs based ensemble metaheuristic machine learning algorithms. *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), 1–30. <https://doi.org/10.3390/su13020457>
- Mandal, S., & Mandal, K. (2018). Modeling and mapping landslide susceptibility zones using GIS based multivariate binary logistic regression (LR) model in the Rorachu river basin of eastern Sikkim Himalaya, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(1), 69–88. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0426-0>
- Maqsoom, A., Aslam, B., Khalil, U., Abbas, Z., Sheheryar, K., & Tahir, A. (2021). Landslide susceptibility mapping along the China Pakistan Economic Corridor (CPEC) route using multi - criteria decision - making method. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01226-0>
- Melese, T., Belay, T., & Andemo, A. (2022). Application of analytical hierarchal process, frequency ratio, and Shannon entropy approaches for landslide susceptibility mapping using geospatial technology: The case of Dejen district, Ethiopia. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(5), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09672-5>
- Mersha, T., & Meten, M. (2020). GIS-based landslide susceptibility mapping and assessment using bivariate statistical methods in Simada area, northwestern Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00155-x>
- Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5(1), 3–30. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>
- Nohani, E., Moharrami, M., Sharafi, S., Khosravi, K., Pradhan, B., Pham, B. T., Lee, S., & Melesse, A. M. (2019). Landslide Susceptibility Mapping Using Different GIS-Based Bivariate Models. *Water*, 11(7), 1402. <https://doi.org/10.3390/w11071402>
- Oğuz, E., Oğuz, K. & Öztürk, K. (2022). Düzce bölgesi taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesi. *Geomatik*, 7 (3), 220-234.
- Özşahin, E. (2015). Landslide Susceptibility Analysis by Geographical Information Systems: The Case of Ganos Mount (Tekirdağ). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2015(1), 47–63. <https://doi.org/10.15659/hartek.15.04.68>
- Pal, S. C. & Chowdhuri, I. (2019). GIS-based spatial prediction of landslide susceptibility using frequency ratio model of Lachung River basin, North Sikkim, India. *SN Applied Sciences*, 1(5), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0422-7>
- Patel, N. N., Angiuli, E., Gamba, P., Gaughan, A., Lisini, G., Stevens, F. R., Tatem, A. j., & Trianni, G. (2015). Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35, 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.09.005>
- Rana, H., & Babu, G. L. S. (2022). Regional back analysis of landslide events using TRIGRS model and rainfall threshold: an approach to estimate landslide hazard for Kodagu, India. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81(4), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10064-022-02660-9>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS, NASA Special Publication. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium*, 309–317.
- Sahana, M., & Patel, P. P. (2019). A comparison of frequency ratio and fuzzy logic models for flood susceptibility assessment of the lower Kosi River

- Basin in India. *Environmental Earth Sciences*, 78(10), 1–27. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8285-1>
- Şahin, E. K. (2018). Heyelan Duyarlılık Haritası İçin Adımsal Regresyona Dayalı Faktör Seçme Yönteminin Etkinliğinin Araştırılması. *Harita Dergisi*, 84(159), 1–15.
- Sarı, F., & Koyuncu, F. (2021). Multi criteria decision analysis to determine the suitability of agricultural crops for land consolidation areas. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 64–73
- Sarkar, D., Saha, S., & Mondal, P. (2021). GIS-based frequency ratio and Shannon's entropy techniques for flood vulnerability assessment in Patna district, Central Bihar, India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03627-1>
- Semlali, I., Oquadif, L., & Bahi, L. (2019). Landslide susceptibility mapping using the analytical hierarchy process and GIS. *Current Science*, 116(5), 773–779. <https://doi.org/10.18520/cs/v116/i5/773-779>
- Senouci, R., Taibi, N. E., Teodoro, A. C., Duarte, L., Mansour, H., & Meddah, R. Y. (2021). Gis-based expert knowledge for landslide susceptibility mapping (LSM): Case of Mostaganem coast district, west of Algeria. *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su13020630>
- Shafapour Tehrany, M., Kumar, L., Neamah Jebur, M., & Shabani, F. (2019). Evaluating the application of the statistical index method in flood susceptibility mapping and its comparison with frequency ratio and logistic regression methods. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 79–101. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1506509>
- Siahkamari, S., Haghizadeh, A., Zeinivand, H., Tahmasebipour, N., & Rahmati, O. (2018). Spatial prediction of flood-susceptible areas using frequency ratio and maximum entropy models. *Geocarto International*, 33(9), 927–941. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1316780>
- Suppawimut, W. (2021). GIS-Based Flood Susceptibility Mapping Using Statistical Index and Weighting Factor Models. *Environment and Natural Resources Journal*, 19(6), 1–13. <https://doi.org/10.32526/enrj/19/2021003>
- Tacconi Stefanelli, C., Casagli, N. & Catani, F. (2020). Landslide damming hazard susceptibility maps: a new GIS-based procedure for risk management. *Landslides*, 17(7), 1635–1648. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01395-6>
- Thanh, D. Q., Nguyen, D. H., Prakash, I., Jaafari, A., Nguyen, V. T., Van Phong, T., & Pham, B. T. (2020). GIS based frequency ratio method for landslide susceptibility mapping at da Lat City, Lam Dong Province, Vietnam. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 42(1), 55–66. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/42/1/14758>
- Thao, P., Ngo, T., Panahi, M., Khosravi, K. & Ghorbanzadeh, O. (2021). Geoscience Frontiers Evaluation of deep learning algorithms for national scale landslide susceptibility mapping of Iran. *Geoscience Frontiers*, 12(2), 505–519. doi: 10.1016/j.gsf.2020.06.013
- Thapa, D., & Bhandari, B. P. (2019). GIS-Based Frequency Ratio Method for Identification of Potential Landslide Susceptible Area in the Siwalik Zone of Chatara-Barahakshetra Section, Nepal. *Open Journal of Geology*, 9(12), 873–896. <https://doi.org/10.4236/ojg.2019.912096>
- Trinh, T., Luu, B. T., Le, T. H. T., Nguyen, D. H., Van Tran, T., Van Nguyen, T. H., ... Nguyen, L. T. (2022). A comparative analysis of weight-based machine learning methods for landslide susceptibility mapping in Ha Giang area. *Big Earth Data*, 1–30. <https://doi.org/10.1080/20964471.2022.2043520>
- Ullah, K., & Zhang, J. (2020). GIS-based flood hazard mapping using relative frequency ratio method: A case study of panjkora river basin, eastern Hindu Kush, Pakistan. *PLoS ONE*, 15(3), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229153>
- Yalcin, A., & Bulut, F. (2007). Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: A case study from Ardesen (NE-Turkey). *Natural Hazards*, 41(1), 201–226. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9030-0>
- Yi, Y., Zhang, Z., Zhang, W., Xu, Q., Deng, C., & Li, Q. (2019). GIS-based earthquake-triggered-landslide susceptibility mapping with an integrated weighted index model in Jiuzhaigou region of Sichuan Province, Yılmaz, O. S., Gülgen, F., Güngör, R., & Kadı, F. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile Arazi Kullanım Değişiminin İncelenmesi, Köprübaşı İlçesi Örneği. *Geomatik*, 3(3), 233-241.
- Zhou, B., Okin, G. S., & Zhang, J. (2020). Leveraging Google Earth Engine (GEE) and machine learning algorithms to incorporate in situ measurement from different times for rangelands monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111521. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111521>





Sıfır poligonu konusunun işleniş sorunları

Banihan Günay*¹ 

¹Tirana Metropolitan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tirana, Arnavutluk

Anahtar Kelimeler

Sıfır Noktası
Sıfır Çizgisi
Dolgu
Yarma

Teknik Not

Geliş:10.05.2022
Revize:15.07.2022
Kabul:19.07.2022
Yayınlanma:10.08.2022

Öz

Kaliteli bir yüksek öğrenim için kaynak eserlerdeki bilgilerin olabildiğince net ve hatalardan arındırılmış olması çok önemlidir. Bu makalede, sıfır poligonu ile ilgili olarak bazı ders kitaplarında karşılaşılan sorunlu anlatımların giderilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, platformdan yol eksenine dik yönde çizilen yatay bir çizginin araziye deldiği noktaya sıfır noktası denmesinin ve bu noktalar kümesine de sıfır poligonu adının verilmesinin yanlış anlaşılabilirliği (bunun bilinen sıfır poligonu ile karıştırılmaması gerektiği) ve ayrıca sıfır poligonundan arazinin alçalan tarafında yarma, yükselen tarafında ise dolgu çıkacağını söylemenin de eksik bir genelleme olacağı tartışılmış ve söz konusu ifadelerin düzeltilmiş şekilleri verilmiştir.



Problems faced in the preliminary gradeline discussions

Keywords

Eye-level point of baseline
Baseline projection in the horizontal plane
Fill
Cut

Technical Note

Received:10.05.2022
Revised: 15.07.2022
Accepted:19.07.2022
Published:10.08.2022

Abstract

For quality in higher education, it is very important that information contained in textbooks should be clear and free from erroneous statements. In relation to the concept of preliminary gradeline projection (also known as zero line), this paper aims to debug a number of misunderstandings that are come across frequently. It is therefore argued that drawing a horizontal line normal to the baseline of the earth-grade to hit the original ground (for both cut and fill) and naming it as one of the points of the Preliminary Gradeline; and calling the lower grounds in the perpendicular direction from the Preliminary Gradeline as cut and higher grounds as fill are incomplete statements. Corrected versions of these statements are provided in the paper.

1. Giriş

Karayolu tasarımının diğer aşamaları ile ilgili olarak ders kitaplarında karşılaşılan birtakım yanlışlıklara daha önceden değinilmişti. Örneğin 'sademe' konusunun işleniş biçimi ve denkleminin çıkartılışı Günay (2011) tarafından eleştirilip gerekli düzeltmeler önerilmişti. Yine, farklı bir makalede yatay kurplardaki 'savrulma' ve 'devrilme' konularıyla ilgili olarak, bazı ifadelerin yanlış yorumlanmasıyla ortaya çıkan sorunlar tespit edilmiş, daha sağlıklı izahlar getirilmişti (Günay, 2022). Gerek akademisyenlerin gerek yol tasarlayıcılarının ve gerekse (hepsinden de önemlisi) öğrencilerin konuları doğru bir şekilde öğrenmeleri adına bu tür yapıcı eleştiriler son

derece değer kazanmaktadır. Bu makalede ise sıfır poligonunun bazı kaynaklarındaki işleniş ile ilgili düzeltmeler önerilecek ve ayrıca yıllardır gözden kaçarak günümüze kadar gelen bir takım basım hataları da ortaya çıkartılacaktır.

Sıfır poligonu genelde İnşaat Mühendisliği, Geomatik ve Orman Mühendisliği gibi disiplinlerde okutulmakta olup, Karayolu Mühendisliği, Toprak İşleri ve Ölçme Bilgisi gibi derslerin kapsamına girmektedir. Ancak İngilizce kaynaklarda (düşük standartlı yol tasarımları hariç) sıfır poligonu adımına hemen hemen hiç yer verilmemektedir. Belki de bu sebeple, ülkemizde sık sık başvuru olan İngilizce-Türkçe-Fransızca Karayolu ve Trafik Terimleri (Yayla, 1980); Ulaştırma ve

*Sorumlu Yazar

*bgunay@umt.edu.al) ORCID ID 0000-0002-4640-417X

Kaynak Göster (APA)

Günay, B. (2023). Sıfır poligonu konusunun işleniş sorunları. *Geomatik*, 8(1), 55-60

Haberleşme Terimleri (Ulaştırma Bakanlığı, 2011); Kentiçi Ulaşım Terimleri (Kırmızı ve ark., 2012); ve Demiryolu Teknik Terimleri (Arlı, 2013) gibi sözlüklerde 'sıfır poligonu' terimi bulunmamaktadır. Yabancı kaynaklarda sıfır poligonu konusu ile genelde düşük hacimli veya orman yollarının projelendirmelerinde karşılaşılmaktadır (Weaver, 1994; FAO, 1998; Sessions, 2007; FOA, 2020). İngilizce karşılığı 'preliminary gradeline' veya 'zero line' olarak geçmekte kısaca 'p-line' de denmektedir (örneğin BC Ministry of Forests, 2002). Allen (1931)'de bunlara ilaveten 'trial line' terimi de kullanılmaktadır. Fakat konu, hemen hemen hiçbir yabancı kaynakta aşağıda özetlenecek olan yerli kaynaklar kadar detaylı ele alınmamıştır.

2. Sıfır Poligonu Konsepti

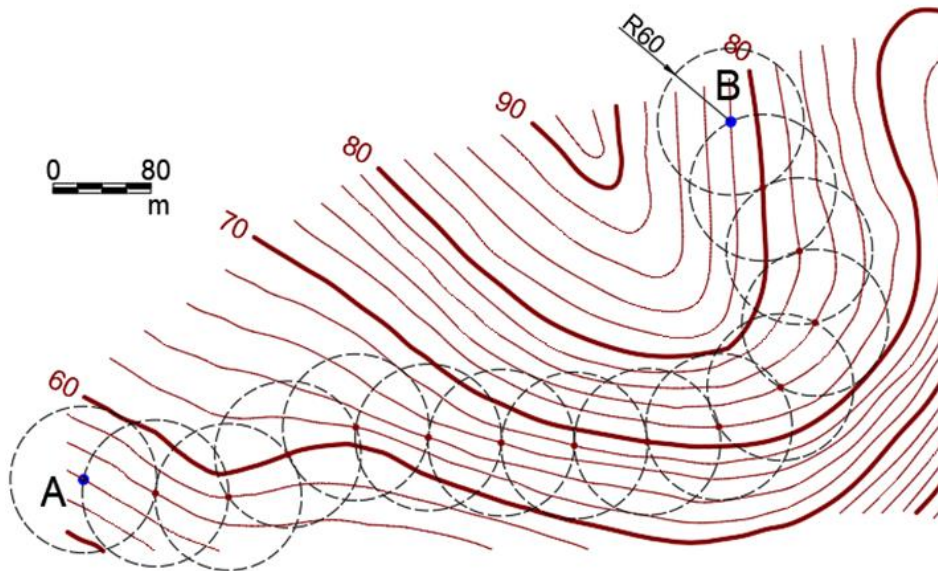
Bilindiği üzere, birçok karayolu, demiryolu ya da boru hattı projelendirme adımlarından ilki, eşyükselti (tesviye) eğrili bir haritada iki kontrol noktası arasında bir sıfır poligonu yerleştirme işlemidir. Sıfır poligonu aslında, güzergâh (geçki) planını çizmeye geçmeden önce, yolun boyuna eğimini kontrol altında tutabilmek amacıyla, çizim sırasında başvuru geçici bir kılavuz çizgidir ve oldukça faydalı bir tasarım aracıdır. Sıfır poligonu genelde plan düzleminde gösterilir, ancak boykesit düzleminde de bir izdüşümünün mevcut olduğu, eğer tek eğimli bir sıfır poligonu geçirilmiş ise (bu poligon ne kadar çok kırıklı olursa olsun), boykesitte bunun başlangıç ve bitiş noktalarını birleştiren tek eğimli bir doğru parçası olacağı ve ayrıca enkesit düzleminde de sıfır poligonunun bir nokta olarak görüleceği unutulmamalıdır.

Eşyükselti eğrili bir harita üzerinde dikkate alınan A ve B noktaları arasındaki H kot farkı ve bu iki noktayı birbirine bağlamada uygulanacak S_m maksimum eğimi için, hiçbir eğim kaybı olmadan bu iki noktayı birbirine bağlayan yolun uzunluğu $100H/S_m$ olmaktadır. Eğer bu uzunluk, verilen bu iki nokta arasındaki kuş uçuşu mesafeden büyük ise, bu iki nokta arasında S_m eğimiyle her bir eş yükselti eğrisini eşit uzunluklarda keserek ilerleyen bir poligon vardır ki bu poligona sıfır poligonu

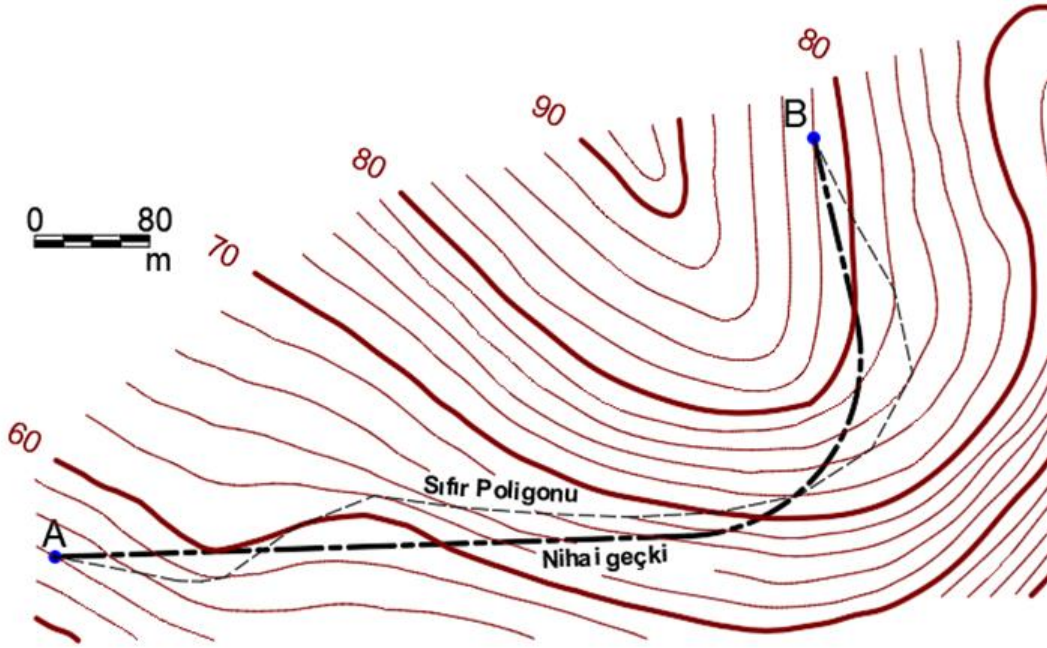
adı verilir (Yayla, 2009; Kök, 2019). Benzer bir tanım da Evren (2002) ve Evren ve Dündar (2016) tarafından yapılmaktadır: Tesviye eğrili harita üzerinde sıfır çizgisinin tesviye eğrilerini kestiği noktaları tepe kabul eden açık poligona sıfır poligonu denir. Sıfır hattı, istenilen eğim şartını sağlayan güzergâhın geçirilebileceği yeri gösterir ve güzergâhın bu hatta intibakı pratikte hemen hemen hiçbir yerde mümkün olmaz (Umar, 1970). Teorik güzergâh olarak tanımlanan bu hattan sapmalar kaçınılmazdır ve dolayısıyla gerçek güzergâh daha kısa olacaktır. Bu durumu hesaba katmak için sıfır poligonu için seçilen eğim bir miktar azaltılır (Orhan, 2013). Bu azaltma arazinin durumuna göre değişiklik göstermelidir. Düz arazilerde %1-4, Dalgalı arazilerde %2-8, dağlık arazilerde ise %3-12 mertebelerindedir (Umar, 1970).

Bazı kitaplar gerçek proje örnekleri ve çizimleri de sunmakta, sıfır poligonunun uygulandığı detaylı bir biçimde gösterilmektedir (Sonuç, 1977; Süttaş ve Öztaş, 1986; Baban, 2000; Kiper, 2002; Avcioglu, 2011). Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) uygulamalarının gelişmesiyle artık kâğıt üzerinde fiziki pergel kullanmadan, dijital ve ölçekli bir haritada ardışık çemberler çizerek sıfır poligonunun eşyükselti eğrilerini kestiği noktalar son derece hassas bir biçimde işaretlenebilmektedir. Örneğin, Şekil 1'de, Sonuç (1977)'de verilen eşyükselti eğrili haritanın dijital ortama dönüştürülmüş hali üzerinde, aralarındaki kuş uçuşu gerçek mesafenin 606,56 m olduğu A ve B noktaları arasında, pergel açıklığı (harita üzerinde) 60 mm alınarak çizilmiş ve toplam gerçek uzunluğu 840,77 m olan 14 kenarlı bir sıfır poligonu çizilmiştir. A ve B noktaları arasındaki kot farkı 28 m olduğu için, bu poligonun eğimi sabit %3,33 olacaktır. Bu kadar çok kırık noktalı bir yol inşası pratikte mümkün olamayacağı için, bu iki nokta arasında Şekil 2'de görülen ve bir de yatay kurp içeren bir geçki eksenini yerleştirilmiş olup, bu nihai geçkinin toplam uzunluğu 792,75 m ve sabit eğimi de %3,53 çıkmıştır.

Sıfır poligonu konusu için, bu makalenin kapsamı dışında kalan, ama daha detaylı ve görsel anlatımlar Akgöl (2022)'de mevcuttur.



Şekil 1. Pergel açıklığını temsilen dijital ortamda çemberler çizerek eşyükselti eğrilerinin kestirilmesi



Şekil 2. Geçki uzunluğunda, eğimde ve toprak işlerinde değişikliğe yol açan ancak daha pratik olan nihai geçki

3. Eleştirilen İfadeler

Sıfır noktası, sıfır çizgisi, sıfır poligonu, yarma ve dolgu konularıyla ilgili olarak, bazı ders kitaplarında aynen şu bilgiler yer almaktadır:

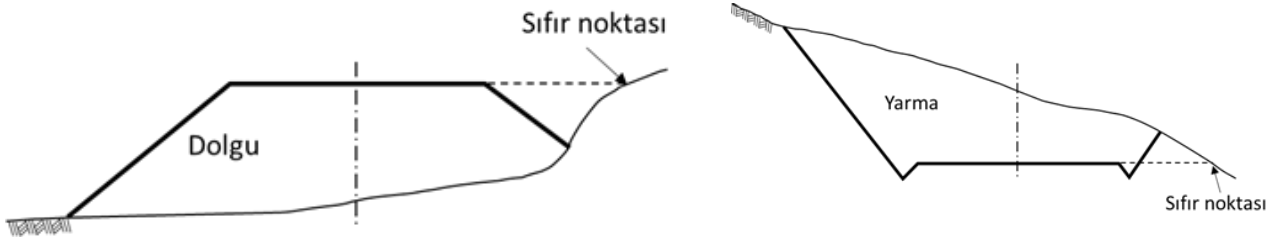
(a) “Güzergâh ekseninin belirli bir noktasına ait kırmızı kotlu noktadan güzergâh eksenine normal yönde geçen yatay çizginin araziye deldiği noktaya sıfır noktası, planda bu noktaların geometrik yerine sıfır çizgisi, tepe noktaları sıfır çizgisi üzerinde olan ve kenarları istenilen büyüklükte seçilen poligona sıfır poligonu denir” ve “... planda, sıfır noktalarının geometrik yeri ‘sıfır çizgisini’ oluşturur” (Bozkurt, 1973; Evren ve Dündar, 2016). Yine benzer bir biçimde, Akpınar (2017) şöyle demektedir: “Bir yarma ve dolgu enkesitinde, eksenin platform çizgisini kestiği noktaya sıfır noktası denir.”

(b) “Sıfır poligonundan arazinin alçak kesimleri yönündeki sapmalar yarma, arazinin yüksek

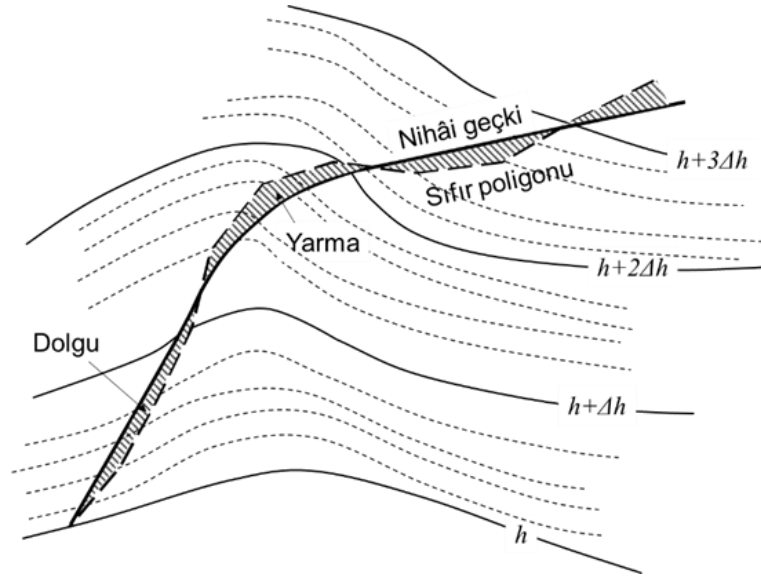
kesimleri yönündeki sapmalar ise dolgu yapılacak yol kesimleridir” (Bozkurt, 1973; Evren ve Dündar, 2016).

(c) “... bir an için geçki ekseninin bu sıfır poligonunu takip ettiğini kabul etsek, bu poligonun her kenarı araziye intibak etmiş durumda olduğundan hiçbir kazı ve dolgu işlemi olmayacak yani toprak işi sıfır olacak demektir. Poligona sıfır poligonu adı verilmesi buradan kaynaklanmaktadır.” (Sütaş ve Öztaş, 1986; Yayla, 2009). “Yol olarak kullanılması mümkün olmamakla birlikte sıfır poligonunun kesin geçki olarak kabul görmesi halinde tüm geçki boyunca hiçbir kazı ve dolgu işlemi oluşmaz” (Akpınar, 2017).

Adı geçen eserlerin bazılarında ayrıca, Şekil 3 ve 4’tekinе benzer (ve birazdan tartışılacağı üzere sorunlu) çizimler de mevcuttur. Yukarıdaki bu (a), (b) ve (c) maddelerinde geçen alıntılar Bölüm 4’te yine aynı sırada ele alınıp tartışılacaktır.



Şekil 3. Sıfır noktasının yerini göstermek amacıyla kullanılmakta olan tipik bir çizim



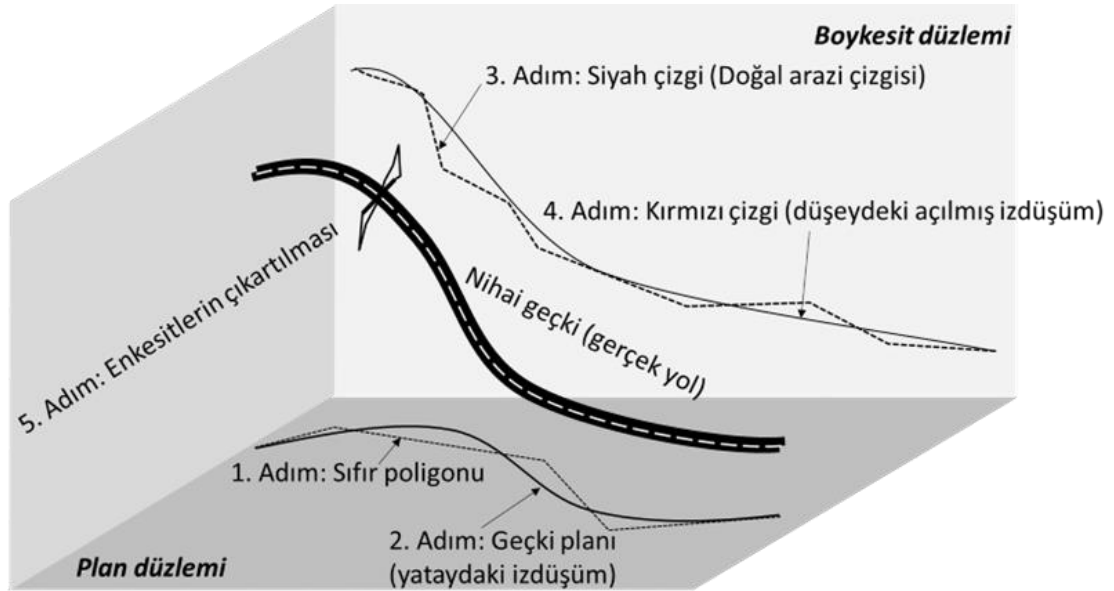
Şekil 4. Sıfır poligonundan uzaklaştıkça artan toprak işlerini göstermek amaçlı kullanılmakta olan tipik bir çizim

4. Tartışma

(a) Güzergâh ekseninin platform çizgisini kestiği noktadan eksene normal doğrultuda çizilen yatay çizginin araziye deldiği noktaların plandaki geometrik yeri sıfır çizgisi ve tepe (köşe) noktaları bu çizgi üzerinde olan poligona da sıfır poligonu denir ifadesi teknik olarak sıkıntılı bir ifadedir. Çünkü Şekil 3'te gösterilen sıfır noktalarının kotları ile platform çizgisinin kotlarının (kırmızı kotların) düşeyde aynı hizaya gelme zorunluluğu yoktur. Bilindiği üzere, bir yol güzergâhına

ait kırmızı çizgi kotları, boykesit aşamasında, (varsa) düşey karp ve doğru parçası kollarının yerleştirilmesi işleminden sonra, ortaya çıkmaktadır (Şekil 5). Yani, boykesitte kırmızı çizginin oluşturulması, sıfır çizgisine ait kotlardan ziyade, planda çizilen geçki ekseninin kotları baz alınarak icra edilir.

Bu arada şu da hatırlatılmalıdır ki, makalenin argümanları, karayolu tasarım adımlarının ülkemiz için normalde Şekil 5'teki sırayı takip ettiği kabulü üzerine bina edilmişlerdir.



Şekil 5. Uzayda bir yol geçkisi ve izdüşümlerinin sırasıyla çizim adımları (ölçeksiz)

Yukarıdaki eleştiriyi doğrulamak maksadıyla, kolaylıkla erişilip kontrol edilebilecek, Karayolları Genel Müdürlüğünce hazırlanmış gerçek bir projenin (Kiper, 2002) sıfır poligonu ve boykesit paftaları üzerindeki bütün hektometre enkesit noktaları örneklem olarak

alınmış ve Tablo 1'deki okumalar yapılmıştır. Görüleceği üzere, seçilen bu 9 adet noktanın hiç birisinde kırmızı kotlar ile sıfır poligonunun araziye kesin dokunduğunu bildiğimiz noktaların kotları aynı çıkmamıştır.

Tablo 1. Kiper (2002), sf. 244-247’den kot okumaları

Enkesit No	Km	Sıfır Poligonu Kotu	Siyah Kot	Kırmızı Kot
1	0+100	1753,00	1753,80	1752,10
2	0+200	1747,00	1740,00	1744,50
3	0+300	1738,00	1742,00	1736,00
4	0+400	1730,50	1732,60	1728,50
5	0+500	1722,50	1718,00	1721,50
6	0+600	1714,50	1713,00	1714,00
7	0+700	1706,00	1705,00	1705,80
8	0+800	1699,50	1699,50	1698,00
9	0+900	1691,00	1989,00	1690,60

Gerçi Şekil 3’teki durumların gerçekleşme ihtimali yok değildir ancak, konuyu ‘hep öyle olur’ ya da ‘genelde öyle olur’ şeklinde ele almak son derece yanlıştır. Hatta söz konusu (eksene normal doğrultuda çizilen) bu çizginin dolgu kesitlerinde araziye dokunma zorunluluğu bile yoktur. Örneğin (her ne kadar arzu edilmeyen bir mühendislik tasarımı olsa da) ovada, proje başından sonuna kadar, tam dolgu olarak ilerleyen bir geçki düşünüldüğünde, Şekil 3’teki gibi bir sıfır noktasını proje üzerinde işaretlemek (istikşafı yapılan koridor genişliği içerisinde) hiçbir zaman mümkün olamayabilir.

Elbette ki eksen çizgisinden normal doğrultuda yatay ilerleyerek araziye dokunmak, bu noktaya bir isim vermek, bu noktalar kümesinden hayali bir çizgi geçirmek ve bu çizgiye de bir isim vermek mümkündür ama (tasarımda bir işe yaramayacak olan) bu çizginin (veya poligonun) bilinen ‘sıfır poligonu’ ile bir ilgisi olmayıp, ikisi birbirine karıştırılmamalıdır. Bu kavram karmaşasının nedeni, 20. Yüzyılın ilk yarısında Almanca ve Fransızca kaynaklardan yararlanan ders kitabı yazarlarının tercüme sırasında yaşadıkları sorunlar da olabilir.

Benzer şekilde, Akpınar (2017)’teki ifadeye bakılacak olursa, “Bir yarma ve dolgu enkesitinde, eksenin platform çizgisini kestiği noktaya sıfır noktası denir” cümlesi zaten sorunludur. En iyi ihtimal ile belki bunun bir yazım hatası olduğu ve asıl kastedilmek istenenin “Bir yarma ve dolgu enkesitinde, güzergâh eksenine normal yönde geçen yatay çizginin araziye deldiği noktaya sıfır noktası denir” olduğu iddia edilebilir. Ancak böyle kastedilmiş bile olsa, yine yukarıdaki (a) maddesinde verilen diğer ifade ile aynı anlama gelir ki, aynı eleştiriler burası için de geçerli olacaktır. Dolayısıyla Akpınar (2017)’deki anlatım da iyileştirilmelidir.

(b) Plan düzleminde “sıfır poligonundan arazinin alçak kesimleri yönündeki sapmalar yarma, arazinin yüksek kesimleri yönündeki sapmalar ise dolgu yapılacak yol kesimleridir” (Evren ve Dündar, 2016) ifadesi aslında tam tersi kastedilerek yanlışlıkla bu şekilde yazılmış bir cümle olduğu izlenimini vermektedir. Ya da, olsa olsa bir matbaa hatasıdır. Ancak, burada eleştirilen husus (nasıl kastedilmiş olursa olsun) böyle bir genellemenin eksik olduğudur. Şöyle ki, planda geçki araştırması yapılırken geçki kollarının ve yatay kurpların yerleştirilmesi toprak işlerini azaltmak amacıyla sıfır hattının artarda bir sağında bir solunda olacak şekilde seçilmesi bilinen bir metottur, ancak bu aşamada henüz boykesit çalışması yapılmadığı için

kırmızı çizgi kotları daha belirlenmemiştir. Yani eşyüksele eğrili haritada sıfır poligonuna göre arazinin alçalan ve yükselen yönünde geçkinin ayarlanması aslında sadece nihai yol geçkisinin yataydaki izdüşümünden başka bir şey değildir (Şekil 5). Boykesit çizilirken değişik nedenlerden ötürü tam tamına dolgu-yarma dengesi gözetilemeyebilir. Bu durumda, planda sıfır hattından (bu hatta dik yönlerde) arazinin alçalan tarafında pekâlâ yarma, yükselen tarafında ise pekâlâ dolgu çıkabilir. Bunu ispatlamak için, yine gerçek bir projeden örnek vermek gerekirse (Kiper 2002), hiç düşey kurbu olmayan bu boykesitte değişikliğe giderek, (ama sıfır poligonunu ve geçki planını aynen koruyarak), kolları arasında küçük bir eğim farkı olan (tepe ya da dere) bir düşey kurp yerleştirilmesi durumunda bile, bazı yarma kesitlerinin dolguya, bazı dolgu kesitlerinin de yarmaya dönüştüğü kolaylıkla görülecektir.

Dolayısıyla, kitaplarda ve derslerde bu konu işlenirken, (b) maddesindeki ifadeye ve Şekil 4’deki gibi bir çizime fazlaca bir anlam yüklemek doğru olmaz. Ancak eğer yine de bir bilgi yazılmak isteniyorsa, söz konusu ifade şöyle değiştirilebilir:

- Proje başı ve sonunda kırmızı çizgi ile sıfır hattının (planda) kesişmesi
- boykesit aşamasında geçirilecek olan kırmızı çizginin de aynı anda göz önünde tutulması ya da proje boyunca hiç düşey kurp bulunmaması
- toprak işlerinde ödünç veya depo olmaması

kaydıyla, bu iki kontrol noktası arasında, plan düzleminde sıfır poligonundan arazinin alçak kesimleri yönündeki sapmalar dolgu, arazinin yüksek kesimleri yönündeki sapmalar ise yarma yapılacak yol kesimleridir.”

(c) Bölüm 3 (c) maddesinde geçen

“... bir an için geçki ekseninin bu sıfır poligonunu takip ettiğini kabul etsek, bu poligonun her kenarı araziye intibak etmiş durumda olduğundan hiçbir kazı ve dolgu işlemi olmayacak yani toprak işi sıfır olacak demektir. Poligona sıfır poligonu adı verilmesi buradan kaynaklanmaktadır” (Sütaş ve Öztaş, 1986; Yayla, 2009); ve “Yol olarak kullanılması mümkün olmamakla birlikte sıfır poligonunun kesin geçki olarak kabul görmesi halinde tüm geçki boyunca hiçbir kazı ve dolgu işlemi oluşmaz” (Akpınar, 2017) ifadeleri aşağıdaki

ayrıntılı da dikkate alacak şekilde yazılırsa daha doğru olacaktır.

Örneğin, “Sadece poligonun araziye dokunduğu tepe (poligonun kırık ya da köşe) noktalarında, sonsuz küçük kalınlıktaki yol genişliği için eksen hattı boyunca toprak işi sıfır çıkar ve poligona sıfır poligonu denmesinin sebebi de budur” gibi.

Veya daha az teorik bir deyişle, “Poligonun araziye dokunduğu bütün tepe noktalarındaki enkesitler, yarma ve dolgu alanları birbirine yakın, karışık enkesitlerdir” gibi.

Bu maddede önerdiğimiz düzeltme, makalenin öncelikli konusu olan kara ve demir yolları için daha geçerli olmakta, boru hattı ve benzeri projeler için sıfır poligonunun sıfır toprak işi anlamına gelebileceği aşikâr olup o tür projeler eleştirimiz haricinde tutulmaktadır.

5. Sonuç

Bilindiği üzere, sıfır poligonu çalışması, genelde boykesitteki kırmızı çizgi çalışmasından daha önceki bir aşamada gerçekleşmektedir. Yani, Şekil 3'teki gibi platformdan araziye doğru yatay bir çizgi çizme ve bu çizginin araziye delindiği noktayı işaretleme gibi (kâğıt üstünde bile olsa) yol tasarımında (sıralaması ters) bir işlem yoktur. İkinci madde (b) ile ilgili olarak, sıfır poligonundan sıfır hattına dik, arazinin alçalan ve yükselen kısımlarına doğru uzaklaştıkça, sırasıyla, dolgu ve yarma hacimlerinin artacağı iddiası, Bölüm 4(b)'de liste halinde verilen koşulların gerçekleşmesi kaydıyla doğru bir ifadedir ama genelleme yapılmamalıdır. Son olarak, sıfır poligonu üzerine inşa edilecek bir yolda (yarma ve dolgu) toprak işlerinin sıfır çıkması ancak ve ancak genişliği sıfır olan bir hat boyunca olur ki, konu işlenirken bunun farazi bir ifade olduğu hatırlatılmalıdır.

Mühendislik ve meslek okulu öğrencilerinin eğitimi adına, makalemizde tartışılan bu üç noktanın, akademisyenlerce ders notlarına ve kitapların yeni baskılarına yansıtılması önem arz etmektedir.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Akgöl, K. (2022). Giresun Üniversitesi Karayolu Mühendisliği Ders Anlatım Videoları, Youtube Kanalı. www.youtube.com/c/KadirAKGOL.
- Akpınar, M. V. (2017). Örneklerle Karayolu Tasarımı. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Allen, C. F. (1931). Railroad Curves and Earthwork. Norwood Press, Mass., USA.
- Arlı, V. (2013). Demiryolu Teknik Terimler sözlüğü. İstanbul Ulaşım AŞ, İstanbul.
- Avcıoğlu, M. (2011). Karayolu İnşaatı, Birsan Yayınevi, İstanbul.

- BC Ministry of Forests (2002). Forest road engineering guidebook. Second Edition, Victoria. For. Prac. Br., B.C. Min. For., Victoria, B.C. Forest Practices Code of British Columbia Guidebook.
- Baban, E. (2000). Yol Projesi Tatbikat Dersleri (Brückner İlaveli) İkinci Baskı. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Bozkurt, M. (1973). Toprak İşleri Ders Notları. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Günay, B. (2011). Enine İvme ve Sademe Formülleri Üzerine Bir Eleştiri. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15, 56-59.
- Günay, B. (2022). Sliding and Rollover on Highways - Subtleties to Note. Teknik Dergi, 33(4), 12329-12334.
- Evren, G. (2002). Demiryolu. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Evren, G. & Dündar, S. (2016). Toprak İşleri. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- FAO (1998). A Manual for the Planning, Design and Construction of Forest Roads in Steep Terrain. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations.
- FOA (2020). New Zealand Forest Road Engineering Manual 2020. NZ Forest Owners Association (FOA), Wellington.
- Kırmızı, Z., Kolağasıoğlu, M. Ş., & Çalışkan, F. T. (2012). Kentiçi Ulaşım Terimleri Sözlüğü Dictionary of Urban Transport Terms. Cinius Yayınları, İstanbul.
- Kiper, T. (2002). Karayolu Projesi Temel Bilgileri. Yollar Türk Milli Komitesi (Yayın no. 23), Ankara.
- Kök, B. V. (2019). Karayolu Mühendisliği ve Tasarımı. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.
- Orhan, M. (2013). Yol Bilgisi ve Tasarımı. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Sessions, J. (2007). Forest Road Operations in the Tropics. Springer-Verlag, Berlin.
- Sonuç, T. (1977). Karayolu Tekniği, Sanat Yapıları, Heyelanlar, Bakım ve İki Şeritli Yol Projesi Cilt 3 Eki. Sermet Matbaası, İstanbul.
- Sütaş, İ., & Öztas, G. (1986). Karayolu İnşaatında Uygulama ve Projelendirme. Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Ulaştırma Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı (2011). Ulaştırma ve Haberleşme Terimleri Sözlüğü. Ankara.
- Umar, A. F. (1970). Yol İnşaatı Dersleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- Yayla, N. (1980). Türkçe-İngilizce Karayolu ve Trafik Terimleri Sözlüğü. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- Yayla, N. (2009). Karayolu Mühendisliği. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Weaver, W. E. (1994). Handbook for Forest and Ranch Roads. A Guide for planning, designing, constructing, reconstructing, maintaining and closing wildland roads. The Mendocino County Resource Conservation District.





Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



Enerji projelerinde arazi edinim faaliyetleri ve arazi değerlemesi

Çetin Önder İncekara ^{*1}, Süleyman Lala ²

¹BOTAŞ, Arazi Edinim Şube Müdürü, BOTAŞ Genel Müdürlüğü, Bilkent, Ankara, Türkiye

²BOTAŞ, Kamulaştırma Daire Başkanı, BOTAŞ Genel Müdürlüğü, Bilkent, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Enerji Projeleri
Arazi Edinimi
Gayrimenkul Değerleme
Gelirlerin Kapitalizasyonu Yöntemi
Bulanık Mantık

Araştırma Makalesi

Geliş:31.05.2022
Revize: 25.06.2022
Kabul:01.07.2022
Yayınlanma:10.08.2022



Öz

Günümüz piyasalarında gayrimenkul sektörü emtia ve finansal piyasalarının en önemli araçlarından birisidir. Gayrimenkulün değeri (hesaplanan) gerçek değerine ne kadar yakınsa; işlemlere taraf kurum, kuruluş ve ülke ekonomisine faydası o kadar gerçekçi olacaktır. İrtifak hakkı değeri; irtifak hakkı için geçerli oranları ile arazi değeri için kalan irtifak hakkı süresi hesaba katılarak arazinin tamamının irtifak öncesi değeri ile irtifak sonrası değeri arasındaki değer düşüklüğü hesaplanır. Ülkemizin taşınmaz değerlendirme sistemi ile ilgili bir mevzuat bulunmadığından dolayı değerlendirme için ihtiyaç duyulan veri tabanı bulunmamaktadır. Çalışma ile ülkemizde taşınmaz değerlendirme sistemi kapsamında enerji sektöründe/projelerinde uygulanan yöntem ile değerlendirme için çözüm geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada enerji konusunda değerlendirme uzmanlarıyla görüşülmüş ve tarım arazilerinde değer takdiri yasal bir zorunluluk olan "Gelirlerin Kapitalizasyonu" yönteminde kapitalizasyon oranını etkileyen olumlu ve olumsuz faktörler ile objektif değer artışı değerlendirilmesi için bir bulanık matematiksel model geliştirilerek değerlendirilmiştir. Bu çalışmadaki amaç uygulamada irtifak hakkının değerlendirilmesi çerçevesinde; gelirlerin kapitalizasyonu yönteminde kapitalizasyon oranını etkileyen olumlu ve olumsuz faktörler irdelenmiş, gerektiği durumlarda objektif değer artışı da kullanılarak enerji sektöründen örnek bir uygulama ile enerji projelerinde uygulanan arazi edinim faaliyetleri ile arazi değerlendirme açıklanmaya çalışılmıştır.

Land acquisition activities in energy projects and land valuation

Keywords

Energy Projects
Land Acquisition
Valuation of Real Estate
Income Capitalization Method
Fuzzy Logic

Research Article

Received:31.05.2022
Revised: 25.06.2022
Accepted:01.07.2022
Published:10.08.2022

Abstract

In today's market, real estate sector is one of the most important instruments of commodity and financial markets. The closer the value of the forecasted real estate's appraisal (calculated) is to its real value; the more realistic the benefits will be for the institutions, organizations and the country's economy that are party to the transactions. The land easement value; by taking into account the applicable rates for the land easement and the remaining land easement period for the calculation of land value, and the decrease in value between the value of the entire land before the easement and the value after the easement. Since there is no legislation regarding the real estate valuation system in Turkey, there is not any database needed for real estate valuation. With the study, it is aimed to develop a solution for real estate valuation with the method applied in the energy sector/projects within the scope of the real estate valuation system in Turkey. In the study, valuation experts on energy sector are interviewed; objective value increase and the positive & negative factors affecting the capitalization rate in the "Capitalization of Incomes" method, that is a legal obligation to value the value of agricultural lands, a fuzzy mathematical model is developed and evaluated. The aim of this study is to valuate of real estate in practice; the positive and negative factors affecting the capitalization rate in the income capitalization method are examined in detail and try to explain the land acquisition activities and land valuation applied in energy projects with a brief application in energy sector by using the objective value increase when necessary.

*Sorumlu Yazar

^{*}(cetiniincekara@gmail.com) ORCID ID 0000-0003-1927-8208
(suleyman.lala@botas.gov.tr) ORCID ID 0000-0002-8788-2039

Kaynak Göster (APA)

İncekara, Ç. Ö., Lala, S. (2023). Enerji projelerinde arazi edinim faaliyetleri ve arazi değerlendirilmesi. *Geomatik*, 8(1), 61-71

1. Giriş

Taşınmaz değerlendirilmesinde taşınmazın yer aldığı bölge, imar durumu, tapu bilgileri/takyidatları, konumu, yeri değerlendirilerek, taşınmazın değeri tespit edilir. Değerleme faaliyetleri, özellikle Covid-19 pandemisi sonrası dünya genelinde ve ülkemiz ekonomik sistemi içinde önemli bir yer tutmaktadır.

Enerji yatırımları, enerji projeleri çoğunlukla yerleşim yeri dışında genelde tarım arazileri üzerinde yapılmaktadır. Ülkemizde tarım arazilerinin yerel, bölgesel, ulusal düzeyde alım ve satım değerleri, tarım ürünlerinin maliyetleri ile gelirleri, ilgili istatistiksel verilerin yer aldığı veri ağı kurulmamıştır, il/ilçe/köy/mahalle seviyesinde arazi nevelerine (kuru/sulu tarla, çayır, yonca, meyve bahçesi, bağ, meyvesiz ağaçla kaplı arazi vb.) için geçerli kapitalizasyon oranları düzenli olarak belirlenip yayımlanarak kişilerin kullanımına sunulmamıştır. Bundan dolayı kamulaştırma işlemlerine konu taşınmazların bedel tespit çalışmaları için enerji yatırımları yapılacak lokasyonlarda/bölgelerde, güzergahlarda detaylı ön inceleme ve arazi çalışmaları yapılması gerekmektedir.

1.1. İrtifak Hakkı nedir?

Türk Medeni Kanunu (TMK) irtifak hakkı ile ilgili madde 826 düzenlenmiştir. Söz konusu maddeden anlaşılacağı üzere, irtifak hakkının süresi en az otuz yıl olup Üst hakkının en çok yüz yıl için kurulabileceği hususu TMK madde 836'da, irtifak hakkı ile ilgili yapılacak resmi senedin bağlayıcılığı ise madde 827 düzenlenmiştir. Konu ile ilgili diğer bir husus olan kurulan üst hakkı sonunda yapılar arazi malikine bırakılması durumu TMK madde 828'de düzenlenmiştir. Kurulan üst hakkı sonunda kalan yapılar için malikin herhangi bir bedel ödemeyeceği durumu ise TMK madde 829'da düzenlenmiştir.

1.2. Kamulaştırma ve Arazi Edinimi nedir?

Kamulaştırma kamu yararı amacıyla; mülkiyeti kişilere ait olan hakka bir müdahaledir, mülkiyet hakkının sınırlandırılmasıdır. Mülkiyet, kişinin taşınır veya taşınmaz üzerinde hâkimiyet kurmasıdır. Mülkiyet, ülkelerin anayasasında ve anayasamızda, "Mülkiyet Hakkı" olarak tanımlanarak korunmuştur. Kamulaştırma Anayasa'nın 46 maddesinde yer almakta olup 2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu'nda detaylı olarak tanımlanmıştır.

Kamulaştırma işlemi; bireylerin ve/veya tüzel kişilerin malik olduğu taşınmazların üzerinde yapılmaktadır. Bu durum acele kamulaştırma içinde geçerlidir. Kamulaştırma işlemi; 2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu'nda belirtilen kamu tüzel kişilerinin yetkili organları tarafından yapılabilir. Acele kamulaştırma; 2942 sayılı Kamulaştırma Kanun'un 27. maddesinde özel olarak sayılan makamlar tarafından yapılabilir.

Kamulaştırma işleminde ilk önce komisyon vasıtasıyla taşınmazın gerçek değeri tespit edilir. Kurum malik ile uzlaşma aşamasında tespit edilen bedel üzerinden anlaşamaz ise taşınmazın bulunduğu AHM-

Asliye Hukuk Mahkemesinde dava açılır, bedel tespit ve tescil davasında bilirkişiler tarafından tespit edilen bedel üzerinden malike ödeme yapılır.

Taşınmazın değerinin hesaplanma yöntemi Kamulaştırma Kanunu madde 11'de belirlenmiştir. Acele kamulaştırma yapılırken acele el koyma için bir bedel tespit edilmesi zorunlu olup, belirlenen bedel malikler adına depo edilmelidir. Kurum acele el koyma davası sonrasında arazi edinimi için rızaen alım aşamasına geçmeli, rızaen anlaşma sağlanamayan parseller için bedel tespit ve tescil davası açılmalıdır. Arazi edinimi için izlenecek yol ve yöntemler 2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu ile tanımlanmış olup Kamulaştırma Kanunu'na göre kamulaştırma bedeli peşin ve nakden ödenmelidir.

1.2.1. Arazi Değerlemesi nedir?

Taşınmaz Değerlemesi kapsamında; arazinin /tarlanın/arsanın çevre yapılaşması, yapılaşmaya uygun olup olmadığı, imar durum bilgisi, şehir merkezine uzaklığı, yoğunluk durumu, cephe uzunlukları, caddeye göre konumu, alt yapı olanakları, parselin şekli, parselin eğimi incelenerek detaylı bir değerlendirme raporu hazırlanır. Ancak arazi değerlendirilmesi kapsamında ülkemizde çok fazla çalışma bulunmamaktadır.

1.3. Arazi, tarla ve arsa nedir?

Taşınmaz mülk, gerçek veya tüzel bir kişinin mülkiyeti altındaki taşınır/taşınmaz malların (arazi, bina vb.) bütünüdür. Yatay veya dikey sınırlara sahip üzerinde toprak, hidroloji ve bitki örtüsünü içeren, imar uygulaması geçmeyen yerleşim yeri bulunmayan imar uygulaması geçmeyen boş toprak parçalarına arazi denmektedir. Arazinin sınırlarını; dağlar, tepeler, dereler, yollar, ağaçlık yerler, duvarlar veya işaretlerle belirlenmektedir.

Arsa; belediye sınırları içinde kalan, tarım yapılmayan imar uygulamasına göre parsellenmiş, yapılaşmaya izin verilen üstüne bina yapılabilen toprak parçasıdır. Bir lokasyonda/arazide bina yapımına/inşaatına başlanabilmesi için imar planına göre arsa olmalıdır, arazi ilgili belediye imar müdürlüğü tarafından imar uygulaması alanına dahil edilmiş olmalıdır.

Tarlanın tanımı ise; tarıma elverişli olan arazi olup sınırları belirli olan üzerinde tarımsal üretim yapılan (bitkisel ürünler) toprak parçasıdır. Burada unutulmaması gereken her arazi arsa değildir.

2. Değerleme Yöntemleri

Ülkemizde gayrimenkullerin değeri bölgeye, yöreye, iklime ve toprak nevelerine göre değişiklik göstermekte olup değerlerin tam ve doğru olarak tespit edilmesinde bilimsel metotların/yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Gayrimenkul bedellerinin tam ve doğru olarak tespit edilmesinde kullanılan yöntemler aşağıda sunulmuştur:

- Emsal Karşılaştırma Yöntemi
- Maliyet Yöntemi
- Gelirlerin Kapitalizasyonu Yöntemidir.

2.1. Emsal Karşılaştırma Yöntemi

Yöntemin esası, değerlemesi yapılacak gayrimenkulün pazardaki alım-satım fiyatlarıdır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için karşılaştırılan taşınmazların aynı koşulları sağlaması ve serbest rekabet ortamının olması gerekli olup burada asıl olan herhangi bir zorlama olmaksızın taraflar (alıcı/satıcı) arasında alım-satım işleminin gerçekleşmesidir. Bu yöntem ile bir taşınmazın değerlemesi yapılacak ise o mala emsal teşkil edebilecek, aynı koşullara sahip olabildiğince fazla emsal alım-satım değerine ulaşılmalıdır. Bu değerlere ulaşıldıktan sonra olumlu-olumsuz yönler dikkate alınarak karşılaştırma yapılarak nihai değer belirlenecektir. Bu yöntem genellikle arsa ve bina değerlemelerinde kullanılmaktadır.

2.2. Maliyet Yöntemi

Bu yaklaşımda esas olan mülkün maliyetidir. Maliyet, üretilecek bir malın üretim işlemi gerçekleşinceye kadar geçen süre boyunca yapılan zorunlu masraflardır. Bu giderler toplamına ekonomide maliyet denmektedir. Maliyet yöntemi, yeni bina/mülk inşa etmenin maliyetini ya da benzer kullanım için eski bir mülkü almanın/uyarlamının maliyetini hesaplayarak değeri belirlemeye çalışır. Bu yaklaşımın kullanım alanı araştırıldığında; emlak piyasasında çok sık alım-satımı yapılmayan taşınmazların/mülklerin değerlemesinde emsal satış bilgilerinin yetersiz olduğu durumlarda kullanılır. Maliyet yöntemini tarım arazilerinde; çok yıllık bitkilerin tesis aşamasındaki değerlendirilmesinde ve zarar-ziyan tespitinde kullanılır.

2.3. Gelirlerin Kapitalizasyonu Yöntemi

Kamulaştırma Kanunu'nun 11. Maddesine göre; tarım arazilerinin kamulaştırma bedelleri Gelir Kapitalizasyonu (İndirgeme) Yöntemi ile tespit edilir. Bu yöntem gelir getiren mülklerin değerlemesinde uygulanabilir ve esas olan net gelirdir. Gelire dayalı taşınmaz değerlemesinde; bir mülkün gelir getirisi ne kadar yüksekse değeri o derece yüksek demektir. Taşınmazın hesaplanan/tahmin edilen ortalama yıllık brüt gelir getirisi, potansiyel/net gelirinin bugünkü değere getirilmesi ile hesaplanır. Bu yöntem; sürekli gelir getiren taşınmazların (en çok ticari gayrimenkullerde) değerlemesinde ve arazi sınıfındaki taşınmazların farklı amaçlar için kullanılması hesabında çok sık kullanılır.

Gelir getiren taşınmazların değerinin hesaplanmasında; net gelir getirisi, piyasadaki güncel ve geçerli kapitalizasyon oranının saptanması çok önemlidir. Taşınmazın gelirini değere dönüştüren oran olan Kapitalizasyon oranı, gayrimenkulün yıllık net işletme gelirini, sürüm değerine dönüştüren bir orandır. Bu yöntemde; takdiri yapılacak mülkün/taşınmazın sürekli bir mülk olması ve o mülkten sürekli bir gelir elde ediliyor olması gerekir. Gelecekteki gelirler toplanırken paranın zaman değeri de dikkate alınır. Yöntemde, bir mülkün gelirinin karşılığı o mülkün gelecekte getireceği bütün gelirlerin toplamının değer takdiri yapılan zamandaki değerine eşittir. Enerji sektöründe arazi edinimlerinin büyük oranda tarım arazisi kapsamında

olması sebebiyle en çok kullanılan yöntem; Gelirlerin Kapitalizasyonu Yöntemidir.

2.3.1. Değerlendirmede Kullanılan Tarımsal Veriler

Araştırmada kullanılan materyalin esasını, kamu kuruluşlarının kayıtlarından derlenen veriler ve ilgili tarım il/ilçe müdürlüklerinden alınan birim maliyet çizelgeleri, imar müdürlüklerinden alınan rayiç bedeller oluşturmaktadır. Ayrıca tapu sicil müdürlüklerinden alınan alım-satım bedelleri ile tarım kredi kooperatiflerinden alınan birim girdi kullanım miktarı ve fiyatlarından da yararlanılmıştır. Tarım arazilerinde değer takdiri yasal bir zorunluluk olan "Gelirlerin Kapitalizasyonu" yöntemi dikkate alınarak yapılır.

Gelir yönteminde; taşınmazın gelecekte elde edeceği tüm faydalar/gelirler/beklenen gelirler dikkate alınır ve bugünkü değerlerine getirilir, söz konusu gelirlerin bugünkü değerine getirilmesine kapitalizasyon denir. (Geliri değere dönüştürme işlemi)

$$K = P / f \quad (1)$$

(Üzerinde tek yıllık ürün olan tarım arazisinin değer takdir eşitliği)

$P = \text{GSÜD (Brüt gelir)} - \text{Üretim masrafları}$

$$K_o = P (\sum_{i=0}^n (R_i)) \times 1/q^n - 1 \quad (2)$$

(Üzerinde çok yıllık ürün olan tarım arazisinin değer takdir eşitliği)

$$P = \sum_{i=0}^n (R_i) \quad i: 0 \dots n \quad (3)$$

Formüllerde kullanılan;

K ve Ko: Çıplak Arazi Değeri (TL/Da)

GSÜD: Gayri Safi Üretim Değeri

P: Arazinin Yıllık Ortalama Net Geliri (TL)

Q: $(1 + f)$

f: Kapitalizasyon Oranı(%)

n: Ürünün Ekonomik Ömür Yaşı'dır.

Yukarıda gösterildiği gibi tek yıllık ve çok yıllık ürünlerde çıplak arazi değeri hesaplanır ve kapitalize edilir. Kamulaştırma bedelinin tespit (değerleme) süreci; Eşitlik (1) in pay ve paydasında yer alan değerlere ulaşılması için yapılan ön inceleme, veri toplama, veri analizi, hesaplama ve sonuç raporunun hazırlanması aşamalarından oluşmaktadır.

2.3.2. Kapitalizasyon Oranı Tespiti

Kapitalizasyon oranı; arazinin net geliri ile gerçek pazar değeri arasındaki orandır. Söz konusu oran; arazi maliklerinin sosyo-ekonomik özellikleri, tarım arazilerinin verimliliği, özellikleri, ekonomik getiri durumu ve niteliklerine göre değişkenlik göstermekte olup piyasa faiz oranından farklılıklar göstermektedir. Ayrıca genel kural olarak; kapitalizasyon faiz oranı düştükçe taşınmazın değeri yükselmektedir (Ters orantılıdır). Kapitalizasyon oranını etkileyen olumlu

(objektif değer artışı) ve olumsuz faktörler hesabı [Tablo 1](#)' de sunulmuştur. ([Tablo 1](#) oluşturulurken [Eves'in](#)

([Eves, 2004](#)) ve ERTAS'ın ([ERTAS, 2014](#)) çalışmaları değerlendirilmiş ve çalışma kapsamında geliştirilmiştir.)

Tablo 1. Kapitalizasyon Oranını Etkileyen Olumlu (Objektif Değer Artışı) ve Olumsuz Faktörler

Olumlu Faktörler	Olumsuz Faktörler
Kente veya kasabaya yakın olma,	Taşınmazın kente ve/veya kasabaya uzak olması,
Ulaşım olanaklarına (demiryolu, karayolu, denizyolu, havayolu...) yakınlık,	Ulaşım olanaklarına (demiryolu, karayolu, denizyolu, havayolu...) uzaklık,
Kent ve/veya kasaba nüfusunun veya nüfus yoğunluğunun fazlalığı,	Kent ve/veya kasaba nüfusunun veya nüfus yoğunluğunun azlığı,
Ulaşım kolaylığı,	Ulaşım gücü, binaların(varsa) kötü durumda olması,
Taşınmazın bulunduğu çevre sağlık koşulları yönünden sorun olmaması,	Kötü sağlık koşulları,
Binaların(varsa) bakımlı olması,	Binaların bakımlı olmaması,
Arazinin bütün tek bir parçadan oluşması,	Arazinin parçalı olması ve parçaların birbirinden uzak bulunması,
Arazinin serbest olarak alınıp satılabilmesi,	Mülk güvenliğinin olmaması,
Arazinin yapısı:Toprağın biçiminin düzgün olması,	Toprağın biçiminin düzgün olmaması,
Taşınmazın sanayi tesislerine, OSB, turistik ve belediye sınırlarına yakın olması,	Arazinin kadastro ve tapulama çalışmasının yapılmamış olması,
Kente ve/veya pazara yakın olması,	Kente ve/veya pazara uzak bulunması,
Yörede can, mal ve mülk güvenliğinin olması,	Yörede arazi alım-satım olanaklarının çok sınırlı olması,
Uygulanan münavebe sisteminin kolaylıkla değiştirilebilmesi,	Arazide uygulanan münavebe sistemini değiştirmenin güç olması,
Arazi üzerinde bulunan müstemilatlar,	Arazi üzerinde bulunan müstemilatların olmaması,
Arazinin kadastro çalışmasının yapılmış olması,	Toprak sahibinin can güvenliğinin olmaması,
Sulama kolaylığının (sulu ise) olması,	Sulu ise sulamanın gücü.

Kapitalizasyon faiz oranı %3 ile %15 arasında değişmekle birlikte yerleşik Yargıtay İçtihatlarına göre bu oran kuru tarım arazilerinde %6, sulu tarım arazilerinde ve kapama bahçelerde %4 ile %5 arasında uygulanmaktadır. Ayrıca Doğu Karadeniz bölgesi gibi arazinin kısıtlı bulunduğu verimli ama dağlık bölgelerde

bu oran %3'e kadar düşmektedir. Kapitalizasyon denklemi [Eşitlik 4](#)'te formüle edilmiştir.

Sonuç olarak gelirlerin kapitalizasyonu yönteminde arazi değerini tespit etmek için uygulanan formül [Eşitlik 5](#)'te gösterilmektedir.

$$\text{Piyasa Kapitalizasyon Oranı (k)} = \text{Arazinin Net Geliri (Gnet)} / \text{Arazi Değeri (D)} \quad (4)$$

$$\text{Arazi Değeri} = \text{Net Gelir} / \text{Kapitalizasyon Faiz Oranı} \quad (5)$$

2.3.3. Yaygın Arazi Ekim Planı

Tarım arazilerinin bedelinin belirlenmesinde ilk aşama ve en önemli aşama olan yaygın münavebe sisteminin tespit edilmesinde dikkat edilmesi gereken unsur arazi üzerinde ortalama bir üretim yapıyor gibi düşünerek arazinin elde edeceği niteliklere göre değerlendirilmesidir. Dolayısıyla arazinin bulunduğu bölgede yaygın olan üretim deseni iyi irdelenerek, tanımlanmalı ve sonuca bağlanmalıdır.

Çok yıllık ürünlerde ise yine aynı masrafların yapılarak tesis masrafları, üretim (verim) dönemi masrafları ve verim eksiliş dönemi masrafları oluşmakta ve yine bu masrafların değerlendirilmesi sonucu toplam üretim masraflarına ulaşılmaktadır. Burada tek yıllık ürünlerden ayrı kılan durum meyve bahçesi gibi çok yıllık ürünlerde yapılan masrafların her yıl değişiklik göstermekte olması her yaş için ayrı masraf değerinin çıkarılmasını gerekli kılmıştır.

2.3.4. Brüt (Gayrisafi) Gelir Tespiti (TL/da)

Taşınmaz maldan bir yıl içerisinde elde edilen verimin (kg/da) o andaki cari yılın ürün fiyatı ile çarpılması sonucu elde edilir. Toplam Gayri Safi Üretim Değeri (GSÜD) ürün hesabı [Eşitlik \(6\)](#) da sunulmuştur.

$$\text{Toplam GSÜD} = \text{GSÜD (Ana Ürün)} + \text{GSÜD (Yan Ürün)} \quad (6)$$

$$\text{GSÜD (Ana Ürün)} = \text{Ortalama Verim (Kg/Da)} \times \text{Çiftçi Eline Geçen Ürün Fiyatı (TL/Kg)}$$

$$\text{GSÜD (Ana ve Yan Ürün için)} = \text{Ortalama Verim (Kg/Da)} \times \text{Çiftçi Eline Geçen Ürün Fiyatı (TL/Kg)}$$

2.3.5. Net Gelir Tespiti (TL/da)

Net Gelir hesabı [Eşitlik \(7\)](#) de sunulmuştur.

$$\text{Net Gelir} = [(\text{Toplam Gayrisafi Üretim Geliri} + \text{Yan Ürün Geliri}) - (\text{Arazi Kirası Hariç, Tesis ve Üretim Masrafları})] \quad (7)$$

2.3.6. Tarım Arazilerinde Mülkiyet Değerlemesi

Enerjide bir örnek uygulama olarak Taşınmaz Değerini Etkileyen Unsurlar ve Münavebe Gelirler Tablosu (Tarım Arazilerinde) hesabında dikkate alınan arazi unsurları [Tablo 2'](#) de sunulmuştur.

Tablo 2. Taşınmaz Değerini Etkileyen Unsurlar ve Münavebe (Ekim) Gelirler Tablosu (Tarım Arazilerinde)

Değeri Etkileyebilecek Bütün Nitelik ve Unsurlar	Eğim (%)	Düz – Hafif Eğimli- Dik (% 0 -2 - 8 - 20)
	Bünye-yapı	Kahverengi, Killi-Tınlı
	Toprak derinliği (cm)	75-150 cm (Orta - Derin)
	Taşlılık	Yok
	Sulama durumu	1. ve 2. Sınıf Kuru Tarım Arazisi (KT-1; KT-2)
	Taşkın tehlikesi	Yok
	Taban suyu	Yok
	Tuzluluk-sodyumluk	Yok-Yok
	Kapitalizasyon faiz oranı (%)	5%
	Yola sınırı-cephesi	Yer Yer Yakında
	Objektif değer artışı	% 30 - 35
	Yerleşim yerine yakınlık	Yer Yer Yakında
	Resmi makamlarca yapılan k.t.	-
	Ulaşım durumu	İyi
	Makinalı tarım	Uygun

Enerjide bir örnek uygulama olarak Münavebeye Göre Yıllık Net Gelir (Tarım Arazilerinde) hesabı [Tablo 3'](#)de sunulmuştur.

Tablo 3. Münavebeye Göre Yıllık Net Gelir (Tarım Arazilerinde)

Yörede Tespit Edilen Yaygın (Mutat) Münavebeye Göre Yıllık Net Gelir (TL/da)	Yıl	Arazi Türü ve Sulama Durumu	Ürün*	Ana Ürün Ort. Verim (kg/da)	Yan Ürün Verim (kg/da)	Ana Ürün Fiyatı (TL/kg)	Yan Ürün Fiyatı (TL/kg)	Brüt Üretim Değeri (TL/da)	Üretim Maliyeti (TL/da)	Net Gelir (TL/da)	Yıllık Ort. Net Gelir (TL)
	1	KT-1	Buğday	320	150	1,65	0,45	595,5	198,5	397	132,33
	2	KT-1	Taze Bakla	1250	-	2	-	2250	750	1500	500
	3	KT-1	Biber	1875	-	2,2	-	4125	1375	2750	916,66
	Bir Dekar İçin Yıllık Net Gelir (TL/da)										1.549

2.3.8. İrtifak Hakkı Değerlemesi

İrtifak hakkı (kullanım hakkı); taşınmaz sahibinin taşınmazını bir başka kişinin yararlanmasın/kullanmasına izin verdiği aynı bir haktır. Bu kapsamda taşınmaz sahibinin taşınmaz üzerindeki hakları kısıtlanırken, hakkı kullanan Kuruma/kişiye kamulaştırma kanuna göre taşınmaz üzerinde çeşitli haklar verir. Bu çerçevede Kamulaştırma Kanuna göre taşınmaz sahibinin taşınmazdaki haklarını kısıtlarken/sınırlanırken (taşınmaz üzerinde bulunan bazı hakları kullanamaz), hakkı kullanan Kuruma taşınmaz üzerinde belirli haklar tanır.

İrtifak Hakkı Tesisi Bedeli (C) = Taşınmazın İrtifak Tesisinden Önceki Değeri (A)-Taşınmazın İrtifak Tesisinden Sonraki Değeri (B)

2.3.7. Taşınmazın Değerini Artıran Faktörler (Objektif Değer Artışı)

Enerjide bir örnek uygulama olarak Objektif Değer Artış Oranı (Tarım Arazilerinde) [Tablo 4'](#) de sunulmuştur.

Tablo 4. Objektif Değer Artış Oranı (Tarım Arazilerinde)

	Madde	Oran
Objektif Değer Artışı (ODA)*	İletişim ve Haberleşme	5%
	Ulaşım - Anayola yakınlık	5%
	Yerleşim Yerine Yakınlık	10%
	İmar Planına Uzaklık	5%
	Sosyal ve Kültürel Hizmetlerden Yararlanma	5%
	Toplam	% 0- 30

Enerji sektöründe bir örnek uygulama olarak; çalışmada Tablo (1-4) kullanılarak Formül (5) ile arazi değerlendirme metodu ile hesaplanması aşağıda gösterilmiştir.

TÇD (Taşınmazın Çıplak Değeri) = Yıllık Net Gelir (R) / Kapitalizasyon Faiz Oranı (K)
 $TÇD = 1.549/0,05 = TÇD/1000 = 30.980/1000$
 $TÇMD$ (Taşınmazın çıplak m² değeri) = 30,98 TL/m²
 $TÇMD*ODA$ (Objektif Değer Artışı)
 Objektif Değer Artışı: 1,30
 Arazi m² Değeri = 30,98*1,30 = 40,27 TL/m²

İrtifak Hakkı Değerlemesi kapsamında bir enerji projesinde kullanılan örnek bir çalışma/uygulama aşağıda sunulmuştur.

Taşınmazın toplam yüzölçümü: 6.832,00 m²
 İrtifak tesis edilen alan: 475,25 m²
 Taşınmazın mülkiyet birim değeri: 43,50-TL/m²
 Taşınmazdaki Değer Düşüklüğü: (İrtifak alanı/Toplam alan) *35 (Yargıtay kararına göre)
 (475,25/6832,00) *35 = 2,43 = %2,43 değer düşüklüğü oranı bulunur.

Taşınmazın İrtifak Tesisinden Önceki Değeri= (6.832,00 m²) *43,50-TL = 297.192,00-TL
 Taşınmazın İrtifak Tesisinden Sonraki Değeri= (6.832,00 m²) *43,50-TL*(%100-%2,43= 0,9757) = 289.970,23-TL
 İrtifak Hakkı Tesisi Bedeli: 297.192,00-289.970,23 = 7.221,77-TL
 İrtifak Hakkı Tesisi Birim Bedeli: 7.221,77/475,25 = 15,20-TL/m²
 Mülkiyet bedelinin %35'i: 43,50*0,35=15,23-TL/m²

15,23>15,20 : Uygunudur.

Mülkiyet bedelinin %35 i ile İrtifak Hakkı Tesisi Birim Bedeli ile karşılaştırılmış ve %35 ini geçmediği ve uygun olduğu görülmüştür.

2.3.9. Geçici İrtifak Hakkı Değerlemesi

Geçici irtifak hakkı bedeli, geçici irtifak tesis edilen alandan mahrum kalınan yıllık ortalama net gelirlerinin bugünkü değerine indirgenerek hesaplanmaktadır. Kuruluşumuzca yapılan inşaat çalışmalarında genellikle 2 yıl üzerinden yapılır. Geçici İrtifak Hakkı Bedeli hesaplanması [Eşitlik \(9\)](#) da sunulmuştur.

$$\text{Geçici İrtifak Hakkı Bedeli (S0): } qn-1/(k*qn) \quad (9)$$

S: Geçici irtifak tesis edilen alanın yıllık ortalama net geliri

n: Geçici irtifak yıl sayısı

k: Kapitalizasyon faiz oranı

3. Hesap Yöntemi

Günümüz dünyası karmaşık olup karmaşıklığından dolayı belirsizlik bulunmaktadır. Çağımızda karar vermemiz gereken pek çok olayda tam bir karara varamadığımızdan kesin kararımızı söyleyemediğimizden dolayı günlük hayatımızda her zaman bir belirsizlik vardır. Bu yüzden günümüzde karar verme sürecine çok sık bulanık mantık teorisi kullanılmaktadır. Bulanık mantık; karar vermemizdeki belirsizlik, karmaşıklık ve kesin karar verilemeyişimizi dilsel ifadeler sayesinde tutarlı, doğru kararlar vermeyi sağlayan bir mekanizmadır.

3.1. BMT-Bulanık Mantık Teorisi

BMT 1965 yılında ilk Zadeh'in çalışması ile literatüre girmiştir. Zadeh (1965) bulanık kümeler

teorisi ile teorinin temel kavramları, klasik kümelerdeki bazı özellikleri bulanık kümelerde uygulayacak (her elemanına 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecesi atayan bir üyelik fonksiyonuyla/sistemiyle tanımlanan küme) şekilde tanımlayan bir çalışma yapmıştır (Incekara, 2019a, Incekara, 2019b, Incekara, 2019c). BMT; günümüzde günlük hayatımızda karşılaştığımız problemlerin yaklaşık olarak modellenmesini ve matematiksel olarak karmaşık olmayan çözümler ile problemin çözülmesini hedeflenmiştir. BMT; Karar Vericiler (KV) vasıtasıyla problemin değerlendirilmesini dilsel değişkenler (Tablo 5 ve Tablo 6) ile çözüm sürecine dâhil edilerek, çok-kriterli-karar-verme (ÇKKV) problemlerinde çok sık karşılaşılan belirsizlikleri modelleyerek/çözümleyerek problemin çözümünü sağlamaktadır (Incekara, 2018).

3.2. BAHP-Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi

BAHP; Karar Vericiler dilsel değişkenler vasıtasıyla karşılaşılan ÇKKV probleminin belirsizliklerini değerlendirerek/giderilerek, problemin çözümü için katkı sağlayan bir yöntem olan AHP'nin avantajlarını (Saaty, 2008) içeren bir yöntemdir.

Zadeh ile kullanılmayan başlayan BMT yöntemi; günümüzde çok sık kullanılmaktadır. BAHP yöntemi ile literatürde (Klir and BY 1995; Buckley, 1985, Chen ve Hwang, 1992; Chan ve Kumar, 2007; Wang, 2015; Chen, ve Pham 2001; Kumar, ve ark., 2016; Satrovic, 2018; Shukla, 2014; Incekara, 2019; Incekara, 2020; Incekara, 2018; Incekara, 2021) pek çok çalışma yapılmıştır. Tablo 5 ile çalışmada, problemin çözümünde kullanılan dilsel ifadeler için kullanılan üçgen bulanık sayılar ve ilgili ters bulanık sayıları sunulmuştur.

Tablo 5. BAHP yöntemi: Dilsel ifadeler, Bulanık Sayılar ve Ters Bulanık Sayılar

Çalışmada Kullanılan Dilsel ifadeler	BAHP Kullanılan Bulanık Sayılar	BAHP Kullanılan Ters Bulanık Sayılar
EÖ:Eşit Önem	[1,1,3]	[1/3,1,1]
BDÖ:Biraz Daha Önemli	[1,3,5]	[1/5,1/3,1]
OÖ:Oldukça Önemli	[3,5,7]	[1/7,1/5,1/3]
ÇÖ:Çok Önemli	[5,7,9]	[1/9,1/7,1/5]
SDÖ:Son Derece Önemli	[7,9,9]	[1/9,1/9,1/7]

Günümüzde karar problemleri pek çok belirsizlikleri içermektedir; belirsizlik durumu altında BAHP yöntemi, AHP yöntemine göre sonuçları daha güvenilirdir. BAHP ile bireysel kararlar ile grup kararları vermek için çok uygun bir yöntemdir. 1996 yılında Chang üçgen bulanık sayılarla karşılaştırmaların yapay mertebe değerleri hesaplamasına dayanan BAHP modelini ortaya koymuş olup günümüzde literatürde en çok tercih edilen/kullanılan Bulanık yöntemlerden biridir.

Çalışmada kullanılan Bulanık AHP yöntemi adımları aşağıda özetlenmiştir (Incekara 2020).

$K = \{k_1, k_2, \dots, k_p\}$ nesne seti ve $L = \{l_1, l_2, \dots, l_r\}$ amaç seti; her amaç için "r ölçüde" analiz yapılmıştır.

$$X^{1_{hi}}, X^{2_{hi}}, \dots, X^{r_{hi}} \quad (i=1,2,\dots,p; j=1,2,\dots,r) \quad (10)$$

Burada, tüm $X^{j_{hi}}$ ($i=1,2,\dots,r$) bulanık sayılar olup i . için ilgili bulanık sentetik mertebesi Eşitlik (11) ile gösterilmiştir.

$$S_i = \sum_{j=1}^r X^{j_{hi}} \otimes \left[\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^r X^{j_{hi}} \right] \quad (11)$$

$X_1 \geq X$ 'nin olabilirlik derecesi Eşitlik (12) ile gösterilmiştir.

$$B(X_1 \geq X_2) = \sup_{k \geq t} [\min(\mu_{X_1}(k), \mu_{X_2}(t))] \quad (12)$$

$h \geq t$ ve $\mu_{X_1}(k) = \mu_{X_2}(t)$ durumunu sağlayan (k, t) gibi bir çift varsa; $B(X_1 \geq X_2) = 1$ 'dir. X_1 ve X_2 ; konveks bulanık sayılardır;

$$X_1 \geq X_2 ; B(X_1 \geq X_2) = \mu_{X_1}(e) \quad (13)$$

Burada e , μ_{X_1} ve μ_{X_2} arasında en yüksek kesişim noktası E'nin ordinatıdır.

$X_1 = (a_1, b_1, c_1)$ ve $X_2 = (a_2, b_2, c_2)$ olduğunda; E'nin ordinatı Eşitlik (14) ile hesaplanır.

$$B(X_2 \geq X_1) = \frac{a_1 - c_2}{(b_2 - c_2) - (b_1 - a_1)} \quad (14)$$

X_1 ve X_2 'nin karşılaştırılmasının yapılabilmesi için $B(X_1 \geq X_2)$ ve $B(X_2 \geq X_1)$ değerlerine ihtiyaç vardır.

$$B(X \geq X_1, X_2, \dots, X_f) = B[(X \geq X_1)] \text{ ve } [(X \geq X_2)] \text{ ve } \dots \text{ ve } [(X \geq X_f)] \\ = \min B(X \geq X_i), \quad (i=1,2,3,\dots,f) \quad (15)$$

$d'(A_i) = \min B(S_i \geq S_f)$ ve $k = 1,2,3,\dots,v; f \neq i$ ağırlık vektörü Eşitlik (16) ile gösterilmiştir.

$$W' = (d'(Z_1), d'(Z_2), \dots, d'(Z_f))^T \quad (16)$$

"W" bulanık olmayan bir sayı olup; normalize ağırlık vektörü Eşitlik (17) ile gösterilmiştir:

$$W = (d(Z_1), d(Z_2), \dots, d(Z_i))^T \quad (i= 1,2,\dots,f) \quad (17)$$

3.3. BTOPSIS-Bulanık TOPSIS Yöntemi

1981 yılında Hwang ve Yoon geliştirmiş olduğu TOPSIS (The Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) yönteminin temelinde; karar noktalarının pozitif ve negatif ideal çözüme ne kadar yakın/uzak olduğunun belirlenmesi ve karar noktalarının kendi içinde sıralama yapılmasını içermektedir. Pİ-pozitif ideal çözümde karar noktalarının problemin çözümünde yaklaşması istenen hedefleri, Nİ-negatif ideal çözüm ise problemin çözümünde uzaklaşılması gereken hedefleri belirtmektedir. TOPSIS yönteminde Pİ-pozitif ideal çözüm "1", Nİ-negatif ideal

çözüm ise "0" değeri ile gösterilir. Problemin çözümünde; karar noktaları "1" ile "0" değerleri arasında değerler alır (Incekara, 2019b). TOPSIS yönteminde; ideal çözüm/hedef faydayı maksimize eden maliyeti minimum yapan çözüm olup problemin çözümünde alternatiflerin Pİ-pozitif ideal çözüm ile Nİ-negatif ideal çözüm değerlerine yakınlık katsayısı (H) hesaplanarak, alternatiflerin H'a yakınlığına göre sıralanır.

BTOPSIS yöntemi literatürde ilk kez Chen ve Pham (2001) tarafından kullanılmıştır. BTOPSIS yönteminde KVler, problemin karar kriterleri ile problemin çözüm alternatifleri ile ilgili değerlendirmeleri Tablo 6'da yer alan dilsel ifadeler kullanarak yapmıştır. Bulanık TOPSIS yönteminde KVler kriterleri ve alternatifleri değerlendirmeleri bulanık sayılara dönüştürülerek alternatiflerin H değerleri (yakınlık katsayısı) hesaplanır, bu sayede problemin alternatifleri sıralanır ve problemin çözümü ortaya çıkar. Chen tarafından önerilen ve çalışmada problemin alternatiflerinin KV'ler tarafından değerlendirilmesinde kullanılan dilsel ifadeler ile buna karşılık gelen bulanık sayılar Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. BTOPSIS yöntemi: Dilsel ifadeler, Bulanık Sayılar ve Ters Bulanık Sayılar (Chen ve Pham 2001)

Çalışmada Kullanılan Sözel Değişkenler	Çalışmada Kullanılan Bulanık Sayılar	Üçgen
ÇK: Çok Kötü	[0,0,1]	
K: Kötü	[0,1,3]	
BK: Biraz Kötü	[1,3,5]	
O: Orta	[3,5,7]	
Bİ: Biraz İyi	[5,7,9]	
İ: İyi	[7,9,10]	
Çİ: Çok İyi	[9,10,10]	

Çalışmada kullanılan Bulanık TOPSIS yöntemi adımları aşağıda özetlenmiştir (Incekara 2020).

w_j^K için j nci karar kriterlerinin önem ağırlığı Eşitlik (18) ile gösterilmiştir.

$$\tilde{w}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{w}_{ij}^1 \oplus \tilde{w}_{ij}^2 \oplus \tilde{w}_{ij}^K] \quad (18)$$

X_{ij}^K nin i nci önem ağırlığı Eşitlik (19) ile gösterilmiştir:

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{X}_{ij}^1 \oplus \tilde{X}_{ij}^2 \oplus \tilde{X}_{ij}^K] \quad (19)$$

Çok kriterli bir karar verme problemi Eşitlik (20) ile gösterilmiştir:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}, \quad \tilde{W} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2 \dots \tilde{w}_n] \quad (20)$$

Burada \tilde{x}_{ij} ve \tilde{w}_j dilsel değişkenlerdir. $A_1, A_2, A_3 \dots A_m$, alternatifler, $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$ karar kriterleri gösterir. Burada \tilde{W} bulanık matrisi ifade etmektedir, bulanık sayılar ise $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ve $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ dir. Bulanık karar matrisi oluşturulur, sonrasında Eşitlik (21) ile gösteren normalize edilmiş karar matrisi (bulanık) elde edilir:

$$\tilde{N} = [\tilde{n}_{ij}]_{p \times r} \quad i=1,2, \dots, p \quad j=1,2, \dots, r \quad (21)$$

Normalize edilmiş karar matrisi (bulanık) hesaplanması; [Eşitlik \(22 ve 23\)](#) ile gösterilmiştir.

$$\tilde{n}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{c_j^+}, \frac{b_{ij}}{c_j^+}, \frac{c_{ij}}{c_j^+} \right), \quad c_j^+ = \max c_{ij} \quad (22)$$

$$\tilde{n}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad a_j^- = \min a_{ij} \quad (23)$$

Formülde de görüleceği gibi normalize edilmiş karar matrisinde (bulanık); bulanık sayı değerleri [0,1] aralığındadır. Kriterlerin önem ağırlığı ile $\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n}$ şeklinde gösterilen (weighted) ağırlıklandırılarak normalize edilmiş karar matrisi hesaplanır ([Eşitlik \(17\)](#) ile).

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{n}_{ij} \cdot \tilde{w}_j \quad (24)$$

\tilde{V} matrisi hesabı; [Eşitlik \(25\)](#) ile gösterilmiştir.

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} \tilde{w}_1 \tilde{n}_{11} & \dots & \tilde{w}_r \tilde{n}_{1r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{w}_1 \tilde{n}_{p1} & \dots & \tilde{w}_r \tilde{n}_{pr} \end{bmatrix} \quad (25)$$

\tilde{V} matrisinin hesabından sonra pozitif ideal çözüm (bulanık) A^+ ile negatif ideal çözüm (bulanık) A^- hesaplanır:

$$\begin{aligned} A^+ &= \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_r^+\} \\ A^- &= \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_r^-\} \end{aligned} \quad (26)$$

$$\tilde{v}_j^* = \max_i \{v_{ij3}\} \text{ ve } \tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{ij1}\} \quad (27)$$

$i=1,2,3, \dots, p$ ve $j=1,2,3, \dots, r$

ile hesaplanır. [Eşitlik \(27\)](#) ile hesaplanan A^+ ve A^- dan sonra d uzaklıkların [Eşitlik \(28 ve 29\)](#) ile hesabı yapılır.

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+); \quad i=1,2, \dots, p \quad (28)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-); \quad i=1,2, \dots, p \quad (29)$$

Vertex metodu kullanılarak ideal çözüme yakınlıkları hesaplanır. İki üçgen bulanık sayı olan $\tilde{A}=(a_1, a_2, a_3)$ ve $\tilde{B}=(b_1, b_2, b_3)$ arasındaki uzaklık(d) hesaplanması; [Eşitlik \(30\)](#) ile gösterilmiştir.

$$d_v(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(a_1 - b_1)^2 + (a_2 - b_2)^2 + (a_3 - b_3)^2]} \quad (30)$$

Alternatifler arasında karşılaştırma yapılabilmesi için yakınlık katsayıları (CC) hesaplanması; [Eşitlik \(31\)](#) ile gösterilmiştir ([Chen et al. 2006](#)).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (31)$$

Alternatifler için yakınlık katsayısı CC_i değerlerine göre sıralanarak karar verilir.

4. Uygulamalar ve Bulgular

Kamulaştırma Kanunu'nun 11. maddesinde, tarım arazilerinin kamulaştırma bedelleri Gelir Kapitalizasyonu (İndirgeme) Yöntemi ile tespit edilir. Çalışmada enerji sektöründe çalışan değerlendirme uzmanları-KV- tarafından "Gelirlerin Kapitalizasyonu" yönteminde kapitalizasyon oranını etkileyen olumlu ve olumsuz faktörleri ile objektif değer artışı değerlendirilmiştir.

Çalışmada problemin çözümünde; BAHP ve BTOPSIS yöntemleri kullanılmıştır. Enerji sektöründe çalışan değerlendirme uzmanları (KV'ler) ile bir anket çalışması yapılarak, sonrasında KV'ler ile görüşme/değerlendirme yapılmıştır. Böylece enerji sektörünün değerlendirme konusunda beklentileri değerlendirilmiştir. Problemin çözümünde/karar vermede etkili olan kriterlerin önem ağırlıkları BAHP ile belirlenmiştir. Problemin çözümünde alternatiflerin sıralanması BTOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada belirlenen kriterler/alt kriterler için enerji sektöründe çalışan değerlendirme uzmanı, müdür ve yönetici görevinde 15 kişi ile görüşülmüş olup KV'ler ile yapılan görüşmeler sonrasında problemin kriterleri ile alt kriterleri (9 ana kriter ile 23 alt kriter) belirlenmiştir. Sonrasında enerji sektöründe çalışan değerlendirme uzmanı 34 kişiye bir anket çalışması düzenlenmiştir. Çalışmada faktörlerin/kriterlerin ağırlıkları BAHP yöntemi kullanılarak belirlenmiş olup sıralaması ise BTOPSIS yöntemi ile belirlenmiştir.

BAHP ve BTOPSIS yöntemleri kullanılarak KV'ler vasıtasıyla anketler hazırlanmış, KV'ler ile görüşülerek konu değerlendirilmiş, enerji sektöründe çalışan değerlendirme uzmanları "Gelirlerin Kapitalizasyonu" yönteminde kapitalizasyon oranını etkileyen olumlu ve olumsuz faktörler ile objektif değer artışı değerlendirilmiştir. BTOPSIS yöntemi kullanılarak, çalışmada en uygun alternatifin seçim kararı alınması çalışılmıştır. Çalışmada dikkate alınan kriterler/alt kriterler; [Tablo 1](#). "Kapitalizasyon Oranını Etkileyen Olumlu (Objektif Değer Artışı) ve Olumsuz Faktörlerde" sunulmuştur.

Yapılan araştırmada "Gelirlerin Kapitalizasyonu" yönteminde kapitalizasyon oranını etkileyen olumlu (Objektif Değer Artışı) ve olumsuz faktörler beraber değerlendirilerek, enerji sektöründe kullanılan taşınmaz değerlendirme sisteminin oluşturulmasına katkı için bir örnek projede kullanılan veriler kullanılarak konu örneklendirilmiş/açıklanmış ve faktörler bir anket çalışması ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme KV'ler ile bir anket çalışmasıyla gerçekleştirilmiştir, anket çalışmasında kamuda ve özel sektörde çalışan değerlendirme uzmanlarıyla (KV) mülakatlar yapılmıştır.

[Tablo 5](#)'de verilen bulanık ikili karşılaştırma ölçeği kullanılarak enerji sektöründe değerlendirme uzmanı olan karar vericilerin yaptığı değerlendirmelere göre ana kriter ve alt kriterlerin önem ağırlıkları BAHP yöntemine göre hesaplanmıştır. [Tablo 7](#)'de yer alan ana amaca göre ikili karşılaştırmalar matrisindeki bulanık değerler; BAHP yöntemine göre ([Eşitlik \(10\)...\(17\)](#) kullanılarak) hesaplanmıştır.

Tablo 7. Ana Kriterlere Göre Bulanık İkili Karşılaştırmalar Matrisi

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1 (1,1,1)	(1/9,1/7,1/5)	(1/7,1/5,1/3)	(7,9,9)	(1,3,5)	(1/9,1/9,1/7)	(5,7,9)	(3,5,7)	(7,9,9)
C2 (5,7,9)	(1,1,1)	(5,7,9)	(1/5,1/3,1)	(3,5,7)	(5,7,9)	(1,3,5)	(1/9,1/7,1/5)	(1,3,5)
C3 (3,5,7)	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)	(1/9,1/7,1/7)	(1,3,5)	(1/7,1/5,1/3)	(3,5,7)	(1/7,1/5,1/3)	(1/9,1/7,1/5)
C4 (1/9,1/7,1/7)	(1,3,5)	(7,9,9)	(1,1,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1)	(1/5,1/3,1)	(1/9,1/7,1/5)	(1/7,1/5,1/3)
C5 (1/5,1/3,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1/5,1/3,1)	(3,5,7)	(1,1,1)	(5,7,9)	(7,9,9)	(1/9,1/9,1/7)	(1/5,1/3,1)
C6 (7,9,9)	(1/9,1/7,1/5)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1/9,1/7,1/5)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	(5,7,9)
C7 (1/9,1/7,1/5)	(1/5,1/3,1)	(1/7,1/5,1/3)	(1,3,5)	(1/9,1/9,1/7)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)
C8 (1/7,1/5,1/3)	(5,7,9)	(3,5,7)	(5,7,9)	(7,9,9)	(1,3,5)	(1/5,1/3,1)	(1,1,1)	(1/9,1/9,1/7)
C9 (1/9,1/9,1/7)	(1/5,1/3,1)	(5,7,9)	(3,5,7)	(1,3,5)	(1/9,1/7,1/5)	(1,3,5)	(7,9,9)	(1,1,1)

Bulanık ikili karşılaştırma matrisleri elde edildikten sonra BAHP yöntemi ile tüm kriterlerin önem ağırlıkları elde edilmiştir. Bulanık AHP ile elde edilen kriter ağırlıklarına göre BTOPSIS yöntemi ile KV' lerle görüşülerek oluşturulan 9 kriter değerlendirilmiş, kriterler arasında sıralama ve seçim gerçekleştirilmiştir. BTOPSIS yönteminin aşamaları şu şekildedir; karar vericilerin oluşturulması, alternatiflerin ve değerlendirme kriterlerinin belirlenmesi, kriter ağırlıkları ve alternatifler için dilsel değişkenlerin belirlenmesi, bulanık ağırlıkların hesaplanması, bulanık karar matrisinin oluşturulması, normalize edilmiş bulanık karar matrislerinin elde edilmesi, ağırlıklı normalize bulanık karar matrisinin hesaplanması, her bir alternatif için bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm arası uzaklığın hesaplanması, yakınlık katsayılarının hesaplanması, en uygun yakınlık katsayısına ait alternatifin seçilmesi aşamalarıdır. Karar probleminin çözümünde BAHP ile kriterin önem ağırlıkları bulunduktan sonra BTOPSIS yöntemi ile alternatiflerin bu kriterlere göre değerlendirilmesi yapılmıştır.

Çalışmada "Gelirlerin Kapitalizasyonu" yönteminde kapitalizasyon oranını etkileyen olumlu ve olumsuz faktörler ile objektif değer artışı değerlendirmesi BAHP+BTOPSIS yöntemleri kullanılarak yeni bir matematiksel model geliştirilerek konu değerlendirilmiştir. Bulanık AHP+Bulanık TOPSIS yöntemleri kullanarak yapılan; tarım arazilerinin değerlendirilmesinde önem sırası şu şekildedir: Birincisi-en önemlisi; bölgede can ve mülk güvenliği ile sağlık sorunlarına yol açabilecek unsurlar olup olmadığı, ikincisi arazinin hangi bölgede olduğu ve kente ya da pazara yakınlığı, üçüncüsü sulama imkanlarının olup olmaması ve verim oranı, dördüncüsü bölgede yaygın olarak kullanılan münavebe sistemi (arazi ekim planı) olup olmadığı, beşinci ulaşım kolaylığı, altıncı arazi yapısı (toprağın biçiminin düzgün olması), yedinci ise arazi üzerinde bulunan müstemilatlardır.

5. Sonuçlar

Taşınmaz değerlendirme ve sınırlı aynı hakların değerlendirilmesi konusunda ülkemizde fazla çalışma yoktur. Yapılan çalışmalar ise sınırlı aynı hakların hukuksal boyutunu ele almaktadır. Literatürdeki arazi değerlendirilmesi ile çalışmalar çoğunluk olarak sınırlı aynı hakların tamamı yerine, irtifak haklarının biri (intifa hakkı, üst hakkı, süknâ hakkı, kaynak hakkı ile diğer irtifaklar) ele alınarak hazırlanmıştır. Literatürdeki çalışmalar genellikle 2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu temel almakta, Kurumlar tarafından yapılan değerlendirme

uygulamaları hakkında ise çalışma yok denecek kadar azdır ve çok fazla detaya girilmemektedir.

2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu gereğince tarım arazilerinin kamulaştırma bedellerinin takdirinde Gelir İndirgeme (Kapitalizasyonu) Yöntemi' nin kullanılması zorunludur. Ancak ülkemizde tarım arazilerinin bu yöntemle taşınmaz değerlendirme yapabileceği güvenilir data/veriler kayıt altına alınmamakta ve sektörün kullanımına açılmamaktadır/sunulmamaktadır. Çalışmada irtifak hakkının değerlendirilmesi çerçevesinde; gelirlerin kapitalizasyonu yönteminde kapitalizasyon oranını etkileyen olumlu ve olumsuz faktörler irdelenerek, gerektiği durumlarda objektif değer artışı da kullanılarak enerji sektöründen örnek bir uygulama ile konu açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışmada enerji sektöründeki bir örnek uygulama ile konu kapsamındaki adımlar, dikkate alınan hususlar anlatılmıştır.

Kamulaştırma Kanunu'nun 11. maddesi gereğince, tarım arazilerinin kamulaştırma bedelleri Gelir Kapitalizasyonu (İndirgeme) Yöntemi ile tespit edilir. Türk Hukuk Sistemi'nde taşınmazın üst hakkının değerlendirilmesinin yapabileceği/uygulanabileceği herhangi bir değerlendirme yöntemi belirtilmemiştir. Uygulamada, edinilmiş tecrübelerle dayanarak ve enerji sektöründeki arazi edinim/kamulaştırma çalışmalarında yerleşik Yargıtay içtihatlarına göre irtifak hakkı değeri için belirlenmiş olan oranlar dikkate alınarak değerlendirme yapılmaktadır. Örnek enerji projesinin değerlendirilmesi kapsamında Yargıtay içtihatlarına göre tarım arazilerinde daimî irtifak hakkı nedeniyle oluşacak değer kaybı nedeniyle irtifaktan etkilenen toplam alanın mülkiyet değerinin %35' ini arsa vasıflı arazilerde ise %50'sini aşmaması gerektiği kabul edilmiştir. Çalışmada enerji sektöründe bir örnek uygulama olarak; **Tablo (1 – 4)** kullanılarak **Eşitlik (5)** ile arazi değerlendirme metodu ile hesaplanmıştır.

Literatürde konu hakkında bulanık mantık ile enerji sektöründe taşınmaz değerlendirilmesi konusunda çok az çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar enerji sektörü ile ilgilidir (Buckley, 2003; Kumar, 2016; Incekara, 2019a; Incekara, 2019b; Incekara, 2019c; Incekara, Oğulata 2017; Incekara, 2021a; Incekara, 2021b; Incekara, 2020a, Incekara, 2020b, Incekara, 2020c, Incekara, 2020d, Incekara, 2020e, Incekara, 2022). Çalışmada problemin çözümünde etkili olan kriterlerin önem ağırlık değerleri BAHP yöntemiyle belirlenmiştir. Problemin çözümünde alternatiflerin sıralanması BTOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada faktörlerin/kriterlerin ağırlıkları BAHP yöntemi kullanılarak belirlenmiş olup sıralaması ise BTOPSIS yöntemi ile belirlenmiştir.

KV'ler vasıtasıyla anketler hazırlanmış, KV'ler ile görüşülerek konu değerlendirilmiş/önceliklendirilmiş/ağırlıklandırılmıştır; enerji sektöründe çalışan

değerleme uzmanları “Gelirlerin Kapitalizasyonu” yönteminde kapitalizasyon oranını etkileyen olumlu ve olumsuz faktörler ile objektif değer artışı değerlendirilmiştir. BTOPSIS yöntemi kullanılarak, çalışmada en uygun alternatifin seçim kararı alınması çalışılmıştır. Çalışmada dikkate alınan kriterler/alt kriterler; **Tablo 1.** “Kapitalizasyon Oranını Etkileyen Olumlu (Objektif Değer Artışı) ve Olumsuz Faktörlerde” sunulmuştur.

Kapitalizasyon Oranı artıktıkça Arazi Değeri azalır, Kapitalizasyon Oranı azaldıkça Arazi Değeri artar. Bu sebeple, taşınmaz mal olumlu özelliklere sahip ise değeri artırmak için Kapitalizasyon Oranı düşürülür, olumsuz özelliklere sahipse değeri düşürmek için Kapitalizasyon Oranı arttırılır. Çalışmada “Gelirlerin Kapitalizasyonu” yönteminde kapitalizasyon oranını etkileyen olumlu ve olumsuz faktörler ile objektif değer artışı değerlendirilmesi BAHP+BTOPSIS yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada BAHP+BTOPSIS yöntemleri kullanılarak yapılan; tarım arazilerinin değerlendirilmesinde önem sırası şu şekildedir: Birincisi-en önemlisi; bölgede can ve mülk güvenliği ile sağlık sorunlarına yol açabilecek unsurlar olup olmadığı, ikincisi arazinin hangi bölgede olduğu ve kente ya da pazara yakınlığı, üçüncüsü sulama imkanlarının olup olmaması ve verim oranı, dördüncüsü bölgede yaygın olarak kullanılan arazi ekim planı olup olmadığı, beşinci ulaşım kolaylığı, altıncı arazi yapısı (toprağın biçiminin düzgün olması), yedinci ise arazi üzerinde üzerinde bulunan müstemilatlarıdır. Tarım arazilerinde kapitalizasyon oranının ve arazi ortalama net gelirlerin hesaplanmasında arazinin bulunduğu yerin coğrafi konumu/yapısı, topoğrafik, arazi kullanım bilgileri, arazinin ekonomik yapısı, araziye ait bilgiler, arazinin kapladığı alanın büyüklüğü, ekolojik yapısı ve çevresel özellikleri de önem arz eder. Adil bir değerlendirme sistemi ile; kamusal faaliyetlerde adaletli olunmasını, hakkaniyet çerçevesinde yürütülmesini, vatandaşın bireysel haklarının korunmasını sağlayacaktır.

Gelir yöntemi ile; yalnızca araziden elde edilen rant dikkate alınarak değerlendirme yapılmaktadır. Gerçek hayattaki uygulamalarda arazinin değerini etkileyen faktörler objektif unsurlar olarak değerlendirilmeye alınmaktadır. Fakat herhangi bir standardı olmayan söz konusu unsurlar; bilirkişilerin incelemelerinde kişisel görüşleri doğrultusunda ele alınarak değerlendirilmesi objektiflik ilkesine aykırılık teşkil etmektedir. Bu sebeple değerlendirme yapan bilirkişilerin alanlarında uzman, ilgili kanun ve tekniklere hâkim, tarafsız ve hakkaniyetli olmaları büyük önem taşımaktadır. Bu durum ile ilgili olarak örnek değerlendirme tablolarında (**Tablo 1-4**) yerleşik Yargıtay İçtihatları gereğince % 5 oranında kapitalizasyon faiz oranı belirlenmiş olmakla birlikte tarım arazilerinin arsalarla kıyasla daha düşük değerlere sahip olmasına ek olarak irtifak hakkı değerlemelerinde irtifak bedellerinin mülkiyet bedellerinin de üçte birine kadar düşmesi sonucunda sadece kapitalizasyon faiz oranı hakkaniyetli bir değerlendirme yapma olanağına imkan vermeyebilmekte olup bu durumda objektif değer artışı ekstra öneme sahip durumdadır. Dolayısıyla tarım arazileri değerlendirirken sadece münavebede yer alan ürün çeşidi ve verim/fiyat verileri ile elde edilen net gelirin % 4 ile % 6 arasında değişen kapitalizasyon faiz

oranları ile kapitalize edilmesi, bizleri her zaman adil bir sonuç ile yüzleştirebilir.

Bu minvalde tarım ürünlerinde hasadın ardından yapılacak pazarlama aşamasında, örnekte sunulan **Tablo 4**'de belirtildiği üzere değerlendirilen taşınmazın pazara ve/veya yerleşim yerlerine yakınlığı, dolayısıyla ana yola yakın konumda bulunması aynı avantaja sahip olmayan ancak benzer toprak/ürün yapısına sahip diğer taşınmazlara nazaran avantajlı durumda görülmesine neden olmaktadır. Kapitalizasyon faizi oranının bu avantajı yansıtmada yeterli olmadığı durumlarda örnekte verilen objektif değer artış oranı ve dayanakları çok önemlidir.

Ülkemizde taşınmaz değerlendirme sisteminin oluşturulması/gerçekleştirilebilmesi; gerçekçi, sağlıklı, güncel bir değerlendirme mevzuat altyapısına sahip olunması çok önemlidir. Bu da ancak; güncel, doğru (değerleme uzmanlarının tecrübelerini aktardığı) bir CBS tabanlı sürdürülebilir taşınmaz değerlendirme veri tabanı sistemine sahip olunması ve söz konusu CBS tabanlı taşınmaz değerlendirme programının-KBS programının-Kurumlara kurulması ve kullanılması ile mümkündür. Bu sayede Kurumlar arazi edinim ve değerlendirme süreçlerini (CBS-coğrafi veri altlıklarını esas alarak yapılan söz konusu program sayesinde); baştan sona tek bir veri tabanı içerisinde saklayacak, kayıt altına alacak, arşivleyecek ve tüm Kurumlar tarafından güncel sorgulamaların yapılmasını sağlayacak bir yazılıma sahip olacaktır.

Araştırmacıların Katkı Oranı

Çetin Önder İncekara: Literatür taraması, Veri Analizi, Modelleme, Makale yazımı, Düzenleme; **Süleyman Lala:** Kontrol

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy Hierarchical Analysis, Fuzzy Sets and Systems. 17, 233-247.
- Buckley, J. J. (2003). Fuzzy Probabilities, New Approach and Applications. PhysicaVerlag, New York.
- Chan, F. T. S., Kumar, N. (2007). Global Supplier Development Considering Risk Factors Using Fuzzy Extended AHP-based Approach. Omega International Journal of Management Science, 35, 417-431.
- Chang, D. (1996). Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. European Journal of Operational Research. 95, 649-655.
- Chen, G., & Pham, T. T. (2001). Introduction to Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Control Systems, CRC Press, LLC.
- Chen, S. J, & Hwang, C. L. (1992). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications. Berlin Heidelberg: Springer.
- Chen, C. T., Lin, C. T., & Huang, S. F. (2006). A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in

- supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 102, 289-301.
- Chen, G., & Pham, T. T. (2001). *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*. CRC Press, USA.
- Ertas, M. (2014). Using Bare Valuation Method in Valuation of Rural Area. FIG Congress 2014. Engaging the Challenges, Enhancing the Relevance. 16 – 21 June 2014. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Eves, C. (2004). The use of Income Valuation Methods to Value Rural Property. *International Real Estate Research Symposium (IRES)*. April 13 to 15, 2004. Kuala Lumpur, Malaysia.
- İncekara, Ç. Ö & Oğulata, S. N. (2017). Turkey's energy planning considering global environmental concerns. *Ecological Engineering*. Elsevier, A.B.D., 589-595.
- İncekara, C. O. (2020a). Türkiye' nin Elektrik Üretiminde Doğalgaz Talep Tahminleri. *Journal of Turkish Operations Management*, 3(2), 298-313.
- İncekara, Ç. Ö. (2020b). Evaluation of Turkey's International Energy Projects by Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Methods. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 7(9), 206-217.
- İncekara, Ç. Ö. (2021a). Bulanık TOPSIS ve bulanık VIKOR yöntemleriyle bir enerji şirketinde kurumsal hafızanın oluşturulması. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 8(17), 1-20.
- İncekara, Ç. Ö. (2020c). Evaluation of Turkey's International Energy Projects by Using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Methods. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 7(9), 206-217.
- İncekara, C. O. (2020d). Bulanık Mantık ile Sanayii Sektöründe ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Uygulaması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(6), 991-1013.
- İncekara, Ç. Ö. (2020e). Enerji Sektöründe Faaliyet Gösteren Bir İşletmede İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 4(1), 152-177.
- İncekara, C. O. (2021b). Post-COVID-19 Ergonomic School Furniture Design under Fuzzy Logic. *Work*, 69, 1197-1208.
- İncekara, C. O. (2019a). Use of an Optimization Model for Optimization of Turkey's Energy Management by inclusion of Renewable Energy Sources. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Springer, 121-133.
- İncekara, Ç. Ö. (2019b). Türkiye ve AB'nin Enerji Stratejileri ve Politikaları. *Journal of Turkish Operations Management*, 3(2), 298-313.
- İncekara, Ç. Ö. (2019c). Turkey's Energy Management Plan by using Fuzzy Modeling Approach. *Scholars' Press, Book*, 38-52.
- İncekara, C. O. (2022). Designing Ergonomic Post-Covid-19 School Furniture, *South African Journal of Industrial Engineering*, 33(2), 2022, 211-224.
- Klir, G. J., & B. Y. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic Theory and Applications*. Prentice Hall PTR, New Jersey.
- Kumar, S. A, Datta, S., & Mahapatra, S. S. (2016). Evaluation and selection of resilient suppliers in fuzzy environment. *Benchmarking: An International Journal*, 23(3), 651-673.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*. 1(1), 83-98.
- Satrovic, E. (2018). The Human Development Relies on Renewable Energy: Evidence from Turkey. 3rd International Energy & Engineering Congress, 19-27. Sherwood, D., 2014. The Valuation of Easements. *Right of Way Magazine*, November/December: 36-39.
- Shukla, A. K. (2014). Interpretability Assessment in Fuzzy Rule Based Systems. *International Journal of Scientific & engineering Research*, Volume 5, Issue 7, 506-509.
- Wang, C. (2015). A Study Of Membership Functions On Mamdani-Type Fuzzy Inference System For Industrial Decision-Making. *PhD Theses And Dissertations*. Lehigh University, (Paper:1665).
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Algorithms. *Information and Control*. 12(2), p.94-102.



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



Geomatik

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

e-ISSN 2564-6761



Etrafı faylarla çevrili arazilerde tektonik levha hareketleri

Turgut Uzel*¹

¹İstanbul Kültür Üniversitesi, Geomatik Uygulama Araştırma Merkezi, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Geomatik
Jeofizik
Deprem

Araştırma Makalesi

Geliş: 30.09.2022
Revize: 25.11.2022
Kabul: 29.11.2022
Yayınlanma: 12.01.2023



Öz

Tektonik levha içindeki etrafı faylarla çevrili arazilerde, çevresinden farklı tektonik hareketler olma olasılığı düşünülerek araştırma yapılmıştır. Eğer böyle bölgelerde genel ortalamalar alınarak konumla ilgili işlemler yapılırsa zamanla büyüyen; başta taşınmaz mal sınır anlaşmazlıkları olmak üzere çok önemli hukuki ve teknik sorunlar ortaya çıkar. Onun için bu arazilerdeki referans noktalarında belirli zaman aralıklarında gerçekleştirilen ölçümlere dayalı olarak koordinat dönüşüm hesapları yapılması gerekir. Türkiye fay hatları haritası incelendiğinde Anadolu plakasının, güneydoğuda güneyden kuzeye doğru hareket ederken, ortasında batıya, batısında da güneye doğru devindiği görülür. Bu değer, Batı Anadolu için güney-batı yönünde 4 cm/yıl kadardır. Fakat bu harita yakından incelendiğinde Küçükmenderes havzasının, etrafı faylarla çevrili, çok tipik bir grabenin daha sonra alüvyonlarla dolması sonucu oluşmuş önemli bir çöküntü ovası olduğu görülür. Bu nedenle örnek olarak Küçükmenderes ovası seçilmiştir. Araştırma için kamu kuruluşlarınca tesis edilen yedi nirengi noktasında 40-45 sene ara ile ölçülen koordinat değerleri veri olarak alınmıştır. Hesaplarda bu referans noktalarının CORS TR Projesi kapsamında hesaplanan International Terrain Reference Frame (ITRF) kullanılmıştır. Sonuçta bu bölgedeki tektonik plaka hareketlerinin, çevresinden tamamen farklı olarak kuzey-batı yönlü olduğu bulunmuştur.

Tectonic plate movements in between surrounded fault zones

Keywords

Geomatics
Geophysics
Earthquake

Research Article

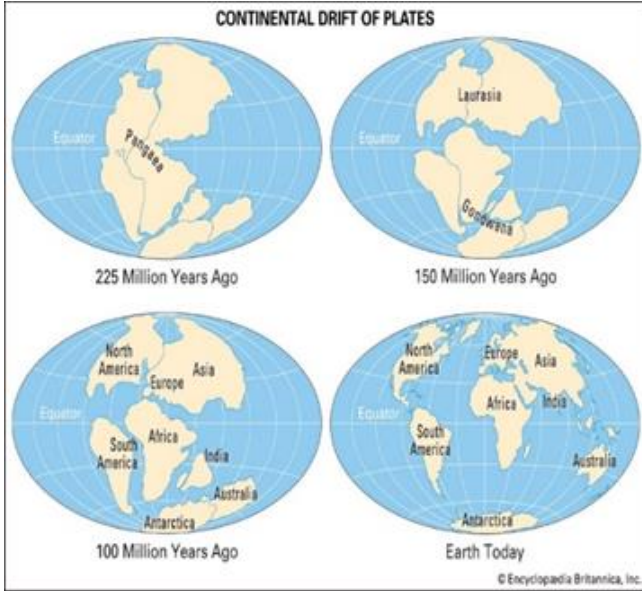
Received: 30.09.2022
Revised: 25.11.2022
Accepted: 29.11.2022
Published: 12.01.2023

Abstract

The research was carried out considering the possibility of different tectonic movements in the lands surrounded by faults in the tectonic plate. If location-related transactions are made by taking general averages in such regions, very important legal and technical problems arise, especially immovable property border disputes that grow over time. For this reason, coordinate correction calculations should be made based on the measurements performed at certain time intervals at the reference points in these lands. When the fault lines map of Turkey is examined, it is seen that the Anatolian plate moves from south to north in the southeast, while it moves westward in the middle and southward in the west. This value is about 4 cm/year in the south-west direction for Western Anatolia. However, when this map is examined closely, it is seen that the Küçükmenderes basin is an important depression plain formed as a result of a very typical graben surrounded by faults and later filled with alluvium. For this reason, Küçükmenderes plain was chosen as a case study. Coordinate values measured at intervals of 40-45 years at seven triangulation points established by public institutions were taken as data for the research. The International Terrain Reference Frame (ITRF) calculated within the scope of the CORS TR Project of these reference points was used in the calculations. As a result, it was found that the tectonic plate movements in this region are in the north-west direction, completely different from its surroundings.

1. Giriş

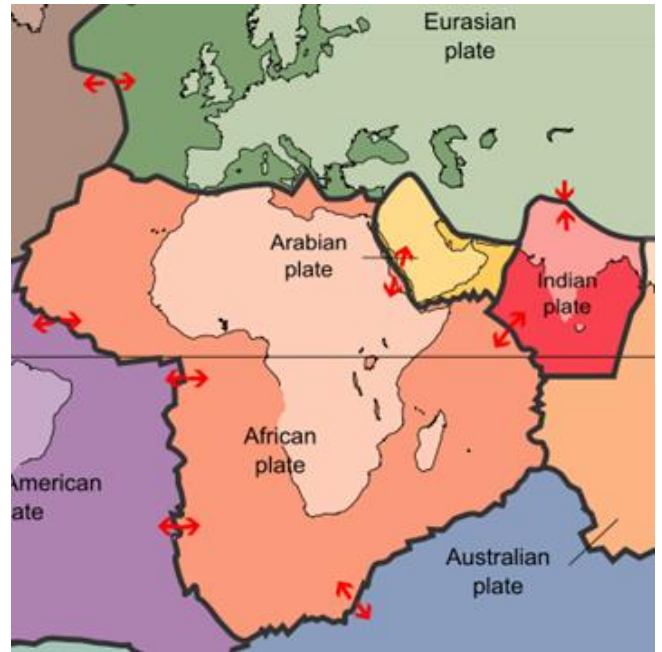
Yer küremiz, 15-20 milyar yıl önce uzaydaki çok büyük bir patlamadan sonra değişik aşamalardan geçerek bugünkü haline gelmiştir (Şekil 1). Bir evresinde çok sıcak ergimiş maddelerden oluşan yüzeyi sonra soğuyarak farklı katmanlar oluşturmuştur. Bu süreçte ağır maddeler içe doğru çökerek çekirdeği, daha düşük yoğunluktaki maddeler ise çekirdek çevresindeki katmanları meydana getirmiş ve yüzeydeki ergimiş maddelerin soğumasıyla yer kabuğu şekillenmiştir. Milyarlarca yıldır var olan dünyamızın görüntüsü, bugüne kadar birçok kez değişmiştir. Yer kabuğunun yüzeyi, küreye benzeyen şekli bozulmadan, çatlamış yumurta kabuğu gibi pek çok parçaya ayrılmıştır. (Atabey, 2000). Bu kabuk parçalarının her birine tektonik levha denilmektedir. Bu levhalar, 100-400 km derinlikler arasında yer alan 300 km kalınlıktaki astenosferdeki sıcaklık ve yoğunluk farklarından kaynaklanan konveksiyon döngüleri nedeniyle sürekli olarak devinimlerini sürdürmektedir.



Şekil 1. Pangea'dan günümüze (Pangea, 2022)

Bu bağlamda Arabistan levhası saat göstergesinin aksi yönünde bir torkla tam kuzeye doğru devinirken Afrika levhası kuzey doğuya doğru devinir (Şekil 2). Afrika ve Arap levhalarının devinimi Doğu Anadolu elastoplastik karmaşasını sıkıştırmaktadır. Bu blok devinimlerinin içerisinde yer alan Ege bölgesinde, çok önemli bir "gerilim rejimi" etkindir (Kaynak 2009).

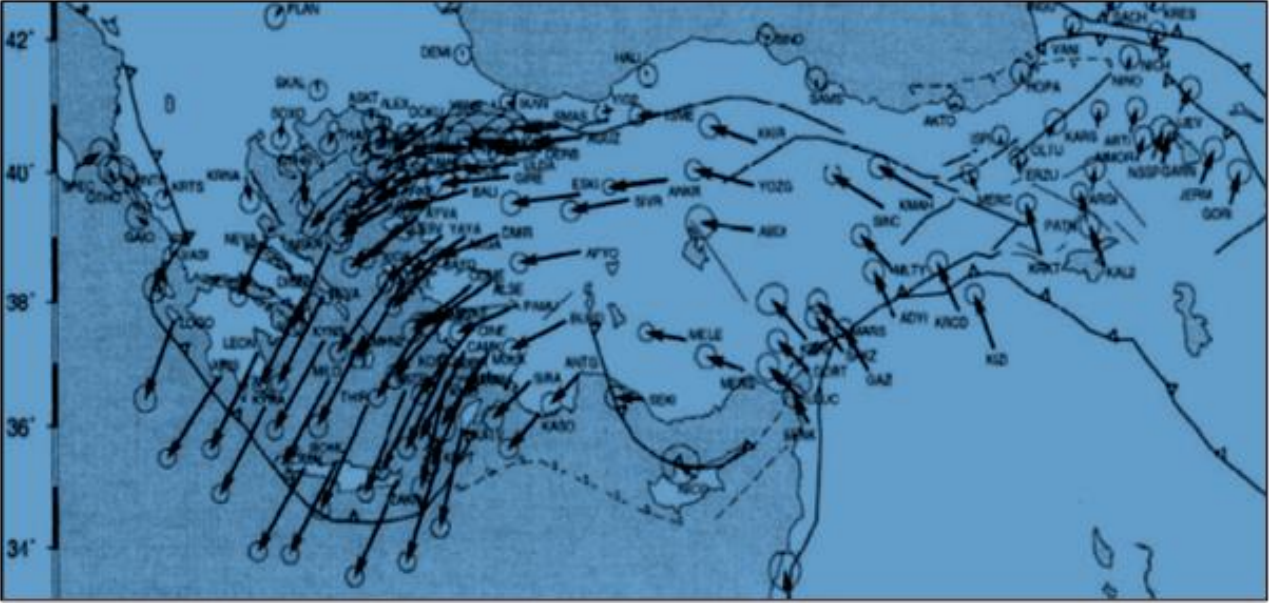
Özetle Kuzeydeki Euroasia (Avrupa-Asya) bloğunun kütlesi çok büyük olduğu, doğuya doğru hareket ettiği ve güneyden gelen bu baskıya direndiği için Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Kızıldeniz açılması ise bu plakaya saat göstergesinin aksine bir tork momenti uyguladığı için Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) olarak tanımlanan fay hattı oluşmuştur (Şekil 3) (Şengör, 1980). Doğu bölgesindeki bu sıkışmaya karşı batıda (Ege bölgesinde) açılma rejimi görülmektedir.



Şekil 2. Yakın çevrenin tektonik levhaları ve hareket yönleri (Pangea, 2022).



Şekil 3. Türkiye fay hatları haritası



Şekil 4. 1988-1997 döneminde belirlenen plaka hareketleri (McClusky ve ark 2000)

Bu hareketlerin bir sonucu olarak güneyden ve kuzeyden sıkışan Anadolu plakası, Şekil 4'te görüldüğü gibi Anadolu'nun güney doğusunda güneyden kuzeye doğru hareket ederken, ortasında batıya, batısında da güney batıya yönelir. Devinim miktarları da bölgeye göre değişir. Plakanın ortalarındaki zemin hareketinin yatay olarak ortalama 2,5 cm/yıl olduğu söylenebilir. Bu değer, Türkiye için ortalama devinim değeri olarak kabul edilmektedir. Oysa plakanın batı kesimindeki hareket, güneybatıya doğru ortalama 4 cm/yıl kadardır. (McClusky ve ark 2000; Eren & Uzel 2008; Uzel ve ark 2010, Uzel ve ark 2013). Ege bölgesi, batı ve güneybatı yönünde devinmektedir. Bu bölge gerdirme zorlaması altındadır ve saat yönünün aksine dönmeye zorlanmaktadır (Kaynak 2017).

1.1. Etrafı fay hatlarıyla çevrili araziler

Şekil 3'teki fay haritası yakından incelendiğinde, iki ana fay hattından başka etrafı fay hatlarıyla çevrili bazı alanlar olduğu görülür. Böyle dinamik ve jeolojik yapıdaki alanlarda plaka hareketlerinin, çevresinden farklı olma olasılığı vardır. Örneğin Küçükmenderes ovası civarında oluşan depremlerde hâkim zemin hareketi düşey yönlü olduğundan, deprem sonucunda ortaya çıkan konum değişimleri de standart yanal hareket ortalamalarına göre gerçekleşmeyebilir (Şekil 5). Böyle tektonik hareketler hesaba katılmaz ve sadece yukarıda sözü edilen Türkiye ortalaması esas alınırsa, zamanla pek çok kadastral ve mülkiyet sorunları ortaya çıkar. Zaman aralıklarıyla ölçülen bir parselin köşe noktalarına ait koordinatlar, plakaların bu farklı hareketlerinden dolayı değişirler. Sonuçta bu durum mülkiyet bakımından bir parselin komşu parselde tecavüzü olarak yorumlanır. Örneğin 50 yıl sonra ölçülen bir parselin köşe noktaları birkaç metre kaymış yani komşu parselde tecavüz etmiş olarak değerlendirilir.

2. Küçükmenderes Havzasında plaka hareketlerinin saptanması

Soruna çözüm bulmak amacıyla Küçükmenderes havzası, çalışma konusu olarak seçilmiştir. Bu arazi, çok tipik bir grabenin daha sonra alüvyonlarla dolması sonucu oluşmuş önemli bir çöküntü ovasıdır. Bölgedeki ovalar, doğu-batı yönünde uzanan çöküntü hendeklerinde bulunurlar ve Menderes masifi adını alan birinci zaman yaşlı metamorfik temel arazi üzerinde yer alırlar. Bunlar, üçüncü zaman sonu - dördüncü zaman başlarındaki tektonik hareketler sırasında Ege'de karasının çökmesine bağlı olarak masifin çöken kısımlarında meydana gelmişlerdir. Ovanın oluşumu dördüncü zamanın başında gerçekleşmiştir. Depremlerin devam etmesi, sıcak su kaynaklarının varlığı ve henüz karalaşmamış yerlerin (bataklıkların) bulunması, ovanın oluşum sürecinin devam ettiğinin göstergesidir (Şahin 2005).

Bu bölgedeki nirengi noktalarında zaman aralıklarıyla ölçülen koordinat değerleri incelendiğinde, faylanmanın çok ve değişik karakterli olduğu, CORS-TR (Continuously Operating GPS Reference Stations System = Türkiye Sürekli Gözlem Yapan Sabit GPS İstasyonları Sistemi)'nde kullanılan genel düzeltme parametrelerinin bu farklı hareketi karşılamadığı ve aralarında çok büyük farklar olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle, bölgedeki devinimleri belirlemek ve yıllık değişimleri hesaplamak için bir yöntem arayışına girilmiştir. Bunun için araştırmada, Şekil 5'te alt sağda işaretlenen Ege bölgesinde İzmir ili yakınlarında etrafı faylarla çevrili Büyükenderes - Küçükenderes - Gediz arası bölge ele alınmıştır.

Çalışmada, devlet kurumları tarafından tesis edilen yedi nirengi noktasında ilki 1960 yılında ikincisi 40-45 yıl sonra tekrarlanan ve Tablo 1'de görülen ölçüm değerleri kullanılmıştır.

3. CORS-TR (TUSAGA Aktif)

İstanbul Kültür Üniversitesi'nin iki öğretim üyesi tarafından tasarlanan ve önerilen CORS-TR (TUSAGA Aktif) Sisteminin Kurulması ve Datum Dönüşümü isimli 1007 Kamu ARGE projesi, 2006 yılında TÜBİTAK tarafından kabul edilmiş ve destekleme kararı alınmıştır. Aynı sene başlayan çalışmalar 2008'de tamamlanmış ve hizmete girmiştir. Sistem, 143'ü Türkiye'de 4'ü Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde olmak üzere toplam 147

sürekli gözlem yapan sabit GPS referans istasyonu ile biri Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) ve diğeri Harita Genel Komutanlığı (HGK)'nda bulunan iki kontrol merkezinden oluşmaktadır. Kuruluşundan beri 7/24 kesintisiz hizmet veren bu sisteme bağlanan bir GNSS alıcısıyla Türkiye ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'ndeki herhangi bir noktanın koordinatları, anlık olarak yaklaşık $\pm 2,5$ cm doğrulukla saptanabilmektedir (Eren & Uzel 2008).



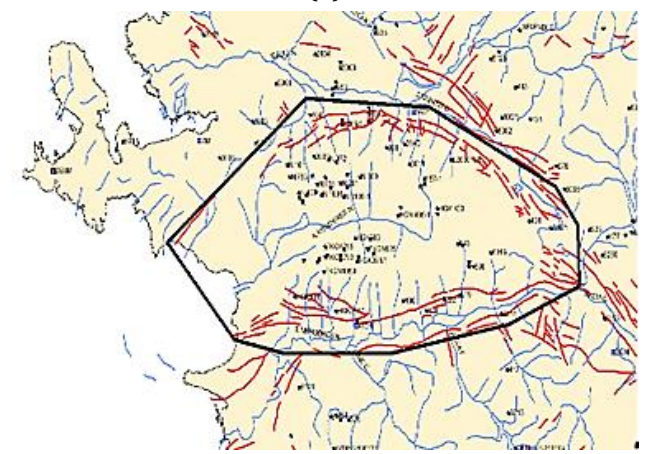
(a)



(b)

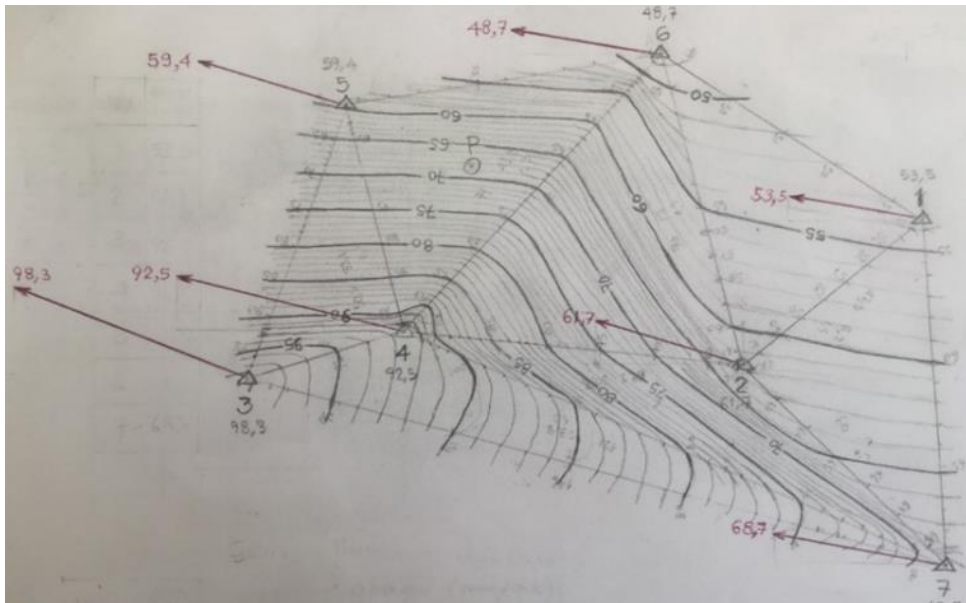


(c)



(d)

Şekil 5 a,b,c,d. Bölgenin haritaları ve üzerinde çalışılan bölge.



Şekil 6. Referans noktalarındaki hareket vektörleri ve eş hareket eğrileri

Tablo 1. Referans noktalarında yapılan gözlem bilgileri

Nokta	İlk Ölçüm			Sonraki Ölçüm			Farklar			
	X(m)	Y (m)	Teski	X(m)	Y(m)	Tyeni	dx	dy	dz	
1	HGM.405-1	591716.57	4225250.85	1960	591716.98	4225248.75	2000	0.41	-2.1	40
2	HGK354	581534.73	4212466.83	1960	581535.56	4212464.18	2005	0.83	-2.65	45
3	HGK480	551685.02	4209896.19	1960	551686.73	4209892.11	2005	1.71	-4.08	45
4	TKGM765	560700.48	4214385.88	1960	560701.51	4214381.85	2005	1.03	-4.03	45
5	N.434	556772.67	4232613.3	1960	556773.47	4232610.75	2005	0.8	-2.55	45
6	N.600	575434.97	4237872.4	1960	575435.43	4237870.26	2005	0.46	-2.14	45
7	108	594473.07	4196762.51	1960	594473.51	4196759.80	2000	0.44	-2.71	40
Σ					4012323.03	29529227.70				
C					573189.03	4218461.10				

4. Hareketlerin Saptanması

Proje kapsamında datum dönüşümü için ilgili devlet kurumlarınca Türkiye sınırları içerisinde tesis edilen yaklaşık on bin nirengi noktası, yerlerinde incelenmiş ve bunlardan sadece üç bin kadarının bu amaçla kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. 2008'e kadar uygulanan ED50 Datumu'na göre koordinat değerlerine sahip olan bütün kadastral pafta ve noktaların ITRF (International Terrestrial Reference Frame = Uluslararası Yersel Koordinat Ağı) sistemine göre tekrar ölçümleri yapılmış ve datum dönüşümü gerçekleştirilmiştir.

CORS-TR projesi için derlenen bu bilgiler incelenerek çalışma yapılan alanda bulunan noktaların iki ayrı zamanda belirlenen koordinat değerleri, araştırmada veri olarak kullanılmıştır (Tablo 1).

Hesaplarda iki ölçüm arasındaki zaman farkı dt, yer değiştirme bileşenleri dX' ve dY',

$$dt = t_{yeni} - t_{eski}$$

$$dX' = X_{yeni} - X_{eski} \quad (1)$$

$$dY' = Y_{yeni} - Y_{eski}$$

ve yıllık koordinat değişimleri,

$$dX = \frac{dX'}{dt}$$

$$dY = \frac{dY'}{dt} \quad (2)$$

ve hareket vektörünün büyüklüğü ve yönü,

$$ds = (dx^2 + dy^2)^{1/2}$$

$$\alpha = \arctan \frac{dy}{dx} \quad (3)$$

Ağın kapsadığı saha için yıllık ortalama hareket değerleri,

$$\bar{dx} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

$$\bar{dy} = \frac{1}{n} \sum y_i \quad (4)$$

$$v_{x_i} = \bar{dx} - x_i$$

$$v_{y_i} = \bar{dy} - y_i \quad (5)$$

Karesel ortalama hatalar ise

$$\sigma_x = \mp \sqrt{\frac{\sum v_{x_i}^2}{n-1}}$$

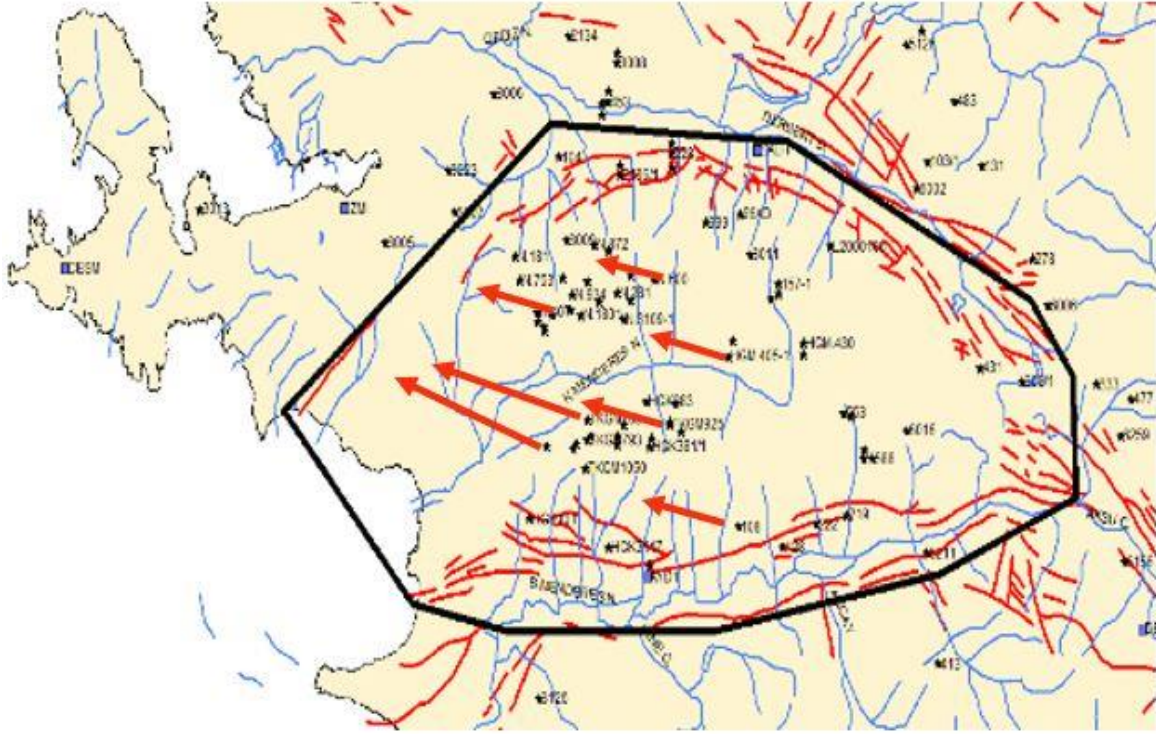
$$\sigma_y = \mp \sqrt{\frac{\sum v_{y_i}^2}{n-1}} \quad (6)$$

$$\sigma_s = \mp \sqrt{\frac{\sum v_{s_i}^2}{n-1}}$$

Formüllerdeki n, referans noktalarının sayısıdır. Burada Küçükmenderes ovasındaki plaka hareketlerinin, 316,532^s kuzeybatı yönlü, 48.6 - 98.3 mm/yıl; ortalama 68.8 mm/yıl olduğu görülmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Hareket vektörlerine ilişkin hesap özeti

Nokta	Yıllık Ortalama				V _x	V _x ²	V _y	V _y ²	ds (mm/yıl)	α (grad)
	dx (mm/yıl)	dy (mm/yıl)	ds (mm/yıl)	α (grad)						
1	10.2	-52.5	53.5	312.2164	8.2	67.24	-13.8	-190.44	53.5	312.2164
2	18.4	-58.9	61.7	319.2761	0	0.00	-7.4	54.76	61.7	319.2761
3	38	-90.7	98.3	325.2577	-19.6	384.16	24.4	595.36	98.3	325.2577
4	22.9	-89.6	92.5	315.9297	-4.5	20.25	23.3	542.89	92.5	315.9297
5	17.8	-56.7	59.4	319.3653	0.6	0.36	-9.6	92.16	59.4	319.3653
6	10.2	-67.6	48.7	313.4386	8.2	67.24	-18.7	349.69	48.7	313.4386
7	11	-67.8	68.7	310.2394	7.4	54.76	1.5	2.25	58.7	310.2394
Σ	128.5	-463.8	482.8	2215.723	0.3	594.01	-0.3	1827.55	482.8	2215.7232
$\bar{dx} \cong 18.4$		$\bar{dy} \cong 66.3$		$\bar{ds} \cong 68.8$	$\bar{da} \cong 317.234$		$\sigma_x \cong \pm 9.9$	$\sigma_y \cong \pm 17.5$	$\bar{ds} \cong 69.0$	$\bar{\alpha} = 316.532$



Şekil 7. Referans noktalarındaki hareket vektörleri

5. Sonuçlar

Çalışmaya, etrafı faylarla çevrili bölgelerde çevresinden farklı tektonik plaka hareketleri olasılığı öngörülerek başlanmıştır. Resmi nirengi koordinat verileri değerlendirilerek bu nitelikteki Menderes havzasında kuzeybatı yönlü ve doğudan batıya doğru gittikçe büyüyen yatay yer değiştirme hareketi olduğu bulunmuştur (Şekil 6 ve 7). (Kaynak, 2009)'a göre *bu vektörel devinimlerin en rasyonel açıklaması, gravitenin yatay bileşenine dayanmaktadır*. Türkiye geneli için yapılan hesapla saptanan yatay plaka hareketleri, Menderes ovasında *güneybatı yönünde ortalama 261,5^o ve ortalama 40 mm/yıl* olarak verilmektedir (McClosky ve ark., 2000). Oysa aynı bölge içerisinde kamu kurumları tarafından tesis edilen 7 nirengi noktasının, 40-45 yıl arayla yapılan ölçümlerle hesaplanan koordinat değerleriyle bulunan hareket vektörlerinin yönleri, kuzeybatı istikametinde ortalama 317,2^o ve 68.8 mm/yıl'dır (Tablo 1 ve 2). Bu iki hesap sonuçları arasındaki farklar çok büyüktür. Bu nedenle etrafı fay hatlarıyla çevrili bir bölge olan Küçükmanderles ovasında, Türkiye geneli veya batısı için önerilen dönüşüm değerleri değil bunun yerine uygun referans noktalarındaki ölçümler esas alınarak hesaplanacak değerler kullanılmalıdır.

CORS-TR (TUSAGA Aktif) referans istasyonlarının koordinatları, en az 14 yıldan beri $\pm 2,5$ mm doğrulukla saptanıp kaydedilmektedir. En azından, 40-60 km aralıklı olan bu noktalardaki verilerden bu amaçla yararlanılabilir.

Daha duyarlı bir yaklaşım için birbirlerinden uzaklıkları 15 km veya daha kısa olan referans noktaları tercih edilmelidir. Bu noktalarla sanal üçgenlerden oluşan bir ağ tasarlanmalı ve koordinat dönüşüm hesapları yapılmalıdır.

Bilgilendirme/Teşekkür

Tektonik konusundaki değerli katkıları ve önemli yorumları için Prof. Dr. Uğur Kaynak'a özellikle teşekkür ederim.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

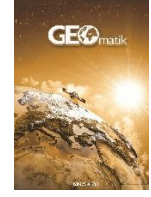
- Atabey, E. (2000). *Deprem*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Eren, K., & Uzel, T. (2008). *Ulusal CORS sisteminin kurulması ve datum dönüşümü projesi*. İstanbul Kültür Üniversitesi.
- Kaynak, U., (2009). Anadolu Viskoelastik Kabuğunun Morfolojik, Hidrolojik, Volkanolojik, Sismolojik ve Tektonik Kanıtlarla Desteklenmiş Kinematik Modeli, International Earthquake Symposium. Kocaeli-Türkiye.
- Kaynak, U., (2017). Ege Bölgesinin Depremselliği, Onuncu Yıl Sempozyumu, Kocaeli.
- Mcclusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., ... & Veis, G. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B3), 5695-5719.
- Pangea, (2022). <https://www.britannica.com/place/Pangea/media/441211/172046>
- Şahin, C. (2005). Türkiye Fiziki Coğrafyası, Gündüz Eğitim ve Yayıncılık, Genişletilmiş 4. Baskı, Ankara.
- Şengör, A. M. C. (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları: Türkiye Jeoloji Kurultay Yayınları, Ankara.

Uzel T., Eren K., & Dindar A. (2010). Monitoring Plate Tectonics and Subsidence in Turkey by CORS-TR and InSAR, FIG Congress 2010, Facing the Challenges – Building the Capacity, Sydney, Australia, 11-16 April 2010.

Uzel, T., Eren, K., Gulal, E., Tiryakioglu, I., Dindar, A. A., & Yilmaz, H. (2013). Monitoring the tectonic plate movements in Turkey based on the national continuous GNSS network. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(9), 3573-3580.



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



Yeni nesil multispektral ve hiperspektral uydu görüntülerinin arazi örtüsü / arazi kullanımı sınıflandırma performanslarının karşılaştırılması: Sentinel-2 ve PRISMA Uydusu

Buse Tırmanoğlu¹, İrem İsmailoğlu^{1,2}, Aylin Tuzcu Kokal^{*3}, Nebiye Musaoğlu³

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Teknik Üniversitesi, Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama UYG-AR Merkezi, İstanbul, Türkiye

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

PRISMA
Sentinel
AÖ/AK
Maksimum Olabilirlik
Temel Bileşenler Analizi

Araştırma Makalesi

Geliş: 06.06.2022
Revize: 18.11.2022
Kabul: 21.11.2022
Yayınlanma: 12.01.2023



Öz

Dünya gözlem uydularının gelişmesiyle Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı (AÖ/AK) sınıflandırması, ekosistemleri izlemeye ve kaynak yönetiminde değerli bilgiler sağlayan önemli bir uygulama haline gelmiştir. Multispektral görüntüler ile AÖ/AK sınıfları belirli detayda çıkartılabilirken bazı uygulamalarda spektral çözünürlük nedeniyle sınıfların ayırt edilebilirliğinde problemler ortaya çıkabilmektedir. Hiperspektral uydu görüntüleri yüksek spektral çözünürlük sağladıklarından sınıfların ayırt edilebilirliğini arttırmaktadır. Bu çalışmada Marmara Denizi'ne önemli ölçüde deşarjı olan Susurluk Nehri ve çevresine ait 13.05.2021 tarihli PRISMA ve 14.05.2021 tarihli Sentinel-2 görüntülerinden sınıflandırma ile ekili tarım alanı, boş arazi, orman, yerleşim & sanayi, yol, göl, akarsu, bataklık sınıfları belirlenmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Öncelikle, Sentinel-2 görüntüsü 30 m mekânsal çözünürlüğe yeniden örneklenmiştir. Her iki görüntünün orijinal veri setleri, görüntüleme temel bileşenler analizi (TBA) ve minimum gürültü fraksiyonu (MGF) uygulanmış veri setleri olmak üzere toplamda altı veri setine Maksimum Olabilirlik algoritması (MOA) ve Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemleri uygulanmıştır. Doğruluk analizinde, hesaplanan F1 puanı, hassasiyet ve geri çağırma metrik sonuçları karşılaştırılmıştır. PRISMA veri setlerine MOA uygulanan görüntüler incelendiğinde, en düşük ortalama F1 puan değeri (0.712) orijinal görüntünün sınıflandırma sonucunda elde edilirken en yüksek değer (0.924) TBA sonucunun sınıflandırılması ile elde edilmiştir. Bunun sebebi, hiperspektral verilerde boyut indirgeme yöntemlerinin uygulanarak korelasyonu yüksek bantların elimine edilmesidir. PRISMA görüntüsünün sınıflandırma sonuçlarında spektral çözünürlüğün katkısı nedeniyle sınıfların büyük bölümünde Sentinel-2 sonuçlarına göre daha yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

Comparison of land use / land cover classification performances of new generation multispectral and hyperspectral satellite images: Sentinel-2 and PRISMA Satellite

Keywords

PRISMA
Sentinel
LU/LC
Maximum Likelihood
Principle Component Analysis

Research Article

Received: 06.06.2022
Revised: 18.11.2022
Accepted: 21.11.2022
Published: 12.01.2023

Abstract

With the development of Earth observation satellites, Land Use/Land Cover (LU/LC) classification has become an important application. When hyperspectral images compared with multispectral images, hyperspectral satellite images increase the distinguishability of classes as they provide high spectral resolution. In this study, cultivation area, bare land, forest, residential & industrial, road, lake, river, marsh classes of Susurluk River and its surroundings which provide significant discharge to the Sea of Marmara were determined by classification from PRISMA and Sentinel-2 images that were acquired on 13.05.2021 and 14.05.2021, respectively. Firstly, Sentinel-2 satellite image was resampled to 30 m spatial resolution. Maximum likelihood (ML) and support vector machine (SVM) algorithms were applied to the total of six datasets, including the original dataset, PCA and MNF results of the both satellite images. F1-score, precision, recall metrics were compared to assess accuracies. It was concluded from the ML algorithm applied PRISMA results, the highest F1-score (0.924) was achieved by the PCA applied result, while the lowest F1-score (0.712) belongs to the original dataset. The reason is that high correlated spectral bands can be eliminated by using dimensionality reduction methods. Most of the classes were distinguished with higher accuracy by PRISMA image due to having high spectral resolution.

*Sorumlu Yazar

(tirmanoglu@itu.edu.tr) ORCID 0000-0001-8106-9445
(iremism@cscrs.itu.edu.tr) ORCID 0000-0003-1394-6834
(tuzcuay@itu.edu.tr) ORCID 0000-0003-2786-2033
(musaoglune@itu.edu.tr) ORCID 0000-0002-8022-8755

Kaynak Göster (APA)

Tırmanoğlu, B., İsmailoğlu, İ., Kokal, A. T., & Musaoğlu, N. (2023). Yeni nesil multispektral ve hiperspektral uydu görüntülerinin arazi örtüsü / arazi kullanımı sınıflandırma performanslarının karşılaştırılması: Sentinel-2 ve PRISMA Uydusu. *Geomatik*, 8(1), 79-90

1. Giriş

Sanayileşme ve artan nüfusa bağlı olarak gıda ve enerji gibi insanların temel ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için yapılan antropojenik faaliyetlerdeki artış ekosistem üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır (Yılmaz ve ark. 2018). Yeryüzünde meydana gelen değişiklikleri ve çevre kirliliğini sürekli gözlemleyip zamanında müdahale edebilmek için uzaktan algılama teknolojilerini kullanmak zamansal ve ekonomik açıdan önemli hâle gelmiştir. Günümüzde uydu görüntülerinden üretilen arazi örtüsü/arazi kullanımı (AÖ/AK) bilgisi; doğal kaynakların yönetimi, izlenmesi ve ekosistemin bütüncül olarak ele alınmasında değerli bir kaynak haline gelmiştir (Karakuş ve ark., 2017; Steinhäusen ve ark., 2018; ED Chaves ve ark., 2020; Apaydın ve Abdikan, 2021). Özellikle uydu platformlarına takılı algılayıcılarla yeryüzünde geniş alanlardan kısa sürede bilgi çıkartabilmesi uydu görüntülerinin AÖ/AK üretmede sıklıkla kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Nguyen ve ark., 2020; Ahady ve Kaplan, 2022). Landsat ve Sentinel grubu uydulardan elde edilen görüntülerin ücretsiz erişilebilir olması da uygulamaların yaygınlaşmasında önemli bir parametredir (Çömert ve ark., 2019; Zabcı, 2021). 2015 yılında uzaya fırlatılan Sentinel-2 uydusundan sağlanan görüntüler, AÖ/AK sınıflarının belirlenmesinde oldukça sıklıkla kullanılmaktadır (ESA, 2022). Topaloğlu ve ark., (2016)'da Landsat 8 ve Sentinel-2 görüntülerinin AÖ/AK sınıflarını belirlemedeki doğruluklarını araştırdıkları çalışmalarında, Sentinel-2 görüntüleri 30 m mekânsal çözünürlüğe örneklenmiş olmalarına rağmen daha yüksek sınıflandırma doğruluğu elde etmişlerdir. Delalay ve ark. (2019)'da Sentinel-2 görüntülerinden AÖ/AK sınıflarının çıkartılmasında operasyonel bir yöntem geliştirmişler ve bu yöntemi Nepal'de dağlık bir bölgede uygulamışlardır. Ayrıca Sentinel-2 uydu görüntüleri kıyı bölgelerinde deniz, kayalık, bitki örtüsü ve inşaat alanlarının tespiti (Randazzo ve ark., 2021), tropik bölgelerde bulunan ormanların incelenmesi (Nguyen ve ark., 2020), şehir alanlarının incelenmesi (Zhang ve ark., 2021) gibi birçok çalışmada kullanılmaktadır.

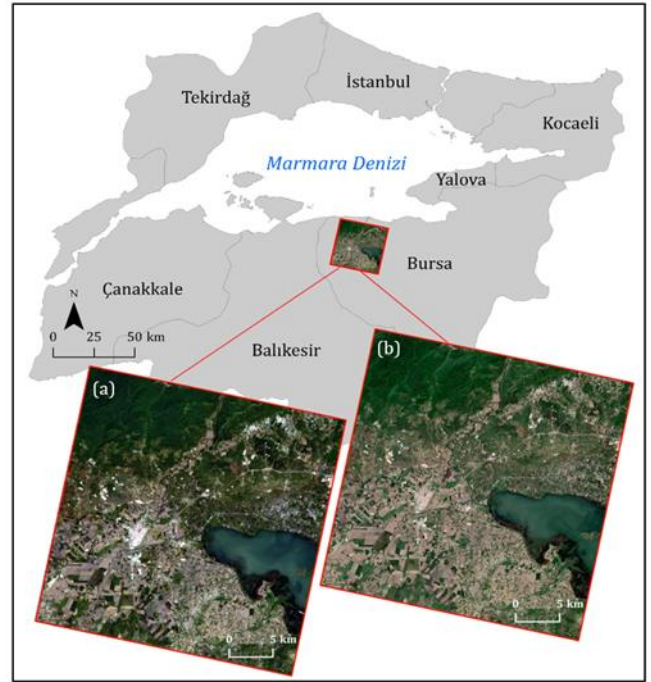
Teknolojinin gelişmesiyle birlikte uydu platformlarına takılı sistemler ile dar bant aralıklarında algılama yapan yüzlerce banda sahip hiperspektral uydu görüntülerine erişmek mümkün hale gelmiştir (Akar ve Görmüş, 2019). Günümüzde İtalyan Uzay Ajansı (Agenzia Spaziale Italiana/ASI) tarafından geliştirilen PRecursore IperSpettrale della Missione Applicativa (PRISMA) uydusunun 30 m mekânsal çözünürlükte sağladığı hiperspektral uydu görüntülerine ücretsiz olarak erişmek mümkündür (Loizzo ve ark., 2018). Yeni nesil PRISMA uydu görüntülerinin yangın tespiti (Lazzeri ve ark., 2021), farklı orman tiplerinin belirlenmesi (Vangi ve ark., 2021), farklı AÖ/AK sınıflarının belirlenmesi (Tuzcu Kokal ve ark., 2022) vb. uygulamalarda kullanıldığı çalışmalar mevcuttur.

Bu çalışmada, Susurluk Nehri ve çevresine ait 13.05.2021 tarihinde algılanan PRISMA ve 14.05.2021 tarihinde algılanan Sentinel-2 uydu görüntülerine Maksimum Olabilirlik (MOA) algoritması ve Destek Vektör Makineleri (DVM) algoritması uygulanarak ekili tarım alanı, boş arazi, orman, yerleşim & sanayi, yol, göl,

akarsu, bataklık sınıfları olmak üzere sekiz farklı türde AÖ/AK sınıfları belirlenmiştir. Üretilen tematik haritaların doğrulukları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır.

2. Çalışma alanı ve kullanılan veriler

Bu çalışmada Susurluk Nehir Havza'sında bulunan önemli akarsulardan biri olan Susurluk Nehri ve çevresinin AÖ/AK durumu incelenmiştir. Konumu Şekil 1'de gösterilen Susurluk Nehri (Simav Çayı), Bursa, Balıkesir ve Bandırma illeri arasında yer almakta olup Ege Bölgesi'nden başlayıp Marmara Denizi'nin güneyine dökülmektedir. Yaklaşık uzunluğu 321 km olan Susurluk Nehri, Marmara Denizi'ne dökülen en uzun nehirdir (Öztürk ve Küçük, 2017). Çalışma alanı, büyük orman alanlarını içermekle birlikte Karacabey (Bursa) ilçe merkezini ve bir Ramsar alanı olan Uluabat Gölü'nün bir kısmını kapsamaktadır (Ramsar, 1998). Bu bağlamda değerlendirildiğinde, bölgenin ekili tarım alanı, boş arazi, orman, yerleşim & sanayi, yol, göl, akarsu, bataklık sınıfları gibi farklı tür AÖ/AK sınıflarını içermekte olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Çalışma bölgesi konumu ve çalışmada kullanılan PRISMA (a) (PRISMA ASI, (2022)) ve Sentinel-2 (b) (Copernicus, (2022)) uydu görüntüleri

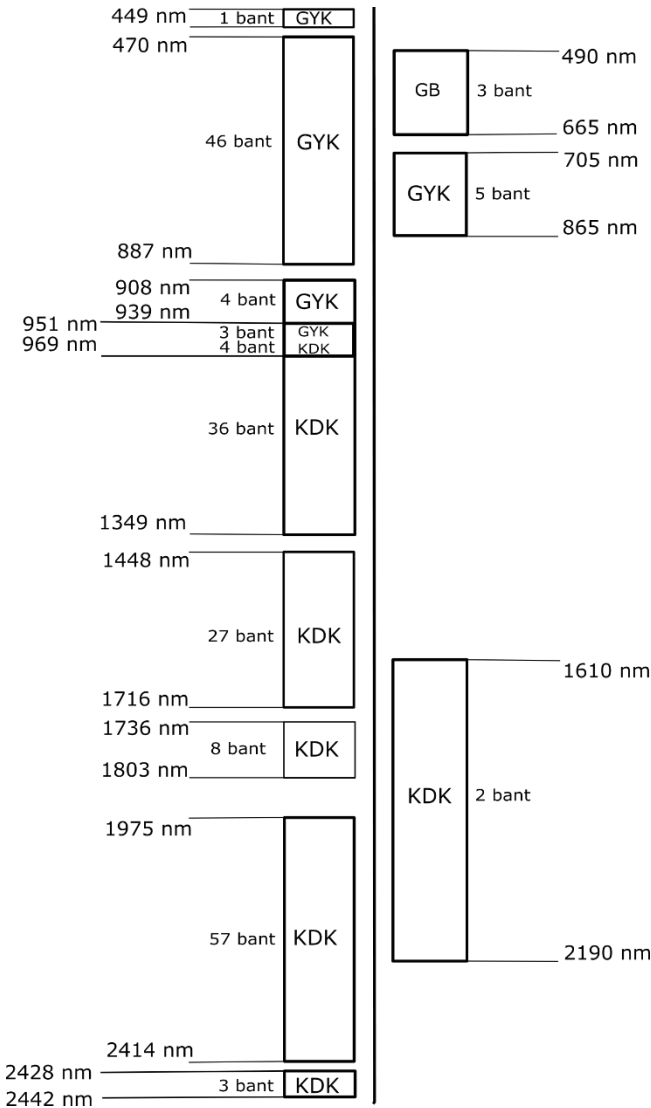
Farklı uydu görüntülerinin AÖ/AK sınıflarını belirlemedeki performanslarının değerlendirilmesinde özellikle çalışma alanı orman ve tarım alanlarını da kapsıyorsa verilerin eş zamanlı olarak algılanmış olması önem taşır. Bu çalışmada, teknik özellikleri Tablo 1'de verilen 13.05.2021 tarihinde algılanan PRISMA uydu görüntüsü ile 14.05.2021 tarihinde algılanan Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI) algılayıcısı, Avrupa Uzay Ajansı (European Spatial Agency/ESA) tarafından Copernicus programı kapsamında geliştirilen bir algılayıcıdır. Zamansal çözünürlüğü yüksek olan Sentinel-2 uydu görüntülerinin; dört adet 10 m, altı adet 20 m ve üç adet

60 m mekânsal çözünürlüğe sahip olmak üzere toplam 13 spektral bantı bulunmaktadır. 2019 yılında uzaya fırlatılan PRISMA uydusu da 30 m mekânsal çözünürlükte hiperspektral veri sağlamakta ve verilere

ücretsiz erişilebilmektedir. Şekil 2’de, PRISMA ve Sentinel-2 uydularının spektral aralıkları ve çalışmada kullanılan bant sayıları gösterilmektedir (Copernicus, 2022; PRISMA ASI, 2022).

Tablo 1. Sentinel 2A/2B ve PRISMA uydu görüntülerinin teknik özellikleri (SUHET, 2015; ASI, 2020; ASI, 2022; ESA, 2022)

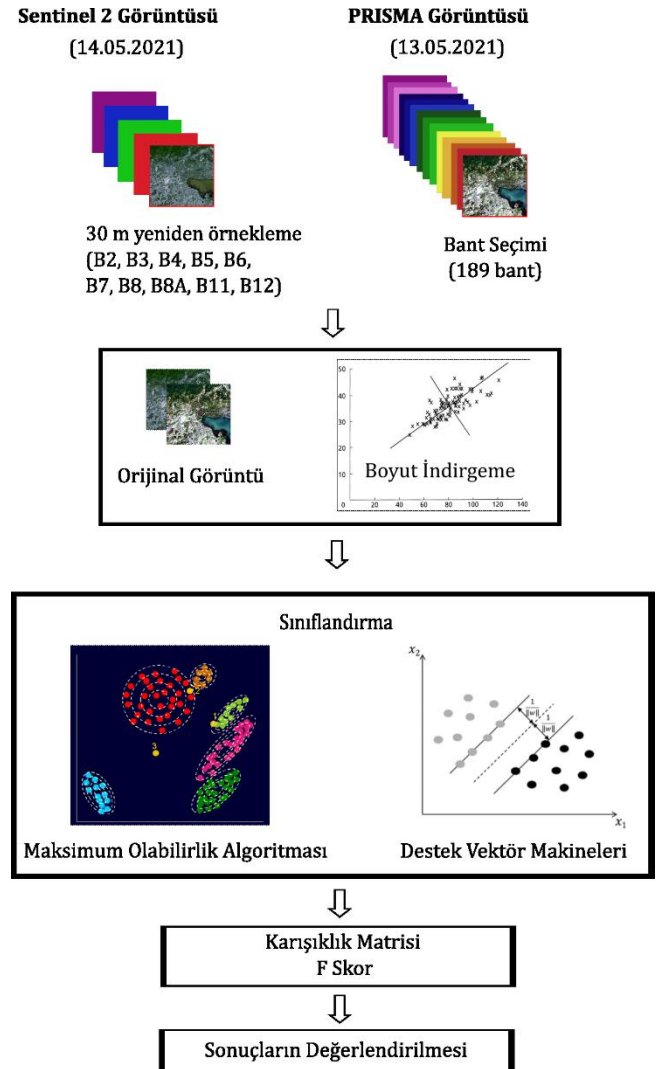
Özellik	Sentinel- 2A/2B	PRISMA
Kurum	ESA	ASI
Fırlatılma Tarihi	2015 /2017	2019
Şerit genişliği (km)	290	30
Mekânsal Çözünürlük (m)	Bant 2-4, Bant 8: 10 Bant 5-7, Bant 8A, Bant 11-12: 20 Bant1, Bant 9-10: 60	30
Spektral Bant Sayısı	13	240
Zamansal Çözünürlük	5 gün	29 gün (Yaklaşık)



Şekil 2. Çalışmada kullanılan PRISMA (solda) ve Sentinel-2 (sağda) uydularının spektral aralıkları ve bant sayıları (GB: Görünür Bölge; GYK: Görünür Yakın Kızılötesi; KDK: Kısa Dalga Kızılötesi)

3. Yöntem

Bu çalışmada uygulanan işlem adımları Şekil 3’de verilen akış şemasında gösterilmiştir.



Şekil 3. Akış şeması (MOA şekli Clevers, (2000) çalışmasından, Boyut İndirgeme modeli Holland, (2019), DVM şekli Awad ve Khanna, (2015) çalışmasından alınmıştır)

Sentinel-2 ve PRISMA görüntüleri atmosferik ve geometrik düzeltmeleri tamamlanmış olarak temin edildiği için belirtilen uydu görüntülerine ön işleme adımı uygulanmamıştır. Görüntülerin sınıflandırma

performanslarının eşit koşullarda karşılaştırılabilmesi için ilk adım olarak Sentinel-2 görüntüsü 30 metreye yeniden örneklenmiştir.

Boyut indirgeme ve sınıflandırma aşamalarından önce PRISMA verisinde gürültü bulunan bantlar, Sentinel-2 verisinde ise düşük mekânsal çözünürlüklü (60m) bantlar elimine edilmiştir. Uygulamada kullanılmış olan PRISMA veri seti GYK sensöründen bant 7, bant 10-55, bant 57-63 ve KDK sensöründen bant 3-42, bant 51-77, bant 79-86, bant 105-161, bant 163-165; Sentinel-2 veri seti ise bant 2-7, bant 8 - 8A ve bant 11-12 numaralı bantları içermektedir. Bant seçimi işleminin ardından boyut indirgeme yöntemlerinden biri olan ve yüksek korelasyonlu değişkenlerin korelasyonsuz değişkenlere dönüşmesini sağlayan Temel Bileşenler Analizi (TBA) (Hidalgo ve ark., 2021); sinyal-gürültü oranını (SGO/ Signal-to-Noise Ratio (SNR)) iyileştirmek ve veri işleme hızını arttırmak için literatürde tercih

edilen bir yöntem olan Minimum Gürültü Fraksiyonu (MGF) uygulanmıştır (Dabiri ve Lang, 2018).

Temel bileşenler dönüşümü uygulandıktan sonra varyansın büyük kısmı üretilen ilk üç bileşende bulursa da diğer üretilen bileşenler de bilgi içermektedir (Akça ve Doğan, 2002; Ringnér, 2008). Bu doğrultuda, kullandığımız boyut indirgeme yöntemleri (TBA ve MGF) sonucunda elde edilen bileşenler tek tek incelenmiş ve ilk 3 bandın yanı sıra, bilgi içerdiği tespit edilen bantlar da sınıflandırmaya girdi olarak alınmıştır.

Sınıflandırma yaklaşımı olarak, kontrollü ve parametrik sınıflandırma yöntemlerinden biri olan MOA (Fisher, 1912) ve makine öğrenmesi algoritmalarından biri olan DVM uygulanmıştır. Eşitlik 1’de formülü verilen MOA’da, normal dağılımı temel alan bir olasılık fonksiyonu tanımlandıktan sonra sınıfı belli olmayan piksel olasılık değerinin maksimum olduğu sınıfa atanmaktadır (Çetin, 2007; ERDAS, 2003; Sisodia ve ark., 2014; Tadesse ve ark., 2017).

$$D = \ln(a_c) - [0.5 * \ln(|Cov_c|)] - [0.5 * (X - M_c)^* T(Cov_c^{-1})^* (X - M_c)] \quad (1)$$

D: Ağırlıklı uzaklık, c: Sınıf, X: Ölçü vektörü, M: Ortalama vektör, a: Sınıfına ait olma olasılığı, Cov: Kovaryans matrisi

DVM sınıflandırıcısı sınıflar arasındaki marjini optimize ederek hiper düzlem oluşturma temeline dayanmaktadır (Vapnik, 1979; 2013). Doğrusal hiperdüzlemlerin yeterli olmadığı durumlarda çekirdek fonksiyonlar kullanılarak girdi verisinden daha yüksek boyut elde edilerek sınıflar arasındaki ayrılabilirlik arttırılmaktadır (Aizerman, 1964). Bu çalışmada, kullanılan radyal tabanlı çekirdek fonksiyonunun formülü Eşitlik 2’de verilmiştir (Tso ve Mather, 2009).

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \|x_i - x_j\|^2), \gamma > 0 \quad (2)$$

K: Kernel Fonksiyonu, γ : Gamma parametresi

Doğruluk analizi kapsamında, 240 adet rastgele test noktası baz alınarak literatürde yaygın olarak kullanılan hassasiyet, geri çağırma ve F1 puanı değerlendirme metrikleri hesaplanmıştır. Ayrıca tüm sınıflar için

ortalama F1 puanı ve doğruluk da hesaplanmıştır (Elmahdy ve ark., 2020). Hassasiyet (Eşitlik 3), geri çağırma (Eşitlik 4), F1 puanı (Eşitlik 5) ve doğruluk (Eşitlik 6); gerçek pozitif (True Positive/TP), yanlış pozitif (False Positive/FP), gerçek negatif (True Negative/TN) ve yanlış negatif (False Negative/FN) olacak şekilde dört parametre kullanılarak hesaplanmaktadır (Tharwat, 2020; Elmahdy ve ark., 2020). Geri çağırma, sınıflandırma sonucunda bir sınıftaki olası tüm pikselleri bulabilme ölçütü iken; hassasiyet, sınıflandırıcının hedef sınıfa ait pikselleri daha hassas algılayabilme ölçütüdür. F1 puanı, hassasiyet ve geri çağırma metriklerinin harmonik ortalamasıdır ve sınıflandırma performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Ha ve ark., 2020). Sınıflandırma performansında en çok tercih edilen metriklerden biri olan doğruluk, doğru sınıflandırılmış örneklerin, toplam örnek sayısına oranı olarak tanımlanmaktadır (Tharwat, 2020).

$$\text{Hassasiyet} = TP / (TP + FP) \quad (3)$$

$$\text{Geri Çağırma} = TP / (TP + FN) \quad (4)$$

$$\text{F1 Puanı} = (2 * \text{Hassasiyet} * \text{Geri Çağırma}) / (\text{Hassasiyet} + \text{Geri Çağırma}) \quad (5)$$

$$\text{Doğruluk} = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN) \quad (6)$$

4. Bulgular

Boyut indirgeme aşamasında her bir yaklaşımda üretilen bileşenlere ait toplam varyans yüzdeleri hesaplanmış (Tablo 2) ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu incelemenin yanı sıra, tüm bileşenler görsel olarak da incelenerek uygun bileşenlerden oluşan veri setleri oluşturulmuştur.

TBA sonucunda Sentinel-2 MSI sensörüne ait 1,2,3,5,6,7 numaralı bileşenler; PRISMA uydusuna ait GYK sensöründen elde edilen 1,2,3,4,5,7 ve KDK sensöründen elde edilen 1,2,3,6,7,12 numaralı bileşenler

seçilmiştir. MGF uygulaması sonucunda ise Sentinel-2 MSI sensörüne ait 1,2,3,4,5,6,7 numaralı bileşenler; PRISMA görüntüsüne ait GYK sensöründen elde edilen 1,3,4,5,6,7,8,9 ve KDK sensöründen elde edilen 4,5,7,11,13 numaralı bileşenler sınıflandırma için girdi verisi olarak kullanılmıştır. Girdi verisi olarak seçilen bileşenlere ait çalışma bölgesinin merkezine yakınlaştırılmış görseller Şekil 4 ve Şekil 5’te gösterilmiştir.

Boyut indirgeme uygulaması sonucu oluşan bileşenlere ait görseller ve varyans değerleri birlikte incelendiğinde, düşük varyans değerine sahip olmasına

rağmen görsel açıdan anlamlı veri içeren bileşenlerin tespit edilmesi girdi veri setinin oluşturulması açısından oldukça kritik bir noktadır. Bu bağlamda, Sentinel-2 ve PRISMA görüntülerine boyut indirgeme yöntemlerinden TBA ve MGF uygulanmıştır.

TBA yöntemi uygulandıktan sonra elde edilen bileşenlerin görsel analizi sonucu Sentinel-2 görüntüsüne ait düşük varyanslı bileşenlerde (Şekil 4.c, d, e, f) yerleşim & sanayi ve yol sınıflarının ayırt edilebilirliğinin yüksek olduğu görülmüştür. Şekil 4.j, k, l incelendiğinde ise, PRISMA uydusunun GYK sensörü verisine uygulanan TBA sonucunda elde edilen düşük varyanslı bileşenlerinde yerleşim & sanayi ve tarım alanları sınıflarının ön plana çıktığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, PRISMA uydusunun KDK sensörü verisine uygulanan TBA sonucuna ait 12. bileşenin düşük varyans değerine (0.004) sahip olmasına rağmen, yol ve yerleşim & sanayi gibi geçirimsiz yüzeylerin oldukça belirgin bir biçimde ayırt edilebildiği (Şekil 4.s) gözlemlenmiş ve bu bileşenin girdi verisine dahil edilmesinin sınıflandırmanın doğruluğuna olumlu yönde etki ettiği gözlemlenmiştir.

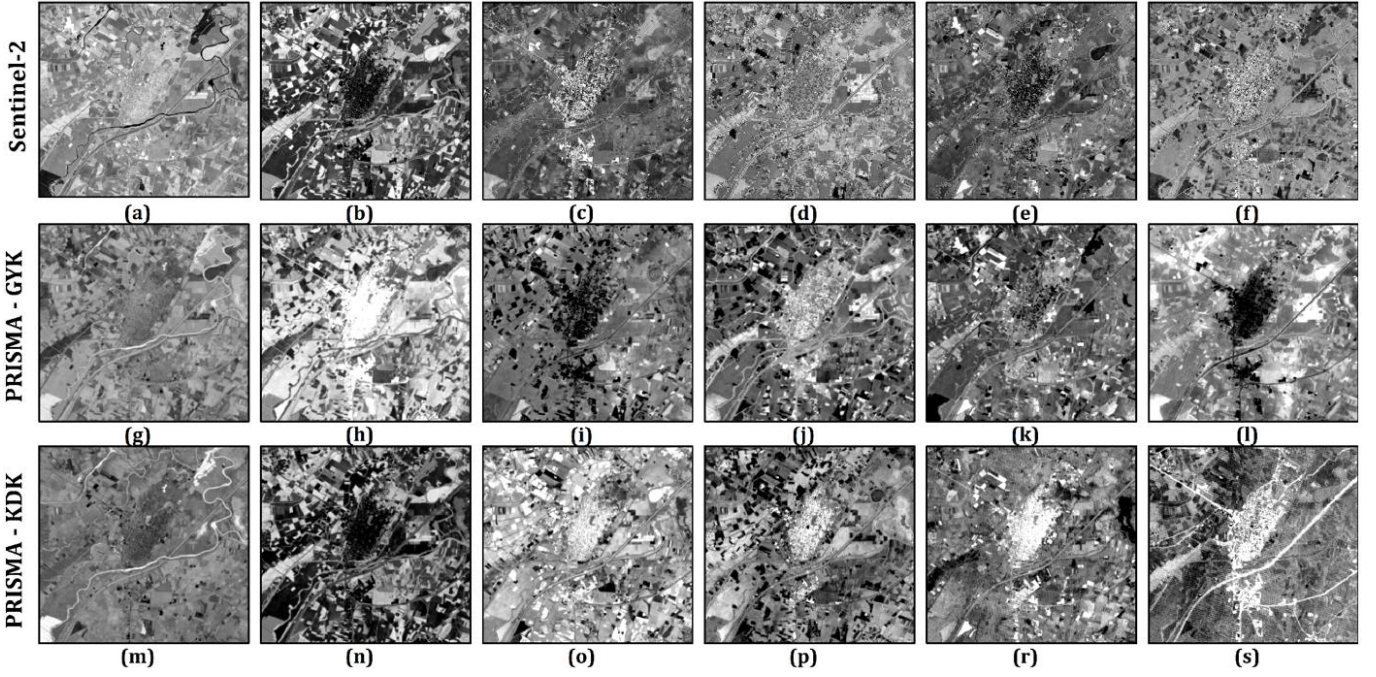
MGF yöntemi sonuçları incelendiğinde ise Sentinel-2 görüntüsünden üretilen varyanslı düşük bileşenlerin (Şekil 5.c, d, e, f, g) farklı sınıflar için ayırt edici veri içerdiği görülmüştür. Örnek olarak; Şekil 5.g’de yerleşim ve sanayi bölgelerinin ön plana çıktığı gözlemlenmiştir. PRISMA GYK sensörü verisinden elde edilen yüksek

varyansa sahip bileşenlerde (Şekil 5.h, i, j) akarsu sınıfı kolaylıkla ayırt edilebilirken, düşük varyansa sahip bileşenlerde (Şekil 5.m, n, o’da) ekili tarım arazileri ve boş arazi sınıfları kolaylıkla tespit edilmiş olup sınıflandırmada girdi verisi olarak kullanılmıştır. Şekil 5.k incelendiğinde ise endüstri ve yerleşim alanlarının ön plana çıktığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, PRISMA KDK sensörü verisine MGF uygulandığında Şekil 5.p’de orman ve akarsu sınıfları bilgisi mevcut iken Şekil 5.u’da gösterilen bileşende endüstri, yerleşim ve yol sınıflarının kolaylıkla ayırt edilebildiği gözlemlenmiştir.

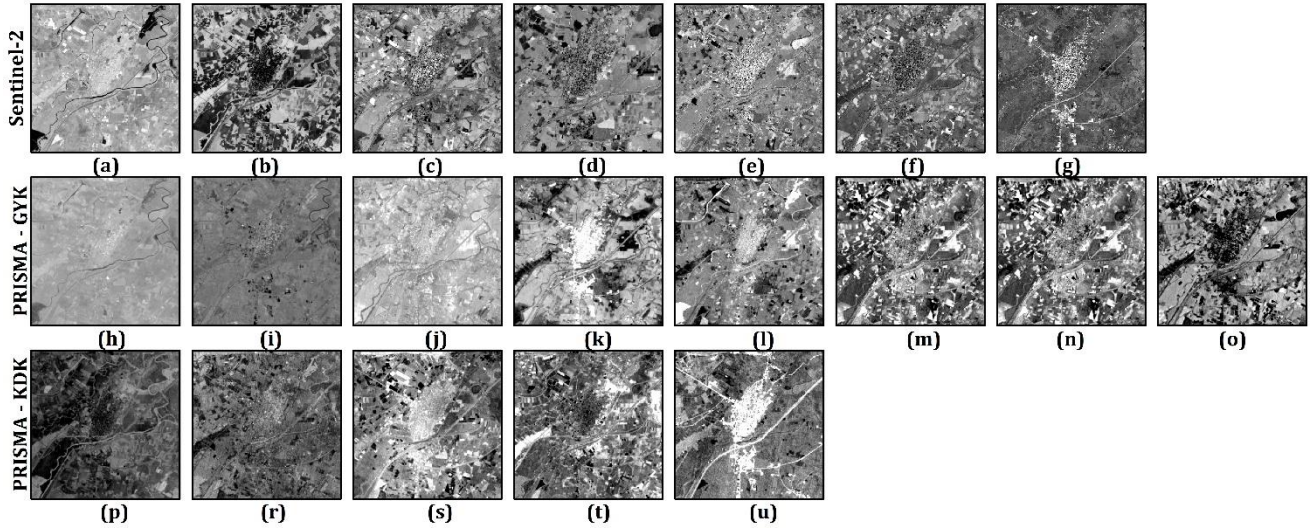
Faktör analizi, çok sayıda ilişkili değişkenler arasındaki ilişkinin kökenini analiz ederek az sayıda bağımsız faktör elde eden boyut indirgeme yöntemlerinden biridir. TBA ile verilerin dönüşümü amaçlanıp bileşenler üretilirken, faktör analizi ile verilerin bir modele uyumluluğu amaçlanıp faktörler üretilir (İlhan, 2007). Faktör sayısını belirlemek için birçok kriter kullanılmaktadır. Bu kriterlerden biri grafiksel bir test olan yamaç eğim testidir (Scree plot test) (Cattell, 1966). Yamaç eğim grafiğinde eğimin hızla azaldığı nokta belirlenerek dikkate alınması gereken faktör sayısı belirlenmektedir. Grafikte yatay eksen faktör sayısını belirtirken dikey eksen TBA aracılığıyla faktör varyansı ile elde edilen özdeğerleri belirtmektedir (Sarı, 2018). Sentinel-2 ve PRISMA uydu görüntülerine uygulanmış TBA ve MGF faktörlerinin özdeğerleri Şekil 6’da gösterilmiştir.

Tablo 2. TBA ve MGF sonucunda oluşan bileşenlere ait toplam varyans yüzdeleri (Sınıflandırma uygulaması için seçilen bileşenlere ait varyans değerleri gri renkte belirtilmiştir)

Bileşen No.	TBA			MGF		
	Sentinel-2	PRISMA (GYK Sensörü)	PRISMA (KDK Sensörü)	Sentinel-2	PRISMA GYK Sensörü	PRISMA (KDK Sensörü)
1	87.580	93.739	86.471	64.484	25.969	22.426
2	11.488	5.934	13.026	11.609	19.231	18.411
3	0.516	0.156	0.195	6.827	14.619	10.081
4	0.154	0.072	0.147	5.713	7.294	6.184
5	0.114	0.044	0.045	3.375	3.341	1.970
6	0.059	0.021	0.029	3.230	2.906	1.822
7	0.045	0.013	0.018	1.694	2.583	1.734
8	0.023	0.006	0.010	1.212	1.803	1.578
9	0.012	0.005	0.006	0.944	1.673	1.355
10	0.008	0.003	0.005	0.911	1.629	1.281
11		0.001	0.005		1.241	1.141
12		0.001	0.004		1.161	0.941
13		0.001	0.003		0.997	0.904
14		0.000	0.002		0.860	0.729
15		0.000	0.002		0.789	0.710
16		0.000	0.002		0.740	0.624
17		0.000	0.002		0.667	0.592
18		0.000	0.001		0.634	0.536
19		0.000	0.001		0.608	0.524
20		0.000	0.001		0.532	0.512



Şekil 4. TBA uygulaması sonucunda elde edilen ve sınıflandırma uygulamasında girdi verisi olarak kullanılan bileşenler: Sentinel-2 uydü görüntüsü kullanılarak elde edilen 1(a), 2(b), 3(c), 5(d), 6(e), 7(f) numaralı bileşenler; PRISMA uydusunun GYK sensörü görüntüsüne ait 1(g), 2(h), 3(i), 4(j), 5(k), 7(l) numaralı bileşenler ve PRISMA uydusunun KDK sensörü görüntüsüne ait 1(m), 2(n), 3(o), 6(p), 7(r) ve 12(s) numaralı bileşenler



Şekil 5. MGF uygulaması sonucunda elde edilen ve sınıflandırma uygulamasında girdi verisi olarak kullanılan bileşenler: Sentinel-2 uydü görüntüsü kullanılarak elde edilen 1(a), 2(b), 3(c), 4(d), 5(e), 6(f), 7(g) numaralı bileşenler; PRISMA uydusunun GYK sensörü görüntüsüne ait 1(h), 3(i), 4(j), 5(k), 6(l), 7(m), 8(n), 9(o) numaralı bileşenler ve PRISMA uydusunun KDK sensörü görüntüsüne ait 4(p), 5(r), 7(s), 11(t) ve 13(u) numaralı bileşenler

Şekil 6 incelendiğinde en fazla bilginin ilk bileşenlerde olduğu ve bileşenlerin özdeğerlerinin hızla azaldığı belirlenmiştir. İstatiksel olarak üretilen yamaç eğim grafikleri görsel analizler (Şekil 4 ve 5) ile desteklenmiştir. Bu kapsamda, eğimin az olduğu bileşenler ile eğimin yüksek olduğu bölgede bulunan bileşenler görsel olarak karşılaştırılmıştır. Eğimin yüksek olduğu bileşenler yüksek varyansa sahip olsa dahi yol, yerleşim, endüstri bölgelerinin sınıflandırılmasında, doğruluğu artırıcı verinin eğimin düşük olduğu bileşenlerde bulunduğu görülmüştür. Dolayısıyla, düşük varyansa sahip olan bileşenlerin yol, endüstri, yerleşim gibi sınıflar için özelleştiği ve bu bileşenlerin çalışma kapsamında yapılan detaylı

sınıflandırma işleminde doğruluğu yükselttiği tespit edilmiştir.

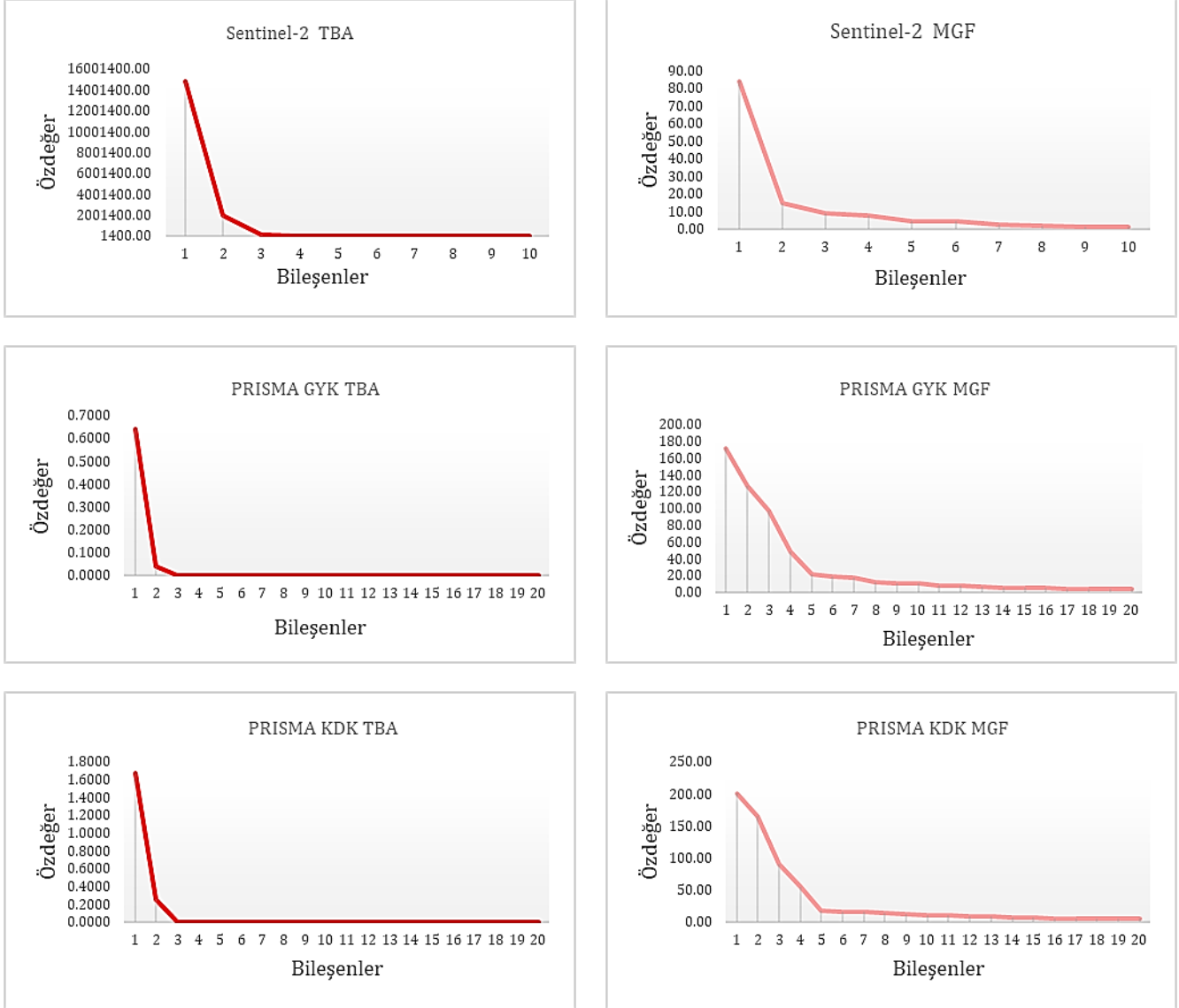
Uygun boyut indirgeme yaklaşımının ve bileşenlerinin belirlenmesinin ardından; Sentinel-2 ve PRISMA uydü görüntülerine ait orijinal bantlara, TBA ve MGF sonucu elde edilmiş bileşenlerden oluşan veri setlerine, MOA ve DVM uygulanmış ve sınıflandırma sonucu elde edilen hassasiyet, geri çağırma ve F1 puanı değerleri Tablo 3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir.

Sentinel-2 ve PRISMA uydü görüntüleri sınıflandırmaları sonucunda tüm sınıflar için hesaplanan ortalama F1 puanı ve doğruluk değerleri de Şekil 7 'de gösterilmiştir.

Tüm doğruluk metrikleri incelendiğinde, Sentinel-2 uydu görüntüsüne ait orijinal bantlar üzerinde uygulanan MOA sınıflandırma sonuçları ile PRISMA görüntüsüne uygulanmış TBA sonucunda elde edilen bileşenlerden oluşturulan veri seti üzerinde uygulanan MOA sınıflandırma sonuçlarının yapılan çalışma kapsamında en yüksek doğruluk sonuçlarını verdiği belirlenmiştir. En yüksek sınıflandırma doğruluğu elde edilen sonuçlara ait tematik haritalar Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.

Sınıflandırma sonuçları, Şekil 10. a, b'de bir örneği gösterildiği gibi Sentinel-2 uydu görüntüsünün 10 m

mekânsal çözünürlüğe sahip bantları ile karşılaştırılmıştır. Görsel inceleme sonucunda bazı bölgelerde nem oranı yüksek tarım arazileri (Şekil 10a) ve orman arazilerinin (Şekil 10b) PRISMA verisinde çoğunlukla "ekili tarım alanı" ve "orman" olarak doğru sınıflandırıldığı, ancak Sentinel-2'de bu bölgelerin "göl", "akarsu" ve "bataklık" gibi sınıflara atandığı belirlenmiştir. Ayrıca bir diğer çıkarım olarak, PRISMA verisinde yol sınıfının boş arazi sınıfı ile karıştığı, Sentinel-2 sonuçlarında ise yol deseninin daha net çıkartılabildiği ancak yer yer diğer sınıflarla karıştığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Yamaç eğim test grafikleri

Tablo 3. Sentinel-2 için MOA sonuçlarına ait hassasiyet (H.), geri çağırma (G.) ve F1 puanı (F1) değerleri

Sınıf	Orijinal Görüntü			TBA			MGF		
	H.	G.	F1	H.	G.	F1	H.	G.	F1
Akarsu	0.90	1.0	0.95	0.70	0.91	0.79	0.87	0.96	0.91
Bataklık	0.93	0.90	0.92	0.83	0.76	0.79	0.93	0.90	0.92
Göl	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Orman	0.93	0.90	0.92	0.93	0.88	0.90	0.97	0.94	0.95
Ekili Tarım Alanı	0.90	0.84	0.87	0.87	0.84	0.85	0.90	0.84	0.87
Boş Arazi	0.93	0.88	0.90	0.93	0.82	0.88	0.97	0.78	0.87
Yol	0.77	1.0	0.87	0.73	1.0	0.85	0.77	1.0	0.87
Yerleşim & Sanayi	0.87	0.76	0.81	0.90	0.77	0.83	0.80	0.83	0.81

Tablo 4. PRISMA için MOA sonuçlarına ait hassasiyet (H.), geri çağırma (G.) ve F1 puanı (F1) değerleri

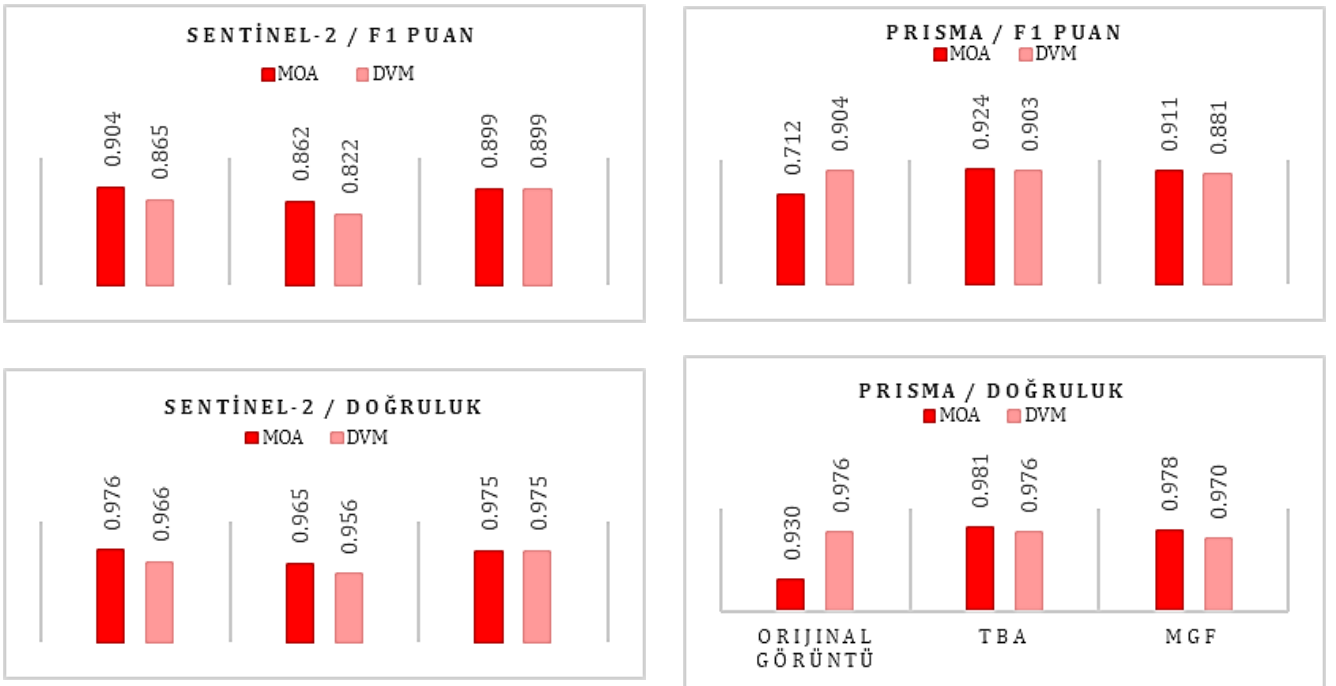
Sınıf	Orijinal Görüntü			TBA			MGF		
	H.	G.	F1	H.	G.	F1	H.	G.	F1
Akarsu	0.80	0.60	0.69	0.93	0.93	0.93	0.97	0.94	0.95
Bataklık	0.43	1.0	0.60	0.90	0.96	0.93	0.93	1.0	0.97
Göl	0.63	1.0	0.78	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Orman	0.90	1.0	0.95	0.93	0.97	0.95	0.93	0.97	0.95
Ekili Tarım Alanı	0.97	0.57	0.72	1.0	0.86	0.92	0.97	0.88	0.92
Boş Arazi	0.87	0.72	0.79	0.97	0.94	0.95	0.97	0.85	0.91
Yol	0.33	1.0	0.50	0.70	1.0	0.82	0.63	1.0	0.78
Yerleşim& Sanayi	0.83	0.57	0.68	0.97	0.81	0.88	0.90	0.75	0.82

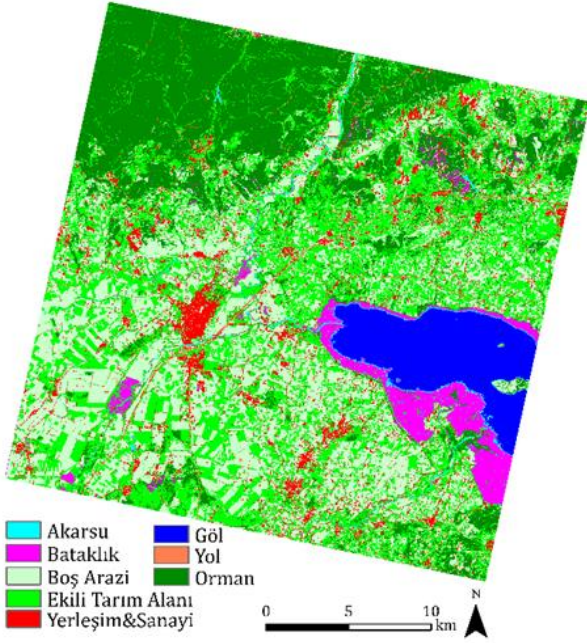
Tablo 5. Sentinel-2 için DVM algoritması sonuçlarına ait hassasiyet (H.), geri çağırma (G.) ve F1 puanı (F1) değerleri

Sınıf	Orijinal Görüntü			TBA			MGF		
	H.	G.	F1	H.	G.	F1	H.	G.	F1
Akarsu	0.87	1.0	0.93	0.77	1.0	0.87	0.87	0.96	0.91
Bataklık	0.97	0.91	0.94	0.90	0.93	0.92	0.93	0.90	0.92
Göl	1.0	1.0	1.0	1.0	0.97	0.98	1.0	1.0	1.0
Orman	0.97	0.88	0.92	0.97	0.85	0.91	0.97	0.94	0.95
Ekili Tarım Alanı	0.90	0.90	0.90	0.87	0.81	0.84	0.90	0.84	0.87
Boş Arazi	0.93	0.67	0.78	0.97	0.53	0.68	0.97	0.78	0.87
Yol	0.60	1.0	0.75	0.40	1.0	0.57	0.77	1.0	0.87
Yerleşim & Sanayi	0.70	0.72	0.71	0.73	0.92	0.81	0.80	0.83	0.81

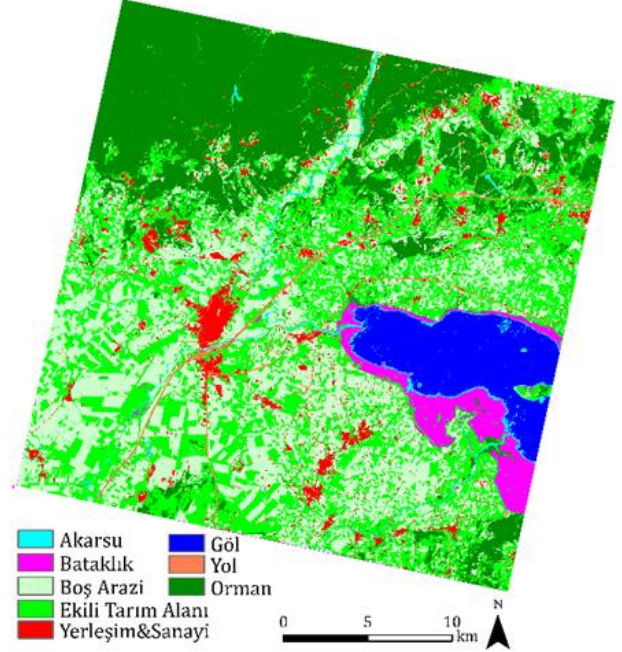
Tablo 6. PRISMA için DVM algoritması sonuçlarına ait hassasiyet (H.), geri çağırma (G.) ve F1 puanı (F1) değerleri

Sınıf	Orijinal Görüntü			PCA			MNF		
	H.	G.	F1	H.	G.	F1	H.	G.	F1
Akarsu	0.83	0.93	0.88	0.77	0.96	0.85	0.73	0.92	0.81
Bataklık	0.97	0.97	0.97	0.93	0.90	0.92	0.93	0.93	0.93
Göl	1.0	0.97	0.98	1.0	0.94	0.97	1.0	0.97	0.98
Orman	0.97	0.94	0.95	0.97	0.91	0.94	0.97	0.88	0.92
Ekili Tarım Alanı	0.90	0.90	0.90	0.93	0.90	0.92	0.90	0.77	0.83
Boş Arazi	0.97	0.76	0.85	0.97	0.85	0.91	1.0	0.86	0.92
Yol	0.83	0.93	0.88	0.80	0.92	0.86	0.70	0.91	0.79
Yerleşim & Sanayi	0.77	0.88	0.82	0.87	0.87	0.87	0.83	0.86	0.85

**Şekil 7.** Sentinel-2 ve PRISMA uydu görüntüleri kullanılarak hesaplanan ortalama F1 puanı ve doğruluk değerleri (MOA: Maksimum Olabilirlik Algoritması, DVM: Destek Vektör Makineleri, TBA: Temel Bileşen Analizi, MGF: Minimum Görüntü Fraksiyonu)



Şekil 8. Sentinel-2 uydu görüntüsüne ait orjinal bantlar üzerinde uygulanan maksimum olabilirlik algoritmasına ait sınıflandırma sonucuna ait tematik harita



Şekil 9. PRISMA uydu görüntüsüne uygulanmış TBA sonucunda elde edilen bileşenlerden oluşturulan veri seti üzerinde uygulanmış maksimum olabilirlik algoritması sonucuna ait tematik harita

5. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Susurluk Nehri ve çevresine ait multispektral ve hiperspektral uydu görüntülerine MOA ve DVM sınıflandırma yöntemleri uygulanarak ekili tarım alanı boş arazi, orman, yapı birimleri (yerleşim ve sanayi), yol, göl, akarsu, bataklık sınıfları olmak üzere toplamda sekiz sınıfın ayırt edilebilirlikleri incelenmiştir.

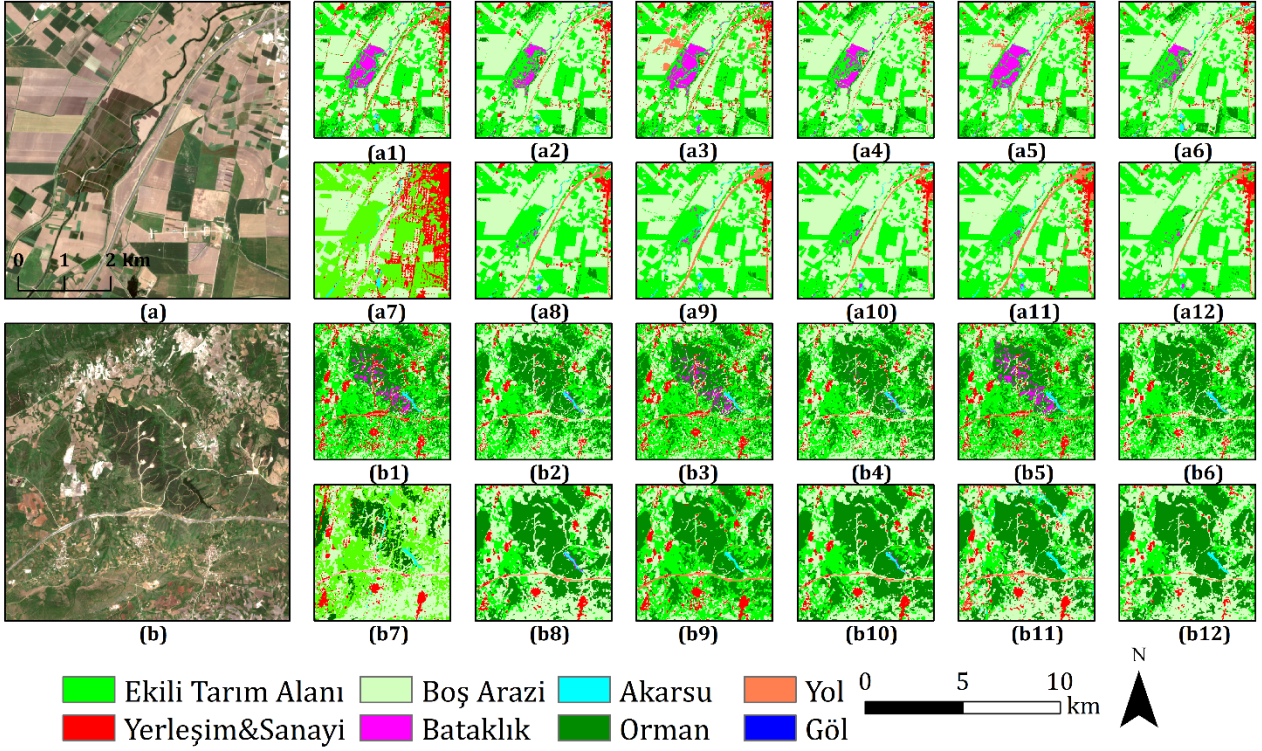
Değerlendirme metrikleri kapsamında ortalama F1 puanları ve doğruluk değerleri incelendiğinde; Sentinel-2 verisi için en yüksek ortalama F1 puanı (0.904) ve doğruluk değeri (0.976) orijinal görüntüsüne uygulanan MOA sonucunda elde edilmiştir. PRISMA uydu görüntüsü ile yapılan sınıflandırma sonuçları ele alındığında ise en yüksek doğruluk değeri (0.981) ve ortalama F1 puanı (0.924) TBA sonucu elde edilen bileşenler üzerine uygulanan MOA sonucunda elde edilmiştir ve bu sonuçlar, PRISMA ve Sentinel-2 uydu görüntülerine ait bütün metrikler ele alındığında elde edilen en yüksek değerlerdir.

PRISMA orijinal görüntüsüne uygulanan MOA sonucunda ise en düşük F1 puanı (0.712) ve doğruluk değeri (0.930) elde edilmiştir. Bu sonuç görsel olarak incelendiğinde bantlardaki gürültülerin sınıflandırma sonucuna yansıdığı gözlemlenmiş olup diğer sınıflandırma sonuçlarında böyle bir sonuca rastlanmamıştır.

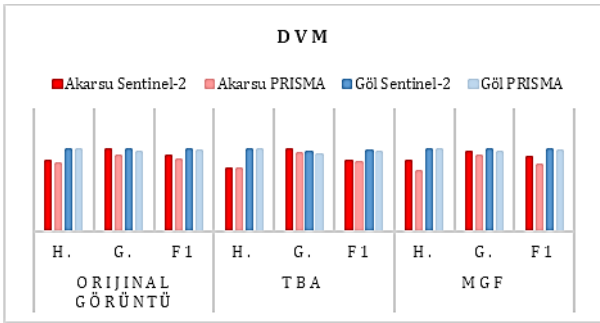
Sentinel-2 ve PRISMA verilerine MOA uygulanması sonucunda hesaplanan hassasiyet, geri çağırma ve F1 puan değerleri sınıf bazında incelendiğinde; "göl" sınıfının Sentinel-2 için orijinal ve boyut indirgenmiş görüntülerde ve PRISMA için sadece boyut indirgeme yöntemleri uygulanmış görüntülerde %100 doğrulukla

sınıflandırıldığı belirlenmiştir. PRISMA uydu verisine ait TBA ve MGF bileşenleri kullanılarak sınıflandırılmış görüntülerde akarsu, bataklık, orman, ekili tarım alanları, boş arazi ve yerleşim & sanayi sınıflarının genel olarak metrik değerlerinin Sentinel-2'den daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sentinel-2 ve PRISMA uydu görüntülerine ait tüm sınıflandırma sonuçları incelendiğinde yol sınıfı için hesaplanan geri çağırma değerlerinin yüksek (1.00) olduğu ancak hassasiyet değerlerinin ise düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum düşük F1 puanlarına sebep olmuştur. Sınıflandırma sonuçlarına ait tematik haritalar incelendiğinde mekânsal çözünürlüğe bağlı olarak ara yolların hassas bir şekilde tespit edilmediği gözlemlenmiştir.

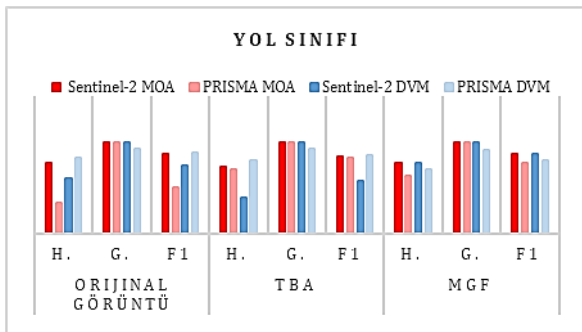
Sentinel-2 ve PRISMA verilerine DVM yöntemi uygulanması sonucunda hesaplanan hassasiyet, geri çağırma ve F1 puanları sınıf bazında incelendiğinde; akarsu ve göl sınıflarının Sentinel-2 sonuçları genelinde daha yüksek değerlere sahip olduğu (Şekil 11); yerleşim & sanayi, orman ve boş arazi sınıflarının ise PRISMA sonuçları genelinde daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Ekili tarım alanı sınıfının geri çağırma ve F1 puanı değerleri boyut indirgeme yöntemleri uygulanmış Sentinel-2 uydu görüntüsünde daha yüksek elde edilmiştir. Yol sınıfının metrik değerlerinin MGF uygulanmış Sentinel-2 uydu görüntüsünde daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı zamanda yol sınıfının Sentinel-2 uydu görüntüsünde tüm geri çağırma değerleri yüksek iken hassasiyet değerlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Sentinel-2 uydu görüntülerinde yol sınıfının düşük hassasiyet değeri, düşük F1 puanına sebep olmuştur. Sonuçlar Şekil 12' de incelenebilir.



Şekil 10. a,b)Sentinel-2 referans görüntüsü; a1,b1) Sentinel-2 orijinal görüntüye uygulanmış MOA Sonucu; a2,b2) Sentinel-2 Orijinal Görüntüye Uygulanmış DVM Sonucu; a3,b3) Sentinel-2 TBA Sonucu Seçilen Bileşenlere Uygulanmış MOA Sonucu; a4,b4) Sentinel-2 TBA Sonucu Seçilen Bileşenlere Uygulanmış DVM Sonucu; a5,b5) Sentinel-2 MGK Sonucu Seçilen Bileşenlere Uygulanmış MOA Sonucu; a6,b6) Sentinel-2 MGK Sonucu Seçilen Bileşenlere Uygulanmış DVM Sonucu); a7,b7) PRISMA Orijinal Görüntüye Uygulanmış MOA Sonucu; a8,b8) PRISMA Orijinal Görüntüye Uygulanmış DVM Sonucu; a9,b9) PRISMA TBA Sonucu Seçilen Bileşenlere Uygulanmış MOA Sonucu; a10,b10) PRISMA TBA Sonucu Seçilen Bileşenlere Uygulanmış DVM Sonucu; a11,b11) PRISMA MGK Sonucu Seçilen Bileşenlere Uygulanmış MOA Sonucu; a12,b12) PRISMA MGK Sonucu Seçilen Bileşenlere Uygulanmış DVM Sonucu



Şekil 11. DVM algoritması sonucunda akarsu ve göl sınıfına ait metrik değerlerin karşılaştırılması



Şekil 12. Yol sınıfı için hesaplanan geri çağırma değerlerinin hassasiyet değerleriyle karşılaştırılması (DVM: Destek Vektör Makineleri, MOA: Maksimum Olabilirlik Algoritması, H: Hassasiyet, G: Geri Çağırma, F1: F1 puan, TBA: Temel Bileşen Analizi, MGF: Minimum Gürültü Fraksiyonu)

Li ve ark. (2014) kompleks AÖ/AK sınıflarını içeren Guangzhou'ya (Çin) ait Landsat uydu görüntülerini kullanarak iki adet kontrolsüz ve on üç adet kontrollü sınıflandırma algoritmasını karşılaştırdıklarında DVM sonucuna göre MOA sınıflandırıcısıyla daha yüksek doğruluk elde etmişlerdir. Li ve ark., (2014) çalışmasında ulaşılan sonuca benzer olarak bu makalede de uygulanan sınıflandırmaların tamamına yakınında MOA sınıflandırıcısı ile daha yüksek doğruluğa ulaşılmıştır.

Vangi ve ark. (2021) çalışmasında orman alanlarında PRISMA uydu görüntüsüyle Sentinel-2 uydu görüntüsüne göre daha yüksek doğruluğa sahip sonuçlar elde etmişlerdir. Bu çalışmada da Sentinel-2 uydu görüntüsü kullanılarak ve PRISMA uydu görüntüsü kullanılarak elde edilen en yüksek doğruluğa sahip sonuçların sınıf bazında doğrulukları incelendiğinde Vangi ve ark. (2021) çalışması sonunda elde edilen bulguyu destekler doğrultuda, orman sınıfı PRISMA uydu verisi (H:0.93, G:0.97, F1: 0.95) ile Sentinel-2 uydu verisine (H: 0.93, G: 0.90, F1: 0.92) göre daha yüksek doğrulukla sonuç üretmiştir.

Gelecekte yapılacak benzer çalışmalarda; farklı boyut azaltma yöntemleri ile farklı veri setleri üretilerek çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları ve Evrimsel Sınır Ağları (Convolutional Neural Networks- CNN) gibi derin öğrenme yaklaşımlarıyla sınıflandırma doğrulukları artırılabilir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma, İtalyan Uzay Ajansı'nın (ASI) ©, Lisansı altında teslim edilen PRISMA Ürünleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, 121G142 proje numaralı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Projesi'ne ve MDK-2021-43054 numaralı İstanbul Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesine desteği için teşekkür etmektedir.

Araştırmacıların Katkı Oranı

Buse Tırmanoğlu: Literatür taraması, Makale yazımı, Düzenleme, Analiz-Uygulama; **İrem İsmailoğlu:** Düzenleme, Analiz-Uygulama; **Aylin Tuzcu Kokal:** Literatür taraması, Makale yazımı, Düzenleme; **Nebiye Musaoğlu:** Makale yazımı, Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Ahady, A. B. & Kaplan, G. (2022). Classification comparison of Landsat-8 and Sentinel-2 data in Google Earth Engine, study case of the city of Kabul. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(1), 24-31.

Aizerman, M. A. (1964). Theoretical foundations of the potential function method in pattern recognition learning. *Automation and remote control*, 25, 821-837.

Akar, Ö. & Tunç Görmüş, E. (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.

Akça, M. D., & Doğan, S. (2002). Sayısal görüntülerde ana bileşenler dönüşümü. *Harita dergisi*, 69(128), 1-15.

Apaydın, C., & Abdikan, S. (2021). Fındık bahçelerinin Sentinel-2 verileri kullanılarak piksel tabanlı sınıflandırma yöntemleriyle belirlenmesi. *Geomatik*, 6(2), 107-114.

ASI, (2020). PRISMA Products Specification Document, [Erişim Tarihi: 10.05.2022], http://prisma.asi.it/missionselect/docs/PRISMA%20Product%20Specifications_Is2_3.pdf

ASI, (2022). Hyperspectral Satellite, Capable of Observing from the Optical to the Near Infrared, Roma, [Erişim Tarihi: 12.05.2022], <https://www.asi.it/en/earth-science/prisma/>

Awad, M., & Khanna, R. (2015). Support vector machines for classification. In *Efficient learning machines* (pp. 39-66). Apress, Berkeley, CA.

Cattell, R. B. (1966). The scree test for the number of factors. *Multivariate behavioral research*, 1(2), 245-276.

Çetin, M. (2007). Sündiken Kütlesi'ndeki Yükselti-İklim Kuşaklarının ve Orman Toplumlarının Özelliklerinin Uydu Görüntüleri ile Belirlenmesi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 146p.

Clevers, J. G. P. W. (2000). Centre for Geo Information, Maximum likelihood classification. Wageningen University and Research Centre, Hollanda. [Erişim Tarihi: 12.05.2022]: <http://www.geo-informatie.nl/courses/grs20306/lectures/default.htm>

Çömert, R., Matcı, D. K., & Avdan, U. (2019). Object based burned area mapping with random forest algorithm. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 4(2), 78-87.

Copernicus, (2022). Copernicus Open Access Hub, [Erişim Tarihi: 11.05.2022], <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Dabiri, Z., & Lang, S. (2018). Comparison of independent component analysis, principal component analysis, and minimum noise fraction transformation for tree species classification using APEX hyperspectral imagery. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(12), 488.

Delalay, M., Tiwari, V., Ziegler, A. D., Gopal, V., & Passy, P. (2019). Land-use and land-cover classification using Sentinel-2 data and machine-learning algorithms: operational method and its implementation for a mountainous area of Nepal. *Journal of Applied Remote Sensing*, 13(1), 014530.

ED Chaves, M., CA Picoli, M., & D. Sanches, I. (2020). Recent applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/MSI for land use and land cover mapping: A systematic review. *Remote Sensing*, 12(18), 3062.

Elmahdy, S., Mohamed, M., & Ali, T. (2020). Land use/land cover changes impact on groundwater level and quality in the northern part of the United Arab Emirates. *Remote Sensing*, 12(11), 1715.

ERDAS, (2003). ERDAS Field Guide™, 7.Baskı, GIS & Mapping, LLC, Atlanta, Georgia, USA, [Erişim Tarihi: 13.05.2022], <http://www.geoservis.ftn.uns.ac.rs/downloads/ISP/FieldGuide.pdf>

ESA, (2022). Sentinel-2 Colour Vision for Copernicus. [Erişim Tarihi: 12.05.2022], https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2

Fisher, R. A. (1912). On an absolute criterion for fitting frequency curves. *Messenger of mathematics*, 41, 155-156.

Ha, N. T., Manley-Harris, M., Pham, T. D., & Hawes, I. (2020). A comparative assessment of ensemble-based machine learning and maximum likelihood methods for mapping seagrass using sentinel-2 imagery in Tauranga Harbor, New Zealand. *Remote Sensing*, 12(3), 355.

Hidalgo, D. R., Cortés, B. B., & Bravo, E. C. (2021). Dimensionality reduction of hyperspectral images of vegetation and crops based on self-organized maps. *Information Processing in Agriculture*, 8(2), 310-327.

Holland, S. M. (2019). Principal Components Analysis (PCA). Department of Geology University of Georgia, Athens, GA, 30602-2501. [Erişim Tarihi: 12.05.2022] <http://strata.uga.edu/software/pdf/pcaTutorial.pdf>

İlhan, F. (2007). Faktör Analizi ve Tarımsal Araştırmalarda Elde Edilen Verilere Uygulanması

- Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 55p.
- Karakuş, P., Karabork, H., & Kaya, S. (2017). A comparison of the classification accuracies in determining the land cover of Kadirli Region of Turkey by using the pixel based and object based classification algorithms. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(2), 52-60.
- Lazzeri, G., Frodella, W., Rossi, G., & Moretti, S. (2021). Multitemporal Mapping of Post-Fire Land Cover Using Multiplatform PRISMA Hyperspectral and Sentinel-UAV Multispectral Data: Insights from Case Studies in Portugal and Italy. *Sensors*, 21(12), 3982.
- Li, C., Wang, J., Wang, L., Hu, L., & Gong, P. (2014). Comparison of classification algorithms and training sample sizes in urban land classification with Landsat thematic mapper imagery. *Remote sensing*, 6(2), 964-983.
- Loizzo, R., Guarini, R., Longo, F., Scopa, T., Formaro, R., Facchinetti, C., & Varacalli, G. (2018, July). PRISMA: The Italian hyperspectral mission. In *IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 175-178). IEEE.
- Nguyen, H. T. T., Doan, T. M., Tomppo, E., & McRoberts, R. E. (2020). Land Use/land cover mapping using multitemporal Sentinel-2 imagery and four classification methods—A case study from Dak Nong, Vietnam. *Remote Sensing*, 12(9), 1367.
- Öztürk, E., & Küçük, F. (2017). Simav Çayı'nın balık faunası. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 13(2), 132-152.
- PRISMA ASI, (2022). WSO2 Identity Server, [Erişim Tarihi: 12.05.2022], <https://prisma.asi.it/>
- Ramsar, (1998). Ramsar Sites Information Service, Lake Uluabat, [Erişim Tarihi: 11.05.2022], <https://rsis.ramsar.org/ris/944>
- Randazzo, G., Cascio, M., Fontana, M., Gregorio, F., Lanza, S., & Muzirafuti, A. (2021). Mapping of Sicilian Pocket Beaches Land Use/Land Cover with Sentinel-2 Imagery: A Case Study of Messina Province. *Land*, 10(7), 678.
- Ringnér, M. (2008). What is principal component analysis?. *Nature biotechnology*, 26(3), 303-304.
- Sarı, E. (2018). Doğrulayıcı Faktör Analizi ve Rüzgâr Enerjisi Ölçeğine Uygulaması. Bursa Uludağ Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi. Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 71p.
- Sisodia, P. S., Tiwari, V., & Kumar, A. (2014, May). Analysis of supervised maximum likelihood classification for remote sensing image. In *International conference on recent advances and innovations in engineering (ICRAIE-2014)* (pp. 1-4). IEEE.
- Steinhausen, M. J., Wagner, P. D., Narasimhan, B., & Waske, B. (2018). Combining Sentinel-1 and Sentinel-2 data for improved land use and land cover mapping of monsoon regions. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 73, 595-604.
- SUHET, (2015). ESA Standard Document Sentinel-2 User Handbook. European Space Agency Agence Spatiale Européenne, [Erişim Tarihi: 11.05.2022]. http://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook
- Tadesse, H. K., Qu, J. J., Aguirre, A. A., Komba, M., & Maggioni, V. (2017). Land use classification and analysis using radar data mining in Ethiopia. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 1(6), 2006-2022.
- Tharwat, A. (2020). Classification assessment methods. *Applied Computing and Informatics*, 17(1), 168-192.
- Topaloğlu, R. H., Sertel, E., & Musaoğlu, N. (2016). Assessment of classification accuracies of Sentinel-2 and Landsat-8 data for land cover/use mapping. *International archives of the photogrammetry, remote sensing & spatial Information Sciences*, 41.
- Tso, B., & Mather, P. M. (2009). Classification methods for remotely sensed data. US, CRC Press.
- Tuzcu Kokal, A., İsmailoğlu, İ., & Musaoğlu, N. (2022). Comparison of LANDSAT-9 and Prisma Satellite Data for Land Use/Land Cover Classification. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46, 197-201.
- Vangi, E., D'Amico, G., Francini, S., Giannetti, F., Lasserre, B., Marchetti, M., & Chirici, G. (2021). The new hyperspectral satellite PRISMA: Imagery for forest types discrimination. *Sensors*, 21(4), 1182.
- Vapnik, V. (2013). The nature of statistical learning theory. Springer Science & Business Media.
- Vapnik, V. N. (1979). Reconstruction of Dependences from Empirical Data.
- Yılmaz, O. S., Gülgen, F., Güngör, R., & Kadı, F. (2018). Uzaktan algılama teknikleri ile arazi kullanım değişiminin incelenmesi: Köprübaşı İlçesi örneği. *Geomatik*, 3(3), 234-241.
- Zabcı, C. (2021). Çok bantlı Landsat 8-OLI ve Sentinel-2A MSI uydu görüntülerinin karşılaştırmalı jeoloji uygulaması: Örnek çalışma alanı olarak Doğu Anadolu Fayı boyunca Palu-Hazar Gölü bölgesi (Elazığ, Türkiye). *Geomatik*, 6(3), 238-246.
- Zhang, T., Su, J., Xu, Z., Luo, Y., & Li, J. (2021). Sentinel-2 satellite imagery for urban land cover classification by optimized random forest classifier. *Applied Sciences*, 11(2), 543.

